

*Entropy Law and the Economic Process* (Harvard University Press, 1966) fue inmediatamente considerada por un pequeño grupo de eruditos como una publicación capital, de prodigiosa erudición, destinada a hacer época entre las generaciones futuras. Monumento de la epistemología crítica del siglo xx, no olvida ni la cosmología ni la ontología. Este libro, de difícil reputación y a menudo mal comprendido, constituye el fundamento científico de una nueva visión ecológica del desarrollo económico de la especie humana en su diversidad cultural, y a su vez tecnológica, como prolongación de la evolución biológica en la superficie de la tierra. Heredero de la doble revolución intelectual de Carnot y Darwin (la termodinámica y la teoría de la evolución), este libro, interdisciplinar por excelencia, afecta a la filosofía de la ciencia y a la conexión entre las ciencias del hombre y las ciencias de la naturaleza. Desarrolla, a través de una argumentación rigurosa, las tesis filosóficas y científicas publicadas por primera vez en el extraordinario ensayo que sirvió de introducción a la recopilación *Analytical Economics: Issues and Problems* (Harvard University Press, 1966), recogiendo las contribuciones de Georgescu-Roegen a la ciencia económica de 1935 a 1960. «Desafío a cualquier economista informado a que se mantenga satisfecho de sí mismo tras haber meditado sobre este ensayo», escribía entonces Paul A. Samuelson en su prefacio. Crítica radical de los fundamentos mecanicistas y la orientación de la ciencia occidental dominante, este libro pone a luz las numerosas implicaciones de la mutación científica que acompaña la Revolución Industrial y que simboliza el descubrimiento esperado de la evolución biológica (de la que formamos parte) y del nacimiento irrevocable de la entropía, que ha sido con acierto denominada «la flecha del tiempo». En este gran debate, el «mensaje terrestre» de Georgescu-Roegen es tan revolucionario, anunciando una nueva era para la Economía, como lo fue el «mensaje celeste» de Galileo para la Cosmología, en la aurora de los tiempos modernos.



# La Ley de la Entropía y el proceso económico

*Nicholas Georgescu-Roegen*

FUNDACIÓN  
ARGENTARIA



VISOR  
(distribuciones/sa)

NICHOLAS GEORGESCU-ROEGEN

LA LEY DE LA ENTROPÍA  
Y EL PROCESO ECONÓMICO

COLECCIÓN  
ECONOMÍA Y NATURALEZA  
SERIE «TEXTOS BÁSICOS»

G  
n  
u  
n  
p  
D  
l  
d  
v  
l  
s  
n  
t  
e  
v  
i  
p  
T  
(  
I  
(  
b  
d  
m  
e  
G  
c  
b  
d  
x  
7  
l  
v  
e  
c  
e



NICHOLAS GEORGESCU-ROEGEN

LA LEY DE LA ENTROPÍA  
Y EL PROCESO ECONÓMICO

FUNDACIÓN  
ARGENTARIA



VISOR  
(distribuciones/sa)

Colección Economía y Naturaleza  
Serie «Textos básicos», vol. III

Comité Científico

- Federico Aguilera Klink
- Carlos Castrodeza Ruiz
- Luis Gutiérrez Andrés (secretario)
- Joan Martínez Alier
- José Manuel Naredo Pérez (director)
- Fernando Parra Supervia
- Antonio Valero Capilla

Traducción:

- Luis Gutiérrez Andrés
- M.ª Victoria López Paños (prólogo)

Published by arrangement with Harvard University Press  
Título original: *The Entropy Law and the Economic Process*  
© Fundación Argentaria - Visor Distribuciones, 1996

ISBN: 84-7774-973-6

Depósito Legal: M-16.987-1996

Visor Fotocomposición'

Impreso en España - *Printed in Spain*  
Gráficas Rógar. Navalcarnero (Madrid)

*A mis maestros*

## ÍNDICE

PRESENTACIÓN, <i>José Manuel Naredo</i> .....	13
PRÓLOGO, <i>Jacques Grinevald</i> .....	15
PREFACIO .....	41
INTRODUCCIÓN .....	45
CAPÍTULO I. LA CIENCIA: BREVE ANÁLISIS EVOLUCIONISTA .....	69
1. Génesis de la ciencia .....	69
2. Evolución por mutaciones .....	70
3. La memoria: el más antiguo almacén de conocimiento .....	71
4. De la clasificación taxonómica a la lógica .....	72
5. Ciencia teórica y economía de pensamiento .....	74
6. Diferencias significativas entre Oriente y Occidente .....	77
7. Ciencia teórica: fuente continua de sugerencias experimentales .....	80
8. Ciencia teórica y hábito analítico .....	81
9. Ciencia teórica: un organismo vivo .....	84
CAPÍTULO II. CIENCIA, ARITMOMORFISMO Y DIALÉCTICA .....	87
1. "No hay ciencia sin teoría" .....	87
2. Ciencia teórica frente a ciencia .....	90
3. Números y conceptos aritmomórficos .....	91
4. Conceptos dialécticos .....	93
5. Las tradiciones platónicas en el pensamiento moderno .....	96
6. Conceptos dialécticos y ciencia .....	98
7. Probabilidad: un ejemplo de dialéctica hegeliana .....	101
CAPÍTULO III. CAMBIO, CUALIDAD Y PENSAMIENTO .....	109
1. Ciencia y Cambio .....	109
2. Cambio y conceptos dialécticos .....	112
3. El continuo intuitivo frente al aritmético .....	115

4. Instantes de tiempo y duración .....	118
5. Una solución lógica .....	122
6. ¿Qué es identidad? .....	123
7. ¿Cuántas son las cualidades? .....	125
8. Continuidad de las cualidades .....	127
9. Crítica del aritmomorfismo .....	129
10. Pensamiento y "Pensamiento" .....	134
<b>CAPÍTULO IV. MEDICIÓN, TAMAÑO E IDENTIDAD: ALGUNAS LECCIONES OBJETIVAS DE LA FÍSICA .....</b>	<b>147</b>
1. Física y filosofía de la ciencia .....	147
2. Medición, cantidad y cualidad .....	149
3. El residuo cualitativo .....	153
4. El problema del tamaño .....	157
5. Identidad y proceso .....	160
6. Cardinalidad y residuo cualitativo .....	163
<b>CAPÍTULO V. NOVEDAD, EVOLUCIÓN Y ENTROPÍA: NUEVAS LECCIONES OBJETIVAS DE LA FÍSICA .....</b>	<b>167</b>
1. Teoría y novedad .....	167
2. Novedad e incertidumbre .....	175
3. Histéresis e historia .....	177
4. Física y evolución .....	181
5. Tiempo: el gran misterio .....	184
6. Tiempo y "Tiempo" .....	189
7. Predicción temporal y tiempo de reloj .....	191
<b>CAPÍTULO VI. ENTROPÍA, ORDEN Y PROBABILIDAD .....</b>	<b>197</b>
1. Entropía: orden y desorden .....	197
2. Entropía y probabilidad .....	204
3. La hipótesis ergódica y el teorema ergódico .....	209
4. La antinomia de la mecánica estadística .....	216
<b>CAPÍTULO VII. AZAR, CAUSA E INTENCIONALIDAD .....</b>	<b>229</b>
1. Determinismo y ley de los grandes números .....	229
2. Determinismo y principio de indeterminación .....	232
3. Alegato de un físico en favor de la causalidad .....	233
4. Causalidad y libre albedrío .....	235
5. El imperativo categórico .....	239
6. Mentalidad pueblerina de la física y noción de causa .....	242
7. Entropía y actividad intencional .....	247
<b>CAPÍTULO VIII. EVOLUCIÓN FRENTE A LOCOMOCIÓN .....</b>	<b>257</b>
1. Procesos irreversibles e irrevocables .....	257
2. Evolución, irrevocabilidad y vector temporal .....	259

3. De la parte al todo .....	262
4. Evolución: un laberinto dialéctico .....	264
5. La evolución no es una idea mística .....	268

<b>CAPÍTULO IX. LA REPRESENTACIÓN ANALÍTICA DEL PROCESO Y LA ECONOMÍA DE LA PRODUCCIÓN .....</b>	<b>275</b>
1. El proceso parcial y sus límites .....	275
2. Las coordenadas analíticas de un proceso parcial .....	279
3. Stocks y flujos .....	283
4. Fondos y servicios .....	289
5. Un modelo de flujo-fondo .....	293
6. Nuevas reflexiones sobre el modelo de flujo-fondo .....	297
7. La función de producción .....	300
8. La economía de la producción .....	302
9. El sistema fabril y su función de producción .....	305
10. La producción y el factor temporal .....	311
11. La fábrica: sus ventajas y limitaciones .....	315
12. La fábrica y la explotación agrícola .....	317
13. Flujos y análisis internos .....	321
14. El diagrama marxiano de la reproducción simple frente a un modelo de flujo-fondo .....	330
15. Mercancías, procesos y crecimiento .....	337

<b>CAPÍTULO X. ENTROPÍA, VALOR Y DESARROLLO .....</b>	<b>347</b>
1. Entropía y valor económico .....	347
2. La ecuación general del valor .....	355
3. Entropía y desarrollo .....	364
4. De la lucha por la entropía al conflicto social .....	380

<b>CAPÍTULO XI. LA CIENCIA ECONÓMICA: ALGUNAS CONCLUSIONES DE CARÁCTER GENERAL .....</b>	<b>391</b>
1. Los límites del proceso económico .....	391
2. ¿Por qué no es la economía una ciencia teórica? .....	397
3. Modelos aritmomórficos y economía .....	405
4. La economía y el hombre .....	418
5. Comportamiento racional y sociedad racional .....	422
6. El hombre y su tradición .....	437

<b>APÉNDICES</b>	
A. Sobre la consistencia del continuo aritmético .....	445
B. Ignorancia, información y entropía .....	467
C. Un modelo simple del Teorema-H de Boltzmann .....	487
D. Analogías de la Curva-H de Boltzmann .....	491

E. Los Teoremas de Birkhoff .....	493
F. Probabilidad y dimensión temporal .....	495
G. Limitaciones y extrapolaciones en biología .....	503

ÍNDICE ONOMÁSTICO .....	521
-------------------------	-----

BIBLIOGRAFÍA .....	527
--------------------	-----

#### TABLAS

1. Microestados de $N_A = 2, N_B = 2$ .....	200
2. Microestados correspondientes al Microestado 1 de la Tabla 1 .....	201
3. La economía $E$ representada en forma de proceso .....	322
4. Tabla Input-Output de flujos de la economía $E$ .....	323
5. Forma consolidada de la Tabla 3 .....	325
6. Forma consolidada correcta de la Tabla 4 .....	326
7. Forma consolidada incorrecta de la Tabla 4 .....	326
8. Tabla Input-Output de un canal subdividido .....	328
9. Forma consolidada de la Tabla 8 .....	329
10. Tabla Input-Output del diagrama de reproducción de Marx .....	331
11. Una economía con dos sectores .....	334
12. Representación esquemática del proceso económico .....	358

(Las figuras se encuentran en las páginas 210, 211, 457, 488 y 497)

## PRESENTACIÓN

Este libro supone un hito de referencia obligada al menos desde tres puntos de vista. En primer lugar, contiene aportaciones inéditas, y en ocasiones definitivas, para la filosofía y la historia de la ciencia aplicadas a la economía, cuya importancia sobresale ante el vacío de elaboraciones no doctrinarias de este género que se acusaba en el momento de su primera edición en inglés, en 1971. En segundo lugar, no sólo ayuda a comprender y relativizar los fundamentos de la ciencia económica establecida, sino que los replantea para posibilitar la gestión de los problemas ecológicos de nuestro tiempo. Anticipemos que las propuestas metodológicas contenidas en el libro suponen una seria ruptura epistemológica respecto de la «ciencia normal» que han venido haciendo los economistas. El autor propone, desde dentro de la profesión, trascender el universo del valor en el que la economía se había desenvuelto desde Adam Smith, para ampliar su objeto de estudio, abriéndolo hacia otros campos del conocimiento y muy particularmente hacia esa «economía de la física» que es la termodinámica. La propuesta de Georgescu-Roegen va mucho más allá de las requisitorias morales o consideraciones «sociológicas» que desde antiguo se venían planteando (Ruskin, Veblen..., Galbraith o Baudrillard) al saber económico establecido: reformula el núcleo duro, matemático y pretendidamente cuantitativo, de la ciencia económica, proponiendo un auténtico «cambio de paradigma». Su impugnación constructiva no sólo recae sobre el talón de Aquiles de la «función de utilidad», sobre el que venían haciendo presa las críticas a la teoría económica, sino sobre la propia «función de producción» que asumían con generalidad los economistas y que permanecía al resguardo de toda crítica. Cabe preguntarse cómo encajó el mundo académico esta reflexión tan fundamental. Precisamente, en tercer lugar, el presente volumen aporta amplia e inédita documentación sobre la forma en la que ha reaccionado la comunidad científica de los economistas ante el «cambio de paradigma» propuesto por Georgescu-Roegen. El profundo estudio introductorio de Jacques Grinevald se encarga de responder con solvencia a esta cuestión y de ofrecer una semblanza biográfica y bibliográfica del autor, que informa sobre el contexto y el proceso intelectual que propiciaron sus elaboraciones rupturistas. Por último, el esfuerzo que ha puesto Luís Gutiérrez en cuidar la traducción y la edición contribuyen, junto a la calidad del mencionado trabajo introductorio, a revalorizar significativamente el libro.

En suma, que el presente volumen no sólo debe interesar a filósofos, historiadores y sociólogos de la ciencia, sino también y sobre todo a economistas y a practicantes de las ciencias de la Naturaleza que pretenden hacer de la reflexión económica un punto de encuentro transdisciplinar. Recordemos que este libro encaja de lleno en el propósito de la colección «Economía y Naturaleza» en la que se integra, que apunta precisamente a establecer puentes entre economía y ciencias de la Naturaleza. El hecho de que hayan pasado veinticinco años sin que se editara en español deja bien evidente el hueco que en el mundo editorial cubre esta colección, completado por los trabajos de edición y contextualización científica del mismo que lo acompañan.

José Manuel Naredo  
*Director de la colección «Economía y Naturaleza»*  
*Fundación Argentaria*

## PRÓLOGO

«No tengo tiempo.  
No tengo tiempo...»  
Evariste GALOIS (1811-1832)<sup>1</sup>

«Desarrollar esta potencia, acomodarla a nuestras necesidades, tal es el objeto de las máquinas que extraen energía del fuego. El estudio de las mismas concita el máximo interés, su importancia es crucial, su utilización crece día por día. Estas máquinas parecen abocadas a provocar una gran revolución en el mundo civilizado».

Sadi CARNOT (1796-1832)  
*Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance* (París, 1824).

A la edad de ochenta y ocho años, el 30 de octubre de 1994, fallecía tras una larga enfermedad Nicholas Georgescu-Roegen en el Centro médico de la Universidad Vanderbilt, en Nashville (Tennessee, Estados Unidos).

Cuando en 1971 se publicó su obra maestra, *The Entropy Law and the Economic Process* (Harvard University Press), N. Georgescu-Roegen tenía sesenta y cinco años. Era profesor de Economía en la Universidad Vanderbilt. La carrera académica de nuestro autor, en plenitud de facultades mentales, alcanzaba su cenit. En 1969 había sido elegido «Distinguished Professor of Economics» y se le había encomendado presentar la prestigiosa «Richard T. Ely Lecture» de la American Economic Association<sup>2</sup>. Su crítica radical de los fundamentos de la ciencia económica imperante, que su libro anterior, *Analytical Economics: Issues and Problems*, de 1966 (también publicado por Harvard University Press), reflejaba ya básicamente, no lo congraciaba con un sector de sus colegas —¡contentémonos con expresarlo así!—. Pese a todo, la enumeración (a cargo de William H. Nicholls) de los méritos que reunía para ser elevado, en 1971, a la dignidad máxima de

<sup>1</sup> Citado por N. Georgescu-Roegen, 1995, «Time in economics», en H. Hagemann y O. F. Hamouda, eds., *The Legacy of Hicks: His contribution to economic analysis*, Londres: Routledge, p. 252.

<sup>2</sup> N. Georgescu-Roegen, 1970, «The economics of production», reeditado en 1976 en su libro *Energy and Economic Myths*, Nueva York: Pergamon, cap. 4.

«Distinguished Fellow of the American Economic Association» concluía en los siguientes términos:

«No American economist has more successfully combined in his training and publications the fields of economics, mathematics, and statistics. Yet Georgescu-Roegen has remained a signal defender of the view that many important problems are beyond the reach of numbers. Unique also is his keen knowledge of past and present human institutions. To this knowledge, which ranks very high in his intellectual hierarchy, we owe his penetrating adaptation of analytical tools to a complex structure. A recent product of his broad range of knowledge is his new book, *The Entropy Law and the Economic Process*, in which he develops the revolutionary view that economic activity is an extension of man's biological evolution -an entropic process rather than the mechanical analogue traditional in mathematical economics-. At the same time, Georgescu-Roegen has been and still is a great teacher. Every one of his class lectures is a work of a long-mastered art, the pride of all those who were fortunate to be his students and to know his continuous and friendly devotion to their academic progress and career. To Nicholas Georgescu-Roegen -the scholar, the teacher, the humanist- we pay homage as a true Renaissance man» (*American Economic Review*, junio 1972, 62(3), frontispicio)<sup>3</sup>.

Estas hermosas reflexiones no fueron, por desgracia, sino papel mojado para «la economía normativa»<sup>4</sup>, que nunca ha cejado en ignorar lo que podríamos denominar el «mensaje terrestre» de Georgescu-Roegen por analogía con el «mensaje celeste» de Galileo en los inicios de la ciencia moderna. En efecto, «en un mundo donde los economistas sustituyen a los sacerdotes» (Ivan Illich), le ocurre al principal disidente de la ciencia económica occidental lo que en su día le ocurriera al «hereje Galileo» enfrentado con la Iglesia.

<sup>3</sup> «Ningún economista estadounidense, en el ejercicio de su profesión y en sus publicaciones, ha aunado con tanto éxito las áreas de la economía, las matemáticas y la estadística. Georgescu-Roegen nunca ha dejado de ser un abanderado insigne de la tesis de que subsisten muchos problemas fuera del alcance de los números. También lo caracteriza su cabal conocimiento de las instituciones humanas del presente y del pasado. A tal conocimiento, que ocupa un lugar muy destacado en su escala de valores intelectual, le debemos su agudeza a la hora de adaptar herramientas analíticas a una estructura compleja. Fruto reciente de un bagaje tan amplio de saberes lo constituye su último libro, *The Entropy Law and the Economic Progress*, en el que desarrolla el enfoque revolucionario de que la actividad económica es una extensión de la evolución biológica del hombre -un proceso entrópico, en vez de la analogía mecánica al uso en la economía matemática-. Al mismo tiempo, Georgescu-Roegen ha sido, aún lo es, un gran profesor. Cada una de sus clases magistrales es el resultado de un arte que domina a fondo, el orgullo de todos aquellos que han tenido la fortuna de ser alumnos suyos y de apreciar su interés continuo y cercano por el progreso académico y la trayectoria profesional de cada cual. A Nicholas Georgescu-Roegen, el estudioso, el maestro, el humanista, le rendimos tributo como a un auténtico hombre del Renacimiento». *N. del T.*

<sup>4</sup> Véase la crítica de Wassily Leontief (Premio Nobel de Economía en 1973), «Academic economics», *Science*, 9 de julio de 1982, 217, pp. 104-107.

El asunto Georgescu-Roegen<sup>5</sup> no afecta sólo al dogma mecanicista de la economía matemática moderna, que precisamente arranca de la revolución de Galileo y del éxito clamoroso de la Mecánica de los cuerpos celestes de Newton y de Laplace. Lo que se cuestiona en esta reedición del asunto Galileo es la cultura científica dominante de nuestra civilización industrial, que ha relegado las implicaciones revolucionarias de la ley de la entropía creciente, el célebre Segundo Principio de la Termodinámica, formulado en el ecuador del siglo XIX en términos distintos a partir del trabajo pionero de Sadi Carnot (1824), aun cuando se respete, de forma anacrónica y contradictoria, la epistemología reduccionista del mecanicismo que ha llevado a cabo «la eliminación del Tiempo»<sup>6</sup>.

Atendiendo a la invitación de José Manuel Naredo<sup>7</sup>, de cuya iniciativa es deudora la presente traducción española de la obra cumbre de N. Georgescu-Roegen, había empezado yo a redactar este Prólogo durante el verano de 1994, mientras preparaba también una nueva edición francesa<sup>8</sup> de la corta introducción a la bioeconomía de Georgescu-Roegen que, con Ivo Rens, había publicado en 1979. Hasta enero de 1995, por una llamada telefónica desde Madrid y gracias a mi amigo Naredo -a quien venía de darle la noticia otro amigo termodinámico (Antonio Valero) de regreso de los Estados Unidos-, no supe que Georgescu-Roegen había muerto.

La última vez, finalizando los años ochenta, en que tuve ocasión de verle, Georgescu-Roegen me había despedido con un grado de emotividad que hacía presagiar unos adioses postreros. Su precaria salud le impidió asistir a la conferencia de Roma convocada, en 1991, como un homenaje a sus ochenta y cinco años. Gabriel Lozada, que acababa de defender el paradigma de Georgescu-Roegen ante un ataque malintencionado publicado por la revista *Ecological Economics*<sup>9</sup>, me había comunicado desde los Esta-

<sup>5</sup> J. Grinevald, 1980, «Le sens bioéconomique du développement humain: l'affaire Nicholas Georgescu-Roegen», *Revue européenne des sciences sociales (Cahiers Vilfredo Pareto)*, 51, pp. 59-75; 1981, «Energy and Economic Myths, by Nicholas Georgescu-Roegen», *Technology and Culture*, 22, pp. 655-658; 1984, «N. Georgescu-Roegen: Energia e miti economici», *Note Economiche*, Monte dei Paschi di Siena, 2, pp. 173-177.

<sup>6</sup> Emile Meyerson (1859-1933), 1908, *Identité et réalité*, París, 2.ª ed. 1926, cap. VI. Georgescu-Roegen no lo cita, pero ello no implica que no lo hubiera leído.

<sup>7</sup> José Manuel Naredo es autor de una notable síntesis histórico-crítica post-Georgescu-Roegen: *La economía en evolución. Historia y perspectivas de las categorías básicas del pensamiento económico*, 1987, Madrid: Ministerio de Economía y Hacienda, Siglo XXI de España Editores; reedición actualizada: Madrid: Siglo XXI Ed., 1996.

<sup>8</sup> Nicholas Georgescu-Roegen, 1995, *La Décroissance: entropie-écologie-économie*, presentación y traducción de Jacques Grinevald e Ivo Rens, París: Sang de la terre. (1.ª edición, 1979, *Demain la décroissance: entropie-écologie-économie*, prefacio y traducción de Ivo Rens y Jacques Grinevald, Lausana: Pierre-Marcel Favre).

<sup>9</sup> Gabriel A. Lozada, 1991, «A defense of Nicholas Georgescu-Roegen's paradigm», *Ecological Economics*, 3, pp. 157-160 (E. L. Khalil, 1990, «Entropy law and exhaustion of natural resources: is Nicholas Georgescu-Roegen's paradigm defensible?», *Ecological Economics*, 2, pp. 163-178; 1991, «Entropy law and Georgescu-Roegen's paradigm: a reply», *Ecological Economics*, 3, pp. 161-163). G. Lozada participó en la conferencia de Roma de 1991 (cuyas actas fueron publicadas en 1993).

dos Unidos, en octubre de 1992, noticias inquietantes. Vencida por el peso de la edad, la salud de Georgescu-Roegen se había deteriorado sin remedio, aunque mantenía una actividad intelectual asombrosa. Desde el punto de vista estadístico, su fallecimiento nada tenía de particular. La sorpresa surgió del hecho de recibir notificación del óbito con tanto retraso y de modo tan privado.

Excepción hecha de *The New York Times*<sup>10</sup>, que no leí, la prensa internacional pasó por alto la muerte de Georgescu-Roegen, el gran rival científico de Samuelson. Así, paradójicamente, uno de los más «eminentes economistas»<sup>11</sup> desde Keynes, el padre de la *bioeconomía*, uno de los principales teóricos de la nueva sensibilidad ecológica que se preocupa de nuestra responsabilidad ante la Biosfera y las futuras generaciones, ha desaparecido como si nada le debiera el mundo intelectual de las postrimerías del siglo XX.

El autor de *The Entropy Law and the Economic Process* —un clásico para la «economía ecológica»<sup>12</sup> y la «ecología industrial»<sup>13</sup>— era, no obstante, un auténtico científico, un sabio, un innovador, pero también —es menester reconocerlo— un profeta, un hereje, un disidente a quien preferían ignorar los maestros pensadores de su época. Su celebridad científica en la década de los setenta<sup>14</sup> se redujo, al parecer, a un corto período de tiempo. El imperialismo ideológico de la economía hegemónica sofocó las tesis de Georgescu-Roegen con preferencia incluso a otras corrientes heterodoxas.

Por otra parte, la divulgación a cargo de Jeremy Rifkin en su éxito de ventas de 1980 *Entropy: A New World View*, supuso la puntilla para la reputación científica de Georgescu-Roegen, especialmente irritado por el asunto dado que él mismo había avalado a priori dicho libro al entregarle a Rifkin una advertencia final que le servía de marchamo. Quizá tuvo mayor

<sup>10</sup> Sylvia Nasar, «Nicholas Georgescu-Roegen, leading economist, dies at 88», *New York Times*, 5 de noviembre de 1994, p. 32.

<sup>11</sup> Véase Mark Blaug y Paul Stuges, eds., 1983, *Who's Who in Economics: A Biographical Dictionary of Major Economists 1700-1981*, Nueva York: Wheatsheaf Books (2.ª ed., 1986, Cambridge, Mass.: MIT Press). Mark Blaug, 1985, *Great Economists since Keynes*, Nueva York, Harvester: Wheatsheaf. Michael Szenberg, ed., 1992, *Eminent Economists: Their Life Philosophies*, Cambridge: Cambridge University Press. Michel Beaud y Gilles Dostaler, 1993, *La pensée économique depuis Keynes. Historique et dictionnaire des principaux auteurs*, París: Seuil.

<sup>12</sup> Para una panorámica histórica, consúltese Juan Martínez-Alier y Klaus Schlüpmann, 1987, *Ecological Economics: Energy, Environment and Society*, Oxford: Blackwell (contiene una bibliografía muy completa). [Traducción española, 1991, *La ecología y la economía*, México: Fondo de Cultura Económica.] En 1988 se creó la International Society for Ecological Economics, que publica la revista académica *Ecological Economics* (Elsevier), a ciencia cierta la publicación donde, en estos últimos años, se ha citado con mayor frecuencia *The Entropy Law and the Economic Process*, así como el nombre de N. Georgescu-Roegen.

<sup>13</sup> Véase Suren Erkman, 1996, *Vers une écologie industrielle*, París: Fondation pour le progrès de l'homme (contiene una visión histórica y una bibliografía muy completa).

<sup>14</sup> Nicholas Wade, «Nicholas Georgescu-Roegen: entropy, the measure of economic man», *Science*, 31 de octubre de 1975, 190, pp. 447-450.

incidencia el hecho de que Georgescu-Roegen se hubiera enfrentado con su discípulo más aventajado, Herman H. Daly, cuya doctrina criticaba —la antítesis del crecimiento económico era el estado estacionario, según Daly—. Esta tesis convertía a su promotor en una figura de más relieve en el mundo medioambiental anglosajón que al autor de *The Entropy Law and the Economic Process*.

Nicholas Georgescu-Roegen pertenecía a esa corriente de espíritus innovadores de quienes suele decirse que «su pensamiento se adelanta a su tiempo», cuando en realidad lo que ocurre es que no se encuentran en el lugar oportuno para que los entiendan<sup>15</sup>. Georgescu-Roegen tenía clara conciencia de ser un científico revolucionario, el padre de una nueva «visión» —en el sentido de su maestro Schumpeter—. Al subvertir las bases científicas del pensamiento económico, así como la filosofía dominante de la tecnociencia del momento, se había convertido en un genio perturbador.

No se le perdonaba su cruzada contra los abusos del formalismo matemático; contra la identificación de la información y de la «negentropía» (un contrasentido del cientifismo en la era del ordenador); contra la teoría económica del crecimiento ilimitado, ¿por no citar su apoyo a los ecologistas que abogan por la desaceleración del crecimiento! ¿Acaso no se le imputaba el delito de haber destruido la confianza que deberíamos depositar en los «recursos de la ciencia económica» para explicar y guiar «la economía de los recursos»?<sup>16</sup>. Al presentar su dimisión ante la American Economic Association en septiembre de 1985, ¿no había firmado Georgescu-Roegen, de puño y letra, su sentencia de muerte, como también creía haberlo hecho a mitad de la década de los sesenta<sup>17</sup> cuando criticó a sus colegas de la Sociedad de Econometría?

La restringida conferencia internacional organizada en Roma, en noviembre de 1991, bajo el lema «Entropía y Bioeconomía», que reproducía el título de la monografía de dos rumanos, Joseph C. Dragan y Mihai C. Demetrescu<sup>18</sup>, pretendía sin duda rendir un homenaje, en la efeméride de

<sup>15</sup> N. Georgescu-Roegen, «Hermann Heinrich Gossen: his life and work in historical perspective», Introducción a J. J. Gossen, *The Law of Human Relations and the Rules of Human Actions Derived Therefrom* (1854), traducido y editado por Rudolph C. Blitz, 1983, Cambridge, Mass.: MIT Press, pp. xi-cxlv.

<sup>16</sup> N. Georgescu-Roegen señalaba cuán absurda era la posición expresada por Robert M. Solow (que recibiría el Premio Nobel de Economía en 1987) en su Richard T. Ely Lecture: «The economics of resources or the resources of economics», *American Economic Review*, 1974, 64, pp. 1-14. Sobre este debate, consúltese. V. Kerry Smith, ed., 1979, *Scarcity and Growth Reconsidered, Resources for the Future*, Baltimore: Johns Hopkins University Press.

<sup>17</sup> N. Georgescu-Roegen, «Further thoughts on Corrado Gini's *Delusioni dell'econometria*» (International Symposium on Statistics as Methodology in the Social Sciences, Roma, marzo de 1966); nuevamente publicado en *Energy and Economic Myths*, cap. 10.

<sup>18</sup> J. C. Dragan y M. C. Demetrescu, 1986, *Entropy and Bioeconomics: The New Paradigm of Nicholas Georgescu-Roegen*, Milán: Nagard, 2.ª ed. 1991.



sus ochenta y cinco años, a la figura de un sabio revolucionario, del fundador del nuevo paradigma de la *bioeconomía*. En este acto se reencontraron la mayoría de los primeros discípulos de Georgescu-Roegen, venidos desde todos los rincones del mundo<sup>19</sup>.

Cuando acepté la amistosa invitación de José Manuel Naredo, muy lejos estaba yo de sospechar que dicha tarea, de tanta responsabilidad, se trocaría al hilo de los acontecimientos en un homenaje póstumo, en un elogio fúnebre rompedor de la indiferencia general. Para marcar época, afirmaba Goethe, hay que dejar un considerable legado. El legado de Georgescu-Roegen es inmenso. Todavía hoy se desconoce su envergadura. Nuestros descendientes, que sufrirán las consecuencias de nuestra arrogancia y de nuestra negligencia, nos reprocharán el olvido de un genio —«un personaggio, sotto molti profili, straordinario»<sup>20</sup>—, que derrochó energía en vivificar (en la acepción plena del término) nuestro modo de pensar la economía, tan dramáticamente reducida a una *cinemática* abstracta de la «máquina económica», en una época en que ya sería oportuno cambiar de metáfora.

Las publicaciones del mundo académico no experimentan, al parecer, más urgencia que la prensa y los mass-media a la hora de rendir tributo al gran Nicholas Georgescu-Roegen<sup>21</sup>. No es únicamente al hombre a quien se cuestiona, sino también y ante todo su pensamiento, la evolución de su pensamiento —que se inscribe en la historia de la «problemática de la evolución»<sup>22</sup>. Esta constatación sobre la situación actual del pensamiento de Georgescu-Roegen, con tanto sentido para la sociología de las ciencias, iguala nuestro sentimiento de amargura respecto del conflicto que enfrentaba al hereje Georgescu-Roegen con la nueva iglesia universal de la Cien-

<sup>19</sup> J. C. Dragan, E. K. Seifert y M. C. Demetrescu, eds., 1993, *Entropy and Bioeconomics*. Proceedings of the First International Conference of the European Association for Bioeconomic Studies, Roma 28-30 de noviembre de 1991, Milán: Nagard. Véase J. Grinevald, 1992, «La révolution bioéconomique de Nicholas Georgescu-Roegen. A propos de la première conférence internationale de bioéconomie à Rome les 28-30 novembre 1991», *Stratégies énergétiques, Biosphère et Société*, (Ginebra), octubre, pp. 23-34.

<sup>20</sup> G. Beccatini, 1973, «Introduzione» a N. Georgescu-Roegen, *Analisi economica e processo economico*, Florencia: Sansoni, p. vii.

<sup>21</sup> Nada se dice en *Science* o en *Nature*. Herman E. Daly, 1995, «On Nicholas Georgescu-Roegen's contributions to economics: an obituary essay», *Ecological Economics*, 13(3), pp. 149-154. Sylvana de Gleria, 1995, «Nicholas Georgescu-Roegen: a mind that thought above his time», *Economia Internazionale*, 48(3), pp. 317-346. Kozo Mayumi, 1995, «Nicholas Georgescu-Roegen (1906-1994): an admirable epistemologist», *Structural Change and Economic Dynamics*, 6, pp. 261-265. J. Grinevald, 1995a, «In memoriam Nicholas Georgescu-Roegen (1906-1994)», *Ecologie politique*, 13, pp. 149-150 (traducción en catalán en *Metode*, revista de difusión de la investigación de la Universidad de Valencia, 1995, 10, p. 3); 1995b, «Hommage à Nicholas Georgescu-Roegen (1906-1994)», *Stratégies énergétiques, Biosphère et Société*, pp. 77-79.

<sup>22</sup> François Meyer, 1954, *Problématique de l'évolution*, París: PUF; 1974, *La Surchauffe de la croissance: essai sur la dynamique de l'évolution*, París: Fayars, «Ecologie». Geoffrey M. Hodgson, 1993, *Economics and Evolution: Bringing Life Back Into Economics*, Cambridge: Polity Press.

cia —retomamos la expresión de otro gran disidente de la ciencia oficial de Occidente, el matemático Alexandre Grothendieck<sup>23</sup>.

Son muy contados los economistas galardonados con el «Nobel de Economía» que, como Paul A. Samuelson (el primer estadounidense en recibir el premio en 1970), por comedido que fuera el tono de su petición, hayan expresado el deseo de que el jurado de Estocolmo distinguiera a quien nos hizo patente que «the image of an hourglass is more appropriate for economics than that of an undamped pendulum»<sup>24</sup>. Con todo, el reputado manual de Samuelson, que marca la pauta en la enseñanza de esta disciplina, omite (en sus últimas ediciones) la entropía, la bioeconomía y hasta el nombre de Georgescu-Roegen.

No obedece pues al azar el hecho de que Georgescu-Roegen haya fallecido sin haber sido galardonado con el «Nobel de Economía» a diferencia de sus antiguos colegas. El único «Nobel» que enaltece una ciencia social no es tal Nobel en realidad, sino el «Nobel Memorial Prize in Economic Science» creado por el Banco de Suecia para festejar su tercer centenario en 1968. Lamentablemente, se asimila a los restantes premios del mismo nombre porque «se dispensa desde 1969 en idénticas condiciones de designación y reconocimiento de méritos que los demás premios»<sup>25</sup>.

Con mis modestos recursos he intentado difundir la noticia de la muerte de Georgescu-Roegen. Las reacciones han sido bastante tibias. Sus admiradores se entristecieron y se quedaron estupefactos ante el silencio de los periódicos. El economista Stefano Zamagni, uno de los más fervientes partidarios de Georgescu-Roegen entre sus amigos italianos<sup>26</sup>, me escribió: «¡qué escándalo!». Anthony M. Tang, coeditor en 1976 de una publicación importante en honor de Georgescu-Roegen<sup>27</sup>, me remitió, lo mismo que Otilia (la viuda), informaciones valiosas, entre éstas su propio panegírico y la necrológica en *The New York Times* que yo —igual que los demás, al parecer— había pasado por alto. Los Archivos Nicholas Georgescu-Roegen, en la Biblioteca de la Duke University, en Durham (Carolina del Norte,

<sup>23</sup> J. Grinevald et al., eds., 1984, *La Quadrature du CERN*, Lausana: Editions d'En Bas, pp. 148-149.

<sup>24</sup> Paul A. Samuelson, 1990, «Tribute to Nicholas Georgescu-Roegen on his 85th birthday», *Libertas mathematica*, 10, pp. 1-4 (Volumen monográfico dedicado a N. Georgescu-Roegen con ocasión de cumplir 85 años). Paul A. Samuelson, 1989, «Gibbs on Economics», en D. G. Caldi y G. D. Mostow, eds., *Proceedings of Gibbs Symposium*, American Mathematical Society, pp. 255-267, citado por Gabriel A. Lozada, 1995, «Georgescu-Roegen's defense of classical thermodynamics revisited», *Ecological Economics*, 14(1), pp. 31-44.

<sup>25</sup> Joseph Laroche, 1995, *Les Prix Nobel*, París: Presses Universitaires de France, p. 25.

<sup>26</sup> S. Zamagni, 1979, *Georgescu-Roegen: i fondamenti della teoria del consumatore*, Milán: Etas Libri, «Gli economisti»; 1982, «Introduzione», en N. Georgescu-Roegen, *Energia e miti economici*, Turín: Boringhieri; 1987, «Georgescu-Roegen, Nicholas (1906- )», en J. Eatwell et al., eds., *The New Palgrave: A Dictionary of Economics*, Londres: Macmillan, vol. 2, pp. 515-516.

<sup>27</sup> Anthony M. Tang, Fred M. Westfield, James S. Worley, eds., 1976, *Evolution, Welfare, and Time in Economics: Essays in Honor of Nicholas Georgescu-Roegen*, Lexington, Mass.: Lexington Books.

Estados Unidos), quizá permitirán a un investigador perspicaz esclarecer el asunto Georgescu-Roegen, de forma similar a como Pietro Redondi lo ha conseguido recientemente en el caso Galileo, que ya creíamos archivado.

Con ciertos escrúpulos presento pues a un autor que sus contemporáneos tienen dificultad en asimilar. Si el editor de la presente traducción española me ha honrado estimándome la persona idónea para este Prólogo, debo agradecerlo sinceramente. No obstante he de advertir al lector que mi introducción refleja un punto de vista estrictamente personal —el punto de vista de un filósofo, de un historiador del desarrollo científico y tecnológico de Occidente, cuyo único mérito o cuya única suerte, en cualquier caso, radica en haber conocido a Nicholas Georgescu-Roegen en el momento y en el lugar oportunos—.

Por lo demás, el nombre de Georgescu-Roegen no es desconocido en el ámbito universitario latino. Su notoriedad es grande en Italia y en América Latina. En España, cultivadores de la economía ecológica como Juan Martínez-Alier y José Manuel Naredo<sup>28</sup>, amén de otros profesores, han contribuido a difundir el nuevo paradigma de «La ley de la entropía y el problema económico»<sup>29</sup>, el breve texto de avanzada de 1970 que constituye el mejor resumen del argumento básico de *The Entropy Law and the Economic Process*.

Nicolae Georgescu (su nombre genuino) nació en los albores del siglo XX, el 4 de febrero de 1906 (¡el año en que se suicidó Boltzmann!) en el antiguo reino de Rumanía, en la pequeña ciudad cosmopolita de Constanza a orillas del mar Negro, «ese baluarte del Mediterráneo» (Helena Vacaresco). Por entonces Rumanía era el escenario de una revuelta generalizada de campesinos. El problema agrario, pese a unas tímidas reformas, nunca se resolvió. El crecimiento demográfico alimentaba siempre la «hambrión del campo». La agricultura representará una de las máximas preocupacio-

<sup>28</sup> Consulté en particular J. Martínez-Alier y J. M. Naredo, 1982, «A marxist precursor of energy economics: Podolinsky», *Journal of Peasant Studies*, 9(2), pp. 207-224. Juan Martínez-Alier y Klaus Schlüpmann, 1987, *Ecological Economics: Energy, Environment and Society*, Oxford: Basil Blackwell (2ª ed. 1990). [Traducción española, 1991: *La ecología y la economía*, México: Fondo de Cultura Económica]. Frank-Dominique Vivien, 1994, *Economie et écologie*, París: La Découverte.

<sup>29</sup> N. Georgescu-Roegen, 1978, «La ley de la entropía y el problema económico», *Ciencia y desarrollo* (México), 18, pp. 64-70 (cap. 3 en *Energy and Economic Myths*). Véase también Jorge Wagensberg, 1980, «Conversaciones con Nicholas Georgescu-Roegen», *Nosotros y la Ciencia*, Barcelona: Antoni Bosch, pp. 157-177. N. Georgescu-Roegen, 1971, *The Entropy Law and the Economic Problem*, Distinguished Lecture Series No 1, Delivered December 3, 1970, Department of Economics, The Graduate School of Business and Office for International Programs, University of Alabama, 16 p. Texto reeditado en la revista inglesa *The Ecologist* (Julio de 1972) y en varias antologías de temas medioambientales, especialmente en Herman E. Daly, ed., 1973, *Toward a steady-state economy*, San Francisco: Freeman, cuya 2ª edición, 1980, se titula *Economics, Ecology, Ethics*, San Francisco: Freeman [Traducción española, 1989: *Economía, ecología y ética. Ensayos hacia una economía en estado estacionario*, México: Fondo de Cultura Económica.], y cuya 3ª edición es Herman E. Daly y Kenneth N. Townsend, eds., 1993, *Valuing the Earth: Economics, Ecology, Ethics*, Cambridge, Mass.: MIT Press.

nes de Georgescu-Roegen, que a su manera conectará con Quesnay y Malthus. De origen familiar muy humilde, diríamos que pobre, Nicolae Georgescu se convertirá a la larga, una vez emigrado a los Estados Unidos, en el eminente profesor Nicholas Georgescu-Roegen, miembro de numerosas academias e instituciones científicas.

Por su cuna nada podía hacer presagiar que Georgescu (un apellido muy vulgar en Rumanía) fuera a labrarse un puesto en el mundo intelectual, en el universo de los economistas «con aspiraciones científicas», en palabras de su amigo y colega François Perroux (1903-1987); especialmente, de un modo mucho más extenso y duradero, en el nuevo mundo de la «conciencia ecológica», la conciencia de la especie *Homo sapiens faber*, inevidentemente confrontada a los límites planetarios de la Biosfera<sup>30</sup>.

El itinerario de Georgescu fue accidentado porque se inscribe en la historia dramática de la Europa del presente siglo. Los intelectuales rumanos de su generación que, como él, relumbrarán profesionalmente en Occidente, ofrecen el ejemplo de lo que Freud llamaba en 1929 *Das Unbehagen in der Kultur*, «el malestar en la cultura». Esta diáspora intelectual rumana, que se afincó tanto en París como en los Estados Unidos, ha troquelado profundamente la cultura occidental del siglo XX (de la era cristiana latina) con las críticas a sus mitos e ilusiones —así lo ha hecho, en un estilo singularmente iconoclasta, Emil Cioran (1911-1995), exiliado en París en 1937 y que expresa sin paliativos la «desgracia de ser rumano»—. Pero Georgescu-Roegen no cultivará las letras. En contraposición a Cioran nunca admirará a Lenin, ni a Hitler, ni a la «Guardia de hierro», los nazis rumanos. Como lo explicó personalmente en distintas ocasiones, Georgescu no pertenecía —ni perteneció nunca en realidad— a un medio social privilegiado como Mircea Eliade (1907-1986), su renombrado coetáneo. Eliade se hallaba en el extranjero durante la II Guerra Mundial y allí permanecería luego, en París primero y en Chicago después. Georgescu-Roegen, por su parte —no es un dato irrelevante en esta trágica historia del derrumbamiento de la Gran Rumanía—, resistió apoyando hasta el último momento a Juliu Maniu (1873-1951), el heroico jefe del Partido nacional campesino.

Mircea Eliade, reputado como historiador de las religiones —es menester leer *El Mito del eterno retorno* para captar mejor las resistencias culturales con que se acoge el descubrimiento inesperado de la entropía—, nos desvela la dimensión *religiosa* del mundo neolítico de las sociedades agrarias, «sin entropía» en expresión de Claude Lévi-Strauss en los años cincuenta. La insistencia de su compatriota Georgescu-Roegen sobre el aspecto antropomórfico, propiamente económico de *la ley de la entropía* (acerca de la

<sup>30</sup> W. Vernadsky, 1924, *La Géochimie*, París: Félix Alcan, p. 342; 1929, *La Biosphère*, París: Félix Alcan.

cual ha comentado que introduce *la historia* en la física) entraña una *significación cultural* que la obra de Mircea Eliade, o de C. Lévi-Strauss, nos ayudará a comprender. ¿No anota Paul Valéry «(Entropía) Antropía»? ¿No ha dejado escrito el antropólogo Claude Lévi-Strauss, en *Tristes tropiques*, el nombre de su disciplina «entropología»?

El padre de Georgescu-Roegen era oficial en el ejército rumano, capitán, como el padre de Eliade. Nuestro autor perdió a su irremplazable primer maestro cuando sólo tenía ocho años. La I Guerra Mundial hacía de la vida cotidiana una empresa ardua. La madre, institutriz en una familia más bien inculta, debía trabajar en duras condiciones, por lo que muy pronto Georgescu-Roegen se convertiría en su propio *pater familias*. Durante toda su vida será un trabajador infatigable y un gran lector. De una curiosidad y de una inteligencia excepcionales, acumulará un saber enciclopédico, digno de un hombre del Renacimiento. Su obra da fe de su talante interdisciplinar, de su carácter *transdisciplinar* (un concepto acuñado por Jean Piaget).

La vocación por las matemáticas de Georgescu despuntó muy precozmente, como suele ocurrir con el don para las mismas. Sus cualidades en este campo fueron rápidamente apreciadas y alentadas, de tal suerte que desde la edad de diez años una serie de becas estatales le posibilitaron la realización de unos estudios sólidos y dilatados. Al publicar artículos en la *Gazeta Matematica* agregó «-Roegen» a su apellido. Ingresó en el liceo militar Manastirea Dealu, el centro más prestigioso del país. Una vez obtenida la licenciatura en Matemáticas por la Universidad de Bucarest (1926), consiguió de nuevo una beca para desplazarse a París a fin de cursar el doctorado en Estadística por la Sorbona (1927-1930).

En la Facultad de Ciencias de París fue alumno de los grandes maestros de la escuela francesa del Cálculo de Probabilidades: Maurice Fréchet (1878-1973), Georges Damois (1888-1960) y, especialmente, de Emile Borel (1871-1956), el director del recién creado Instituto Henri Poincaré. Entre los brillantes físicos de entonces, expertos en termodinámica al mismo tiempo que creadores de la nueva microfísica, Louis de Broglie (1892-1987) era un gran escritor científico (como Poincaré y Borel): de sus enseñanzas extrajo Georgescu-Roegen un provecho del que bien poco se ha hablado. Nuestro estudiante rumano, un extranjero, un «meteco» en expresión de la época, asistió a otros muchos cursos complementarios; entre éstos, a cursos de economistas con formación en Estadística como Jacques Rueff (1896-1978) y Albert Aftalion (1874-1956). Lejos estaba nuestro autor de prever que estudiaría más tarde la carrera de Económicas. ¡Ya sabía que los ciclos económicos distan de ser cíclicos! La econometría era una disciplina incipiente, pero Georgescu-Roegen anhelaba convertirse en un profesor de matemáticas. También descubrió en París la obra científica y filosófica de Blaise Pascal (1623-1662), cuya afortunada distinción entre

*el espíritu geométrico y el espíritu de finura* le inspirará su particular dicotomía entre *pensamiento aritmomórfico* y *pensamiento dialéctico*.

Con veinticuatro años, el 27 de junio de 1930, Georgescu defiende en la Sorbona su tesis doctoral en Estadística, titulada: «El problema de la búsqueda de los componentes cíclicos de un fenómeno», de la que fue director Damois (quien había sustituido a Borel). El trabajo merece la calificación de «Sobresaliente cum laude». Borel envía una reseña a la Academia de Ciencias y la tesis se publica en el *Journal de la Société de Statistique de Paris* el 30 de octubre de 1930. Georgescu llegó a Francia como matemático y abandona el país como especialista en Estadística.

Georgescu perfiló después su formación científica en el University College de Londres, donde colabora dos años con el profesor Karl Pearson (1857-1936), el fundador de la estadística matemática moderna (su historia es hoy el centro de atención de una importante literatura crítica). Al lado del venerable Pearson, de quien no adopta, sin embargo, el eugenismo ni el «darwinismo social» de sus ideas socialistas, Georgescu se familiariza con los trabajos de *biometría* y de biología matemática entonces en boga. Se interesa por la genética de las poblaciones y por la teoría de la evolución, inseparable de la «revolución probabilística»<sup>31</sup>. Su formación en matemática aplicada corre paralela a «la edad de oro de la ecología teórica»<sup>32</sup>, un aspecto que aún no ha sido integrado en la historiografía de «la formalización matemática de lo real»<sup>33</sup>.

Con Pearson, de quien admira el libro de epistemología *The Grammar of Science*, Georgescu-Roegen estudia más a fondo la filosofía del conocimiento de Ernst Mach (1838-1916), el célebre autor vienés que critica las pretensiones metafísicas de la Mecánica newtoniana. Mach, prácticamente relegado por el siglo que estrenaba, escribía: «La opinión que convierte a la mecánica en el pilar fundamental de todas las restantes ramas de la física, en el ineludible modelo explicativo *mecánico* para todos los fenómenos físicos es, a nuestro entender, un pre-juicio. (...) La concepción mecánica de la Naturaleza la consideramos como una hipótesis muy comprensible desde la perspectiva histórica, justificable y quizá muy útil en una etapa dada, pero artificial en resumidas cuentas»<sup>34</sup>. Georgescu-Roegen, aun cuando haga sus matizaciones, reivindicará el legado de la filosofía de Mach (denos-

<sup>31</sup> Lorenz Krüger et al., eds., 1987, *The Probabilistic Revolution*, Cambridge, Mass.: MIT Press, 2 vols. Véase también Alain Desrosières, 1993, *La politique des grands nombres: histoire de la raison statistique*, París: La Découverte. Patrick Tort, ed., 1996, *Dictionnaire du darwinisme et de l'évolution*, París: Presses Universitaires de France, 3 vols. (en todos estos textos se omite citar a Georgescu-Roegen!).

<sup>32</sup> Francesco M. Scudo, 1984, «The 'golden age' of theoretical ecology: a conceptual appraisal», *Revue européenne des sciences sociales (Cahiers Vilfredo Pareto)*, 67, pp. 11-64.

<sup>33</sup> Giorgio Israel, 1996, *La mathématisation du réel*, París: Seuil.

<sup>34</sup> Ernst Mach, 1904, *La Mécanique. Exposé historique et critique de son développement*, traducción de Emile Bertrand, introducción de Emile Picard, París: Hermann, pp. 465-466 (reimpreso en 1987 en París: Editions Jacques Gabay).

tada por Lenin y los atomistas neomecanicistas). También denunciará la «mitología mecánica» de los economistas tan acertadamente etiquetados de neoclásicos<sup>35</sup>. La epistemología de Mach con su impronta darwinista y termodinámica (la energética), puntualizada por Pearson así como por Duhem<sup>36</sup>, deparará a Georgescu-Roegen las líneas maestras de la economía de pensamiento de la ciencia teórica y su valor adaptativo, utilitario, en la evolución humana. ¡Mach aseguraba haberse inspirado en determinados economistas! Tras los pasos de Max Planck (1858-1947), un sector de eminentes físicos teóricos se escandalizó ante esta mezcla entre la ciencia y la economía, rechazando la termodinámica (fenomenológica) por su antropomorfismo. Dicho prejuicio antropomórfico jugará un importante papel de contrapeso frente a Georgescu-Roegen y explica el silencio de los físicos a propósito de *The Entropy Law and the Economic Process*<sup>37</sup>.

Desde este período de entreguerras, tan fértil en novedades intelectuales en el ámbito de las ciencias y en el de las artes, Georgescu-Roegen se interesa sin desmayo por la lógica, la filosofía de las ciencias, la epistemología o la metodología. En esta época —es un dato al que se le presta escasa atención—, *el principio de Carnot*, el célebre segundo principio de la termodinámica —la *entropía*<sup>38</sup>, «ese concepto tan prodigiosamente abstracto» (Henri Poincaré)<sup>39</sup>—, se erige asimismo en tema central de intensas controversias, a veces encarnizadas, y que nunca han dejado de suscitarse desde Maxwell y Boltzmann. La «prodigiosa carrera del concepto de en-

<sup>35</sup> Con posterioridad a Georgescu-Roegen, algunos historiadores de las ciencias y de las ideas han analizado minuciosamente las relaciones entre la economía neoclásica y la física mecanicista clásica. Consúltese el controvertido libro de Philip Mirowski, 1989, *More Heat than Light: Economics as Social Physics, Physics as Nature's Economics*, Cambridge: Cambridge University Press. Este estudio de la metáfora mecanicista en la ciencia económica también se hizo al margen de los trabajos de Georgescu-Roegen; véase B. Ingrao y G. Israel, 1987, *La mano invisible. L'equilibrio economico nella storia della scienza*, Bari: Laterza (edición inglesa, 1990: *The Invisible Hand. Economic Equilibrium in the History of Science*, Cambridge, Mass.: MIT Press).

<sup>36</sup> El nombre del físico francés Pierre Duhem (1861-1916) se omite en los libros americanos de Georgescu-Roegen, pero aparece en otros textos. En 1977, en Estrasburgo, Georgescu-Roegen me comentó que había leído, «por supuesto», las principales obras de Duhem (pero no me concretó cuándo). Sobre «esta *economía intelectual* en la que M. E. Mach ve la finalidad, la guía de la Ciencia», véase P. Duhem, 1981, *La Théorie physique* (2.ª edición 1914), introducción de Paul Brouzeng, París: Vrin, pp. 27 y 54; y, 1992, *L'évolution de la mécanique*, París: Vrin (1.ª edición 1903).

<sup>37</sup> Phyllis Jenkin, 1975, *Structure and contradiction in scientific development: the case of Nicholas Georgescu-Roegen and the entropy law*, University of Manchester, Faculty of Science, Master of Science, sin publicar.

<sup>38</sup> La obra de Georgescu-Roegen abunda en referencias históricas. Véase también Bernard Brunhes, 1908, *La Dégradation de l'énergie*, París: Flammarion (reedición, 1991: «Champs»); Charles Brundage, 1930, *L'Entropie. Son rôle dans le développement historique de la thermodynamique*, París: Masson; Joseph Kestin, ed., 1976, *The Second Law of Thermodynamics*, Stroudsburg, Dowden: Hutchinson & Ross; P. W. Atkins, 1984, *The Second Law*, Scientific American, Nueva York: Freeman, 2.ª ed. 1994; e Ilya Prigogin e Isabelle Stengers, 1979, *La Nouvelle Alliance. Métamorphose de la science*, París: Gallimard, 2.ª ed. 1986.

<sup>39</sup> Henri Poincaré (1854-1912), 1902, *La Science et l'Hypothèse*, París: Flammarion; reedición, 1989: «Champs», p. 187.

tropía»<sup>40</sup> —«a very unwelcome concept into nineteenth-century science», según K.G. Denbigh<sup>41</sup>— recobrará actualidad, como sabemos, tras la II Guerra Mundial con el famoso teorema de John von Neumann de la irreversibilidad de la medida en mecánica cuántica, los ordenadores y la física del cálculo, la teoría matemática de la comunicación, la cibernética de Wiener, la teoría de la información de Brillouin<sup>42</sup>, los múltiples avatares del «demonio de Maxwell»<sup>43</sup>, sin que hagamos caso omiso de los grandes problemas de la cosmología y la biología teórica. Las ciencias sociales también importaron la noción de entropía<sup>44</sup> que, de puro abstracta, se hizo omnimoda, lo cual contribuyó a su resonancia antes que a su comprensión.

Como lo demuestra *The Entropy Law and the Economic Process*, así como otros muchos textos posteriores (y todavía desperdigados), Georgescu-Roegen era un excelente conocedor de los debates sobre la entropía (casi siempre muy técnicos, a veces con una fuerte carga ideológica). Lo subyugaba «la paradoja de la irreversibilidad» desde que leyó el tratado de Mecánica estadística de Borel<sup>45</sup>. No deja de aludir a *The Nature of the Physical World* de Arthur Eddington (1882-1911), publicado en 1928, que introducía la expresión del «vector temporal» en las discusiones sobre la ley del incremento de la entropía. El acierto de esta metáfora fue enorme. Excepción hecha de Georgescu-Roegen, los teóricos del desarrollo económico y de la revolución industrial han soslayado curiosamente este gran debate *interdisciplinar* que subvierte todas las concepciones clásicas de la Naturaleza<sup>46</sup>. *The Entropy Law and the Economic Process* resulta, a tales efectos, tan extraordinario (en la acepción literal del término) que aún permanece am-

<sup>40</sup> Paul Chambadal, 1963, *Evolution et application du concept d'entropie*, París: Dunod, p. 198.

<sup>41</sup> K. G. Denbigh, 1975, *An Inventive Universe*, Londres: Hutchinson, p. 60.

<sup>42</sup> Léon Brillouin (1889-1969), 1959a, *La Science et la théorie de l'information*, París: Masson; 1959b, *Vie, Matière et Observation*, París: Albin Michel; 1964, *Scientific Uncertainty, and Information*, Nueva York. L. Brillouin impartía clase en París, en el Institut Henri Poincaré, a finales de los años veinte.

<sup>43</sup> Véase Harvey S. Leff y Andrew F. Rex, 1990, «Resource letter MD-1: Maxwell's demon», *American Journal of Physics*, 58(3), pp. 201-209; y su libro, de 1990, *Maxwell's Demon: Entropy, Information, Computing*, Bristol: Adam Hilger. (Ambos físicos aparentemente desconocen a Georgescu-Roegen).

<sup>44</sup> J. Grinevald, 1973, «Réflexions sur l'entropie», *Réseaux*, 20-21, pp. 71-82.

<sup>45</sup> Emile Borel, 1925, *Mécanique statistique classique*, París: Gauthier-Villars, cap. III, epígrafe «Paradoxe de l'irréversibilité», pp. 59-61. Para una perspectiva histórica, véase Lawrence Sklar, 1993, *Physics and Chance: philosophical issues in the foundations of statistical mechanics*, Cambridge: Cambridge University Press; y una valoración conjunta de los debates: G. J. Whitrow, 1961, *The Natural Philosophy of Time*, Oxford: Clarendon Press, 2.ª ed. 1980. (Dos libros que también ignoran a Georgescu-Roegen).

<sup>46</sup> Véase Benjamin Gal-Or, 1982, *Cosmology, Physics, and Philosophy*, Nueva York: Springer (en las pp. 465-466 comenta *The Entropy Law and the Economic Process*). Sobre los desarrollos recientes, que ponen el énfasis en la evolución biológica —con Prigogin—, véase Bruce H. Weber, David J. Depew y James D. Smith, eds., 1988, *Entropy, Information, and Evolution: New Perspectives on Physical and Biological Evolution*, Cambridge, Mass.: MIT Press (tampoco se cita a Georgescu-Roegen).

pliamente ignorado por la literatura que se ocupa del gran misterio de la dirección, del sentido del Tiempo<sup>47</sup>.

*L'Évolution créatrice* (1907) de Henri Bergson (1859-1941), galardonado con el Premio Nobel de Literatura en 1927, marca el inicio de una «nueva filosofía» según el matemático Edouard Le Roy (1870-1954) y ha condicionado la formación del pensamiento de Georgescu-Roegen y de Prigogin. El filósofo francés, que reflexionó detenidamente sobre la conmovión que originó la invención de la *máquina de vapor* y la generalización en su uso, opinaba que la ley de la entropía, extraída por Rudolf Clausius (1822-1888) de la obra –tantos años en la sombra– de Sadi Carnot, era «la más metafísica de las leyes de la física, en cuanto nos señala con el índice (...) la dirección en la que avanza el mundo». Para Georgescu-Roegen, esta ley fundamental de *la entropía creciente* (como la llamaba Planck) se convertirá en *la más económica* de las leyes físicas, *la ley de evolución* por antonomasia, inseparable además del sentido en que transcurre el tiempo psicológico.

Entre la filosofía de Bergson<sup>48</sup> y la bioeconomía de Georgescu-Roegen se aprecian profundas afinidades (también divergencias; el tema invita a un estudio detallado), de entre las cuales destaca la noción inmaterial del «placer de vivir» (*enjoyment of life*), que resume el aspecto propiamente humano (espiritual) del valor económico, el auténtico producto del proceso económico contemplado como la búsqueda, por otros medios (exosomáticos), del proceso biológico. La entropía (termodinámica) es su dimensión física (material), inseparable de nuestra condición humana incardinada en la historia de la Tierra dentro del cosmos.

Al igual que el estadístico y biomatemático Alfred J. Lotka (1880-1949), uno de los principales inspiradores del paradigma bioeconómico de Georgescu-Roegen<sup>49</sup>, Bergson, el antimecanicista por definición, coetáneo de la famosa disputa entre Boltzmann y Ostwald, se situaba en la encrucijada de esta nueva visión termodinámica del mundo, increíblemente inaugurada en 1824 por el joven politécnico Sadi Carnot (1796-1832), el hijo del general Lazare Carnot: podemos y debemos llamarla *la revolución carnotiana*. Se trata de una ruptura muy reciente en la historia natural del hombre, así como en la historia humana de la Naturaleza. Ha llegado ya el

<sup>47</sup> La síntesis bien documentada de Peter Coveney y Roger Highfield, 1990, *The Arrow of Time: The Quest to Solve Science's Greatest Mystery* (con prólogo de Ilya Prigogin, Londres: W. H. Allen) pasa por alto a Georgescu-Roegen. El importante informe de *The Entropy Law and the Economic Process*, firmado por Kenneth Boulding en *Science*, el 10 de marzo de 1972 (vol. 175, pp. 1.099-1.100) se titulaba no obstante: «Search for time's arrow». Boulding apostillaba lo siguiente: «if, however, the right 500 people were to read it, science perhaps would never be quite the same again».

<sup>48</sup> «El problema de esta filosofía se despeja con la luz de la entropía», escribía Albert Thibaudet, 1924, *Bergsonisme*, París: Gallimard, t. I, p. 201.

<sup>49</sup> J. Grinevald, 1990, «Vernadsky y Lotka como fuentes de la bioeconomía de Georgescu-Roegen», *Ecología Política*, I, pp. 99-122. Esta investigación requiere ser ampliada.

momento de asumir este hecho y de cerrar un nuevo «contrato natural» (Michel Serres).

Significativamente, mi primer encuentro con el profesor Georgescu-Roegen en la Universidad de Ginebra y en la Politécnica de París se produjo en junio de 1974, con motivo del CL aniversario de la publicación -incomprendida en su momento- de las *Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance* de Sadi Carnot, nuestro héroe común, un físico que era también ingeniero y economista<sup>50</sup>. La entropía era sin duda un buen hilo de Ariadna<sup>51</sup>. ¡Georgescu-Roegen me dió el apelativo de «hermano carnotiano»! Rubricó con entusiasmo mi expresión «revolución carnotiana»<sup>52</sup>, obviada por la literatura anglosajona (incluso después de Kuhn), pues de hecho traducía la *revolución* muy explícitamente indicada por *The Entropy Law and the Economic Process*. El filósofo e historiador de las ciencias Michel Serres ya había escrito también unas páginas admirables sobre la termodinámica de Carnot y la revolución industrial. En fechas algo posteriores descubrí que las páginas fundamentales de Georgescu-Roegen sobre esta revolución de la física, la revolución de Carnot, estaban ya en la Introducción de su libro *Analytical Economics*, cuyo prólogo se remonta a 1964.

Fue en los Estados Unidos, mediados los años treinta, cuando Georgescu-Roegen penetró de forma bastante azarosa en el mundo académico de los economistas. Sus relaciones de amistad con Paul A. Samuelson y

<sup>50</sup> *Sadi Carnot et l'essor de la thermodynamique* (Ecole Polytechnique, París, 11-13 de junio de 1974), París: Editions du CNRS, 1976. Las aportaciones de N. Georgescu-Roegen y J. Grinevald se encuentran en la parte «Thermodynamique et Economie». La edición crítica de las *Réflexions sur la puissance motrice du feu* de Sadi Carnot ha sido publicada por Robert Fox, 1978 (París: Vrin). José Manuel Naredo me indicó (en 1983) que existía una traducción española a cargo de J. Cabrera: Sadi Carnot, 1927, *Reflexiones sobre la potencia motriz del fuego y sobre las máquinas aptas para desarrollar esta potencia*, Madrid: La Lectura, «Cuadernos de Ciencia y Cultura».

<sup>51</sup> Cuando yo estaba terminando mi memoria sobre *La notion d'entropie dans la pensée contemporaine* (Université de Besançon, Faculté des lettres et des sciences humaines, 1973), el profesor Josef-Maria Jauch (1914-1974), jefe del Departamento de Física Teórica de mi alma mater, en Ginebra, me prestó *The Entropy Law and the Economic Process*. Esta obra tan impresionante se adecuaba hasta tal punto a mis preocupaciones epistemológicas que asistí a la conferencia que el profesor Georgescu-Roegen pronunció en el Departamento de Econometría de la Universidad de Ginebra el 6 de junio de 1974. Véase J. Grinevald, 1974, «L'économiste Georgescu-Roegen: intégrer l'économie dans la problématique énergétique et écologique», *Uni information*. Service de presse et d'information de l'Université de Genève, junio-julio, 36, pp. 28-29.

<sup>52</sup> N. Georgescu-Roegen, 1977, «Matter matters, too», en K. D. Wilson, ed., *Prospect for Growth: Changing Expectations for the Future*, Nueva York: Praeger, pp. 293-313; 1978, «De la science économique à la bioéconomie», *Revue d'économie politique*, 88(2), pp. 337-382; 1982, «La dégradation entropique et la destinée prométhéenne de la technologie humaine» *Entropie*, número extraordinario «Thermodynamique et sciences de l'homme», pp. 76-86 (y *Economie appliquée*, 1982, 35, pp. 1-26). J. Grinevald, 1976, «La révolution carnotienne: thermodynamique, économie et idéologie», *Revue européenne des sciences sociales (Cahiers Vilfredo Pareto)*, 36, pp. 39-79; 1982, «La thermodynamique, la révolution industrielle et la révolution carnotienne», *Entropie*, número extraordinario «Thermodynamique et sciences de l'homme», pp. 21-28.



Wassily Leontief se encuadran en esta época memorable. La irrupción fulgurante de Georgescu-Roegen en la literatura económica (sus artículos de 1935-36 se reproducen en *Analytical Economics*) era el fruto de su primera estancia en los Estados Unidos en calidad de «visiting fellow» de la Rockefeller Foundation (1934-36). Sus brillantes aportaciones a la ciencia económica del momento nacían de su encuentro con el gran Joseph Schumpeter (1883-1950), el Jefe del Departamento de Economía de Harvard (también oriundo de Europa Central). Schumpeter precisaba de un matemático para su libro sobre los *Business Cycles* (1939). Por otra parte, venía de publicarse la versión inglesa de su obra *The Theory of Economic Development* (1934), que influyó de forma determinante en Georgescu-Roegen y condicionó su «visión» de la evolución económica. Tal encuentro en Harvard dió lugar a una mutación prometedor, pero a punto estuvo de ser catastrófica. Georgescu-Roegen había acudido a Harvard para trabajar como estadístico; partió de allí convertido en economista. Schumpeter llegó a proponerle que permaneciera en Harvard para colaborar con él. Si no hubiera desestimado esta oferta, quizá se hablaría de él (así lo recoge en sus propios escritos) como «Georgescu-Roegen de Harvard»<sup>53</sup>. ¡Quién sabe si no le habrían otorgado el «Nobel de Economía»! Pero su país –tal fue su respuesta– tenía una necesidad más perentoria de un economista que el correspondiente departamento de Harvard.

De regreso en Rumanía, Georgescu-Roegen volvió a su puesto de profesor de estadística (1932-1946) en la Escuela de Estadística de la Universidad de Bucarest, cuyo director era Octav Onicescu<sup>54</sup>. También desempeñaba distintos cargos de responsabilidad en la Administración pública y un papel activo en la vida intelectual, social y económica. La aplicación de la teoría económica neoclásica a la realidad campesina en Rumanía equivalió a una auténtica hecatombe personal. Georgescu-Roegen descubrió de golpe que su creencia cuasi-religiosa en la racionalidad de la ciencia económica del Occidente capitalista sólo tenía un alcance cultural (institucional) limitado y ningún alcance universal. Dicho modelo científico «racional» no se adaptaba a las instituciones de las comunidades campesinas rumanas<sup>55</sup>. Este fracaso del modelo neoclásico supondrá una fuerte impronta en el ánimo de Georgescu-Roegen: el desplome de la «ciencia normal» originará

<sup>53</sup> N. Georgescu-Roegen, 1992, «Nicholas Georgescu-Roegen about himself», en Michael Szenberg, ed., *Eminent Economists: Their Life Philosophies*, Cambridge: Cambridge University Press, pp. 128-159, cita de la página 132. [Traducción española, 1994: *Grandes economistas de hoy*, Madrid: Ed. Debate, pp. 149-186].

<sup>54</sup> Véase la contribución de N. Georgescu-Roegen, 1983, «An epistemological analysis of statistics: the science of collective description and of rational guessings», en M. C. Demetrescu y M. Iosifescu, eds., *Studies in Probability and Related Topics: papers in Honour of Octav Onicescu on His 90th Birthday*, Milán: Nagard, pp. 221-259.

<sup>55</sup> Véase N. Georgescu-Roegen, (1965) «The institutional aspects of peasant communities: an analytical view», en, 1976, *Energy and Economic Myths*, Nueva York: Pergamon Press, cap. 8.

la reconstrucción de una nueva «ciencia revolucionaria» (en terminología de Kuhn), aunque al cabo de varios años de investigación, como la consecuencia de un esfuerzo intelectual considerable y de un *desarraigo* que será, a la vez, geográfico, lingüístico, cultural y epistemológico.

En el estudio de 1960 que lleva por título «*Economic Theory and agrarian economics*» y que fue objeto de múltiples reediciones, Georgescu-Roegen explica que los economistas, prácticamente lo mismo que todos los científicos de la civilización moderna, son gentes de ciudad, con una ignorancia supina respecto del campo. Un poblado de campesinos dista de ser un lugar apropiado para una actividad científica, pero desde una ciudad, a la inversa, tampoco cabe la posibilidad de observar la vida de una comunidad agraria. Entre el mundo industrial y el mundo agrícola se produce una *discontinuidad cultural* que no se queda en una curiosidad etnográfica o literaria. Semejante discontinuidad –frecuentemente señalada, pero apenas explicada– se debe, como matiza Georgescu-Roegen en una frase muy ilustrativa, a «the fact that the living Nature imposes a different type of restriction upon homo agricola than the inert matter upon homo faber»<sup>56</sup>.

En una carta suya del 26 de diciembre de 1975, Georgescu-Roegen me comentaba que hasta no haber leído en los años cincuenta, en los Estados Unidos, *What is Life?*, el conocido opúsculo (1944) del físico y filósofo austriaco Erwin Schrödinger (1887-1961) –la resonancia de esta obra no se ha diluido desde entonces–, no se decidió a utilizar la Ley de la Entropía para evidenciar el fundamento biofísico de la distinción entre el proceso de producción agraria y el proceso de producción industrial<sup>57</sup>.

El desasosiego intelectual al que solía referirse Georgescu cuando me rememoraba su vida –antes de comenzar a redactar sus memorias<sup>58</sup>– duraría una docena de años: años sombríos, convulsos, marcados por la agitación política, las dictaduras, las «purgas», la guerra, los procesos y las ejecuciones. Para Georgescu y su mujer Otilia (la compañera matemática con quien se casó en 1934) concluyeron una noche memorable de febrero de 1948, en que abandonaron su patria, la «sagrada geografía» en expresión

<sup>56</sup> N. Georgescu-Roegen, 1960, «Economic theory and agrarian economics», *Oxford Economic Papers*, 12, pp. 1-40; vuelto a publicar con puntualizaciones en 1966 en *Analytical Economics*, y en 1976 en *Energy and Economic Myths*. [Traducción española, 1968: «Teoría económica y economía agraria», *El Trimestre Económico*, 34, pp. 589-638.]

<sup>57</sup> N. Georgescu-Roegen, 1969, «Process in farming versus process in manufacturing: a problem of balanced development», en Ugo Papi y Charles Nunn, eds., *Economic Problems of Agriculture in Industrial Societies* (Actas de una Conferencia de la International Economic Association, Roma, Septiembre de 1965), Londres: Macmillan; Nueva York: St. Martin's Press, pp. 497-528 (reed. en *Energy and Economic Myths*).

<sup>58</sup> N. Georgescu-Roegen, «An emigrant from a developing country: autobiographical notes - I and II», *Banca Nazionale del Lavoro Quarterly Review*, 1988, 164, pp. 3-31; 1993, 184, pp. 3-20. Philip Arestis y Malcolm Sawyer, eds., 1992, *A biographical Dictionary of Dissenting Economists*, Aldershot: Edward Elgar, pp. 179-187.

de Eliade. Juliu Maniu, el postrero defensor del pueblo rumano, de quien Georgescu-Roegen era uno de los consejeros, había sido detenido y condenado a cadena perpetua. El rey Miguel había abdicado el último día del año 1947. Todo se había derrumbado. Los comunistas controlaban el país entero, convertido en una cárcel. Los rumanos que podían se escapaban, pero a costa de un riesgo dramático, porque pasaban a ser criminales. Georgescu-Roegen se hallaba bajo el peligro inminente de ser arrestado. Con su mujer Otilia, consiguió embarcar clandestinamente en Constanza, a bordo de un navío turco que ponía rumbo a Estambul.

Emigrar a los Estados Unidos era la única salida para Georgescu-Roegen, reo ante los comunistas por ser a la vez un amigo de los americanos, un miembro del Consejo central del partido nacional campesino, un consejero de Maniu y el defensor de los derechos de Rumanía en su calidad de Secretario General de la Comisión de Armisticio (1944-45).

Si, en la tradición de Thorstein Veblen (1857-1929), se convertirá en un disidente de la civilización capitalista estadounidense, conviene recordar que Georgescu-Roegen jamás fue un marxista, ni un «radical» (en el sentido político del término en los Estados Unidos). Su oposición al comunismo fue tan frontal como la de sus grandes coetáneos Karl Popper (1902-1994) y Friedrich von Hayek (1899-1992) —deberíamos dedicar un estudio comparado a este tema<sup>59</sup>—. En el clima de la «guerra fría», Georgescu-Roegen se había decantado claramente por un bando: él y su esposa abrazarán la «ciudadanía americana» en 1954. Pero ello no implica que Georgescu-Roegen profesara las mismas ideas que Popper o Hayek a todos los efectos. Al defender el «mundo libre», su evolución será distinta. Gracias sobre todo a Wassily Leontief (también nacido en 1906 y también exiliado) consiguió Georgescu-Roegen hallar refugio en los Estados Unidos. La emigración de los científicos europeos (incluyendo a los rusos) había comenzado a producirse mucho antes de la II Guerra Mundial, desde que se vislumbró en Europa la amenaza totalitaria, tanto comunista como fascista. En Princeton, en 1935, Georgescu-Roegen coincidió con Albert Einstein. La referencia al más renombrado físico de nuestro siglo sirve como exponente para resumir esta emigración al Nuevo Mundo de la ciencia europea. Resulta difícil comprender la evolución del pensamiento occidental del siglo XX sin meditar sobre las trágicas vicisitudes del «Espíritu europeo». Nos corresponde aún evaluar qué posición ocupa en este panorama Georgescu-Roegen.

Después de un curso académico prolífico en Harvard (1948-49), Georgescu-Roegen aceptó un puesto de profesor de economía en la Uni-

<sup>59</sup> Véase Ivo Rens, 1992, «Le néo-libéralisme, panacée ou imposture? Reflexions en marge du décès de Friedrich von Hayek», *Stratégies énergétiques, Biosphère et Société*, pp. 35-42. En su «autobiografía» (1974), Karl Popper rememora sus posiciones críticas sobre «el vector temporal» y la interpretación probabilista de la entropía. Merecerían una comparación con las de Georgescu-Roegen.

versidad Vanderbilt, en Nashville (Tennessee). Allí desplegó una dilatada y brillante carrera desde finales de 1949 hasta la fecha de su jubilación en 1976, año en el que protagonizó las celebraciones del centenario de la Universidad Vanderbilt<sup>60</sup>. Su trayectoria académica estuvo jalonada de frecuentes invitaciones para impartir cursos en el extranjero (Japón, Brasil, Argentina, la India, Ghana, Italia, Canadá, Austria, Francia). Como especialista en temas agrarios y como gran conocedor de las escuelas históricas e institucionales del pensamiento económico, sociólogo a la vez que economista, está incluido entre los pioneros de «la economía del desarrollo», aunque no comparte las ilusiones de la ideología de la industrialización. Podemos clasificar sin reservas *La Ley de la Entropía y el Proceso Económico* en la categoría de «la economía del desarrollo» (pero también es clasificable por otros conceptos). Curiosamente, Georgescu-Roegen nunca aparece citado (hasta donde yo sé) en los más recientes estudios críticos de la literatura económica dedicada, desde 1950, al desarrollo. Con todo, su nombre no es el de un desconocido en el mundo académico. Escaló todos los peldaños de la jerarquía universitaria y se hizo acreedor de cuantos honores le cabía esperar por su profesión, con excepción del «Premio Nobel». El caso de Georgescu-Roegen está realmente sembrado de contradicciones.

Entre las contribuciones de Georgescu-Roegen a la ciencia económica de posguerra —una época caracterizada por el auge de la investigación operativa y la formalización matemática—, merecen recordarse sus aportaciones en la conferencia de la célebre Cowles Commission for Research in Economics sobre la «programación lineal», en Chicago, en 1949. El contenido de la misma fue editado bajo la dirección de Tjalling C. Koopmans (1910-1985)<sup>61</sup>; estos estudios muy técnicos, relacionados con los trabajos de W. Leontief y del genial matemático John von Neumann (1903-1957), dan fe de la continuidad de los esfuerzos de Georgescu-Roegen en el campo de «la representación analítica del proceso y de la economía de la producción» (véase el capítulo IX del presente libro)<sup>62</sup>.

La reputación científica le llegó a Georgescu-Roegen a partir de sus trabajos de economía matemática y de econometría (fue «Associate Director» de la revista *Econometrica* entre 1951 y 1968). Con fama de comple-

<sup>60</sup> Jean Crawford, 1976, «A prophet with honors», *Vanderbilt Alumnus*, 61(2), pp. 12-14, 40-41.

<sup>61</sup> T. C. Koopmans, en colaboración con Armen Alchian, George B. Dantzig, Nicholas Georgescu-Roegen, Paul A. Samuelson, Albert W. Tucker, eds., 1951, *Activity Analysis of Production and Allocation*, Actas de una Conferencia, Nueva York: John Wiley & Sons, Inc., Londres: Chapman & Hall. Sobre la Cowles Commission, véase Mary S. Morgan, 1990, *The History of Econometric Ideas*, Cambridge: Cambridge University Press, pp. 198-226.

<sup>62</sup> Véase N. Georgescu-Roegen, 1976, *Energy and Economic Myths*, Nueva York: Pergamon; 1986, «Man and production», en Mauro Baranzini y Roberto Scazzieri, eds., *Foundations of Economics*, Oxford, Blackwell, pp. 247-280; y 1990, «Production process and dynamic economics», en Mauro Baranzini y Roberto Scazzieri, eds., *The Economic Theory of Structure and Change*, Cambridge: Cambridge University Press, pp. 198-226.

jos, estos trabajos se inscriben en el marco de las preocupaciones de los economistas. Si Georgescu-Roegen tensaba con frecuencia dicho marco (el paradigma), todavía no lo rompía. Si siempre se comportó como un economista heterodoxo<sup>63</sup>, no había llegado a convertirse en un auténtico disidente, pese a su postura más bien divergente respecto de la ideología de la industrialización. Por otra parte, en lo que atañe a Alexander V. Tchaynov (1888-1939), el gran maestro de los economistas rusos en cuestiones agrarias y una de las innumerables víctimas del régimen de Stalin, Georgescu-Roegen procedió a reevaluar su figura mucho antes de que fuera rehabilitado oficialmente en la URSS en 1987. Lo erigió así en uno de los maestros del renacimiento del populismo agrario.

La tesis de que el problema ecológico es un problema entrópico fue abriéndose paso en el curso de los años cincuenta y sesenta. El matemático Norbert Wiener (1894-1964), impelido por algunas preocupaciones afines a las de los ecologistas profesionales (como Fairfield Osborn, William Vogt o G. E. Hutchinson en 1948), había vuelto a suscitar el arduo debate sobre el progreso y la entropía<sup>64</sup>. Lamentablemente, Wiener deslizó en este debate una definición matemática de la información que, sobre la marcha, adoptaron los protagonistas de la revolución cibernética (considerada como la nueva era informática de la sociedad post-industrial), haciéndola físicamente equivalente a una «entropía negativa» o a una «negentropía», en expresión del brillante físico Léon Brillouin (1889-1969), contra quien Georgescu-Roegen dirigió sus críticas. El modelo de esta nueva «física del cálculo»<sup>65</sup>, relegada la «máquina de Carnot», es la «máquina de Turing». Esta disciplina, que tanto debe a John von Neumann, arrasa desde la posguerra hasta tal extremo que las réplicas de Georgescu-Roegen (que no están únicamente contenidas en *The Entropy Law and the Economic Process*, sino también en varios artículos monográficos<sup>66</sup>), son de rabiosa actualidad. Es lamentable que sobre ellas se mantenga el olvido.

*The Entropy Law and the Economic Process*, a tenor de lo que indica su autor en el Prólogo a la obra, desarrolla unas ideas ya publicadas en la Introducción que se titula «Some Orientation Issues in Economics» y que

<sup>63</sup> Véase Mark A. Lutz y Kenneth Lux, 1979, *The Challenge of Humanistic Economics*, Menlo Park: Benjamin/Cummings; y Stefano Zamagni, 1979, *Georgescu-Roegen: i fondamenti della teoria del consumatore*, Milán: Etas Libri.

<sup>64</sup> J. Grinevald, 1978, «Le progrès et l'entropie», en *Le Progrès en question* (Actas del IX coloquio de la AISLF, Menton, 12.17 de mayo de 1975), París: Anthropos, vol. I, pp. 89-129.

<sup>65</sup> Jérôme Ramunni, 1989, *La physique du calcul. Histoire de l'ordinateur*, París: Hachette, «Histoire et philosophie des sciences». Véase también Steve Josua Heims, 1991, *Constructing a Social Science for Postwar America: The Cybernetics Group, 1946-1953*, Cambridge, Mass.: MIT Press; y Jean-Pierre Dupuy, 1994, *Aux origines des sciences cognitives*, París: La Découverte.

<sup>66</sup> Véase su última crítica con relación a un texto de Robert Ayres: «Thermodynamics, economics, and information», en M. Alonso, ed., 1990, *Organization and Change in Complex Systems*, Nueva York: Parangon House, pp. 225-234.

constituye la primera parte de *Analytical Economics: Issues and Problems*, que Harvard University Press publicó en 1966. Este primer gran libro americano de Georgescu-Roegen compila una serie de estudios especializados que vieron la luz entre 1935 y 1960. Dicha obra, desconocida fuera del ámbito de la economía matemática, incluye un prólogo muy elogioso que firma Paul A. Samuelson. A propósito del ensayo filosófico que abarca la primera parte de *Analytical Economics*, Samuelson comentaba: «I defy any informed economist to remain complacent after meditating over this essay». Tal observación se aplica también a *The Entropy Law and the Economic Process*.

Los términos literales en que Georgescu-Roegen destacaba, dentro de su prólogo (con fecha de 1964) de *Analytical Economics*, el carácter específico de su «aventura» intelectual merecen ser recordados aquí: «To remedy in part the absence of any connecting bridge between theoretical physics and economics in modern philosophical literature, I had to venture into a large territory beyond the boundary of economics, a territory for which I possess no adequate knowledge. Nevertheless, I felt that the risk was worth taking. The adventure probably marks a beginning, and a beginning ought to be made by somebody».

No es hiperbólico sostener que *The Entropy Law and the Economic Process* de Nicholas Georgescu-Roegen (1971) representa un hito simbólico análogo a *De Revolutionibus orbium caelestium*, de Nicolás Copérnico (1543) o *El Origen de las especies*, de Charles Darwin (1859). Georgescu-Roegen ha situado además su investigación científica en la referida genealogía de Copérnico y Darwin, enaltecida por la presencia de Freud<sup>67</sup>. Vinculado con el descubrimiento de las implicaciones económicas de la Ley de la Entropía, el nombre de Georgescu-Roegen evoca sin duda una «humillación», una herida narcisista al orgullo humano (especialmente, ¡de los economistas!), así como para el antropocentrismo de la tradición judeocristina occidental de la ciencia y la tecnología modernas<sup>68</sup>. Nos resta sopesar el legado de Georgescu-Roegen, que se inscribe en el legado —tampoco reconocido aún en su totalidad— de Carnot y de Darwin. La «revolución bioeconómica» de Georgescu-Roegen, actualmente inapreciada (como la mayoría de las revoluciones científicas), tendrá que vencer muchos obstáculos antes de triunfar, si es que la civilización occidental no se desploma antes de la victoria póstuma de Georgescu-Roegen.

<sup>67</sup> N. Georgescu-Roegen, 1975, «Bio-economic aspects of entropy», en Libor Kubat y Jiri Zeman, eds., *Entropy and information in Science and Philosophy*, Praga: Academia, y Amsterdam: Elsevier, pp. 125-142.

<sup>68</sup> Véase Lynn White, jr. (1907-1987), 1967, «The historical roots of our ecologic crisis», *Science*, 133, pp. 1.203-1.207. [Traducción española, 1975: «Las raíces históricas de nuestra crisis ecológica», *Revista de Occidente*, 143-4, pp. 150-164.] De este famoso texto arranca un debate que aún está por concluir.



Retrospectivamente, el año 1971 se nos perfila como un *annus mirabilis* en la historia intelectual de la era industrial, esta era termo-industrial de la «historia humana de la Naturaleza», cuyo carácter histórico excepcional, dados los límites de la era de los combustibles fósiles, resaltaron algunos geólogos o geoquímicos estadounidenses como M. King Hubbert (1903-1989), Peston Cloud (1912-1991), Harrison Brown (1917-1986) y Earl F. Cook (1920-1983)<sup>69</sup>. El pensamiento de Georgescu-Roegen, después de la publicación de su libro en 1971, quedó estrechamente relacionado con las reflexiones a largo plazo de los expertos en las ciencias de la Tierra. En esta perspectiva poco usual de las realidades ecológicas evidenciadas por la geoquímica, a partir de la II Guerra Mundial, es donde hay que valorar la posición de Georgescu-Roegen respecto de la entropía de la materia utilizable.

En 1971 coincidieron significativamente en su fecha de publicación varias obras notables, gracias a las cuales volvía a recobrar actualidad la Termodinámica como paradigma científico de la civilización industrial: *Environmental Power and Society*, de Howard T. Odum; *Fundamentals of Ecology* (3.ª y última edición), de Eugene P. Odum; *The Closing Circle: Nature, Technology and Man*, de Barry Commoner; *From Watt to Clausius: the rise of thermodynamics in the early industrial age*, de Donald S.L. Cardwell; sin omitir, en lo que concierne a la evolución conceptual de la teoría propiamente dicha, *Thermodynamics of Structure, Stability and Fluctuations*, de Paul Glandsdorff e Ilya Prigogine.

Esta inflexión de los años sesenta-setenta (es más fácil apreciarlo de forma retrospectiva) acusa la impronta del redescubrimiento del concepto de la Biosfera de Vernadsky<sup>70</sup>, que está asociado con el paradigma termodinámico y biogeoquímico de la nueva visión global del sistema Tierra. En las relaciones científicas y políticas internacionales emergen a la vez preocupaciones sobre las transformaciones del medio ambiente global. Una literatura importante, especialmente anglosajona, refleja este auge de la conciencia ecológica planetaria. En 1972, la conferencia de Naciones Unidas sobre el medio ambiente humano marcaba el auténtico punto de partida para el debate internacional que alcanzará su cenit en la «Cumbre de la Tierra» de Río de Janeiro (junio de 1992). Con todo, el establishment internacional (con los economistas en primera línea) ha ignorado las tesis de Georgescu-Roegen. No obstante, el propio autor se encontraba en

<sup>69</sup> N. Georgescu-Roegen, 1981, «Energy, matter and economic valuation: where do we stand?», en Herman E. Daly y Alvaro Umaña, eds., *Energy, Economics and the Environment* (reunión de la AAAS, San Francisco, 5 de enero de 1980), Boulder, Co.: Westview Press, pp. 43-79. Véase Earl F. Cook, 1976, *Man, energy, society*, San Francisco: Freeman, que incluye una excelente bibliografía.

<sup>70</sup> «The Biosphere», *Scientific American*, edición monográfica, Septiembre de 1970. [Traducción española, 1972: *La Biosfera*, Madrid: Alianza Editorial]. Nicholas Polunin y Jacques Grinevald, 1988, «Vernadsky and Biospherical Ecology», *Environmental Conservation*, 15(2), pp. 117-122.

Estocolmo en 1972: participaba activamente en el Foro organizado por la asociación pacifista transnacional Dai-Dong<sup>71</sup>. Al igual que otros muchos defensores del medio ambiente, de la nueva visión ecológica del mundo, se hallaba también presente en el Foro Edward Goldsmith: en su revista *The Ecologist*, publicó las ideas de N. Georgescu-Roegen junto con las de H. E. Daly.

Así, la publicación de *The Entropy Law and the Economic Process* se solapa cronológicamente con el debate sobre la ecología y la crisis medioambiental. Paradójicamente, este debate coadyuvó a sofocar la originalidad del pensamiento de Georgescu-Roegen tanto como la posición dogmática de la ciencia dominante. Georgescu-Roegen no fue comprendido; un rosario de malentendidos desvirtuaron sus ideas, precisamente cuando latía la polémica en torno al célebre «Informe Meadows», *The Limits to Growth*, divulgado con gran resonancia por el Club de Roma en la primavera de 1972. Con motivo de la guerra árabe-israelí de Octubre de 1973, «la crisis del petróleo» prendió en los ánimos y configuró un clima ideológico propicio al redescubrimiento de la ciencia de la energía, la Termodinámica, que acaparaba la atención de los ecologistas. Por doquier se hablaba de los principios de la Termodinámica en unos términos de confusión característicos de las modas, que la potencia de los mass-media amplificaba. En tal contexto se suscitó a nivel internacional el antiguo debate sobre «el efecto invernadero»<sup>72</sup>.

Por un breve lapso de tiempo, la crisis energética de 1973-74 encumbró las tesis de Georgescu-Roegen hasta el primer plano de la actualidad política en Washington<sup>73</sup>. Ahora bien, el contexto favorecía ante todo la moda del energetismo, una vieja doctrina defendida, a principios de siglo, por el gran físico-químico alemán Wilhelm Ostwald (1853-1932) y por otros muchos nombres ilustres. Se reavivó la conocida polémica entre termodinámicos-energetistas y atomistas-mecanicistas, que se creía definitivamente zanjada<sup>74</sup>. Dicho contexto afectó profundamente la forma en que se

<sup>71</sup> Véase Tom Artin, 1973, *Earth Talk. Independent Voices on the Environment*, Nueva York: Grossman. A instancias de la asociación Dai Dong, N. Georgescu-Roegen redactó, en 1974, en colaboración con K. Boulding y H. Daly, un manifiesto firmado por más de 200 economistas críticos: «Toward a human economics», *American Economic Review*, 64(2), pp. 449-450; publicado de nuevo en Hugh Nash, ed., 1977, *Progress as if Survival Mattered*, San Francisco: Friends of the Earth, pp. 182-183.

<sup>72</sup> J. Grinevald, 1992, «De Carnot a Gaia: historia del efecto invernadero», *Mundo Científico*, 126, pp. 626-631.

<sup>73</sup> N. Georgescu-Roegen, 1976, «Economics and mankind's ecological problem», en *U.S. Economic Growth from 1976 to 1986: Prospects, Problems, and Patterns*, vol. 7, «The Limits to Growth», Joint Economic Committee, Congress of the United States, Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office, pp. 62-91. Véase también *Business Week*, 8 de junio de 1974 y 24 de marzo de 1975.

<sup>74</sup> Véase Erwin N. Hiebert, 1971, «The energetics controversy and the new thermodynamics», en D. H. D. Roller, ed., *Perspectives in the History of Science and Technology*, Norman: University of Oklahoma, pp. 67-86. Peter Clark, 1976, «Atomism versus thermodynamics», en Colin Howson, ed., *Method and appraisal in the physical sciences*, Cambridge: Cambridge University Press, pp. 41-105.

acogió *The Entropy Law and the Economic Process*, pues su enfoque se asimiló, por lo general, con la posición energética defendida por la mayoría de los ecologistas. Este paradigma que surgió de la revolución termodinámica del siglo pasado no había quedado además totalmente orillado. Lo habían retomado algunos antropólogos, como Leslie White (1900-1975) y su discípulo Richard Newbold Adams. Subyacía desde los inicios optimistas de la nueva era nuclear. Había cobrado nuevo realce en el climax del auge de la geoquímica isotópica, de la cibernética y de la teoría de la información, gracias a los ecologistas americanos que desarrollaban el análisis energético y biogeoquímico de los ecosistemas<sup>75</sup>.

Incluso el título, *The Entropy Law and the Economic Process*, reforzó el hecho de que se asimilara la posición de Georgescu-Roegen con el paradigma energético divulgado por el ecologista Howard T. Odum y sus seguidores. Debido a todo ello, este nuevo reduccionismo energético desvirtuó la difusión de la tesis fundamental de Georgescu-Roegen, que entrañaba una crítica de la filosofía de las ciencias básicamente polarizada en la física en detrimento de la química, la química física, la geoquímica y la geología, esto es, la materia, que no hay que confundir con la masa<sup>76</sup>. Georgescu-Roegen, que se había esforzado por escribir un largo tratado para hacer explícita su interpretación de las relaciones entre el espíritu humano, el proceso económico, la fisiología, la evolución y la Ley de la Entropía, quedó muy conmovido. Reaccionó con un increíble arrebató de energía intelectual y moral. Al sentirse incomprendido no sólo por sus adversarios, sino también por muchos de sus primeros discípulos, retomó la palabra y la pluma para clarificar y precisar su interpretación heterodoxa de la Ley de la Entropía y su significado para el proceso bioeconómico; es decir, la evolución «exosomática» de la especie humana. Georgescu-Roegen desarrolló entonces una crítica vigorosa de lo que consideraba como un nuevo dogma energético, avatar moderno del energetismo de comienzos del siglo que había denunciado el gran Ludwig Boltzmann antes de suicidarse a orillas del Adriático el 5 de septiembre de 1906. La réplica de Georgescu-Roegen daría con una fórmula impactante: «matter matters,

<sup>75</sup> Para evaluar la originalidad del pensamiento de Georgescu-Roegen respecto de la ecología sistémica y energética americana, remitimos a los trabajos histórico-críticos de Peter J. Taylor, 1988, «Technocratic optimism, H. T. Odum, and the partial transformation of ecological metaphor after World War II», *Journal of the History of Biology*, 21, pp. 213-244; Kwa Chung Lin, 1989, *Mimicking Nature: The Development of Systems Ecology in the United States, 1950-1975*, Universiteit van Amsterdam; Peter J. Taylor y Ann S. Blum, 1991, «Ecosystems as circuits: diagrams and the limits of physical analogies», *Biology and Philosophy*, 6, pp. 275-294; Joel B. Hagen, 1992, *An Entangled Bank: The Origins of Ecosystem Ecology*, New Brunswick: Rutgers University Press; y Frank Benjamin Golley, 1993, *A History of the Ecosystem Concept in Ecology*, New Haven: Yale University Press.

<sup>76</sup> N. Georgescu-Roegen, «1980, Matter: a resource ignored by thermodynamics», en L. E. St-Pierre y G. R. Brown, eds., *Future Source of Organic Raw Materials*, Oxford: Pergamon Press, pp. 79-87.

too», la materia también cuenta<sup>77</sup>, que atrajo mayoritariamente a geoquímicos y geólogos. En tal contexto polémico fue donde Georgescu-Roegen elaboró<sup>78</sup> —al hilo de una serie de estudios que todavía están desperdigados y que apenas se conocen— su «cuarta ley de la termodinámica», que estipula que, «en todo sistema cerrado, la materia utilizable se degrada irrevocablemente en materia no utilizable». En otras palabras, «el movimiento perpetuo de tercera especie es imposible». Esta generalización de la Ley de la Entropía a la «materia utilizable», implícita en *The Entropy Law and the Economic Process*, no supone una revisión de su tesis inicial, ni una novedad conceptual sin base anterior, sino una aclaración y una puntualización de primer orden, tanto al nivel teórico como al nivel práctico de las políticas de «desarrollo sostenible».

*The Entropy Law and the Economic Process* no constituye únicamente una crítica fundamental de los cimientos científicos de esta *economía política* de la Europa moderna, que se ha erigido en ciencia matemática a partir del modelo fiscalista de la mecánica racional, a imagen de la Mecánica celeste que dejó en la sombra al genio de Sadi Carnot; también, y por encima de cualquier otra consideración, representa una nueva visión de la ciencia, de nuestras relaciones con la Naturaleza, precisamente bajo el foco de la Ley de la Entropía que nació del calor de los motores de la revolución industrial. Ludwig Boltzmann llamó a su siglo el «siglo de Darwin». Como señala Georgescu-Roegen, fue en una conferencia de Boltzmann, en 1886, donde surgió la idea de la relación entre la ley de la entropía creciente y los fenómenos de la vida, desarrollada por Schrödinger en los años cuarenta. Sobre este tema, es crucial la posición de Georgescu-Roegen. Pese a que nunca lo cita por desgracia, la literatura reciente le otorga la razón<sup>79</sup>. La cuestión de la entropía y de la evolución, simbolizada por los nombres de Carnot y de Darwin, que no cabe contraponer ya más, se sigue discutiendo sin embargo todavía.

Con ocasión de la conferencia «Economía y Ecología» de Barcelona en 1987, propuse que se considere a Georgescu-Roegen como el padre de esta

<sup>77</sup> N. Georgescu-Roegen, 1977, «Matter matters, too», en Kenneth D. Wilson, ed., *Prospects for Growth: Changing Expectations for the Future*, Nueva York: Praeger, pp. 293-313; 1979a, «Myths about energy and matter», *Growth and Change*, 10(1), pp. 16-23; 1986, «The entropy law and the economic process in retrospect», *Eastern Economic Journal*, 12(1), pp. 3-33. Véase también N. Georgescu-Roegen, 1979b, «Energy analysis and economic valuation», *Southern Economic Journal*, 45(4), pp. 1.023-1.058 (versión italiana corregida en N. Georgescu-Roegen, 1982, *Energia e miti economici*, Turín: Boringhieri, cap. 2).

<sup>78</sup> La primera formulación se encuentra en N. Georgescu-Roegen, 1976, *A Different Economic Perspective*, Symposium «Solar Energy: an interdisciplinary societal opportunity», Asamblea Anual de la AAAS, 21 de febrero, sin publicar; véase también N. Georgescu-Roegen, 1977, «The steady state and ecological salvation: a thermodynamic analysis», *BioScience*, 27, pp. 266-270.

<sup>79</sup> Véase en particular, R. E. Ulanowicz y B. M. Hannon, 1987, «Life and the production of entropy», *Proceedings of the Royal Society of London*, B 232, pp. 181-192.

nueva «revolución científica» preconizada para la teoría económica (en la más absoluta ignorancia de la obra de Georgescu-Roegen) por el gran geofísico J. Tuzo Wilson (1908-1993), a su vez el padre, tras haber leído a Thomas Kuhn, del concepto de «revolución wegeneriana» en el campo de las ciencias de la Tierra<sup>80</sup>. Más allá de la revolución wegeneriana, las ciencias de la Tierra aún tienen pendiente el reconocimiento de la «revolución vernadskiana», la visión planetaria de la Biosfera, reavivada por la célebre «hipótesis Gaia» de James Lovelock y Lynn Margulis. Sin embargo, ya es patente que la actualidad científica en la que se sitúa Georgescu-Roegen deja expedita la vía para esta reconciliación tan apremiante de las ciencias de la Tierra, de las ciencias de la Vida y de las ciencias del Hombre. La ciencia económica no puede constituir una excepción; debe quedar vinculada a este nuevo Renacimiento. El genio de N. Georgescu-Roegen estriba en haber abierto la vía para una articulación distinta entre la revolución carnotiana y la revolución darwiniana y en haber subrayado las inmensas implicaciones prácticas en orden a la supervivencia a largo plazo de la especie humana en este mundo finito representado por la Biosfera; esto es, por el planeta Tierra, el único planeta vivo y «consciente» del sistema solar (y quizá, aunque no estemos en condiciones de afirmarlo, del cosmos).

Un nombre no equivale a un concepto, pero lo inscribe materialmente en la cultura y permite que se difunda. El término *bioeconomía* (que por desgracia circula con otras acepciones) aún no se verbaliza en *The Entropy of Law and the Economic Process*. Georgescu-Roegen no lo maneja hasta mediados de los años setenta. Aparece utilizado con un realce especial en su tercer gran libro, *Energy and Economic Myths: Institutional and Economic Essays* (Nueva York, Pergamon, 1976), que reproduce el título de un artículo suyo conocido y muy polémico<sup>81</sup>. Desde 1976, Georgescu-Roegen trabajaba sobre un nuevo libro cuyo título debía ser *Bioeconomics*. En los comienzos de los años ochenta, Princeton University Press se mostraba muy interesada en publicar este libro de Georgescu-Roegen para contrarrestar el exagerado optimismo del texto del economista Julian Simon, *The Ultimate Resource* (Princeton University Press, 1981). El manuscrito de *Bioeconomics* quedó inconcluso; es deseable que se convierta en el menor plazo posible en un libro póstumo como *History of Economic Analysis* de Schumpeter.

Jacques Grinevald  
 Universidad de Ginebra  
 Febrero de 1996

<sup>80</sup> J. Tuzo Wilson, 1977, «Overdue: another scientific revolution», *Nature*, 20 de enero, 265, pp. 196-197, citado en J. Grinevald, 1990, «Vernadsky y Lotka como fuentes de la bioeconomía de Georgescu-Roegen», *Ecología Política*, 1, pp. 99-122.

<sup>81</sup> N. Georgescu-Roegen, 1971, «Energy and economic myths», *Southern Economic Journal*, 41, pp. 347-381 (publicado de nuevo en *The Ecologist* en 1974-75); cap. I en *Energy and Economic Myths*. [Traducción española, 1975: «Energía y mitos económicos», *El Trimestre Económico*, 42, pp. 779-836.]

## PREFACIO

La Ley de la Entropía sigue estando rodeada por muchas dificultades conceptuales y por controversias igualmente numerosas. Pero no es ésta la razón por la que la mayor parte de los científicos de la Naturaleza se mostrará de acuerdo en que ocupa una posición excepcional entre todas las leyes de la materia. Sir Arthur Eddington llegó a mantener incluso que la posición es «suprema». Lo verdaderamente importante es que el descubrimiento de la Ley de la Entropía trajo consigo el desmoronamiento del dogma mecanicista de la física clásica, que sostenía que todo lo que sucede en cualquier campo fenomenológico está compuesto exclusivamente de locomoción y que, por tanto, no existe cambio irrevocable alguno en la Naturaleza. Debido precisamente a que esta ley proclama la existencia de un cambio semejante, es por lo que mucho tiempo antes algunos estudiosos se habían percatado ya de su íntima relación con los fenómenos característicos de las estructuras vivas. A estas alturas, nadie podría negar que la economía de los procesos biológicos está regida por la Ley de la Entropía, no por las leyes de la mecánica.

La idea de que también el proceso económico ha de estar íntimamente ligado a la Ley de la Entropía es el origen de la investigación que constituye el objeto de este libro. El examen de numerosos aspectos de esta relación me ha conducido —y conducirá al lector— a muchos campos situados más allá de los límites de la economía. Por este motivo, consideré que la tarea de introducir el tema de este libro debía dejarse a un capítulo especial.

Llegado aquí, debo decir que, a causa precisamente del especial carácter del tema, la elaboración de este libro ha confirmado una antigua idea mía, que prácticamente todas las obras a las que habitualmente calificamos de propias presentan únicamente unos pocos logros originales añadidos en la cima de una montaña de conocimientos recibidos de otros. La revisión de las galeradas ha representado una ocasión única para darme cuenta de la inmensidad de la deuda que tengo con mis maestros y del gran número de éstos. Esa revisión me ha inducido a aprovechar esta oportunidad para expresarles mi gratitud dedicándoles este volumen.

Muchos de mis maestros no verán su nombre grabado en el panteón de los grandes hombres, a pesar de que muchos no serán por ello menos

venerados. Los primeros en esta categoría (y en mi corazón) son mis padres: mi padre, que me enseñó a leer, a escribir y a calcular y que plantó en mi la semilla de la curiosidad intelectual, y mi madre, que, con su ejemplo vivo, me enseñó el valor del trabajo. Gheorghe Rădulescu, mi maestro de enseñanza primaria en una pequeña ciudad de la vieja Rumanía, fomentó con gran habilidad mis primeras inclinaciones matemáticas enseñándonos cómo solucionar los «difíciles» problemas que, como aprendí más tarde, se resuelven normalmente a través del álgebra. Entre la larga lista de maestros estimuladores y abnegados que tuve en el Liceo Mănăstirea Dealu, debo mencionar a Grigore Zapan y a Gh. I. Dumitrescu, quienes con enorme amor por su profesión guiaron mis primeros pasos en las matemáticas superiores. Creo que a nivel universitario mi buena suerte estuvo también por encima de la media. Estudié con especialistas cuyos nombres ocupan actualmente un lugar de honor en la historia de la ciencia: Traian Lalescu, Octav Onicescu y G. Țițeica (en Bucarest), Albert Aftalion, Émile Borel, Georges Darmois y Maurice Fréchet (en París) y E. B. Wilson (en EE.UU.). Sin embargo, dos de mis maestros ejercieron la más decisiva influencia sobre mi orientación científica: Karl Pearson, el hombre de extenso saber que sin ayuda de nadie sentó las bases de la ciencia de la estadística, y Joseph A. Schumpeter, cuya visión excepcional del proceso económico combinó armoniosamente el análisis evolutivo cuantitativo con el cualitativo.

No es necesario decir que tengo que considerar también como mis maestros a aquellos de los que aprendí de otra forma, principalmente a través de sus escritos. Al igual que todos, aprendí igualmente mucho de mis colegas profesionales (muchas cosas incluso de mis discípulos). Entre todos ellos, que forman legión, no puedo dejar de señalar particularmente a dos de mis compañeros economistas (y econométricos): Wassily W. Leontief y Paul A. Samuelson.

El lector no precisa insinuación alguna para comprender que un libro de este carácter no puede escribirse como un proyecto de investigación con un calendario definido. Las ideas contenidas en él se fraguaron en mi mente a lo largo de muchos años (tantos como veinte, creo) y en circunstancias muy diversas: a veces mientras dictaba mis clases, a veces mientras trabajaba en el jardín. Varias de esas ideas han aparecido ya en letra impresa, la mayor parte en el estudio introductorio de mi *Analytical Economics*.

A lo largo de todos esos años, la Vanderbilt University me ha dado aliento y me ha proporcionado todo tipo de facilidades para el trabajo, muchas de las cuales se enmarcaron en el Graduate Program in Economic Development. Por todo ello, me encuentro en deuda de modo especial y diverso con mis colegas George W. Stocking, Rendigs Fels, Anthony M. Tang y James S. Worley. Una beca de investigación de la National Science Foundation me ha permitido dedicar la mitad de mi tiempo de docencia

durante año y medio a dar a esta obra su forma actual. Durante esta última fase, estuve ayudado por los señores Aly Alp Ercelawn e Ibrahim Eriş.

Estoy igualmente agradecido a Harvard University Press por haber considerado que merecía la pena ampliar y completar en el presente volumen el estudio introductorio de mi *Analytical Economics*.

Mi agradecimiento final es para mi esposa, que ha sido lector paciente y atento, crítico comprensivo pero constructivo e infatigable corrector de pruebas, y que en el hogar me ha proporcionado una atmósfera propicia para el estudio y el trabajo.

Nicholas Georgescu-Roegen  
Vanderbilt University  
Julio de 1970

NOTA: En las notas a pie de página, *AE* remite a mi *Analytical Economics: Issues and Problems*, publicada por Harvard University Press en 1966.

## INTRODUCCIÓN

Ninguna otra ciencia sino la economía ha sido criticada por sus propios servidores de forma tan abierta y tan incesante. Los motivos de insatisfacción son numerosos, pero el más importante de ellos tiene que ver con la ficción del *homo oeconomicus*. El principal motivo de queja es que tal ficción despoja a la conducta humana de toda propensión cultural, lo que equivale a decir que, en su vida económica, el hombre actúa mecánicamente. Esta es la razón por la que se califica habitualmente esa deficiencia de perspectiva mecanicista de la economía moderna. La crítica es irrefutable, pero el pecado mecanicista de la ciencia económica es mucho más profundo de lo que esa crítica insinúa, ya que el defecto sigue estando presente incluso aunque únicamente se contemple el proceso económico desde un punto de vista puramente físico. La realidad es que, en la medida en que actualmente se manifiesta, la economía es mecanicista en el mismo sentido estricto en que por lo general creemos que solamente lo es la mecánica clásica.

En este sentido, la mecánica clásica es mecanicista, porque no puede tener en cuenta la existencia de cambios cualitativos en la Naturaleza de carácter permanente, ni aceptar tal existencia como hecho independiente en sí mismo. La mecánica entiende únicamente de la locomoción, y ésta es reversible y no cualitativa. El mismo impedimento se introdujo en la economía moderna por parte de sus fundadores, quienes, según el testimonio de Jevons y Walras, no tenían otra aspiración sino la de crear una ciencia económica de acuerdo con el modelo exacto de la mecánica. Otra prueba aún más elocuente del enorme entusiasmo por la mecánica que reinaba entre los primitivos constructores de la economía la proporcionó Irving Fisher, quien se tomó la molestia de erigir un sistema muy complicado nada más que para demostrar el carácter esencialmente mecánico del comportamiento del consumidor<sup>1</sup>.

Esos primitivos constructores tuvieron tanto éxito con su magno plan que la idea del proceso económico como analogía mecánica ha venido desde entonces dominando por completo el pensamiento económico. De

---

<sup>1</sup> Irving Fisher, *Mathematical Investigations in the Theory of Value and Prices* (New Haven, 1925), pp. 38 y s. y *passim*. La obra se publicó originalmente en 1892.

acuerdo con este esquema, el proceso económico no produce cambio cualitativo alguno ni se ve afectado por el cambio cualitativo del entorno en que se encuentra anclado. Tal como lo describen los manuales más elementales, es un proceso aislado, independiente y ahistórico, un flujo circular entre producción y consumo, sin entradas ni salidas. Los economistas hablan a veces de recursos naturales; ahora bien, la realidad sigue siendo que, como quiera que se mire, en ninguno de los numerosos modelos económicos existentes hay una variable que represente la perpetua contribución de la Naturaleza. El contacto que algunos de esos modelos tienen con el entorno natural viene limitado a la tierra ricardiana, definida de forma expresa como factor inmune a todo cambio cualitativo; podríamos muy bien hacer referencia a ella simplemente como «espacio». Ahora bien, nadie debe engañarse sobre la extensión del pecado mecanicista: los esquemas marxianos de la reproducción económica ni siquiera incluyen esa incolora coordenada. Así pues, utilizando un eslogan tópico para describir mordazmente la situación, puede decirse que las dos corrientes principales del pensamiento económico contemplan el proceso económico en relación con la Naturaleza como un negocio «sin aportaciones ni rendimiento».

La fascinante facilidad con la que los economistas neoclásicos dejaron a los recursos naturales fuera de su propia representación del proceso económico puede que no sea extraña al dogma marxiano de que todo lo que nos ofrece la Naturaleza es gratuito. Una explicación más verosímil de ese caso y en especial de la ausencia de todo intento apreciable de superar la omisión es que la analogía «ni aportaciones, ni rendimiento» beneficia a la perspectiva de la vida económica que tiene el hombre de negocios, y ello porque, si solamente se contempla el dinero, lo único que puede verse es que éste va precisamente de una mano a otra: excepto en caso de un accidente lamentable, nunca sale del proceso económico. Por otro lado, posiblemente la ausencia de toda dificultad en la obtención de materias primas por parte de aquellos países en los que creció y floreció la economía moderna fue otra razón para que los economistas hayan seguido estando ciegos ante ese decisivo factor económico. Tampoco las guerras desencadenadas por las mismas naciones para asegurarse el control de los recursos naturales del mundo hicieron despertar a los economistas de su sueño<sup>2</sup>.

En resumen, la masiva adhesión de casi todos y cada uno de los economistas de los últimos cien años al dogma mecanicista sigue siendo un enigma histórico. Evidentemente, es cierto que físicos, matemáticos y filósofos

<sup>2</sup> Como colofón a todos los fascinantes hechos de esta historia, hay que decir que, no más de seis años antes de que Jevons publicase sus precursoras *Lectures*, había escrito un análisis altamente interesante de las consecuencias que tendría para Gran Bretaña un rápido agotamiento de sus reservas carboníferas. *The Coal Question*, editada por A. W. Flux (3.ª edición, Londres, 1906), publicada originalmente en 1865, fue la principal obra económica de W. Stanley Jevons.

fueron unánimes al cantar las glorias de la mecánica como el máximo triunfo de la razón humana. Ahora bien, en la época en que Walras y Jevons empezaron a erigir las claves de la economía moderna, una espectacular revolución de la física había provocado ya la ruina del dogma mecanicista tanto en las ciencias de la Naturaleza como en la filosofía. Y el hecho curioso es que ninguno de los arquitectos de «la mecánica de la utilidad y del egoísmo» y tampoco ninguno de los constructores de su modelo más moderno parece haber sido en algún momento consciente de esa ruina. De otro modo, no podría entenderse por qué se aferraron al sistema mecanicista con el fervor con que lo hicieron. Todavía no hace mucho, incluso un economista del refinamiento filosófico de Frank H. Knight calificaba a la mecánica de «ciencia hermana» de la economía<sup>3</sup>.

La revolución es una situación muy recurrente en la física. La revolución que nos interesa aquí se inició cuando los físicos reconocieron el hecho elemental de que el calor se mueve siempre por sí mismo sólo en una única dirección, desde el cuerpo más caliente hacia el más frío, lo que llevó a reconocer la existencia de fenómenos que no pueden reducirse a la locomoción ni explicarse, por tanto, por la mecánica. De este modo, apareció una nueva rama de la física, la termodinámica, y una nueva ley, la Ley de la Entropía, ocupó su lugar junto a —en lugar de frente a— las leyes de la mecánica newtoniana.

Ahora bien, desde el punto de vista de la ciencia económica, la importancia de esta revolución supera al hecho de que acabó con la supremacía de la epistemología mecanicista en la física. El hecho significativo para el economista consiste en que la nueva ciencia de la termodinámica comenzó como física del valor económico y, en esencia, puede seguir contemplándose en ese sentido. La Ley de la Entropía por sí misma aparece como la de carácter más económico entre todas las leyes de la Naturaleza. Es desde la perspectiva de estos desarrollos de la principal ciencia de la materia donde se exterioriza por completo el carácter fundamentalmente no mecanicista del proceso económico. Como ya he puesto de relieve en el ensayo introductorio a mi obra *Analytical Economics*, sólo un análisis de la íntima relación existente entre la Ley de la Entropía y el proceso económico puede hacer surgir a la superficie los aspectos categóricamente cualitativos para los que no tiene cabida la analogía mecánica de la economía moderna. El objeto de aquel ensayo —examinar esa relación con el propósito de llenar una notable laguna de la disciplina económica— se va a continuar persiguiendo en el presente volumen, con mayor detalle y en direcciones más variadas.

<sup>3</sup> Frank H. Knight, *The Ethics of Competition* (Nueva York, 1935), p. 85.



El hecho de que en todo aspecto del comportamiento humano se encuentre involucrada una ley de la Naturaleza es tan habitual que no deberíamos esperar que el estudio de la influencia de la Ley de la Entropía sobre las actuaciones económicas humanas presentase complicaciones inusuales. A pesar de ello, aparecen múltiples caminos casi en el mismo momento en que se empieza a abordar el problema. Además, esos caminos llevan más allá de los límites no sólo de la economía sino hasta de las ciencias sociales, y si, no obstante, se hace el esfuerzo de explorarlos aun de modo superficial, se descubre que incluso en algunas áreas de las ciencias de la Naturaleza surgen problemas que por regla general se consideran específicos de la economía (o de las ciencias sociales). Cualquier investigador encontraría difícil cerrar los ojos ante un panorama tan excitante y seguir actuando imperturbablemente en su forma habitual.

No puede dejar de decirse que emprender un proyecto de semejantes características exige aventurarse en territorios distintos del propio, en campos en los que no se está capacitado para hablar. En esta situación, lo más que se puede hacer es exponer las obras de las autoridades consagradas de cada campo ajeno y, en consideración al lector, no suprimir ninguna referencia a las fuentes (a pesar del actual hábito bibliográfico de reducir al mínimo el número de notas al pie o incluso de suprimirlas por completo). Incluso así, se corren riesgos apreciables, pero decididamente merece la pena emprender el proyecto. Se demuestra que la relación existente entre el proceso económico y la Ley de la Entropía constituye solamente un aspecto de un hecho de carácter más general, que esa ley es la base de la *economía* de la vida a todos los niveles. A partir del mismo análisis, han de aprenderse algunas lecciones epistemológicas, todas ellas convergentes hacia una conclusión general que debería interesar a todo científico y filósofo y no sólo al estudioso de los fenómenos vitales (como lo es el economista). Esa conclusión es que en la realidad únicamente la locomoción es no categórica y ahistórica: todo lo demás es Cambio en el más amplio sentido de la palabra.

Para algunos, la expresión «entropía» puede parecer esotérica. Es posible que lo fuera alguna vez, pero en la actualidad se está haciendo cada vez más popular en un campo tras otro. Lo que nos tendría que preocupar ahora al enfrentarnos con el término es el hecho de que su significado varía de forma considerable, a veces incluso dentro del mismo terreno intelectual. Solamente en el *Webster's Collegiate Dictionary* se encuentran cuatro entradas distintas bajo la voz «entropía». Esta situación refleja en parte la sumamente insólita historia de la Ley de la Entropía, historia continuamente interrumpida por famosas controversias, algunas de las cuales no han finalizado aún. A la vista de la confusión que se ha ido acumulando en varios campos, puede que hacer un examen previo que contraste los prin-

cipales significados de «entropía» sea útil incluso para el lector ya familiarizado con algunos de ellos.

Está, en primer lugar, la acepción con la que el físico alemán Rudolf Clausius introdujo la «entropía» hace ya más de cien años, acepción que se basa en un sólido cimiento de hechos físicos. Todas las restantes acepciones constituyen una categoría aparte que se sitúa frente a aquella. Estas acepciones se relacionan de modo puramente formal con una sencilla fórmula algebraica que constituye el manto bajo el cual la «entropía» se ha hecho familiar a un número creciente de científicos sociales. Muy recientemente, la expresión —con semejante significado formal— se ha introducido en el espacio visual de los economistas a través de una invitación a incluir en su instrumental una «teoría de la información» especial<sup>4</sup>.

Generalmente se considera que el concepto físico es bastante complejo. Si aceptamos lo que afirman algunos especialistas, ni siquiera todos los físicos poseen una comprensión totalmente clara de lo que ese concepto significa exactamente. Sus detalles técnicos son, en efecto, abrumadores, e incluso una definición de un diccionario basta para echar por tierra la curiosidad intelectual: «una medida de la energía no disponible en un sistema termodinámico cerrado relacionada de tal modo con el estado del sistema que un cambio en la medida varía con el cambio en la relación existente entre el incremento de calor admitido y la temperatura absoluta a la que ese calor se absorbe»<sup>5</sup>. Todo lo anterior no altera el hecho de que el carácter de la mayor parte de los fenómenos termodinámicos es tan simple que los legos en la materia pueden comprender sin gran dificultad el concepto de entropía en sus líneas generales.

Tomemos el caso de una anticuada locomotora en la que el calor de la combustión del carbón fluye a la caldera y de ésta a la atmósfera. Un resultado evidente de este proceso es un trabajo mecánico: el tren se ha desplazado de una estación a otra. Ahora bien, el proceso lleva también consigo otros cambios innegables; por de pronto, el carbón se ha transformado en cenizas. Con todo, algo es cierto: no se ha alterado la cantidad total de materia y energía. Esto es lo que dispone la Ley de la Conservación de la Materia y la Energía, que es la Primera Ley de la Termodinámica y que, debe subrayarse, *no* se encuentra en contradicción con ninguna de las leyes de la mecánica. La conclusión únicamente puede ser que el cambio experimentado por la materia y la energía debe ser un cambio *cualitativo*.

Al principio, la energía química del carbón es *libre*, en el sentido de que está *disponible* para producir cierto trabajo mecánico. Sin embargo, en el proceso la energía libre pierde poco a poco esa cualidad. Finalmente,

<sup>4</sup> H. Theil ha dedicado un volumen completo de su obra a exponer esa idea concreta. Véase su *Economics and Information Theory* (Chicago, 1967).

<sup>5</sup> *Webster's Seventh New Collegiate Dictionary*.

siempre se degrada por completo en el conjunto del sistema cuando se convierte en energía disipada, es decir, energía que no podemos emplear ya para el mismo propósito. Evidentemente, el cuadro completo es más complejo y de hecho el mérito de introducir la entropía como nueva variable del sistema reside precisamente en la simplificación y unificación analíticas logradas de ese modo. Incluso así, los otros conceptos, más intuitivos, de energía libre y dependiente nunca han perdido su claro significado, pues, desde una perspectiva que sigue siendo amplia, la entropía es un índice de la cantidad relativa de energía dependiente existente en una estructura aislada o, más exactamente, de cuán equitativamente se distribuye la energía en semejante estructura. En otras palabras, una entropía *alta* implica una estructura en la que la mayor parte de toda su energía es dependiente, y una entropía *baja* una estructura en la que es cierto lo contrario.

La realidad habitual de que el calor fluye siempre por sí mismo desde el cuerpo más caliente hacia el más frío, y nunca al contrario, se generalizó por la Ley de la Entropía, que es la Segunda Ley de la Termodinámica y que se encuentra en contradicción con los principios de la mecánica clásica. Su enumeración completa es increíblemente sencilla; todo lo que dice es que la entropía del Universo (o de una estructura aislada) aumenta constantemente y, me gustaría decir, de forma irrevocable. En vez de eso, podríamos decir que en el Universo hay una degradación cualitativa *continua e irrevocable* de energía libre en energía dependiente. Sin embargo, hoy en día es más probable encontrarse con una moderna interpretación de esa degradación en el sentido de una continua transformación de *orden* en *desorden*. La idea se basa en la observación de que la energía libre es una estructura ordenada, mientras que la energía dependiente es una distribución desordenada y caótica.

Para completar este retrato habría que destacar que el significado final de la Ley de la Entropía no es que la degradación cualitativa tenga lugar únicamente en relación con el trabajo mecánico realizado conscientemente por algunos seres inteligentes. Como lo pone de manifiesto la energía solar, la degradación entrópica prosigue por sí misma con independencia de si la energía libre se emplea o no para la producción de trabajo mecánico. De este modo, la energía libre de un trozo de carbón se degradará finalmente en energía inútil incluso aunque se deje el trozo en su filón.

Hay buenas razones por las que quiero subrayar (aquí y en otros capítulos de la presente obra) el carácter irrevocable del proceso entrópico. Una de esas razones interesa especialmente al economista. Si el proceso entrópico no fuese irrevocable, esto es, si la energía de un trozo de carbón o de uranio pudiese emplearse una y otra vez hasta el infinito, difícilmente se produciría la escasez en la vida humana. Hasta cierto nivel, incluso un aumento de población no daría lugar a la escasez: la humanidad no tendría más que usar con mayor frecuencia los stocks existentes. Otra de las razo-

nes tiene un interés más general. Se refiere a una de las debilidades humanas, concretamente a nuestra renuencia a reconocer nuestras limitaciones con respecto al espacio, al tiempo y a la materia y la energía. Debido a esa debilidad es por lo que, incluso aunque nadie fuese tan lejos como para sostener que es posible calentar la caldera con cenizas, está periódicamente de moda la idea de que podríamos vencer a la Ley de la Entropía ocultando la baja entropía con ayuda de algún ingenioso mecanismo. Por otra parte, el hombre es propenso a creer que debe existir alguna forma de energía con poder de autoperpetuarse<sup>6</sup>.

Hay que admitir en todo caso que a los profanos se les lleva a creer erróneamente en la ocultación de la entropía por aquello que los físicos predicán a través de la nueva ciencia conocida como mecánica estadística, pero más adecuadamente descrita como termodinámica estadística. La mera existencia de esta disciplina constituye un reflejo del hecho de que, contra toda evidencia, la mente humana sigue aferrándose con la tenacidad de una ciega desesperación a la idea de una realidad consistente en la locomoción y nada más. Síntoma de esa idiosincrasia fue la trágica lucha de Ludwig Boltzmann por hacer aceptar una ciencia termodinámica basada en unos cimientos híbridos en los que la rigidez de las leyes mecánicas se entreteje con la incertidumbre específica de la noción de probabilidad. Boltzmann se suicidó amargado por la creciente crítica a su idea; pero, tras su muerte, la misma idiosincrasia humana indujo a casi todos a pasar por alto todos los defectos lógicos puestos de manifiesto por esa crítica, de tal modo que la idea de Boltzmann podría llegar a convertirse en una reconocida rama de la física. De acuerdo con esta nueva disciplina, un montón de cenizas podría ser perfectamente capaz de calentar la caldera; igualmente, un cadáver podría resucitar y llevar una segunda vida en un orden exactamente contrario al de la primera. Sólo que las probabilidades de tales sucesos son fantásticamente pequeñas. Si todavía no hemos sido testigos de tales «milagros» —afirman los defensores de la mecánica estadística—, se debe únicamente a que no hemos observado un número suficientemente grande de montones de cenizas o de cadáveres.

Frente a lo que sucede en el caso de la termodinámica clásica, no puede llevarse a cabo ni siquiera una discusión sumaria de la termodinámica estadística sin tener en cuenta numerosos aspectos técnicos, alguno altamente técnico. Ahora bien, incluso en la etapa presente ha de incluirse en este cuadro la principal premisa de Boltzmann. Esa premisa dice que,

<sup>6</sup> Como indica Jevons (*Coal Question*, pp. 106 y s.), en su propia época muchos pensaban que la electricidad tenía semejante facultad. Mi experiencia personal sugiere que algunos economistas (al menos) creen ahora que la energía atómica encaja en ese caso.



aparte de un factor que representa una constante física, la entropía de un gas aislado de  $N$  moléculas viene dada por la fórmula

$$(1) \quad \text{Entropía} = S = \ln W,$$

donde

$$(2) \quad W = \frac{N!}{N_1! N_2! \dots N_s!}$$

y las  $N_i$  representan la distribución de las moléculas del gas entre los  $s$  estados posibles. Y, dado que el coeficiente combinatorio  $W$  constituye un rasgo familiar en el cálculo de probabilidades, la relación (1) se ha interpretado como «la entropía es igual a la probabilidad termodinámica».

De esta forma, el enfoque de Boltzmann abrió las puertas a una serie casi infinita de interpretaciones del significado de la entropía y, consecuentemente, a diferentes definiciones formales de la expresión. Algunos de los seguidores de este enfoque han ido tan lejos como para negar que la Ley de la Entropía exprese una ley natural. En vez de eso, sostienen que refleja únicamente la dificultad de la mente humana para describir un estado que implica un número creciente de detalles. Se trata aquí, realmente, de aguas turbulentas en las que todo usuario del término «entropía» debería navegar con gran cuidado.

Si asumimos la fórmula (1) como definición formal de la entropía, podríamos trasladar este concepto a cualquier situación con la que pudiese asociarse a  $W$  de uno u otro modo. Por poner un ejemplo expresivo, consideremos cinco puntos distintos en un plano. Si hacemos  $N = 5$ ,  $N_1 = 2$  y  $N_2 = 3$ ,  $W$  indica el máximo número de rectas distintas determinadas por esos puntos. Podemos hablar en consecuencia de

$$(3) \quad S = \log_{10} \frac{5!}{2! 3!} = 1$$

como de la «entropía de un pentágono». Se pone así de manifiesto lo fácil que resulta inventar significados de «entropía» totalmente vacíos de contenido.

Sin embargo, la aparición de (1) en problemas relacionados con la transmisión de secuencias de señales (o de símbolos) constituye una situación normal que no debería sorprendernos: si el número de señales distintas es  $s$ ,  $W$  será el número de secuencias distintas de longitud  $N$  en las que cada símbolo  $i$ -ésimo entra  $N_i$  veces. Lo que tendría que sorprendernos es que  $S$  se ha equiparado a la *cantidad de información* contenida en tal secuencia. De acuerdo con esta ecuación, si cogemos, por ejemplo, los *Principia Mathematica* de Newton y mezclamos revueltamente sus letras y sím-

bolos, ¡el resultado sigue representando la misma cantidad de información! Mayor perplejidad causa todavía otro argumento en virtud del cual la información total se identifica con la *negentropía* (es decir, el valor negativo de la entropía física).

El concepto de entropía ha penetrado incluso en campos en los que no hay espacio alguno para el análisis combinatorio y, en consecuencia, para  $W$ ; esto se debe al hecho de que la más popular definición del concepto como una «medida» de la cantidad de información viene dada por una transformación especial de (1). La definición es<sup>7</sup>

$$(4) \quad E = - \sum f_i \log f_i$$

donde  $f_i > 0$  para cada  $i$  y  $\sum f_i = 1$ .

Esta expresión posee varias propiedades de interés que explican la atracción que ha ejercido entre muchos pensadores. Ahora bien, su rasgo más interesante es que puede aplicarse a cualquier distribución porcentual, por ejemplo, a la distribución de las exportaciones de un país por lugares de destino o de la renta personal por tramos de renta. Es precisamente a través de tal complicada metamorfosis, de la que no todos los que utilizan el término «entropía» pueden ser conscientes, como hemos podido llegar a hablar de la *cantidad de información* de casi todos los datos estadísticos. Y seguimos marchando resueltamente sin siquiera darnos cuenta de que esa confusión terminológica nos fuerza a decir, por ejemplo, que en un país en el que la renta está más equitativamente distribuida ¡las estadísticas de la distribución de la renta contienen mayor cantidad de información!<sup>8</sup>.

El código lingüístico de Humpty Dumpty —que permite emplear una palabra con cualquier significado que se desee— se invoca con excesiva frecuencia como suprema autoridad sobre la prerrogativa terminológica, pero nadie parece haber protestado de que por regla general la única consecuencia de esa prerrogativa es la confusión. Cierta tendencia a la publicidad puede haber sido el origen de que el valor numérico de expresiones como la (1) o la (4) se represente por «cantidad de información». Sea como sea, esa elección terminológica es probablemente la más desafortunada de la historia de la ciencia.

Puede verse ahora por qué es indispensable subrayar que la postura adoptada en el presente estudio es la de que en el mundo físico existe una coordenada que se corresponde con el concepto Clausiano de entropía y

<sup>7</sup> Esta transformación supone que todo  $N_i$  es lo suficientemente grande para que se le aproxime  $N_i!$  a través de la fórmula de Stirling. Esta fórmula se reproduce en el Apéndice G, nota 29, del presente volumen.

<sup>8</sup> Esta afirmación se deriva del hecho de que la propiedad reflejada de modo inequívoco por  $E$  es el grado de uniformidad (de modo indirecto, el grado de concentración) de la distribución descrito por los  $f_i$ . Véase el Apéndice B de esta obra.

que no es reducible a la locomoción y mucho menos aún a la probabilidad o a cualquier elemento subjetivo. Otra forma de expresar la misma cosa es que la Ley de la Entropía no es ni un teorema deducible de los principios de la mecánica clásica ni un reflejo de algunas de las imperfecciones o ilusiones humanas. Se trata, por el contrario, de una ley independiente y exactamente tan inexorable como, por ejemplo, la ley de la atracción universal. El fenómeno entrópico de un trozo de carbón reduciéndose irrevocablemente a cenizas no es ni un flujo de probabilidad desde un valor bajo a otro alto, ni un aumento de la ignorancia del espectador, ni la ilusión humana de sucesión temporal.

Como iremos comprobando progresivamente a lo largo de este trabajo, la posición ocupada por la Ley de la Entropía entre las restantes leyes de la Naturaleza tiene carácter único desde numerosos puntos de vista; y este hecho justifica la abundancia de cuestiones y problemas que abruma al estudioso interesado en enjuiciar la importancia de la Ley de la Entropía más allá del campo puramente físico.

Nadie podrá negar que, junto a sus conceptos conexos de energía libre y energía dependiente, la entropía constituye una noción mucho más misteriosa que la locomoción. En efecto, la única manera en que el hombre puede actuar de forma consciente sobre su entorno material es la de empujar y tirar, incluso cuando enciende un fuego; pero esa limitación no es razón para aferrarse a la idea de que el proceso entrópico puede ser reducible a la locomoción. Desde hace ya mucho tiempo, el monismo ha dejado de ser el santo y seña de la ciencia. Incluso el argumento de que la ciencia debe estar libre de contradicciones no es ya en modo alguno dominante. Por su parte, la física nos enseña actualmente que no debemos insistir en amoldar la realidad a un sistema no contradictorio. Exactamente del mismo modo en que el Principio de la Complementariedad de Niels Bohr nos dice que debemos aceptar como hecho material que el electrón se comporta como onda y como partícula —conceptos irreducibles entre sí—, tenemos también que reconciliarnos ahora con la existencia paralela, aunque opuesta, de fenómenos termodinámicos y mecánicos.

Desde el punto de vista de la epistemología, puede considerarse que la Ley de la Entropía es la mayor transformación experimentada jamás por la física; indica el reconocimiento por esta ciencia —en la que más se confía entre todas las ciencias de la Naturaleza— de que existe en el universo un cambio cualitativo<sup>9</sup>. Aún más importante es el hecho de que el carácter irrevocable proclamado por esta ley establece sólidamente la distinción ló-

<sup>9</sup> En la actualidad, esta noción no constituye ya una rareza en la ciencia de la materia elemental. Las dos especulaciones que contienen hoy en día en el campo cosmológico hablan incluso de creación: una afirmando que el universo fue creado por una Gran Explosión (Big Bang) y la otra diciendo que la materia se crea y se destruye continuamente.

gica entre locomoción y verdadero acontecer. De acuerdo con esa distinción, sólo lo que no puede retrotraerse por pasos inversos hacia un estado previo representa un verdadero acontecer. Así, el significado de «acontecer» se ilustra perfectamente por medio de la vida de un organismo o de la evolución de una especie (a diferencia de las simples mutaciones, que *son* reversibles). Es probable que esta oposición entre verdadero acontecer y locomoción se critique por ser una idea antropomórfica; de hecho, los puristas positivistas han acusado a la propia termodinámica de amalgama antropomórfica. Una autoridad científica afirma que incluso el Tiempo es solamente una ilusión humana y que, por consiguiente, no tiene sentido alguno hablar del carácter reversible o irreversible de los fenómenos naturales. Por otro lado, no puede negarse que lo que impulsó la termodinámica fue la importancia que la distinción entre energía libre y dependiente tiene para la economía humana como potencia mecánica. Ahora bien, sería totalmente erróneo sostener que únicamente la termodinámica se encuentra en esa situación. Locomoción, partícula, onda y ecuación, por ejemplo, son conceptos no menos antropomórficos que las dos caras de la entropía, que las dos cualidades de la energía. La única diferencia es que, entre todas las ciencias que se ocupan de la materia inerte, la termodinámica es la más próxima —literalmente, no en sentido figurado— al cuerpo humano.

Sabemos que las personas pueden vivir incluso aunque se encuentren privadas de la vista, del oído o del sentido del olfato y del gusto, pero no conocemos a nadie capaz de vivir sin la impresión del flujo de entropía, esto es, de la impresión que bajo diferentes formas regula las actividades directamente relacionadas con el mantenimiento del organismo físico. En el caso de un mamífero, esa impresión incluye no solamente las sensaciones de calor y frío sino también las punzadas de hambre y la satisfacción tras una comida, la impresión de cansancio y la de descanso, y muchas otras del mismo tipo<sup>10</sup>. Así pues, las cosas no son tan amplias y vagas si se considera que, en sus manifestaciones conscientes e inconscientes, la impresión entrópica constituye el aspecto fundamental de la vida desde la ameba hasta el hombre.

Sea como sea, el hecho es que la base material de la vida es un proceso entrópico. Tal como lo concretó Erwin Schrödinger, toda estructura viviente se mantiene a sí misma en un estado cuasi estacionario absorbiendo baja entropía del entorno y transformándola en alta entropía. Algunos autores —el filósofo francés Henri Bergson, en especial— llegaron a afirmar incluso que la vida se opone en realidad a la tendencia a la degradación cua-

<sup>10</sup> Sobre la base de la anterior definición, habría que esperar que los «sentidos» del gusto y del olfato no pudieran estar ausentes al mismo tiempo.

litativa a que se encuentra sujeta la materia inerte. Piénsese en el núcleo de alguna primitiva raza de ameba que pudiera seguir existiendo en su forma original. Ninguna estructura inerte del mismo número de moléculas puede vanagloriarse del mismo «tour de force»: resistir la labor destructiva de la Ley de la Entropía durante casi dos mil millones de años.

La idea de que la vida puede «caracterizarse por la capacidad de evitar esta ley» —en otros tiempos denunciada generalmente como total obscurantismo— se acepta ahora por casi todas las autoridades de la fisicoquímica<sup>11</sup>. En todo caso, es cierto que, expresada de ese modo conciso, la idea podría desvirtuarse con facilidad. Un ser vivo únicamente puede evitar la degradación entrópica de su propia estructura; no puede impedir el aumento de la entropía del sistema en su conjunto, compuesto de su estructura y su entorno. Por el contrario, de acuerdo con lo que sabemos actualmente, la presencia de la vida da lugar a que la entropía de un sistema aumente más rápidamente de lo que lo haría en otra situación.

La verdad que encierra el punto anterior es especialmente evidente en el caso de la especie humana. Verdaderamente, se precisa añadir poco más para hacernos ver también que el debate económico se refiere únicamente a la baja entropía y que el carácter del proceso económico contemplado en su conjunto es puramente entrópico. Sin embargo, entre los economistas de prestigio sólo Alfred Marshall intuyó que la biología, y no la mecánica, es la verdadera Meca del economista; e, incluso, si bien las tendencias antimecanicistas de Marshall se reflejaron principalmente en su famosa analogía biológica, hay que atribuirle su destacado descubrimiento de la irreversibilidad de las curvas de oferta a largo plazo. Por desgracia, las enseñanzas de Marshall no causaron una impresión duradera, no recibiendo atención alguna el hecho de que la irreversibilidad es un rasgo general de todas las leyes económicas.

Sin entender a Marshall, los economistas no han visto razón alguna para seguir la evolución de la biología, desperdiciando así muchas ideas fecundas. Esto es lo que sucede en el caso de la forma altamente interesante en la que Alfred J. Lotka, biólogo físico, explicó por qué el proceso económico es una continuación del biológico. Según señaló Lotka, en el último proceso y al igual que otros seres vivos, el hombre utiliza solamente sus instrumentos *endosomáticos*, es decir, los instrumentos que forman parte de todo organismo individual desde su nacimiento. En el proceso económico, el hombre utiliza también instrumentos *exosomáticos* producidos por él mismo: cuchillos, martillos, barcos, máquinas, etc. El esquema de Lotka nos va a ayudar a entender por qué únicamente la especie humana está sujeta a un conflicto social irreductible.

<sup>11</sup> La cita anterior de Sir James Jeans, *The New Background of Science* (Nueva York, 1934), p. 280, es una más entre esas numerosas afirmaciones.

Una peculiaridad de los poderes determinantes de la Ley de la Entropía es la causante de que la relación existente entre esa ley y el campo de los fenómenos vitales sea todavía más profunda de lo que ponen de manifiesto los hechos que se acaban de mencionar. La geometría (concebida en su sentido etimológico), la astronomía y la mecánica clásica nos acostumbraron al poder de la ciencia para determinar «exactamente» dónde y cuándo tendrá lugar un acontecimiento determinado. Más tarde, los fenómenos cuánticos nos enseñaron a contentarnos con una posición más débil en la que las leyes científicas determinan solamente la probabilidad de un suceso. Pero la Ley de la Entropía constituye un caso especial; no determina ni *cuándo* (en términos horarios) la entropía de un sistema cerrado alcanzará un nivel determinado ni *qué* ocurrirá con exactitud<sup>12</sup>. A pesar de este defecto (y frente a lo que algunos han sostenido), la Ley de la Entropía no es inútil: determina la dirección general del proceso entrópico de todo sistema aislado.

Sin embargo, el defecto adquiere cierta trascendencia en relación con el hecho de que la única otra ley termodinámica que se refiere a un proceso entrópico es la Ley de la Conservación de la Materia y la Energía<sup>13</sup>. Esto significa que lo único que puede decirse acerca de un proceso semejante es que, con el transcurso del tiempo, su energía total permanece constante, mientras que la distribución de esa energía se hace más uniforme. En consecuencia, los principios termodinámicos dejan una libertad importante a la trayectoria real y al esquema temporal de un proceso entrópico. De acuerdo con la postura adoptada en este estudio respecto del carácter de los fenómenos termodinámicos, no debe confundirse esa libertad con una incertidumbre aleatoria. Podríamos calificar todo ello de *indeterminación entrópica*.

Es ésta una característica de la realidad sumamente importante, pues sin la indeterminación entrópica no le sería posible a un ser vivo mantener su constante entrópica, ni le sería factible al hombre «invertir» la entropía de alta a baja, como sucede en la producción de acero a partir de mineral de hierro y carbón. Y, sobre todo, a las distintas formas de vida les sería imposible perseguir la baja entropía del entorno y emplearla de modos tan sorprendentemente diversos como los de una bacteria, una langosta, una mariposa, un amaranto, un *Homo sapiens* y así sucesivamente en una lista potencialmente ilimitada. Ahora bien, hay que reconocer que por sí misma esa indeterminación no asegura la existencia de la infinitud de formas

<sup>12</sup> El primer punto se deriva directamente de la simple enunciación de la ley y el segundo del hecho de que la entropía es solamente un índice medio de la distribución de la energía total dentro de un sistema.

<sup>13</sup> Junto a las dos leyes ya mencionadas, hay sólo otra ley fundamental de la termodinámica, la Ley de Nernst, que en esencia dice que el mínimo de entropía no es factible en la realidad.

y funciones que despliega el campo orgánico; en realidad, ni siquiera asegura la existencia de ningún ser vivo. La existencia de estructuras vitales es un hecho central que debe ser postulado de igual modo que lo hacemos en el caso de otros «misteriosos» componentes de la realidad, como, por ejemplo, el espacio o la materia.

Pero incluso con este postulado, no podemos explicar por qué el espacio abandonado por la indeterminación entrópica se ocupa completamente por innumerables especies y variedades en lugar de por una única forma, pues la estructura material de todo ser vivo debe obedecer no solamente a las leyes de la termodinámica sino también a todas las restantes leyes de la materia inerte. Y si miramos más allá de la termodinámica vemos, en primer lugar, que la mecánica clásica no deja nada indeterminado y, en segundo lugar, que la libertad permitida por la mecánica cuántica se limita únicamente a las variaciones aleatorias, no a las permanentes. Puede parecer, por tanto, que la variabilidad de los seres vivos sigue siendo un enigma que, sin embargo, tiene una solución proporcionada por un principio fundamental, aunque inadvertido: *la aparición de la innovación por medio de la combinación.*

El significado de este principio es tan simple como inequívoco. Muchas de las propiedades del agua, por ejemplo, no son deducibles a través de principios universales a partir de las propiedades elementales de sus componentes, oxígeno e hidrógeno; en relación con las últimas propiedades, las primeras son consiguientemente nuevas. El principio actúa en todas partes con un grado de diversidad que aumenta constantemente desde la física del átomo en el campo inorgánico hasta las formas sociales en el superorgánico. A la vista de todo ello, la frecuente afirmación de que «los organismos vivos son la expresión enormemente magnificada de las moléculas que los componen»<sup>14</sup> parece uno de los más torpes eslóganes de la agresiva erudición por la que pasará a la historia esta mitad del siglo. Si la afirmación fuese cierta, también una molécula sería solamente la expresión de las partículas elementales que la componen, y una sociedad la expresión de los organismos biológicos de sus miembros. Contemplando todo esto, se llega a la conclusión de que las sociedades, los organismos, las moléculas y los átomos son sólo expresiones de partículas elementales, pero en ese caso no habría ni que estudiar las biomoléculas. ¡Se debería estudiar solamente las partículas elementales por sí mismas!

<sup>14</sup> La afirmación original se encuentra en George Wald, «Phylogeny and Ontogeny at the Molecular Level», en *Proceedings of the Fifth International Congress of Biochemistry*, vol. III, *Evolutionary Biochemistry*, editado por A. I. Oparin (Nueva York, 1963), p. 12. Debo apresurarme a añadir que posiblemente el propio Wald no se adhiere a ella por completo. Valga como ejemplo de ello su afirmación de que: «El trato que el organismo en su conjunto cierra con su entorno, en competencia con sus vecinos, es lo que decide su destino; y este destino se comparte entonces por sus moléculas, incluyendo su ADN genético». *Ibid.*, p. 13.

Indudablemente, deberíamos estudiar las moléculas, no sólo las que están en los organismos sino allí donde quiera que las encontremos; pero, al mismo tiempo, no tendríamos que dejar de ver que, como resultado de la innovación creada por la combinación, las propiedades de las moléculas en cuanto tales no pueden permitirnos conocer cómo se comportan también los organismos o, en términos más generales, cómo se comportará una molécula en relación con cualquier otra molécula. Veamos uno de los numerosos ejemplos de actualidad: el estudio a nivel molecular de la talidomida por sí misma, ¿nos ha permitido prever las innovaciones producidas por esa sustancia en contacto con todo tipo de molécula del organismo humano? A la ciencia no se la sirve si no reconocemos que las propiedades de un electrón (o de cualquiera de las múltiples partículas elementales) han de incluir todas las de una estructura material, inerte o viva. La base del conocimiento no puede reducirse a la totalidad por sí sola o a las partes<sup>15</sup>. El biólogo debe estudiar moléculas, células y organismos, igual que el economista tiene que estudiar las unidades económicas y la economía en su conjunto.

Aun cuando la importancia de los dos principios que se acaban de bosquejar —la indeterminación entrópica y la innovación por medio de la combinación— es mucho mayor para el mundo de los fenómenos vivos que para el de la simple materia, no hay que olvidar que sus raíces se encuentran en el último campo. En consecuencia, lo más interesante es que esos principios inevitablemente nos invitan a mirar desde otro ángulo otros problemas a los que los biólogos y los científicos sociales de la denominada escuela romántica consideraban generados de forma espuria.

Una de esas cuestiones es el mito de que la ciencia es medida, de que más allá de los límites de la teoría nada puede conocerse. «Teoría» se toma aquí en su acepción discriminatoria: formulación de todas las proposiciones descriptivas dentro de un campo determinado, de forma que cada proposición se deriva por medio de la Lógica (en su sentido estricto, aristotélico) a partir de unas pocas proposiciones que constituyen los fundamentos lógicos de esa ciencia. Semejante separación de todas las proposiciones entre «postulados» y «teoremas» exige evidentemente que sean susceptibles de ser sometidas a examen lógico; y el problema reside en que la Lógica puede tratar únicamente un grupo muy reducido de conceptos, a los que voy a calificar de *aritmomórficos* debido a que cada uno de ellos es tan discretamente distinto como un solo número con respecto a la infinidad de todos los demás. Ahora bien, muchas de nuestras ideas se refieren a formas y cualidades y prácticamente cada forma (por ejemplo, una hoja) y cada cua-

<sup>15</sup> La afirmación de Wald citada en la nota anterior ilustra magníficamente este punto.

lidad (por ejemplo, ser razonable) son conceptos *dialécticos*, es decir, que cada concepto y su opuesto se superponen en una desdibujada penumbra de amplitud variable.

Sucede sencillamente que el libro del universo no está escrito, como afirmaba Galileo, sólo «en el lenguaje de las matemáticas, y sus características son triángulos, círculos y otras figuras geométricas»<sup>16</sup>. En el propio libro de la física encontramos el concepto dialéctico más edificante: la probabilidad; y ningún libro que se refiera a los fenómenos de la vida puede prescindir de conceptos dialécticos tan fundamentales como especie, necesidad, industria, competencia, democracia, etc. Creo que sería el colmo del absurdo decretar que no se ha escrito nunca un libro semejante o que, caso de haberse escrito, no hace más que difundir desatinos. A fin de que esta postura no sea nuevamente tergiversada por cualquier lector ocasional, quiero repetir que mi punto de vista *no* es que la aritmetización de la ciencia sea indeseable; siempre que pueda desarrollarse, sus ventajas superan toda ponderación. Mi postura es que la aritmetización generalizada es imposible, que existe conocimiento válido incluso sin ella y que una aritmetización simulada es peligrosa si se vende como genuina.

Hay que resaltar también que la aritmetización por sí sola no garantiza que una construcción teórica sea apropiada y conveniente. Como lo demuestra el caso de la química —ciencia en la que muchos atributos son cuantificables, es decir, aritmómorficos—, la innovación creada por la combinación constituye un revés todavía mayor para la creencia de que «no hay ciencia sin teoría». Una construcción teórica de la química consistiría en una base enorme que soportase una pequeña superestructura, con lo que sería totalmente inútil; y ello, porque la única *raison d'être* de la teoría es la economía del pensamiento y esa economía exige, por el contrario, una inmensa superestructura que descansa sobre una base insignificante.

Otra cuestión que resalta de forma inmediata sobre el fondo esbozado hasta ahora es la del determinismo y nos interesa aquí por su relación con el poder predictivo y manipulador de la ciencia.

Durante algún tiempo, los físicos nos han venido diciendo que un átomo de radio hace explosión no cuando algo le obliga a ello sino cuando quiere. Sin embargo, el resto de la historia es que la frecuencia de las explosiones tiene una estabilidad *dialéctica* y que esa estabilidad nos permite predecir como mínimo el comportamiento del radio en grandes cantidades. El problema es que la mayor limitación a nuestro poder de predicción procede de la indeterminación entrópica y, en especial, de la aparición de la innovación causada por la combinación. Estas son las principales razo-

<sup>16</sup> Galileo Galilei, *Il Saggiatore*, en *The Controversy on the Comets*, traduc. de S. Drake y C. D. O'Malley (Filadelfia, 1960), p. 184.

nes por las que nuestras percepciones del futuro no pueden reducirse a la causa eficiente tal como la conocemos desde Aristóteles.

En el caso de la innovación originada por la combinación (de elementos contemporáneos o consecutivos), las cosas acaecen sencillamente, sin una *causa efficiens* o una *causa finalis*. Además, los elementos más numerosos y básicos de nuestro conocimiento pertenecen a esta categoría; su verdad puede justificarse a través de observaciones repetidas, pero no por el raciocinio ni por ponerlo en relación con un propósito. Es cierto que un ser inteligente y que nunca haya presenciado la combinación de oxígeno e hidrógeno en una sustancia con las propiedades del agua contemplará esa reacción como algo misterioso después de haberse enfrentado a ella siquiera sea una sola vez. Del mismo modo, la evolución nos parece tan misteriosa debido únicamente a que al hombre se le ha negado la facultad de observar el nacimiento, el desarrollo y la desaparición de otros planetas, y la consecuencia de esa negativa es que posiblemente ningún científico social puede predecir por completo qué tipos de organizaciones sociales resultarán aceptables para la humanidad en el futuro. Es evidente que nuestro conocimiento avanza constantemente, pero en cada momento puede abarcar sólo parte del Todo; además, ese avance es de tal índole que por cada problema resuelto surgen nuevas y muy diversas cuestiones.

En esta situación, no hay que insistir en preguntar siempre «por qué», pues en el caso de varios problemas podemos alcanzar una mejor comprensión si preguntamos «para qué». Incluso los biólogos propensos a evitar todo aquello que pudiera tener cierto regusto vitalista admiten que hay algunas ventajas en clasificar algunos fenómenos biológicos de cuasi finalistas, pero esta prestidigitación verbal podría servir sólo para especies distintas de la humana. El hombre sabe (y de la forma más directa) que es una *causa finalis*, no una *causa efficiens*, lo que le hace trabajar para obtener una graduación académica o para ahorrar para la vejez. Negar que, en sus acciones deliberadas, el hombre está animado por un propósito sería huir de la verdad. El autor recurrente que anuncia que su propósito es demostrar que el concepto de propósito es una pesadilla constituye —como lo ha observado agudamente Whitehead— un objeto de estudio muy interesante.

En realidad, la difícil situación del estudioso de la sociedad contemporánea únicamente puede mitigarse por medio de la interpretación empática de sus propensiones y de su estado de ánimo, tarea que no puede delegarse en ningún instrumento. Sólo una mente humana puede descubrir lo que sienten otros hombres y cuáles son sus propósitos, y sólo de este modo puede un estudioso determinar al menos el sentido general de la inmediata tendencia social.

El veredicto es incuestionable: ninguna ciencia social puede ayudar al arte de gobernar tan eficazmente como lo hace la física, por ejemplo, con

la técnica de los viajes espaciales. Sin embargo, algunos científicos sociales se niegan sencillamente a acomodarse a este veredicto y, aparentemente desesperados, se han descolgado con una curiosa propuesta: inventar medios que obliguen a las personas a comportarse de la forma que «nosotros» esperamos, de tal modo que «nuestras» predicciones sean siempre ciertas. El proyecto, en el que se reconoce el continuo afán (iniciado por Platón) por conseguir una sociedad «racional», no puede tener éxito —ni siquiera bajo la coerción física—, debido simplemente a su agresivo *petitio principii*: el primer requisito previo de todo plan es que el comportamiento de las materias implicadas sea totalmente predecible, al menos durante un espacio de tiempo considerable.

Pero los especialistas agresivos no cesan nunca de elaborar nuevos planes para el «perfeccionamiento de la humanidad». Dado que no pueden disimularse más las dificultades de hacer que una *vieja* sociedad se comporte como deseamos, ¿por qué no crear una *nueva* sociedad de acuerdo con nuestros planes «racionales»? Algunos biólogos moleculares llegan incluso a afirmar que nuestra capacidad de crear «Einsteins a la carta» está a la vuelta de la esquina, pero cierran los ojos ante muchos obstáculos elementales entre los que se encuentran las dimensiones supercósmicas de varios aspectos del problema y la innovación causada por la combinación. Y, lo que es más interesante de todo, ni siquiera parecen intuir que una sociedad compuesta únicamente por genios, mejor aún, por personas capacitadas solamente para desempeñar una ocupación intelectual, no podría subsistir ni un solo día. Por otro lado, si la sociedad creada de esa manera incluyese también una clase «productiva», el inevitable conflicto social entre las dos clases la impediría ser «racional» (a no ser que los mismos hechiceros biológicos pudiesen remodelar la especie humana según el modelo genético de los insectos sociales).

Más de un economista se ha referido indirectamente a la Primera Ley de la Termodinámica al subrayar que el hombre no puede crear ni materia ni energía; pero ni siquiera Irving Fisher —que fue primero discípulo de J. Willard Gibbs, uno de los fundadores de la termodinámica estadística— se dió cuenta de que la Ley de la Entropía sigue siendo más importante para el proceso económico. Uno de los pioneros de la econometría, Harold T. Davis, parece ser el único que ha intentado establecer una semejanza formal entre las ecuaciones termodinámicas fundamentales y algunas ecuaciones utilizadas en modelos económicos. Así, estudió las restricciones presupuestarias del análisis macroeconómico y sugirió que la utilidad del dinero representa la entropía económica<sup>17</sup>; pero, como lo indicó después J. H. C.

<sup>17</sup> Harold T. Davis, *The Theory of Econometrics* (Bloomington, 1941), pp. 171-176.

Lisman al comentar el intento solitario de Davis<sup>18</sup>, ninguna de las variables utilizadas en los modelos económico-matemáticos parece desempeñar el mismo papel de la entropía en la termodinámica. A la luz de las ideas desarrolladas en las páginas anteriores, es inevitable concluir que en una analogía mecánica nada correspondería al concepto que opone la termodinámica a la mecánica.

En lugar de buscar una correspondencia termodinámica homóloga en el habitual sistema matemático de la economía, podemos ahora intentar representar el proceso económico a través de un nuevo sistema de ecuaciones diseñado según el de la termodinámica. En principio, podemos pues escribir las ecuaciones de cualquier proceso de producción o de consumo (si no con todos los detalles técnicos, al menos de forma general). A continuación, podemos ensamblar todas esas ecuaciones en un sistema gigantesco o agregarlas en otro más manejable. Ahora bien, para escribir cualquier conjunto de ecuaciones iniciales, debemos conocer las características exactas del proceso individual al que se refiere, y el problema consiste en que a largo plazo, o incluso a no tan largo plazo, el proceso económico (al igual que el biológico) está inevitablemente dominado por un cambio cualitativo que no puede conocerse de antemano. La vida debe contar con mutaciones nuevas y originales si ha de continuar existiendo en un entorno que cambia continuamente y de modo irrevocable. Así pues, ningún sistema de ecuaciones puede describir el desarrollo de un proceso evolutivo. Si no fuese así, los biólogos (que desde hace mucho tiempo han adoptado la termodinámica) tendrían que haberse ideado un vasto sistema para representar el curso del proceso biológico hasta el día del juicio final.

La representación por medio de este sistema termodinámico de un proceso *dado* de producción o de consumo puede ayudar a un ingeniero, quizá también a un experto en administración, a decidir qué proceso puede ser más eficiente en términos entrópicos. Sin embargo, la vía por la que el reconocimiento del carácter entrópico del proceso económico puede iluminar al economista en su calidad de estudioso del hombre no discurre a través de un sistema matemático que reduce todo a entropía. No debe olvidarse que el hombre lucha por la entropía, pero no por cualquier forma de ella; ningún hombre puede utilizar la baja entropía de setas venenosas y no todos luchan por la que contienen las algas o los escarabajos.

La íntima conexión existente entre la Ley de la Entropía y el proceso económico tampoco nos ayuda a gestionar mejor una economía *determinada*. En mi opinión, lo que hace es mucho más importante: al mejorar y ampliar nuestra comprensión del proceso económico, puede enseñar a todo aquel dispuesto a prestar atención cuáles son los mejores objetivos de la economía humana.

<sup>18</sup> J. H. C. Lisman, «Econometrics and Thermodynamics: A Remark on Davis' Theory of Budgets», *Econometrica*, XVII (1949), pp. 59-62.



El simple hecho de que desde la perspectiva puramente física el proceso económico no sea una analogía mecánica nos plantea una espinosa cuestión de importancia fundamental para la ciencia en general. ¿Qué es un «proceso» y cómo podemos representarlo analíticamente? La respuesta deja al descubierto algunas insospechadas omisiones de los análisis neoclásico y marxista de la producción, a la vez que nos permite llegar a una ecuación del valor (sería mejor decir una «cuasi ecuación») con respecto a la que podemos proyectar, comparar y valorar todas las doctrinas del valor propuestas hasta ahora. Esa ecuación resuelve algunos aspectos del controvertido problema del valor.

Puesto que el proceso económico consiste materialmente en una transformación de baja en alta entropía, es decir, en desechos, y, dado que esa transformación es irrevocable, los recursos naturales han de constituir necesariamente parte de la noción de valor económico; y, puesto que el proceso económico no es automático sino deseado, los servicios de todos los agentes, humanos o materiales, pertenecen también a la misma faceta de esa noción. Por otro lado, habría que resaltar que sería totalmente absurdo pensar que el proceso económico existe solamente para producir desechos. La conclusión irrefutable de todo ello es que el verdadero producto de ese proceso es un flujo inmaterial, el placer de vivir. Este flujo constituye la segunda faceta del valor económico. A causa de su penosidad, el trabajo únicamente tiende a disminuir la intensidad de este flujo, de igual modo que una superior tasa de consumo tiende a aumentarla.

Y, por muy paradójico que pueda parecer, es la Ley de la Entropía, una ley de la materia elemental, la que no nos deja otra opción sino la de reconocer el papel de la tradición cultural en el proceso económico. Tal como lo proclama esta ley, el derroche de energía se produce de forma automática en todas partes, y ésta es precisamente la razón por la que la inversión entrópica contemplada en cada línea productiva lleva el sello indeleble de la actividad deliberada; además, el modo en que esta actividad se planea y se lleva a cabo depende por supuesto de la matriz cultural de la sociedad de que se trata. No hay otro modo de explicar las fascinantes diferencias existentes entre algunas naciones desarrolladas dotadas de un entorno pobre y poco favorable y algunos países poco desarrollados rodeados de abundantes riquezas naturales. La evolución exosomática se abre camino también a través de la tradición cultural, no sólo por medio del conocimiento tecnológico.

La Ley de la Entropía no ayuda a un economista a decir con exactitud qué sucederá mañana, el año próximo o dentro de algunos años. Al igual que sucede con el envejecimiento, la actuación de la Ley de la Entropía a través del proceso económico es relativamente lenta, pero incesante, con lo que sus efectos se manifiestan tan sólo por acumulación tras largos perío-

dos. Miles de años de pastoreo de ganado lanar llevado a cabo antes del agotamiento del suelo en las estepas de Eurasia dieron lugar a la Gran Migración. La Ley de la Entropía permite que nos demos cuenta de que actualmente se encuentra en pleno progreso una evolución de las mismas características. En efecto, como consecuencia de la presión ejercida por la población sobre el suelo agrícola, cuya superficie no puede aumentarse de forma considerable, la baja entropía de la agricultura no puede ya seguir compartiéndose con sus tradicionales compañeros de trabajo, los animales de carga. Este hecho constituye la razón más importante por la que la mecanización de la agricultura debe extenderse por uno tras otro de los rincones del planeta, al menos durante bastante tiempo.

La Ley de la Entropía hace resaltar también algunos aspectos fundamentales, aunque ignorados todavía, de los dos problemas que preocupan actualmente a los gobernados, a los gobiernos y prácticamente a todos los científicos: la contaminación y el continuo crecimiento de la población.

Es natural que la aparición de la contaminación haya cogido por sorpresa a una ciencia económica que se ha deleitado en jugar con todo tipo de modelos mecanicistas. Curiosamente, incluso después de esa aparición, la economía no ha dado señales de reconocer el papel que desempeñan los recursos naturales en el proceso económico. Los economistas parecen seguir sin darse cuenta de que, puesto que el producto del proceso económico son los desechos, éstos constituyen un resultado inevitable de tal proceso y *ceteris paribus* aumentan en mayor proporción que la intensidad de la actividad económica. Esta es la razón por la que la contaminación no infesta actualmente al Tibet o a Afganistán, por ejemplo. Si la economía hubiese reconocido el carácter entrópico del proceso económico, podría haber sido capaz de avisar a sus colaboradores en la mejora de la humanidad —las ciencias tecnológicas— de que «mayores y mejores» lavadoras, automóviles y aviones supersónicos tenían que conducir a una «mayor y mejor» contaminación. Cuando los científicos contemporáneos se reúnen en simposios para buscar una solución a ese callejón sin salida, no hacen mucho más que culpar a sus predecesores por una doctrina excesivamente agresiva y una previsión demasiado estrecha. Al ser para nosotros el futuro tan impredecible como es, debiéramos únicamente preguntarnos qué es lo que los futuros científicos tendrán que decir acerca de la agresividad y la previsión de la generación actual.

Las opiniones más extremistas del grupo literario de Vanderbilt Fugitives, muchos de cuyos componentes criticaron los efectos de la tecnología moderna sobre la vida pastoril del campo, palidecerían por completo en comparación con las profesadas en la actualidad por algunos miembros de la naciente clase de expertos en contaminación. Otros de esos miembros parecen pensar que, por el contrario, la humanidad puede sencillamente hacer desaparecer la contaminación sin coste alguno en términos de baja

entropía siempre que se usen únicamente técnicas industriales no contaminantes, una idea que revela la creencia en la posibilidad de ocultar la entropía y a la que ya me he referido antes. El problema de la contaminación es a muy, muy largo plazo, y se encuentra íntimamente relacionado con la manera en que la humanidad está haciendo uso, dentro de sus posibilidades, de la baja entropía. Esto último es lo que constituye el verdadero problema de la población.

Hoy en día está de moda permitirse estimar el tamaño de la población que puede soportar nuestra Tierra; algunas estimaciones son tan bajas como cinco mil millones y otras tan altas como cuarenta y cinco mil millones<sup>19</sup>. Sin embargo, dado el carácter entrópico del proceso económico por el que se mantiene la especie humana, no es ese el modo adecuado de enfrentarse al problema de la población. Es posible que la Tierra pueda soportar hasta cuarenta y cinco mil millones de personas, pero con toda seguridad no *ad infinitum*. En consecuencia, tendríamos que preguntar, «¿durante cuánto tiempo puede la Tierra mantener a una población de cuarenta y cinco mil millones de personas?». Y si la respuesta es, por ejemplo, mil años, tendremos que seguir inquiriendo «¿qué sucederá después?». Todo esto pone de manifiesto que hasta el concepto de población óptima concebido como coordinada ecológicamente determinada tiene solamente un valor artificial.

Hay también varios peligros para la especie humana si se reduce el problema de la población a saber el tamaño de la misma que puede mantenerse en el año 2000 o en cualquier otra fecha. El problema de la población se extiende más allá del año 2000; además, tener en todo momento un máximo de población no va decididamente en interés de nuestra especie. Despojados de todo juicio de valor, el problema de la población tiene que ver no con la estrechez de un máximo sino con la máxima cantidad de vida que puede soportarse por la dotación natural del hombre hasta su completo agotamiento. Para el caso, la cantidad de vida puede definirse sencillamente como la suma de los años vividos por *todos* los individuos, hasta el presente y en el futuro<sup>20</sup>. Como ya sabemos, la dotación natural del hombre se compone de dos elementos esencialmente distintos: (1) el *stock* de baja entropía en o dentro de la esfera terrestre, y (2) el *flujo* de energía solar, que, lenta pero continuamente, disminuye en intensidad con

<sup>19</sup> Que yo sepa, cuarenta y cinco mil millones es la cifra más alta que jamás se ha mencionado como posible tamaño de la población mundial. Su proponente es Colin Clark; véase su «Agricultural Productivity in Relation to Population», en *Man and His Future*, ed. G. Wolstenholme (Boston, 1963), p. 35.

<sup>20</sup> Puede ser útil resaltar que este total es independiente, primero, del momento en que vive cada individuo, y, segundo, de si el mismo número de años se vive por uno o por varios individuos. Que la duración media de la vida de un individuo es óptima constituye una entre muchas cuestiones secundarias.

la degradación entrópica del sol. Ahora bien, la cuestión crucial para el problema de la población así como para cualquier especulación razonable sobre la futura evolución exosomática de la humanidad es la importancia relativa de esos dos elementos. Y ello porque, por más sorprendente que pueda parecer, ¡todo el stock de recursos naturales no equivale más que a unos pocos días de luz solar!

Si hacemos abstracción de otras causas que pueden hacer doblar a muerto por la especie humana, es evidente que los recursos naturales representan el factor limitativo por lo que se refiere a la duración de la vida de esa especie. La existencia del hombre se encuentra ahora irrevocablemente ligada al empleo de instrumentos exosomáticos y, consecuentemente, al uso de recursos naturales, de la misma manera que, por ejemplo, está unida en la respiración al uso de sus pulmones y del aire. No es preciso disponer de argumentos sofisticados para ver que el máximo de cantidad de vida exige una tasa mínima de agotamiento de los recursos naturales. En efecto, al usar esos recursos con excesiva rapidez, el hombre despilfarra aquella parte de la energía solar que seguirá alcanzando la Tierra durante mucho tiempo después de su muerte, con lo que todo lo que ese hombre ha hecho durante los últimos doscientos años le pone en la situación de un fantástico despilfarrador. No puede haber duda alguna al respecto: todo uso de los recursos naturales para satisfacer necesidades no vitales lleva consigo una menor cantidad de vida en el futuro<sup>21</sup>. Si entendemos bien el problema, el mejor empleo de nuestros recursos de mineral de hierro es producir arados o gradas según se precisen, pero no Rolls Royces ni siquiera tractores agrícolas.

La comprensión de esas verdades no va a hacer que el hombre se muestre dispuesto a volverse menos impaciente y menos propenso a moderar sus deseos; sólo la necesidad directa puede obligarle a comportarse de modo diferente. No obstante, la verdad puede hacernos prever y comprender la posibilidad de que la humanidad pueda volver a encontrarse en una situación en la que considerará ventajoso emplear animales de carga, porque éstos trabajan en base a la energía solar en vez de a los recursos naturales. Esa misma verdad pone igualmente de manifiesto la futilidad del orgullo humano que invadió a algunos estudiosos al saber que aproximadamente en el año 2000 podríamos ser capaces de alimentarnos con proteínas derivadas del petróleo, resolviendo así por completo y para siempre el problema de la población. A pesar de lo altamente probable que es este proceso de conversión, podemos estar seguros de que en algún momento, quizá antes de lo que podría pensarse, el hombre tendrá que volver a

<sup>21</sup> He de apresurarme y admitir con placer que la distinción entre necesidades vitales y no vitales es de carácter dialéctico. Sin duda alguna, roturar un campo de cereal es una necesidad vital, mas no así conducir un Rolls Royce.



orientar su tecnología en el sentido opuesto, en el de obtener gasolina a partir de cereales, si desea seguir su actual camino y utilizar motores de combustión interna. De modo distinto al del pasado, el hombre tendrá que volver a la idea de que su existencia es un don gratuito del sol.

## CAPÍTULO I

### LA CIENCIA: BREVE ANÁLISIS EVOLUCIONISTA

1. *Génesis de la ciencia.* Podemos contemplar la ciencia desde distintos puntos de vista, ya que es «muchas cosas maravillosas». Sin embargo, la ciencia no ha sido en todas partes ni en todas las épocas tal como la conocemos ahora, ni su forma moderna ha llegado hasta nosotros a través de una orden como determinados mandamientos revelados durante la brevedad de un relámpago llegaron a todos los hombres en cualquier parte del mundo. La ciencia tuvo una génesis y una evolución en el sentido en que se emplean esos términos en biología. Cuanto más reflexionamos sobre el modo en que la ciencia se ha transformado de forma radical a lo largo de los tres o cuatro últimos siglos, se hace mucho más evidente que se trata de un organismo vivo. En este sentido, no debiéramos sorprendernos de que hayan fracasado todos los intentos de definirla a través de un simple rasgo.

A fin de obrar de modo sistemático, voy a examinar en primer lugar la razón por la que surgió la ciencia, es decir, su *causa efficiens* (en el sentido aristotélico). Según podemos deducir, esa causa fue el instinto de explorar el entorno, instinto que el hombre comparte con otros animales. Aquí y allá algunas tribus empezaron a darse cuenta, primero, de que el conocimiento otorga un poder de control sobre el entorno (por desgracia, también sobre los hombres) y, por consiguiente, hace que la vida sea más fácil para quien lo posee; y, segundo, de que aprender lo que ya saben otros es mucho más económico que adquirir tal conocimiento a través de la propia experiencia. Fue entonces cuando el hombre comenzó a valorar el conocimiento acumulado de todos los individuos de la comunidad y sintió la necesidad de almacenar y conservar ese conocimiento de generación en generación. De esta forma fue, por tanto, como surgió la ciencia.

Es evidente entonces que la *causa materialis* (nuevamente en sentido aristotélico) de la ciencia es el conocimiento común almacenado, esto es, el conjunto de todas las proposiciones descriptivas que se encuentran a disposición de cualquier miembro de la comunidad y que se suponen ciertas de acuerdo con los criterios de validez dominantes en el período de re-

ferencia. Ahora bien, tomar esa ecuación como definición de la ciencia sería evidentemente inadecuado. Por otra parte, hay que reconocer que la ecuación es válida para todo tiempo y lugar, desde las culturas primitivas a las actuales. Además, ese significado plantea la opinión de que la ciencia es lo opuesto a descripción, mientras que, por el contrario, la ciencia no puede existir sin descripción<sup>1</sup>.

Por otro lado, la ecuación enunciada en el párrafo anterior se aplica no sólo a las ciencias de los hechos —como la física o la ciencia política, por ejemplo— sino también a las ciencias de la esencia, esto es, a las matemáticas y a la Lógica<sup>2</sup>. Realmente, «*p* implica *q* y *q* implica *r* da como resultado *p* implica *r*» es una proposición tan descriptiva como «un ácido y una base dan como resultado una sal». Ambas proposiciones representan conocimiento *adquirido* y, por tanto, su significado es susceptible de cambiar al aumentar ese conocimiento. Actualmente, sabemos que las ciencias de la esencia gozan también del privilegio de descubrir que no todos los cisnes son blancos. Bernhard Bolzano tenía toda la razón cuando, hace ya más de cien años, nos advertía que en lógica queda por hacer más de un nuevo descubrimiento<sup>3</sup>. Sólo el conocimiento al que llega *inevitablemente* todo individuo —como «yo no soy tu», por ejemplo— no cambia con el transcurso del tiempo, y tales proposiciones tampoco forman la *causa materialis* de una ciencia.

2. *Evolución por mutaciones.* Como ya se ha dado a entender, el instinto animal del aprendizaje no fue suficiente para que una comunidad desarrollase la ciencia: la comunidad tenía que desarrollar también en grado considerable el instinto utilitario, de modo que pudiese llegar así a ser consciente de la utilidad de almacenar todo el conocimiento común. Hay ejemplos de tribus que han subsistido hasta épocas recientes y que no han desarrollado ciencia alguna como consecuencia precisamente de su débil instinto comunitario. Esta deficiencia es responsable también de otros modelos culturales comunes a esas comunidades y que nos parecen igualmente incomprensibles. Debemos observar además que la supervivencia hasta nuestros días de comunidades acientíficas se debe exclusivamente a su aislamiento accidental de otras comunidades, porque, en otro caso, la selección natural —como nos diría cualquier darwinista— se habría encargado de

<sup>1</sup> Véase P. W. Bridgman, *The Logic of Modern Physics* (Nueva York, 1928), p. 175.

<sup>2</sup> El que tanto los hechos como la esencia constituyen el objeto de la descripción y, por tanto, de la ciencia es el punto de vista de Edmund Husserl, *Ideas: General Introduction to Pure Phenomenology* (Nueva York, 1931), pp. 61 y ss. La diferencia estriba en que, en lugar de describir hechos, las ciencias de la esencia describen los modos por los que la mente humana comprende, clasifica y relaciona los hechos. O, si se desea, las matemáticas estudian los objetos despojados de toda cualidad particular y la Lógica estudia las proposiciones desprovistas de todo contenido objetivo.

<sup>3</sup> Bernhard Bolzano, *Paradoxes of the Infinite* (New Haven, 1950), p. 42. Véase también P. W. Bridgman, *The Intelligent Individual and Society* (Nueva York, 1938), p. 98.

que su historia fuese finalmente clausurada por el ataque de otras tribus que pondrían la ciencia al servicio de la guerra. La historia muestra que hasta las diferencias en el nivel del conocimiento objetivo desempeñan un papel de la mayor importancia, si no decisivo, en la lucha entre sociedades humanas. Difícilmente puede dudarse de que si las naciones europeas no hubiesen adquirido una cantidad enormemente superior de conocimientos objetivos en comparación con el resto del mundo, el colonialismo no habría tenido lugar. Muy probablemente, China o India habrían colonizado el mundo, incluida Europa, en el caso de que las civilizaciones asiáticas hubiesen logrado antes esa superioridad.

Aunque las causas que podrían explicar el nacimiento de la ciencia parecen ser iguales en todas partes, su evolución no siguió siempre el mismo modelo. De acuerdo con Veblen, podríamos atribuir la posterior expansión y transformación de la ciencia primitiva al instinto de *curiosidad ociosa*. Ahora bien, si lo hacemos así tenemos que admitir que este instinto no es innato como lo es el de aprendizaje. Ese reconocimiento parece inevitable en vista de la evolución totalmente diferente de la ciencia en diversas partes del mundo. Parece indudable que el instinto de curiosidad ociosa representa una mutación secundaria posterior que, al igual que cualquier mutación que tiene éxito, se difundió de modo gradual entre grupos cada vez más amplios.

3. *La memoria: el más antiguo almacén de conocimiento.* El problema de almacenar y conservar el conocimiento condujo pronto a la profesión académica y a la institución de la enseñanza. Mientras la lista de proposiciones descriptivas siguió siendo relativamente corta, su memorización proporcionaba la manera más sencilla de almacenamiento. Esa manera era también perfecta, en el sentido de que permitía un acceso casi instantáneo a cada parcela de conocimiento existente. Así pues, durante mucho tiempo la buena memoria fue la única capacidad exigida a los estudiosos y llegó a ser considerada como una de las más valiosas virtudes de un pueblo<sup>4</sup>.

Por último, se llegó a un punto crítico cuando ni siquiera la memoria del individuo más inteligente podía servir ya de depósito de la creciente cantidad de conocimientos, teniendo que inventarse depósitos no humanos a fin de no perderlos. El atolladero pudo resolverse afortunadamente con la invención de la escritura y de los papiros. Sin embargo, dado que el conocimiento continuaba expandiéndose, apareció un problema nuevo y más preocupante: cómo clasificar innumerables proposiciones de forma que se pudiera encontrar la que se precisase sin tener que buscar a través de todo el depósito. Aunque no encontramos el problema expresado en términos tan precisos, podemos comprender no obstante que esa necesi-

<sup>4</sup> Platón, *Phaedrus*, pp. 274-275, relata que un famoso rey egipcio lamentó la invención de la escritura porque llevaría al pueblo a dedicar menos atención al adiestramiento de la memoria.

dad debe haber irritado continuamente las mentes de los eruditos. Primeramente cayeron en la idea de la clasificación taxonómica, tal como lo atestiguan los primitivos códigos de conducta moral o legal. Ahora bien, una buena clasificación taxonómica requiere a su vez un criterio rápidamente disponible, como podría ser el orden cronológico para clasificar hechos históricos. De esta manera, al menos una —probablemente la única— de las culturas humanas, en concreto la de la Antigua Grecia, llegó a ocuparse de la clasificación y a debatir apasionadamente los delicados problemas conexos. Platón, por ejemplo, afirmó que la dicotomía es el principio racional de la clasificación, mientras que Aristóteles se mostró en completo desacuerdo con ello, observando con razón que en la mayor parte de los casos la dicotomía es «imposible o inútil»<sup>5</sup>.

Como sistema de depósito, la clasificación ha subsistido hasta hoy por la sencilla razón de que seguimos teniendo que archivar taxonómicamente una gran parte de nuestro conocimiento objetivo. Lo anterior es cierto no sólo en el caso de la biología sino también en el más elevado campo de la física: en la actualidad, los físicos están preocupados en clasificar el siempre creciente número de diferentes partículas intraatómicas<sup>6</sup>. Parece como si el mandato formulado por Georges Cuvier, «nommer, classer, décrire», tuviese un valor permanente, incluso aunque las tres órdenes no puedan ejecutarse ya por separado o en la secuencia indicada. Por desgracia, también han permanecido sin resolverse los problemas básicos de la clasificación que continúan atormentando al mundo académico, desde el taxonomista biológico al lógico; y, además, muchas de las paradojas lógicas —desde la de «el cretense que dice que todos los cretenses son mentirosos» a la de Russell de «clase de todas las clases»— son totalmente inclasificables<sup>7</sup>.

4. *De la clasificación taxonómica a la lógica.* La búsqueda de un principio universal de clasificación llevó a los filósofos griegos a investigar el carácter de las nociones y la relación existente entre las mismas. A partir de estas tareas intelectuales, surgió la Lógica, lo que marcó el final de un proceso dilatado y difuso. En una época tan temprana como a comienzos del siglo VI antes de J. C., se llevaban a cabo ya pruebas lógicas de proposiciones geométricas. Ahora bien, ni siguiera Platón, maestro de Aristóteles, tenía idea alguna del silogismo; se refirió a proposiciones científicas a partir de algunas verdades básicas, pero hasta Aristóteles no apareció un claro esbozo del edificio lógico del conocimiento<sup>8</sup>. Y lo más importante es que el propio Aristóteles se inspiraba en ciertos *Elementos de Geometría* que existían

<sup>5</sup> Platón, *Sophist*, pp. 219, 253, *Statesman, passim*; Aristóteles, *De Partibus Animalium*, I, 2-4.

<sup>6</sup> Véase Louis de Broglie, *New Perspectives in Physics* (Nueva York, 1962), p. 35; David Bohm, *Causality and Chance in Modern Physics* (Londres, 1957), pp. 122 y s.

<sup>7</sup> El punto anterior está admirablemente enfocado por Henri Poincaré, *Mathematics and Science: Last Essays* (Nueva York, 1963), pp. 45-55.

<sup>8</sup> Platón, *Republic*, VII, 533; Aristóteles, *Analytica Posteriora*, I, 1-6.

tían en su época y que han llegado hasta nosotros de la mano de Euclides en una forma muy refinada<sup>9</sup>. Una vez más, el nacimiento de algo —en este caso, la primera ciencia teórica— precedió a su descripción conceptual.

No es preciso decir que el edificio teórico de la geometría —en su acepción etimológica— no se erigió en un solo día y, dado que nadie tenía una idea definida de lo que iba a ser el resultado final, sus constructores deben haber estado guiados por otros objetivos. En la tradición característica del pensamiento griego, los pensadores abstractos buscaban cierto Primer Principio. Por otra parte, podemos suponer plausiblemente que los *arpedonaptés*, los agrimensores del antiguo Egipto, deben haber observado más pronto o más tarde que, una vez que puede recordarse, por ejemplo, que

A. *La suma de los ángulos de un triángulo es dos ángulos rectos,*

no es preciso memorizar también la proposición

B. *La suma de los ángulos de un cuadrilátero convexo es cuatro ángulos rectos.*

De esta manera y aunque inconscientemente, los *arpedonaptés* empezaron a utilizar el algoritmo lógico mucho antes de que se escribieran los primeros *Elementos de Geometría*, gracias simplemente a que el mecanismo les ahorra esfuerzos de memorización. Sin ese aspecto económico, el algoritmo lógico hubiera seguido siendo muy probablemente una noción tan esotérica como la Primera Causa, por ejemplo.

En la actualidad, la relación existente entre el algoritmo lógico y la ciencia teórica parece muy simple. De acuerdo con una clasificación lógica, todas las proposiciones,  $P_1, P_2, \dots, P_n$ , ya establecidas en un campo determinado de conocimiento pueden separarse en dos clases ( $\alpha$ ) y ( $\beta$ ), tal que

- (1) *toda proposición  $\beta$  se derive lógicamente de algunas proposiciones  $\alpha$ , y*
- (2) *ninguna proposición  $\alpha$  se derive de otra proposición  $\alpha^0$ .*

Esta clasificación lógica representa el mecanismo interno a cuyo través se construye y mantiene una teoría científica. En consecuencia, la ciencia teórica es un catálogo que enumera las proposiciones lógicas conocidas en un orden lógico, en el sentido de distinto del taxonómico o lexicográfico. En otras palabras, tenemos una primera ecuación

«Ciencia teórica» = «Descripción lógicamente ordenada».

En realidad, la economía lógica no se detiene aquí. Con frecuencia, algunas proposiciones especulativas se «elaboran» y se añaden a ( $\alpha$ ) con el

<sup>9</sup> Véase W. D. Ross, *Aristotle* (3.ª edición, Londres, 1937), p. 44.

<sup>10</sup> Para que ( $\beta$ ) no sea un conjunto nulo, las proposiciones  $P_1, P_2, \dots, P_n$  no deben ser totalmente circulares. Por ejemplo, nuestro conocimiento objetivo no debería consistir solamente en: iluminación es luz; luz es electricidad; electricidad es iluminación. Esta necesidad puede justificar la tradicional aversión que los hombres de ciencia manifiestan hacia las argumentaciones circulares.

fin de trasladar otras tantas proposiciones  $\alpha$  a ( $\beta$ ). Así pues, ( $\alpha$ ) se sustituye por ( $\omega$ ), teniendo esta última las mismas propiedades y la misma relación con la nueva ( $\beta$ ) que la que tenía ( $\alpha$ ). La única diferencia consiste en que ( $\omega$ ) contiene algunas proposiciones no observables, es decir, algunos primeros principios, pero esto no afecta a la validez de la ecuación escrita anteriormente<sup>11</sup>.

5. *Ciencia teórica y economía de pensamiento.* Al clasificar el conocimiento de manera lógica no lo aumentamos; únicamente llevamos a sus límites más extremos la ventaja económica del algoritmo lógico. Evidentemente, las proposiciones  $\omega$  de cualquier ciencia contienen, explícita o implícitamente, todo el conocimiento existente en un campo determinado. Así pues, estrictamente hablando, para almacenar todo lo que ya se conoce en un campo solamente precisamos memorizar ( $\omega$ ), esto es, lo que actualmente denominamos el fundamento lógico de la ciencia correspondiente. Para estar totalmente seguro, un científico memoriza también habitualmente algunas proposiciones  $\beta$ , pero sólo porque cree conveniente disponer de acceso inmediato a las proposiciones más frecuentemente precisadas en el ejercicio cotidiano de su profesión. La cuestión más importante es que, a pesar de que el volumen de información objetiva se ha ido extendiendo constantemente, se ha ido reduciendo día a día la incomodidad de su tratamiento, debido precisamente al cada vez más creciente número de campos —fragmentarios, en todo caso— que se han ido sometiendo al poder de la comprensión teórica. Como lo expresó perfectamente P. B. Medawar, «en todas las ciencias nos vemos progresivamente liberados de la carga de casos singulares, de la tiranía de lo particular. No necesitamos consignar más la caída de cada manzana»<sup>12</sup>.

Puede parecer como si los filósofos griegos hubieran estado preocupados por cuestiones etéreamente abstractas y por problemas pragmáticamente inútiles. Sin embargo, en las profundas aguas de su lucha intelectual se hallaba la necesidad de clasificar el conocimiento de forma que pudiese ser comprendido por la mente de cualquier individuo. Los héroes de la batalla podrían no haber sido conscientes de las implicaciones económicas de esa necesidad, ni siquiera de la misma necesidad, de igual modo en que nadie parece haber hecho ningún caso de la inmensa economía producida por el cambio de la escritura ideográfica a la alfabética, ni cuando tuvo lugar el cambio ni, menos aún, antes del mismo. En términos generales, las necesidades creadas por la evolución nos orientan, por así decirlo, en silencio; rara vez, por no decir jamás, nos damos cuenta de su

<sup>11</sup> Dado que en el uso corriente «ciencia teórica» y, en especial, «teoría» tienen acepciones muy elásticas, para ahorrar al lector posibles dificultades posteriores quiero subrayar que «ciencia teórica» se emplea a lo largo de este libro en el sentido definido por esa ecuación.

<sup>12</sup> Citado en *The Listener*, 18 de mayo de 1967, p. 647.

influencia sobre nuestra compleja actividad (o incluso de su existencia). Sólo después de mucho tiempo comprendemos por qué trabajamos y qué estamos buscando; sólo después de suceder los hechos podemos decir con Oswald Spengler que «una tarea impuesta por la necesidad histórica será realizada con el individuo o contra él»<sup>13</sup>.

A la vista de todo ello, no es sorprendente que el aspecto económico de la ciencia teórica permaneciese totalmente inadvertido hasta 1872, año en el que por vez primera Ernst Mach afirmó que la ciencia «es experiencia dispuesta en orden económico»<sup>14</sup>.

Para hablar de la economía del pensamiento lograda a través de la ciencia teórica, hay que poner primero de manifiesto que la memorización es un esfuerzo intelectual más costoso que el raciocinio. Evidentemente, esto no le parece cierto a una gran mayoría de humanos: hasta los estudiantes universitarios prefieren mayoritariamente los cursos descriptivos, en los que debe memorizarse el conocimiento que se presenta taxonómicamente, a aquellos en los que se le clasifica de modo lógico. Además, la memoria y el raciocinio son capacidades que pueden mejorarse con el adiestramiento y éste, a su vez, puede poner el acento en una u otro, según sea la tradición cultural. Año tras año, la memoria de los estudiantes chinos y japoneses ha estado sometida a un adiestramiento continuo sin paralelo alguno en el mundo occidental y continuará siendo así en tanto tengan que aprender de memoria miles de caracteres ideográficos; pero, al final, hasta los estudiantes chinos y japoneses han de sucumbir bajo la presión de la memoria. Por muy estrecho que sea el campo que se ha elegido, en la actualidad nadie puede soñar con memorizar la inmensa cantidad de conocimiento objetivo, de la misma manera que nadie puede esperar llegar a la luna en un globo corriente. Al memorizar sólo una parte del conocimiento objetivo, se puede tener éxito como artesano, mas no como persona erudita.

Pero en la evolución no hay nada general o definitivo. Puede ser que los seres racionales de otros sistemas solares tengan sus cerebros contruidos de tal modo que la memoria sea para ellos un factor relativamente li-

<sup>13</sup> Oswald Spengler, *The Decline of the West* (2 vols., Nueva York, 1928), II, p. 507. Entre paréntesis, pero de modo oportuno, podría especularse que los actuales programas espaciales demostrarían en algún futuro lejano haberse correspondido con la necesidad de ocuparse de una población explosiva.

<sup>14</sup> Ernst Mach, *Popular Scientific Lectures* (Chicago, 1895), p. 197 y *passim*. Véase también su *The Science of Mechanics* (La Salle, Ill., 1942), pp. 578-596. La misma idea se elaboró con mucha mayor intuición por Karl Pearson, *The Grammar of Science* (ed. de Everyman's Library, Londres, 1937), pp. 21, 32 y *passim*.

Sin embargo, Mach hizo poco o nada fuera del orden lógico sino que, antes bien, puso de relieve el alivio que proporcionaban a la memoria las tablas numéricas y el simbolismo matemático. Ahora bien, las efemérides existían mucho antes de que la mecánica llegase a ser una ciencia teórica y la tabla de multiplicar ha sido siempre sólo una regla mnemotécnica. La economía del pensamiento deparada por tablas y símbolos debería atribuirse a la invención de la escritura antes que a cualquier otra cosa.

bre, con lo que para tales seres la ciencia teórica podría ser verdaderamente antieconómica. Por otra parte, hay que esperar que con el transcurso del tiempo cambie hasta la estructura de la ciencia en nuestro planeta. En este sentido, podemos vislumbrar ya algo, aunque sea vagamente, de su próxima mutación, una vez que los cerebros electrónicos se hayan hecho cargo por completo de la memorización, del recuerdo de todo lo aprendido, de la clasificación y del cálculo, operaciones todas ellas que pueden realizar a una velocidad fantástica y a mucha mayor escala que la mente humana.

En cualquier caso, no debemos dar por sentado que, una vez libre de esos quehaceres, la mente humana vaya a ser forzosamente capaz de emplear con mayor facilidad y eficiencia sus facultades creativas para descubrir las regularidades de la realidad y la ficción, para idear nuevos conceptos con los que sintetizar en un solo fundamento lógico hechos aparentemente diversificados, para formular y demostrar proposiciones válidas para un sinnúmero de situaciones, etc.<sup>15</sup> En efecto, a la vista de lo que sucede actualmente a nuestro alrededor, la mente humana parece más bien hundirse ante la inmensa marea de resultados producidos a velocidad electrónica por el ejército de ordenadores. Además, ¿no es cierto —al menos en el campo de la economía— que no se ha llevado a cabo prácticamente ninguna obra sintética entre las miles de tesis doctorales que, desde el advenimiento de los centros de informática, se han seguido ocupando de otros problemas? Es difícil ver cómo incluso un Adam Smith o un Karl Marx podrían encontrar su camino en semejante jungla de los denominados hechos analizados, y, como lo ha puesto recientemente de manifiesto un famoso director de investigaciones, puede que la situación no sea diferente vista desde el otro lado de la barrera: una importante organización se dio cuenta de pronto de que «su amplio programa de investigación “aplicada” había demostrado ser ineficaz para extender su ámbito de influencia [y decidió] crear un programa multimillonario de investigación “básica”»<sup>16</sup>. Parece, por tanto, que, solamente con su presencia, los ordenadores nos inducen a seguir registrando la caída de otra manzana. Además, incluso esos

<sup>15</sup> El Capítulo III, Sección 10, considera mejor este punto, pero es más conveniente referirse ahora a una extendida falacia sobre la superioridad de los ordenadores. Pese a ser limitada (como ya he dicho), la capacidad memorizadora del cerebro es relativamente muy superior a la de los ordenadores. El que pese a ello tengamos la impresión contraria se debe únicamente a que desconocemos cuánto ha de memorizar el cerebro para que el individuo no se halle perdido en su propia vida como si fuese un recién llegado a una metrópoli. Un hombre debe recordar, al menos durante algún tiempo, hasta lo que tomó para desayunar y cuál era su sabor. Esta es la razón por la que su cerebro está constituido de tal modo que encuentra absurdo memorizar toda una tabla de logaritmos, en tanto que no sucede así en el caso del ordenador.

<sup>16</sup> J. R. Pierce, «When Is Research the Answer», *Science*, 8 de marzo de 1968, p. 1.079. Pierce, que parece ser fervoroso partidario de la supremacía de la investigación «aplicada», culpa a los científicos de la Naturaleza de esa organización (a la que no nombra en absoluto) de no hacer «su trabajo cotidiano bien y cuidadosamente»; pero, como también he indicado, hasta un Newton podría ser incapaz de llegar a síntesis alguna bajo un diluvio de detalles.

registros tienden a hacerse cada vez más falsos, pues el fácil acceso a los centros informáticos hace que los estudiantes presten todavía menor atención que antes a lo apropiado de las herramientas estadísticas empleadas para contrastar sus modelos concretos<sup>17</sup>.

Sin embargo, el mayor peligro de una época en la que reproducir la caída de cada manzana a través de un colosal sistema de ecuaciones pasa por ser el sello característico de la profesión académica, y en la que todo un día de trabajo significa traspasar el problema a un ordenador, consiste en que hasta los potenciales Newtons se ven disuadidos a interesarse por la síntesis. La observación de Ruth Davis de que hoy en día se dedican mayores esfuerzos a mejorar los ordenadores que a perfeccionar la mente humana tiene que haber sido mal recibida por los restantes miembros del Simposio de Washington sobre Aumento por Ordenador del Razonamiento Humano<sup>18</sup>. La disposición de esta época no se inclina a escuchar verdades como ésta, con el resultado de que la ciencia parece encontrarse ahora en un círculo vicioso. La escasez de trabajos sintéticos nos hace creer que no hemos analizado un número suficiente de hechos, pero, al suministrar aún más hechos específicos, no hacemos sino dificultar cada vez más la labor sintetizadora. Considérese lo siguiente: la revista *Chemical Abstracts* correspondiente al año 1949 (cuando la carga debe haber sido menos aplastante que hoy en día) incluía no menos de 70.000 documentos que proporcionaban información sobre 220.000 cuestiones científicas. Pauling calcula que, en el conjunto de las ciencias de la Naturaleza, el número de «nuevos hechos científicos» constatados cada año puede ascender a un millón<sup>19</sup>. Como consecuencia de todo ello, podemos prever ciertas reacciones de rechazo antes de que la ciencia haya absorbido por completo el trasplante de su propia creación: los autómatas de todo tipo.

6. *Diferencias significativas entre Oriente y Occidente*. Descritos en un orden lógico, los hechos forman un tejido totalmente diferente del que muestra la descripción taxonómica, razón por la que está justificado decir que con los *Elementos* de Euclides la *causa materialis* de la geometría sufrió una transformación radical: a partir de un conjunto de proposiciones más o menos amorfo, adquirió una estructura *anatómica*. Como por otro lado voy a explicar ahora, la geometría por sí misma apareció como organismo vivo junto a su propia fisiología y teleología, y esa auténtica mutación representa no sólo la más valiosa contribución de la civilización griega al pensamiento humano sino también un hito trascendental en la evolución

<sup>17</sup> Véase mi trabajo «Further Thoughts on Corrado Gini's *Delusioni dell'econometria*», *Metron*, XXV (1966), pp. 265-279.

<sup>18</sup> *Symposium on Computer Augmentation of Human Reasoning*, eds. Margo A. Sass y W. D. Wilkinson (Washington, 1965), p. 152.

<sup>19</sup> Linus Pauling, «The Significance of Chemistry», *Frontiers in Science: A Survey*, ed. E. Hutchings, Jr. (Nueva York, 1958), pp. 279 y s.

de la humanidad, únicamente comparable al descubrimiento del lenguaje y de la escritura.

Al evocar la evolución del pensamiento griego, se tiene la tentación de concluir que la aparición de la ciencia teórica fue un resultado normal, casi necesario, de la Lógica. Sin embargo, no deberíamos engañarnos; tanto la civilización india como la china llegaron a una lógica propia —en algunos aspectos incluso más refinada que la de Aristóteles<sup>20</sup>—, pero ninguna de ellas llegó a darse cuenta de su utilidad para clasificar el conocimiento objetivo. Por consiguiente, la ciencia nunca fue en Oriente más allá de la fase taxonómica. Así pues, la cultura griega debe haber tenido alguna característica específica de la que carecía el Oriente, pues de lo contrario no podría explicarse la diferencia existente en el desarrollo de la ciencia en Oriente y Occidente.

No es difícil autoconvencernos de que la marca de nacimiento de la filosofía griega es la creencia en una Primera Causa de carácter no divino. Ya a comienzos del siglo VI antes de J. C., Tales, sabio de gran y diverso talento, enseñaba que «el agua es la causa material de todas las cosas»<sup>21</sup>. Para descubrir la Primera Causa, antes o después hay que preguntarse por la causa próxima y, así, sólo una generación después de Tales hallamos a Anaximandro explicando de forma bastante moderna que la Tierra «se encuentra donde está [sostenida por nada] como consecuencia de su equidistancia de todo»<sup>22</sup>.

Otras civilizaciones pueden haber llegado a las nociones de causa y efecto, pero sólo a la de la Antigua Grecia se le ocurrió (y casi desde el principio) la idea de la causalidad como algoritmo de doble sentido: con excepción de la Primera Causa, todo tiene una causa y un efecto. Ahora bien, debido a su supremo interés por la Primera Causa, los pensadores griegos enfocaron su atención en la causa antes que en el efecto<sup>23</sup>. Como sabemos, Aristóteles trató una y otra vez la noción de causa hasta que descubrió cuatro formas de ella<sup>24</sup>.

La búsqueda de la causa inmediata llegó a ser considerada cuando menos una de las más nobles actividades del espíritu, inferior únicamente a la búsqueda de la Primera Causa. El recuerdo de los hechos —afirman los

<sup>20</sup> Por ejemplo, la lógica oriental exigía que la premisa del silogismo incluyese un ejemplo, de forma que se eliminase la vacuidad: «Donde hay humo, hay fuego, como en la cocina» (véase Chan Wing-tsit: «The Spirit of Oriental Philosophy», en *Philosophy: East and West*, ed. Charles A. Moore, Princeton, 1944, p. 162). Sin embargo, la lógica de Oriente se desarrolló sobre todo a lo largo de líneas altamente dialécticas (Chan Wing-tsit, «The Story of Chinese Philosophy», *op. cit.*, pp. 41 y ss.).

<sup>21</sup> J. Burnet, *Early Greek Philosophy* (4ª edición, Londres, 1930), p. 47.

<sup>22</sup> *Ibid.*, p. 64.

<sup>23</sup> La primera formulación del principio de causalidad de que se tiene constancia (hecha por Leucipo, a mediados del siglo V antes de J. C.) habla por sí misma: «Nada sucede de forma gratuita, sino todo por una razón y por necesidad». *Ibid.*, p. 340.

<sup>24</sup> *Physics*, II, 3; *Metaphysics*, I, 3, 10; V, 2.

griegos— es semiconocimiento, esto es, mera *opinión*; el verdadero conocimiento, es decir, el *entendimiento*, incluye también conocer la *causa rerum*. Esta opinión había ganado ya tanto terreno en tiempos de Platón que Aristóteles no tuvo ninguna dificultad para establecerla como dogma incuestionable<sup>25</sup>. No hay exageración alguna al decir que el rasgo distintivo del pensamiento griego fue su obsesiva preocupación por el «¿por qué?».

En todo caso, esa obsesión no basta por sí sola para explicar el matrimonio de Lógica y ciencia en el pensamiento griego. La unión fue posible gracias a una peculiar confusión entre «el por qué» y «la razón lógica», esto es, entre la *causa efficiens* y la *causa formalis*. El síntoma se hace evidente al reconciliarlas Aristóteles en sus cuatro tipos de causas<sup>26</sup>, e incluso aún más en nuestro empleo de «explicación» en dos sentidos distintos, relacionado cada uno de ellos con una de las *causae* recién mencionadas<sup>27</sup>. Si por casualidad la Lógica se hubiese aplicado primero a construir la ciencia teórica en otro campo distinto de la geometría —donde las cosas no se mueven ni cambian sino que simplemente son—, la guerra actualmente desencadenada entre positivistas lógicos y realistas habría estallado con toda probabilidad inmediatamente después de los primeros *Elementos*.

En nuestra calidad de partícipes del pensamiento occidental, tenemos tendencia a creer que la causalidad representa, si no una forma *a priori* en el sentido kantiano, al menos una de las más tempranas nociones inevitablemente comprendidas por el hombre primitivo<sup>28</sup>. A pesar de ello, la cruda realidad es que, a diferencia de la civilización griega, las antiguas culturas de Asia nunca desarrollaron la idea de causalidad<sup>29</sup>, por lo que les resultó imposible unir el silogismo lógico al algoritmo causal y organizar así teóricamente el conocimiento objetivo. Sin embargo, no podemos culpar únicamente a la ausencia de conocimiento teórico del hecho muy conocido de que, a lo largo de los dos últimos milenios, el conocimiento objetivo haya progresado poco en Oriente, si es que lo ha hecho, a pesar de la ventaja sustancial que tenía al principio sobre Occidente<sup>30</sup>; otros factores han incidido también con fuerza en la balanza.

Mientras que en Grecia los filósofos buscaban la Primera Causa, en la India, por ejemplo, dirigían sus esfuerzos a descubrir la Esencia Absoluta

<sup>25</sup> Véase Platón, *Meno*, p. 81-86, *Theaetetus*, pp. 201 y ss.; Aristóteles, *Analytica Posteriora*, 78<sup>a</sup> 23, 88<sup>b</sup> 30, 94<sup>a</sup> 20, *Physics*, 194<sup>b</sup> 15.

<sup>26</sup> Así, Aristóteles comienza la Sección *iii* de *Physics*, II, con la observación de que hay «muchos sentidos [en el hecho de que] “porque” pueda responder a “por qué”». Véase también *Metaphysics*, 1.013<sup>b</sup> 3-4.

<sup>27</sup> Véase John Stuart Mill, *A System of Logic* (8ª edición, Nueva York, 1874), pp. 332 y ss.

<sup>28</sup> Por ejemplo, Mach, *Lectures*, p. 190.

<sup>29</sup> Véase Junjiro Takakusu, «Buddhism as a Philosophy of “Thusness”», en *Philosophy: East and West*, ya citado, pp. 74 y ss.

<sup>30</sup> El interés por esta diferencia no es en absoluto nuevo: véase G. W. F. Hegel, *Lectures on the Philosophy of History* (Londres, 1888), pp. 141 y ss.



tras el velo de Maya; en tanto que los griegos creían que la verdad se alcanza a través del raciocinio, los indios sostenían que la verdad se revela por medio de la contemplación. Es cierto que la contemplación posee cualidades incuestionables: sin ella no podríamos llegar siquiera a la pura descripción, ni descubrir las ficciones interpretativas de la ciencia moderna; pero un espíritu puramente contemplativo, incluso aunque pueda ver cosas que «se nos han escapado por completo»<sup>31</sup>, difícilmente puede observar de modo sistemático los acontecimientos de todo tipo en el campo de los fenómenos de la Naturaleza; y mucho menos puede tal espíritu pensar en idear y llevar a cabo experimentos. Con la tendencia contemplativa de la élite intelectual, el crecimiento del conocimiento objetivo siguió dependiendo en Oriente exclusivamente de los descubrimientos fortuitos de los artesanos, cuya mente está en general menos cualificada para observar y valorar que la del hombre de ciencia<sup>32</sup>.

7. *Ciencia teórica: fuente continua de sugerencias experimentales.* Las últimas observaciones plantean una nueva cuestión: si los eruditos orientales se hubiesen atrevido a observar los fenómenos corrientes de la Naturaleza, ¿habría aumentado su conocimiento objetivo tanto como el de Occidente? En otras palabras, ¿es la ciencia teórica no sólo un depósito de conocimiento más adecuado sino también un instrumento más eficiente que el crudo empirismo para extender el conocimiento? Sobre todo esto, escuchamos a menudo dos opiniones contradictorias: que los descubrimientos más revolucionarios se han realizado accidentalmente y que la teoría nos libera de la dependencia de descubrimientos accidentales.

Vista más de cerca, parece, no obstante, que la noción de un conocimiento objetivo enteramente nuevo y completamente divorciado del accidente constituye una contradicción en términos. Pero esto no significa que no haya manera alguna por la que no pueda aumentarse la probabilidad de accidentes «afortunados». Evidentemente, el consejo «no esperes que sucedan los accidentes sino cáusalos a través de la experimentación continuada» es excelente, pero al seguirlo estamos seguros de tener que enfrentar-

<sup>31</sup> Véase William Ernest Hocking, «Value of the Comparative Study of Philosophy», en *Philosophy: East and West*, p. 3.

<sup>32</sup> Como ya he subrayado, sin la ciencia teórica el depósito de conocimiento con fácil acceso cuenta exclusivamente con la buena memoria, lo que no deja de estar relacionado con la supervivencia de la escritura ideográfica en el Lejano Oriente. Habría que tener igualmente en cuenta que esa supervivencia constituye un tremendo obstáculo intelectual: la escritura ideográfica reduce el número de verdaderos hombres de ciencia y, además, malgasta gran parte de su energía intelectual. En la actualidad, impide la utilización de máquinas de escribir y de linotípicas, una pérdida de carácter más general para las colectividades afectadas.

En el caso de China, la supervivencia puede tener cierta justificación: la multiplicidad de dialectos dentro de una cultura por otra parte unitaria. Ahora bien, la supervivencia en Japón de una escritura híbrida que desafía a cualquier norma sistemática constituye un enigma que parece mucho más fascinante en vista del milagroso desarrollo logrado por su economía.

nos tarde o temprano al problema de decidir qué experimento emprender a continuación. Si dependiésemos totalmente de la imaginación para darnos de nuevas sugerencias de experimentación, no seríamos capaces de seguir el consejo, pues la imaginación es caprichosa y con frecuencia no da fruto alguno durante largos períodos de tiempo. ¿Existe alguna solución?

Hay que observar que, aunque el trabajo de la imaginación es indispensable en el proceso de descubrimiento lógico, no sucede siempre así. En todas sus formas, la Lógica tiene ciertas reglas automáticas que pueden mantener al proceso en movimiento durante largos tramos sin ayuda externa alguna. Como se ha dicho, las más de las veces el tipo de pluma presenta una inteligencia mayor que la del escritor. Además, el camino del análisis lógico se ramifica siempre en tantas direcciones que es muy improbable que todos los procesos de raciocinio se atasquen simultáneamente como consecuencia de haber alcanzado la etapa en la que se precisa imaginación para hacerlos marchar de nuevo. En consecuencia, a partir de los fundamentos lógicos de una ciencia pueden derivarse sin interrupción nuevas proposiciones. Una función psicológica de la ciencia teórica es precisamente la continua derivación de *nuevas* proposiciones, esto es, de proposiciones todavía no incluidas en ( $\beta$ ). Por consiguiente, los laboratorios nunca están faltos de nuevas ideas que contrastar experimentalmente y, por ejemplo, no sucede ningún eclipse total de sol sin que se produzca un inmenso revuelo experimental. Es evidente así que la segunda ventaja económica de la ciencia teórica consiste en el hecho de que los recursos experimentales están siempre totalmente empleados. Y si de esta forma un científico se mantiene ocupado todo el día, podría incluso encontrar algo que no estaba buscando en absoluto. Un famoso ejemplo de esto es el de A. H. Becquerel, que descubrió la radioactividad mientras investigaba un fenómeno de fluorescencia en el que, equivocadamente, creía.

8. *Ciencia teórica y hábito analítico.* A estas alturas, es importante observar que los mayores progresos en el conocimiento tienen lugar cuando una proposición lógicamente derivada se refuta por un experimento, no cuando se confirma. Hay que plantearse entonces la cuestión pertinente de si el empleo total de recursos experimentales en la contrastación de proposiciones lógicamente derivadas aumenta la probabilidad de un afortunado accidente de ese tipo, es decir, de un descubrimiento real. Es bastante extraño que, a pesar de ir dirigido exclusivamente a probar la superioridad de la ciencia teórica, el dogma de la racionalidad de la realidad no pueda ayudarnos a responder afirmativamente a esa cuestión, porque, si la realidad es racional, cuanto más se acerque la ciencia a ella mayor será la probabilidad de que una proposición lógicamente derivada supere la contrastación experimental. Por otra parte, si afirmamos que los hechos bastan para responder afirmativamente la cuestión, debemos concluir a la fuerza que la realidad es antirracional, no simplemente irracional. El problema es sumamente delicado.

Fueron los eleáticos los que primero propusieron que «la cosa que puede ser pensada y por la cual existe el pensamiento es la misma»<sup>33</sup>. El dogma alcanzó su apogeo con la filosofía racionalista del siglo XVIII, cuando, con inmenso orgullo, pudo invocar en su ayuda a la nueva ciencia teórica, la mecánica newtoniana; pero sabemos igualmente bien que con casi todos los grandes descubrimientos de los últimos cien años el racionalismo ha recibido un golpe decisivo.

En efecto, si la realidad es racional, no puede haber contradicción lógica entre cualesquiera dos proposiciones; en concreto, el fundamento lógico de una ciencia debe ser no sólo no redundante —como lo garantiza el algoritmo lógico por el que está construido— sino también no contradictorio. Sin embargo, las contradicciones han aparecido en la física de modo periódico. Entre las más elocuentes están: (1) aunque en la mecánica el movimiento es indiferente a la dirección, el calor se mueve exclusivamente desde el cuerpo más caliente hacia el más frío; (2) el electrón aparece unas veces como partícula localizada y otras como onda que ocupa todo el espacio<sup>34</sup>. Hasta Einstein, que se negó categóricamente a faltar al dogma racionalista, tuvo que admitir que «por ahora... no disponemos de una base teórica general de la física que pueda considerarse como su fundamento lógico»<sup>35</sup>. Y, dado que el «por ahora» parecía perpetuarse, Niels Bohr propuso un nuevo dogma epistemológico conocido como Principio de Complementariedad: «Sólo la totalidad de los fenómenos agota la posible información sobre los objetos»<sup>36</sup>. Por ejemplo, las dos teorías del electrón, la corpuscular y la de la onda —mutuamente contradictorias pero cada una de ellas no contradictoria consigo misma—, deben aceptarse conjuntamente: cuál de ellas se use depende del fenómeno específico observado. O bien, como lo expresó Bridgman de forma más directa, «la única clase posible de teoría es una teoría parcial de aspectos limitados de la totalidad»<sup>37</sup>.

Conceptos como los anteriores fueron enunciados hace ya mucho tiempo por las doctrinas kantianas de que «*el entendimiento no deriva sus leyes (a priori) de la Naturaleza, sino que las prescribe a la Naturaleza*», con lo que quería decir que somos nosotros quienes dotamos a la Naturaleza

<sup>33</sup> De un fragmento de *Parmenides* en Burnet, *Early Greek Philosophy*, p. 176.

<sup>34</sup> Para más detalles al respecto, véase, por ejemplo, R. E. Peierls, *The Laws of Nature* (Londres, 1957), pp. 152, 182, 246 y *passim*.

<sup>35</sup> Albert Einstein, *Out of My Later Years* (Nueva York, 1950), p. 110; también p. 71. En *The Universe in the Light of Modern Physics* (Nueva York, 1931), p. 94, Max Planck es más categórico: la teoría de la relatividad y la mecánica cuántica «son incluso antagónicas». Para un relato fascinante de algunas de las *dramatis personae* implicadas en este «conflicto», véase Broglie, *New Perspectives*, pp. 138-155.

<sup>36</sup> Niels Bohr, *Atomic Physics and Human Knowledge* (Nueva York, 1958), pp. 40, 90. Véase también Werner Heisenberg, *Physics and Philosophy: The Revolution in Modern Science* (Nueva York, 1958), pp. 162 y s.

<sup>37</sup> P. W. Bridgman, *The Nature of Physical Theory* (Princeton, 1936), p. 118.

de racionalidad de modo que nuestros pensamientos racionales puedan comprenderla<sup>38</sup>. No hay que asombrarse por tanto de que cuanto más aprendemos sobre el comportamiento de la Naturaleza tanto más descubrimos lo irracional que es. Como lo observó Louis de Broglie, el milagro consiste en que con todo es posible hasta una compartimentada y limitada concordancia entre los fenómenos de la Naturaleza y la representación mental que tenemos de ellos<sup>39</sup>. A diferencia de esto, debería esperarse que la racionalidad fuese el auténtico andamiaje de toda ciencia humana, pero aun así —como ya afirmé hace algunos años— el Principio de Complementariedad parece ser aplicable también a la economía: en la mayor parte de los casos, ninguna teoría por sí sola es suficiente para explicar un acontecimiento<sup>40</sup>.

Lo interesante es que incluso aquellos científicos que repudian el dogma racionalista se comportan como muchos ateos: rechazan los evangelios, pero siguen sus enseñanzas. Abstracción hecha de sus creencias metafísicas, todos se esfuerzan así por disponer los hechos en un orden lógico. Los orígenes de este hábito mental, pues se trata de un hábito, se remontan a la época de la primera ciencia teórica, es decir a los primeros *Elementos de Geometría*. La forma en que sucedió nos es familiar si pensamos en la actitud de una ama de casa después de usar por vez primera un aparato que ahorra trabajo: también los hombres de ciencia, tras haber experimentado las ventajas económicas de la ciencia teórica, se niegan a hacer nada sin ella. Al saborear siquiera sea una sola vez el conocimiento en forma teórica, el espíritu humano se ve infectado por un virus incurable que ocasiona un vehemente e irresistible anhelo de orden lógico. Esta es la razón por la que, siempre que se produce una tragedia spenceriana —una teoría destruida por un hecho—, las mentes del mundo científico no descansan hasta que se construye un nuevo fundamento lógico.

Aunque la economía del pensamiento es la razón por la que la mente humana adquiere el hábito analítico, éste tiene a su vez un importante papel económico. Gracias a ese hábito, la experimentación deja de ser un procedimiento rutinario por el que se establece el verdadero valor objetivo de las proposiciones lógicamente derivadas. Al estimular la imaginación del científico en sus experimentos, el hábito analítico es responsable por sí solo de que la experimentación teórica tenga más éxito que la experimen-

<sup>38</sup> Immanuel Kant, *Prolegomena to Any Future Metaphysics That Will Be Able to Present Itself as a Science* (Manchester, 1953), p. 82.

<sup>39</sup> Louis de Broglie, *Physics and Microphysics* (Londres, 1955), pp. 208 y s.

<sup>40</sup> Véase mi artículo «Economic Theory and Agrarian Economics» (1960), reimpreso en *AE*, pp. 361 y s.; también, H. S. Ferns, *Britain and Argentina in the Nineteenth Century* (Oxford, 1960), p. 436. Ahora bien, dado que el hombre es racional por definición, la complementariedad puede ser en este caso espuria y reflejar exclusivamente la complejidad de las formas en que el hombre puede ser racional, cuestión esta sobre la que volveré en el último capítulo de este libro.

tación a secas. Como lo subrayó Pasteur, en la tarea experimentadora la suerte favorece exclusivamente a las mentes preparadas.

Además, el espíritu analítico crea lo que anhela: el orden lógico. Durante los siglos transcurridos entre Euclides y Newton, fue creando poco a poco parcelas de conocimiento lógicamente ordenado, aumentó de modo gradual el área de cada parcela y, por último, reunió varias de ellas en una sola unidad: la mecánica teórica. Como ya he dicho, cuando se destruye una teoría, la mente analítica se dispone de modo inmediato a reconstruir un nuevo fundamento lógico sobre las cenizas del antiguo. La tarea más importante de esta reconstrucción es la erección de conceptos totalmente nuevos; posteriormente, estos conceptos abren nuevos campos de experimentación, ampliando así aquellos en los que cosechamos nuevo conocimiento objetivo. Gracias al hábito analítico, toda tragedia spenceriana va seguida de una bonanza científica. Por otra parte, como ya nos advirtió Einstein, no debiéramos creer que este hábito se compone solamente de pensamiento lógico puro: requiere sobre todo «intuición, apoyarse en el entendimiento *comprensivo* de la experiencia»<sup>41</sup> y —añade— una consumada fantasía intelectual. La Lógica nos ayuda exclusivamente a presentar el pensamiento ya elaborado, pero no nos ayuda a elaborar pensamientos<sup>42</sup>.

A partir del análisis precedente se concluye que la inmensa diferencia existente entre Oriente y Occidente en lo que atañe al progreso del conocimiento objetivo no constituye evidencia alguna que apoye una realidad racional; sí prueba, en cualquier caso, que la ciencia teórica representa con mucho el mecanismo más logrado para conocer la realidad *dada la deficiente estructura de las facultades básicas de la mente humana*.

9. *Ciencia teórica: un organismo vivo*. La tesis más importante desarrollada en este capítulo es que la ciencia teórica es un organismo vivo debido precisamente a que surgió a partir de una estructura amorfa —la ciencia taxonómica— de igual modo que la vida surgió de la materia inerte. Además, al igual que la vida no apareció en todas partes donde había materia, tampoco la ciencia teórica surgió dondequiera que existía ciencia taxonómica: su génesis fue un accidente histórico. La analogía va mucho más allá. Si se recuerda que «ciencia es lo que hacen los científicos», podemos contemplar la ciencia teórica como mecanismo intencionado que se reproduce, crece y se conserva a sí mismo. Se reproduce porque toda proposición «olvidada» puede redescubrirse por el raciocinio a partir del fundamento lógico. Crece porque a partir del mismo fundamento lógico se derivan continuamente nuevas proposiciones, muchas de las cuales demuestran ser objetiva-

<sup>41</sup> Albert Einstein, *Ideas and Opinions* (Nueva York, 1954), p. 226, también p. 271. Las cursivas son mías.

<sup>42</sup> Jacques Hadamard, *An Essay on the Psychology of Invention in the Mathematical Field* (Princeton, 1945), ofrece una discusión bien documentada y muy penetrante de este problema.

mente verdaderas. Conserva también su esencia porque, cuando la contradicción destructiva invade su cuerpo, se pone en marcha de modo automático una serie de factores para desembarazarse del intruso.

En resumen, *anatómicamente*, la ciencia teórica es conocimiento lógicamente ordenado; un mero catálogo de hechos, tal como lo denominamos hoy en día, no es más ciencia de lo que los materiales en un almacén de madera son una casa. *Fisiológicamente*, es una continua secreción de sugerencias experimentales contrastadas y orgánicamente integradas en la anatomía de la ciencia; en otras palabras, la ciencia teórica crea continuamente hechos nuevos a partir de los antiguos, pero su crecimiento es orgánico, no de aditamento; su anabolismo es un proceso extraordinariamente complejo que a veces puede llegar a alterar la estructura anatómica; llamamos a este proceso «explicación» incluso cuando proclamamos que «la ciencia no *explica* nada»<sup>43</sup>. *Teleológicamente*, la ciencia teórica es un organismo a la búsqueda de nuevo conocimiento.

Algunos reivindicaban que el objeto de la ciencia es la predicción. Se trata del punto de vista del hombre práctico, incluso aunque se apruebe por científicos como Benedetto Croce o Frank Knight<sup>44</sup>. Los neomachianos van todavía más lejos. Del mismo modo en que Mach concentró su atención en la economía del pensamiento sin considerar el papel especial del orden lógico, pretenden que el éxito práctico es lo único que importa; el entendimiento es irrelevante. No cabe duda de que, si la ciencia no tuviese ninguna utilidad para el hombre práctico, que actúa en base a predicciones, los científicos estarían ahora jugando su pequeño papel exclusivamente en clubes privados, igual que los entusiastas por el ajedrez. Sin embargo, incluso aunque la predicción sea la piedra de toque del conocimiento científico —«en la práctica, el hombre debe probar la verdad», como dijo Marx<sup>45</sup>—, el objeto de la ciencia en general no es la predicción sino el conocimiento por sí mismo. A partir de la escuela de Pitágoras, la ciencia dejó de servir exclusivamente a las necesidades comerciales y ha seguido yendo siempre por delante de ellas<sup>46</sup>. Al hombre práctico puede hacersele cuesta arriba imaginar que lo que infunde vida a la ciencia es el encanto del hábito analítico y de la curiosidad ociosa; en ese caso, podría no llegar a darse cuenta nunca de cuál es la fuente de su mayor fortuna. La única cosa que

<sup>43</sup> Alfred J. Lotka, *Elements of Physical Biology* (Baltimore, 1925), p. 389.

<sup>44</sup> Frank H. Knight, *The Ethics of Competition* (Nueva York, 1935), pp. 109 y s.

<sup>45</sup> F. Engels, *Ludwig Feuerbach and the Outcome of Classical German Philosophy* (Londres, 1947), p. 76.

<sup>46</sup> Burnet, *Early Greek Philosophy*, p. 99; P. W. Bridgman, *Reflections of a Physicist* (2.ª edición, Nueva York, 1955), pp. 348 y s. Lo que pueda suceder con esta relación en el inmediato futuro es tema de muchas conjeturas, pero la aseveración de F. Engels, en *On Historical Materialism* (Nueva York, 1940), p. 14, de que la ciencia no existió con anterioridad a la sociedad burguesa porque únicamente esta sociedad no podría vivir sin ella tiene poco que ver con la realidad.

estimula al auténtico científico es el deleite de añadir unos pocos compases a una sinfonía incompleta o, si cree en el orden ontológico de la Naturaleza, de descubrir otra articulación de ese orden. Su interés por un problema desaparece por completo desde el mismo momento en que lo ha resuelto<sup>47</sup>.

Otros afirman que la ciencia es experimentación. Al menos en lo que a la ciencia teórica se refiere, ese punto de vista confunde el organismo en su conjunto con una de sus funciones fisiológicas. Los que cometen este error proclaman habitualmente que «Bacon es el San Juan Bautista [de la ciencia]»<sup>48</sup>. Naturalmente, culpan también a la filosofía aristotélica del conocimiento, con su énfasis en la Lógica, del marasmo sufrido por la ciencia hasta la época de Francis Bacon. Nunca se han ignorado tanto los hechos. Para empezar, Aristóteles jamás negó la importancia de la experiencia; una cita elocuente bastará: «Si en cualquier tiempo futuro se descubren [nuevos hechos], habrá de prestarse fé antes a la observación que a las teorías, y a las teorías sólo si lo que afirman está de acuerdo con los hechos observados»<sup>49</sup>. Con respecto a la época en que vivió, fue uno de los mayores experimentadores y de los más agudos observadores. Como lo expresó Darwin, Linneo y Cuvier son «meros colegiales en comparación con el viejo Aristóteles»<sup>50</sup>. No hay que culpar a sus enseñanzas por lo que el escolasticismo hizo después con ellas. Por último, en la época en que aparecieron las obras de Bacon, la mecánica se estaba moviendo ya con rapidez por las huellas teóricas aristotélicas. Sin el hábito analítico que habían mantenido vivo los *Elementos* de Euclides y las obras de Aristóteles, tanto Kepler, Galileo y Newton como los grandes hombres de ciencia que vinieron después hubieran tenido que unirse a los chinos e indios en su observación contemplativa y casual de la Naturaleza<sup>51</sup>. En la medida en que podemos dar vueltas a la historia con el pensamiento, tenemos que admitir que sin el amor de los griegos por el entendimiento<sup>52</sup> nuestro conocimiento no habría alcanzado con mucho su actual nivel, ni la civilización moderna sería lo que actualmente es. Para bien o para mal, todavía no hemos descubierto un solo problema del entendimiento que no hubiesen formulado los filósofos griegos.

<sup>47</sup> Hadamard, *Psychology of Invention*, p. 60; H. Poincaré, *The Foundations of Science* (Lancaster, Pa., 1946), pp. 366 y s.

<sup>48</sup> J. S. Huxley, «Science, Natural and Social», *Scientific Monthly*, I (1940), 5.

<sup>49</sup> *De Generatione Animalium*, 760<sup>b</sup> 30-33. También *Metaphysics*, 981<sup>a</sup>.

<sup>50</sup> Véase Ross, *Aristotle*, pp. 112-114.

<sup>51</sup> Véase Alfred North Whitehead, *Process and Reality: An Essay in Cosmology* (Nueva York, 1929), p. 7.

<sup>52</sup> Véase Platón, *Republic*, V. 435-436. También W. T. Stace, *A Critical History of Greek Philosophy* (Londres, 1934), pp. 17 y s.; Cyril Bailey, *The Greek Atomists and Epicurus* (Oxford, 1928), p. 5.

## CAPÍTULO II

### CIENCIA, ARITMOMORFISMO Y DIALÉCTICA

1. «No hay ciencia sin teoría». Al poseer la ciencia teórica las maravillosas cualidades que se acaban de describir, pueden entenderse fácilmente las optimistas esperanzas que hizo concebir el éxito logrado por Newton al transformar la mecánica en una ciencia semejante. Al fin, unos dos mil años después de los *Elementos* de Euclides, los *Principia Mathematica* de Newton demostraron que la ciencia teórica puede crecer igualmente bien en campos distintos de la geometría. Ahora bien, las esperanzas optimistas son sólo eso, esperanzas optimistas: las opiniones sobre esta materia, en especial las de aquellos más fascinados por los poderes de la Lógica, se convirtieron en víctimas de la confusión existente entre «algunos campos» y «todos los campos». Al final, casi todo el mundo interpretó la evidencia existente como prueba de que el conocimiento en *todos* los campos podía incluirse en un molde teórico. Especialmente tras el asombroso descubrimiento del planeta Neptuno «en el extremo de la pluma de Leverrier», se elevaron los ánimos en todas las disciplinas y un científico tras otro anunció su intención de convertirse en el Newton de su propia ciencia. François Magendie aspiraba incluso a colocar la fisiología «sobre la misma segura base» que la mecánica<sup>1</sup>. «De este modo, la confusión de lenguas» —como se lamentó un economista— «se propagó de una ciencia a otra»<sup>2</sup>.

En conjunto, la disposición de los científicos no ha cambiado mucho. Es cierto que la postura consistente en que la mecánica constituye la única vía que conduce al conocimiento divino —como lo expresó Laplace en su magnífica apoteosis—<sup>3</sup> ha sido oficialmente abandonada por casi todas las ciencias específicas. Curiosamente, esta situación no se debió al reconocimiento de los fallos derivados de la adopción de tal postura fuera del cam-

<sup>1</sup> J. M. D. Olmsted y E. H. Olmsted, *Claude Bernard and the Experimental Method in Medicine* (Nueva York, 1952), p. 23.

<sup>2</sup> S. Bauer, citado en J. S. Gamba, *Beyond Supply and Demand* (Nueva York, 1946), p. 29n. La traducción es mía.

<sup>3</sup> P. S. Laplace, *A Philosophical Essay on Probabilities* (Nueva York, 1902), p. 4.

po de la física, sino que se vio provocada por el hecho de que la propia física había tenido que rechazarla<sup>4</sup>. En lugar de «todas las ciencias deben imitar a la mecánica», el grito de guerra del ejército científico es ahora «no hay ciencia sin teoría». Sin embargo, el cambio es bastante superficial, pues por «teoría» entienden por regla general un archivo lógico del conocimiento como se da exclusivamente en la geometría y en la mecánica<sup>5</sup>.

Ninguna otra ciencia sino la economía ilustra mejor el impacto que tuvo en su evolución el entusiasmo por la epistemología mecanicista. ¿Exige la transformación de la economía en una «ciencia físico-matemática» una medida de la utilidad que se nos escapa? «*Eh bien!*» —exclamó Walras en su forma característica— «esa dificultad no es insuperable. Supongamos que tal medida existe y que somos capaces de dar un valor exacto y matemático» de la influencia de la utilidad sobre los precios, etc<sup>6</sup>. Por desgracia, esa actitud acrítica ha venido constituyendo siempre desde entonces el rasgo distintivo de la economía matemática. En vista de que la ciencia teórica es un organismo vivo, no sería exagerado decir que esa actitud equivale a diseñar una piscifactoría en un arriate húmedo.

Jevons mostró cierta preocupación por si el nuevo entorno —el campo económico— contenía los elementos básicos necesarios para que creciese y perviviese el organismo teórico. Así, antes de declarar su intención de reconstruir la economía como «*la mecánica de la utilidad y del egoísmo*», se esforzó en señalar que en el campo de los fenómenos económicos hay mucha «niebla» cuantitativa en «las contabilidades privadas, en los grandes libros mayores de comerciantes, banqueros y oficinas públicas, en las relaciones de accionistas, en las listas de precios, en los ingresos bancarios, en las informaciones monetarias, en los ingresos de Aduanas y en otros ingresos del gobierno»<sup>7</sup>. Pero, al igual que otros tras él, Jevons no consiguió explicar cómo podían sustituirse los datos habituales por las variables de sus ecuaciones mecánicas. Al expresar simplemente la esperanza de que las estadísticas llegasen a ser «más completas y precisas... de modo que las fórmulas estén dotadas de un significado exacto»<sup>8</sup>, Jevons estableció un modelo muy imitado para eludir el problema.

Evidentemente, después de haberse descubierto que la ciencia teórica puede funcionar de forma adecuada en otros campos además de en la geometría, los científicos hubiesen sido totalmente negligentes si hubieran fra-

<sup>4</sup> Véase el capítulo «The Decline of the Mechanical View», en A. Einstein y L. Infeld, *The Evolution in Physics* (Nueva York, 1938).

<sup>5</sup> Este punto de vista ha sido reiteradamente admitido por numerosos científicos: por ejemplo, Max Planck, *Scientific Autobiography and Other Papers* (Nueva York, 1949), p. 152.

<sup>6</sup> Léon Walras, *Éléments d'économie politique pure* (3.ª edición, Lausana, 1896), p. 97. La traducción es mía.

<sup>7</sup> W. Stanley Jevons, *The Theory of Political Economy* (4.ª edición, Londres, 1924), p. 21 y p. 11.

<sup>8</sup> *Ibid.*, p. 21.

casado en intentar probar «una piscifactoría en un arriate», pues, aunque no suficiente, la prueba es tan absolutamente necesaria para el avance del conocimiento como para la evolución biológica. Esta es la razón por la que no podemos dejar de admirar a hombres como Jevons y Walras o a otros muchos que, incluso dentro de la física, se apresuraron a adoptar nuevos puntos de vista sin contrastar primero sus fundamentos<sup>9</sup>. Sin embargo, nuestra admiración hacia tales proezas extraordinarias no justifica en modo alguno la perseverancia en una dirección que la prueba ha demostrado ser estéril, ni, por otro lado, servimos a los intereses de la ciencia ocultando la imposibilidad de reducir el proceso económico a ecuaciones mecánicas. En este sentido, un indicio significativo es el hecho de que casi todos los historiadores colocan a Carl Menger en un pedestal algo más bajo que a Walras o a Jevons por la sola razón de que fue más conservador al considerar el mismo problema, el fundamento subjetivo del valor<sup>10</sup>. Además, a pesar de que ninguna economía, ni siquiera la de Robinson Crusoe, ha sido descrita por un sistema walrasiano hasta el punto en que un sistema lagrangiano de ecuaciones mecánicas ha descrito el sistema solar, hay voces que pretenden que la ciencia económica «ha pasado ya su revolución newtoniana»: únicamente las restantes ciencias sociales siguen esperando su Galileo o su Pasteur<sup>11</sup>. La queja expresada por Alfred North Whitehead en el sentido de que «la seguridad de los científicos en sí mismos es la tragedia de [nuestra] civilización»<sup>12</sup> puede ser desagradable, pero no parece totalmente infundada.

La oposición a la afirmación de Walras y Jevons de que «la economía, si en verdad ha de ser una ciencia debe ser una ciencia matemática»<sup>13</sup> no ha dejado de ponerse nunca de manifiesto. Ahora bien, en mi opinión, a lo largo de las subsiguientes controversias no se han cruzado las espadas sobre la cuestión crucial, pues creo que lo que necesitan las ciencias sociales, mejor dicho, todas las ciencias, no es tanto un nuevo Galileo o un nuevo Newton como un nuevo Aristóteles que establezca nuevas normas para tratar aquellas nociones a las que no puede enfrentarse la Lógica.

No se trata de una visión extravagante, porque, por mucho que nos jactemos actualmente de nuestros últimos logros científicos, la evolución del pensamiento humano no se ha detenido nunca. Pensar que incluso nos

<sup>9</sup> Véase P. W. Bridgman, *Reflections of a Physicist* (2.ª edición, Nueva York, 1955), p. 355.

<sup>10</sup> Por ejemplo, K. Wicksell, *Value, Capital and Rent* (Londres, 1954), p. 53; Joseph A. Schumpeter, *History of Economic Analysis* (Nueva York, 1954), p. 918. Entre las pocas excepciones se encuentran: Frank H. Knight, «Marginal Utility Economics», *Encyclopaedia of the Social Sciences* (Nueva York, 1931), V, p. 363; George J. Stigler, *Production and Distribution Theories* (Nueva York, 1948), p. 134.

<sup>11</sup> Karl R. Popper, *The Poverty of Historicism* (Boston, 1957), p. 60 y nota.

<sup>12</sup> Alfred North Whitehead, *Science and Philosophy* (Nueva York, 1948), p. 103.

<sup>13</sup> Jevons, *Theory*, p. 3.



hemos acercado al final es pura arrogancia o humillante pesimismo. En consecuencia, no podemos descartar la posibilidad de que un día se nos ocurra la auténtica idea mutante que conduzca a una anatomía de la ciencia capaz de florecer igualmente bien en las ciencias de la Naturaleza y en las sociales. En ocasiones excepcionales, encontramos esta esperanza expresada con mayor claridad y con la observación totalmente pertinente de que en semejante ciencia unificadora la física será «devorada» por la biología, y no al contrario<sup>14</sup>. O, como Whitehead lo expresó más claramente: «el asesinato constituye un requisito previo de la absorción de la biología por la física»<sup>15</sup>. A este respecto, existe ya un precedente histórico: los físicos y los filósofos científicos negaron durante mucho tiempo la existencia de leyes «científicas» fuera de la física y la química, pues sólo aquí encontramos relaciones rígidamente vinculantes. Hoy en día, se esfuerzan arduamente en convencer a todo el mundo de que, por el contrario, las leyes de la Naturaleza no son rígidas sino estocásticas y de que una ley rígida es únicamente un caso restringido, y por tanto muy especial, de la ley estocástica. De uno u otro modo, no son capaces por regla general de explicar que el último tipo de ley no es característico de la ciencia física sino de las ciencias de la vida.

Por todo ello, la historia del pensamiento humano nos enseña que nada debe parecer extravagante en lo que se refiere a qué puede, o dónde puede, descubrir el pensamiento. Así, es absolutamente necesario que reconozcamos por completo la fuente y el carácter de nuestra dificultad *actual*.

2. *Ciencia teórica frente a ciencia*. La primera condición que debe satisfacer un entorno determinado para sostener la vida de cualquier organismo es contener los elementos químicos que se encuentran en la materia de tal organismo. En caso contrario, no precisamos seguir avanzando. Así pues, vamos a comenzar nuestra investigación con un análisis «químico» de la anatomía de la ciencia teórica.

Como ya he subrayado, la *causa materialis* de la ciencia, no sólo de la ciencia teórica, consiste en proposiciones descriptivas. He explicado también que el rasgo distintivo de la ciencia teórica es su anatomía lógicamente ordenada. Quienquiera que esté dispuesto a contemplar los hechos y aceptar alguna de sus facetas desagradables estará de acuerdo en que en algunos campos una abrumadora mayoría de proposiciones descriptivas no posee las propiedades «químicas» exigidas por el ordenamiento lógico.

<sup>14</sup> Véase J. S. Haldane, *The Sciences and Philosophy* (Nueva York, 1929), p. 211. También Erwin Schrödinger, *What Is Life?* (Cambridge, Ingl., 1944), pp. 68 y s.; R. E. Peierls, *The Laws of Nature* (Londres, 1957), p. 277; L. von Bertalanffy, *Problems of Life* (Nueva York, 1952), p. 153. Muy recientemente, G. P. Thomson, un premio Nobel, finalizó su conferencia en las «Semicentennial Lectures of Rice Institute» (1962) diciendo que «el futuro de la física depende de la biología».

<sup>15</sup> Alfred North Whitehead, «Time, Space, and Material», en *Problems of Science and Philosophy*, Aristotelian Society, supl. vol. 2, 1919, p. 45. Véase también más abajo, Capítulo V, Sección 1.

Apenas puedo resaltar el hecho de que la Lógica, entendida en su habitual sentido aristotélico, es capaz de enfrentarse únicamente a una clase inequívoca de proposiciones, tales como

A. *La hipotenusa es mayor que los catetos,*

pero es completamente impotente cuando llega a proposiciones como

B. *Las necesidades culturalmente determinadas son mayores que las biológicas*

o

C. *Woodrow Wilson tuvo una influencia decisiva en el Tratado de Paz de Versalles.*

Un lógico difícilmente negaría esta diferencia, pero muchos, en especial los positivistas lógicos, afirmarían que proposiciones del tipo de B o C no tienen sentido y, por tanto, la diferencia no prueba en absoluto la limitación de la Lógica. Esta postura se explica con claridad por Max Black: al ser *rojo* un concepto vago, la pregunta «¿es este color rojo?» difícilmente tiene ningún sentido<sup>16</sup>. Sin embargo, el uso del término «sin sentido» para proposiciones que no puede tratar la Lógica es un ingenioso artificio para despachar una cuestión vital.

En el fondo, el problema consiste en que el conocimiento es auténtico sólo si puede unificarse en una teoría. En otras palabras, ¿es la ciencia teórica la única forma de conocimiento científico? El problema se resuelve en varias cuestiones; la primera es cuál es la explicación de la impotencia de la Lógica para hacer frente a proposiciones «sin sentido».

3. *Números y conceptos aritmomórficos*. Los límites de toda ciencia de la realidad son penumbras movedizas. La física se confunde con la química y ésta con la biología, la economía con la ciencia política y con la sociología y así sucesivamente; existe una química física, una bioquímica e incluso una economía política, a pesar de nuestra resistencia a hablar de ello. Únicamente el campo de la Lógica —concebida como *Principia Mathematica*— tiene límites rígidamente establecidos y claramente trazados. La razón de ello es que la diferenciación *discreta* constituye la auténtica esencia de la Lógica: forzosamente, la diferenciación discreta debe ser aplicable a los propios límites de la Lógica.

El fundamento elemental de la diferenciación *discreta* es la distinción entre dos símbolos escritos: entre «m» y «n», «3» y «8», «consejo» y «conseja», etc. Como lo ponen de manifiesto estos ejemplos, un adecuado simbolismo exige una escritura perfectamente legible, pues de otra forma podríamos no ser capaces de distinguir sin sombra de duda alguna entre los miembros de un mismo par. De igual modo, el simbolismo oral requiere una clara pronunciación, sin balbucear ni hablar entre dientes.

<sup>16</sup> Max Black, *The Nature of Mathematics* (Nueva York, 1935), p. 100n. Esta postura se emplea con frecuencia para eludir cuestiones fundamentales, como «¿puede pensar una máquina?». Véase más abajo, Capítulo III, Sección 10.



Sólo hay una única razón por la que usamos símbolos: para representar conceptos visual o audiblemente, de modo que tales conceptos puedan transmitirse de una mente a otra<sup>17</sup>. Sea en el razonamiento general o en la Lógica (esto es, en la lógica formal), hacemos frente a símbolos en cuanto representaciones de conceptos *existentes*. Incluso en las matemáticas, donde los números y los restantes conceptos son tan distintos entre sí como los símbolos empleados para representarlos, la postura de que los números no son más que «signos» ha tropezado con una tremenda oposición<sup>18</sup>. Con todo, parece que no vamos a ir tan lejos como para comprender (o para admitirlo, si lo comprendemos) que el principio fundamental sobre el que descansa la Lógica es que *la propiedad de la diferenciación discreta debe abarcar no sólo a los símbolos sino también a los conceptos*.

En la medida en que se contemple a este principio como normativo, posiblemente nadie disputará por su culpa. Por el contrario, tampoco nadie negará las inmensas ventajas derivadas de seguir la norma siempre que sea posible; sin embargo, se presenta con frecuencia como una ley general del pensamiento. Sería difícil encontrar un ejemplo más deslumbrante de la «falacia de la inespecificidad equivocada» whiteheadiana que el representado por esa postura. En apoyo de ésta, algunos han ido tan lejos como para sostener que no podemos pensar sino en palabras. Si ello fuera cierto, los pensamientos se convertirían en un «símbolo» de las palabras, una más que fantástica inversión de la relación existente entre medios y fines; a pesar de que se ha demostrado lo absurdo de esa postura, sigue perviviendo bajo la superficie del positivismo lógico<sup>19</sup>. Pareto no acuñó primero la palabra «optimidad» e imaginó después el concepto. Además, el pensamiento es tan fluido que incluso es absurda la pretensión más modesta de que podemos acuñar una palabra para cada pensamiento. «La Falacia del Diccionario Perfecto»<sup>20</sup> es evidente: hasta un diccionario perfecto es molecular mientras que el pensamiento es continuo en el sentido más absoluto. Evidentes son también la razón y el significado de la obser-

<sup>17</sup> Esta limitación sigue el argumento habitual que hace caso omiso del simbolismo táctil: palmas en el hombro, apretones de manos, etc. Braille y, en especial, el caso de Hellen Keller demuestran que el simbolismo táctil puede ser tan discretamente diferenciado y tan eficiente como los otros dos. Su único defecto es la imposibilidad de transmisión a distancia.

<sup>18</sup> Véase la Introducción realizada por P. E. B. Jourdain a Georg Cantor, *Contributions to the Founding of the Theory of Transfinite Numbers* (Nueva York, sin fecha), pp. 20 y 69 y s.; R. L. Wilder, *Introduction to the Foundations of Mathematics* (Nueva York, 1956), cap. x y *passim*.

<sup>19</sup> Para una discusión de la evidencia psicológica existente frente a la ecuación «pensamiento = palabra», véase Jacques Hadamard, *An Essay on the Psychology of Invention in the Mathematical Field* (Princeton, 1945), pp. 66 y ss. Por lo que pueda interesar, en lo que se refiere a alguien que es multilingüe, puedo garantizar que rara vez pienso en una lengua, excepto justo antes de expresar mis pensamientos oralmente o por escrito.

<sup>20</sup> Alfred North Whitehead, *Modes of Thought* (Nueva York, 1938), p. 235. Véase también P. W. Bridgman, *The Intelligent Individual and Society* (Nueva York, 1938), pp. 68 y s.

vación de que «en los símbolos la verdad está oscurecida y velada por el elemento sensorial»<sup>21</sup>.

Dado que todo número real específico constituye el ejemplo más elemental de concepto discretamente diferenciado, propongo que se denomine a tal concepto *aritmomórfico*. En efecto, a pesar de emplear el término «continuo» para el conjunto de todos los números reales, dentro del continuo cada número real conserva una *individualidad diferenciada* idéntica en todos los aspectos a la de un número entero dentro de la secuencia de números naturales. Así, por ejemplo, el número  $\pi$  es discretamente diferenciado de cualquier otro número, ya sea 3,141592653589793 ó  $10^{100}$ . Lo mismo sucede con el concepto de «círculo» respecto de « $10^{100}$ -gono» o de «cuadrado», y con «electrón» respecto de «protón». En la Lógica, «es» y «no es», «corresponde» y «no corresponde», «algunos» y «todos» son también *discretamente* diferenciados.

Cada concepto aritmomórfico se afirma por sí mismo de igual modo específico en que cada «Ego» se autoafirma con perfecta conciencia de su absoluta diferenciación respecto de todos los demás «Egos». Esta es sin duda la razón por la que nuestras mentes reclaman unos conceptos aritmomórficos que son tan translúcidos como el sentimiento de la propia existencia. Para decirlo más directamente, los conceptos aritmomórficos *no se superponen*. Es precisamente esta peculiar (y restrictiva) propiedad de los materiales con los que puede trabajar la Lógica lo que explica su tremenda eficacia: sin esta propiedad, no podríamos efectuar cálculos, ni hacer silogismos, ni construir una ciencia teórica. Ahora bien, como sucede con todos los poderes, el de la Lógica se encuentra igualmente limitado por su propio fundamento.

4. *Conceptos dialécticos*. Es perfectamente conocida la antinomia entre Uno y Muchos, antinomia de la que en especial se ocupó Platón. Una de sus raíces consiste en el hecho de que la cualidad de la diferenciación discreta no pasa necesariamente desde el concepto aritmomórfico a sus denotaciones concretas. Existen, no obstante, casos en los que se da esa transferencia. Cuatro lápices son un «número constante» de lápices; un triángulo específico no es un «cuadrado»; tampoco hay gran dificultad en decidir que Luis XIV constituye una denotación de «rey». Pero nunca podemos estar absolutamente seguros de que un cuadrilátero específico sea un «cuadrado»<sup>22</sup>. En el mundo de las ideas, «cuadrado» es Uno, pero en el mundo de los significados, es Muchos<sup>23</sup>.

Por otra parte, si somos capaces de discutir interminablemente si un país determinado es una «democracia», se debe sobre todo a que el propio

<sup>21</sup> G. W. F. Hegel, *Hegel's Science of Logic* (2 volúmenes, Londres, 1951), I, p. 231.

<sup>22</sup> Aunque parezca extraño, los lógicos no afirman que, debido a este hecho, «cuadrado» sea un concepto *vago* ni que «¿es este cuadrilátero un cuadrado?» no tenga significado.

<sup>23</sup> Platón, *Phaedrus*, 265D, y, en especial, *Republic*, VI. 507.

concepto aparece como Muchos, es decir, no es discretamente diferenciado. Si esto es cierto, con tanta más razón no puede lo concreto ser Uno. Numerosísimos conceptos pertenecen a esta categoría; entre ellos se encuentran los de mayor importancia para los criterios humanos, como «bondad», «justicia», «probabilidad», «necesidad», etc. No existen límites aritmomórficos; en lugar de ello, *están rodeados por una penumbra dentro de la cual se superponen con sus opuestos.*

En un momento histórico determinado, una nación puede ser a la vez una «democracia» y una «no democracia», de igual modo que hay una edad en la que el hombre es al tiempo «joven» y «viejo». Los biólogos han comprendido no hace mucho que ni siquiera la «vida» tiene límites aritmomórficos: existen algunos virus cristalizados que constituyen una penumbra entre la materia viva y la muerta<sup>24</sup>. Como lo he indicado por caminos trillados aunque abandonados, toda necesidad específica se desliza imperceptiblemente dentro de otras necesidades<sup>25</sup>. Los pensadores prudentes no ocultan que incluso en las matemáticas «parece ser ineludible el empleo del buen juicio para determinar cuándo una manifestación es aceptable para definir una clase»<sup>26</sup>.

No hace falta decir que a la categoría de conceptos que se acaba de ejemplificar no se puede aplicar la ley fundamental de la Lógica, el Principio de Contradicción: «B no puede ser a la vez A y no-A». Por el contrario, tenemos que aceptar que, al menos *en algunos casos*, sucede que «B es al tiempo A y no-A». Dado que el último principio es una de las piedras angulares de la dialéctica hegeliana, propongo que a los conceptos que pueden violar el Principio de Contradicción se les denomine *dialécticos*<sup>27</sup>.

A fin de clarificar lo que entendemos por concepto dialéctico, es preciso destacar dos aspectos.

En primer lugar, la antes mencionada imposibilidad de decidir si un cuadrilátero específico es «cuadrado» tiene sus raíces en la imperfección de nuestros sentidos y de sus prolongaciones, los instrumentos de medida; un instrumento *perfecto* eliminaría tal imposibilidad. Por otro lado, la dificultad de decidir si un país determinado es una democracia no tiene nada que ver —como voy a explicar ahora en detalle— con la imperfección de nuestros órganos sensoriales; proviene de otra «imperfección», la de nuestro

<sup>24</sup> Sobre la definición aritmomórfica de la vida, véase Alfred J. Lotka, *Elements of Physical Biology* (Baltimore, 1925), cap. i y p. 218n.

<sup>25</sup> Mi ensayo titulado «Choice, Expectations and Measurability» (1954), reimpreso en *AE*.

<sup>26</sup> L. M. Graves, *The Theory of Function of Real Variables* (Nueva York, 1946), p. 7. También Henri Poincaré, *The Foundations of Science* (Lancaster, Pa., 1946), p. 479.

<sup>27</sup> La conexión entre conceptos dialécticos, definidos de este modo, y la lógica hegeliana no se limita a este principio. Sin embargo, incluso aunque la línea seguida por la presente argumentación se inspire en la lógica hegeliana, no sigue a Hegel en todos los aspectos. Se nos ha advertido, y con buenas razones, que se puede ignorar a Hegel corriendo riesgos enormes. Seguir a Hegel sólo en parte puede muy bien ser el mayor riesgo de todos, pero no tengo otra elección sino la de asumir tal riesgo.

pensamiento, que no siempre puede reducir una noción percibida a un concepto aritmomórfico. Evidentemente, podría sugerirse que también en este caso la dificultad no existiría para una mente *perfecta*, pero la analogía no parece sostenerse, porque, mientras la noción de un instrumento de medida perfecto es suficientemente clara (y además indispensable incluso para explicar la indeterminación en mediciones físicas), la noción de una mente perfecta es a lo sumo una invención verbal. No hay puente alguno entre un instrumento de medida perfecto y otro imperfecto. Del mismo modo, la mente imperfecta no puede saber cómo funcionaría en realidad una mente perfecta; aquella se convertiría en perfecta en el momento en que supiese cómo hacerlo.

El segundo punto es que, a mi juicio, un concepto dialéctico no se superpone con su opuesto *a lo largo de toda la escala de denotaciones*. Esto es, en la mayor parte de los casos podemos decidir si una cosa, o un concepto específico, representa a un organismo vivo o a la materia inerte. Si no fuese así, evidentemente los conceptos dialécticos serían no sólo inútiles sino también nocivos. Aunque no son *discretamente diferenciados*, los conceptos dialécticos son en cualquier caso *diferenciados*. La distinción es la siguiente. Una penumbra separa a un concepto dialéctico de su contrario. En el caso de un concepto aritmomórfico, la separación consiste en un vacío: *tertium non datur*, no hay tercer caso. El punto sumamente importante es que la propia penumbra separadora es un concepto dialéctico. Así pues, si la penumbra de A tuviese límites aritmomórficos, podríamos construir con facilidad una estructura aritmomórfica compuesta de tres nociones discretamente diferenciadas: «verdadera A», «verdadera no-A» e «indiferente A». Este procedimiento es altamente familiar al estudioso de las preferencias del consumidor, campo en el que damos por supuesto que entre «preferencia» y «no preferencia» *debe* haber «indiferencia»<sup>28</sup>.

Sin duda alguna, una penumbra rodeada por otra penumbra nos enfrenta a una regresión infinita, pero no hay ningún motivo para condenar por ello a los conceptos dialécticos: al final, la regresión dialéctica infinita se resuelve por sí misma de igual modo en que la regresión infinita de Aquiles corriendo tras la tortuga llega a un final real. Como objetó con razón Schumpeter, «en nuestro caso, no tiene sentido alguno preguntar: “¿Dónde comienza este tipo [de empresario]?” y exclamar entonces: “Este no es en absoluto un tipo”»<sup>29</sup>. ¿Debemos rechazar también el reconocimiento y el estudio de virtud y vicio sólo porque —como observó Hume, entre otros—<sup>30</sup> no exista una clara división entre estas dos opuestas cualidades del espíritu humano? Lejos de ser un pecado mortal, la regresión infinita de la penumbra

<sup>28</sup> Véase mi ensayo «Choice, Expectations and Measurability» (1954), reimpreso en *AE*.

<sup>29</sup> Joseph A. Schumpeter, *The Theory of Economic Development* (Cambridge, Mass., 1949), p. 82n.

<sup>30</sup> David Hume, *Writings on Economics*, edit. por E. Rotwein (Londres, 1955), p. 19.

dialéctica constituye la cualidad sobresaliente de los conceptos dialécticos: como veremos, refleja el aspecto más esencial del intercambio.

5. *Las tradiciones platónicas en el pensamiento moderno.* Para resolver el complicado problema de Uno y Muchos, Platón enseñó que las ideas viven en un mundo propio, «el mundo superior», en el que cada una conserva «una individualidad permanente» y, además, sigue siendo «la misma e invariable»<sup>31</sup>. Las cosas del «mundo inferior» participan de estas ideas, es decir se parecen a ellas<sup>32</sup>.

El eje de la epistemología de Platón es que nacemos con un conocimiento latente de ideas —como afirmó posteriormente Kant refiriéndose a ciertas nociones—, porque nuestra alma inmortal ha visitado su mundo en algún momento del pasado. Consecuentemente, cada uno de nosotros puede aprender ideas por reminiscencia<sup>33</sup>.

El extremado idealismo de Platón difícilmente puede despertar actualmente la aprobación general. No obstante, su mística explicación de cómo se nos revelan la ideas en su forma más pura sirve de base a muchas consideraciones modernas sobre «el pensamiento claro». El dogma platónico de que sólo unos pocos privilegiados tienen ideas pero no pueden describirlas públicamente se hace patente, por ejemplo, en la postura de Darwin de que «especie» es aquella forma así clasificada por «la opinión de naturalistas que tienen buen criterio y amplia experiencia»<sup>34</sup>. Aún más platónica en esencia es la opinión frecuentemente oída de que «ley constitucional» tiene una y sólo una definición: es la ley declarada como tal por el Tribunal Supremo de los Estados Unidos cuando, en un caso llevado ante él, se pide explícitamente al Tribunal que se pronuncie sobre la cuestión.

No puede haber duda alguna sobre el *hecho* de que un consumado naturalista o un Tribunal Supremo de Justicia están más cualificados que el individuo medio para enfrentarse al problema de las especies o a la ley constitucional, pero esto no es lo que habitualmente proponen los defensores de este tipo de definición: sostienen que las definiciones son operativas y, por tanto, eliminan al mayor enemigo del pensamiento claro, la vaguedad. Ahora bien, es obvio que la pretensión es engañosa: el resultado de la operación de definir no es Uno sino Muchos<sup>35</sup>. La operación no es

<sup>31</sup> *Phaedo*, p. 78, *Philebus*, p. 15. La doctrina de Platón de que las ideas son «estructuras fijas» impregna todos sus Diálogos. Referencias adicionales al respecto se encuentran en *Parmenides*, p. 129 y ss., *Cratylus*, pp. 439-440.

<sup>32</sup> *Phaedo*, pp. 100 y ss. Es significativo que, aunque Platón (*Phaedo*, p. 104) ilustra la diferenciación discreta de ideas haciendo referencia a números integrales, nunca discute el problema de por qué algunas cosas tienen totalmente la cualidad de ideas y otras sólo parcialmente.

<sup>33</sup> *Meno*, pp. 81-82, *Phaedo*, pp. 73 y ss., *Phaedrus*, pp. 249-250.

<sup>34</sup> Charles Darwin, *The Origin of Species* (6.ª edición, Londres, 1898), p. 34.

<sup>35</sup> Como el propio Charles Darwin observó en otro lugar, *The Descent of Man* (2.ª edición, Nueva York, sin fecha), p. 190: trece naturalistas eminentes discreparon tan ampliamente como para dividir la especie humana unos en sólo dos razas y otros nada menos que en sesenta y tres.

sólo sumamente incómoda, a veces incluso totalmente impracticable, sino que además la definición no ofrece aclaración alguna al estudioso. Antes de que nadie pueda llegar a ser una autoridad en la evolución, e incluso después, precisa conocer el significado de «aptitud» sin esperar hasta que la selección natural haya eliminado a los ineptos. La ciencia no puede contentarse con la idea de que el único modo de saber si una seta es venenosa sea comérsela.

La sociología y la ciencia política, en especial, abundan en ejemplos de otra forma de fundamento platónico disimulado. Así, por ejemplo, y aunque ignorantes, las argumentaciones se derivan con frecuencia de la postura de que la idea pura de «democracia» está representada por un país determinado, habitualmente el del autor: todos los restantes países sólo participan de esa idea en grado diverso.

Los *Diálogos* de Platón no dejan duda alguna de que era perfectamente consciente de que conocemos los conceptos bien por definición o por intuición. Se dio cuenta de que, al constituir la definición una descripción pública, todo el mundo puede aprender a conocer un concepto por definición; igualmente se dio cuenta de que podemos conocer algunos conceptos exclusivamente a través de la percepción directa complementada con el análisis socrático<sup>36</sup>. La dificultad de Platón se deriva de su creencia en *que, con independencia de su formación, todos los conceptos son aritmomórficos*, que «todo se parece a un número», como enseñaría después su buen amigo Jenócrates. Un Diálogo tras otro demuestra que, aunque Platón estaba preocupado por las dificultades de definición en el caso de muchos conceptos, nunca dudó de que al final podía definirse a todos los conceptos. Es muy probable que, al igual que muchos tras él, Platón extrapolase de forma indiscriminada el pasado: dado que todos los conceptos definidos han sido en algún momento conceptos por intuición, todos los actuales conceptos por intuición deben llegar a ser necesariamente conceptos por definición.

El problema puede ilustrarse con uno de nuestros anteriores ejemplos. Si nos esforzásemos por encontrar un concepto aritmomórfico de «democracia», descubriríamos en seguida que ningún país democrático encaja en el concepto: no lo hace Suiza, pues las mujeres suizas no tienen derecho al voto; tampoco los Estados Unidos, debido a que no tiene referendos populares; tampoco el Reino Unido, porque el parlamento no puede reunirse sin la solemne aprobación del rey, y así sucesivamente. La penumbra que separa «democracia» de «autocracia» es realmente muy amplia y como resultado de ello «hasta la dictadura de Hitler en la Alemania nacionalsocialista tenía rasgos democráticos y en la democracia de los Estados Unidos se

<sup>36</sup> *Republic*, VI, p. 511. Sin duda, fue este tipo de análisis lo que Platón entendía por «dialéctica», pero nunca clarificó este término.

encuentran ciertos elementos dictatoriales»<sup>37</sup>. Ahora bien, esto no significa que la Alemania hitleriana y los Estados Unidos puedan reunirse en el mismo saco conceptual, ni tampoco que la existencia de una penumbra de virus deje sin sentido la distinción entre «hombre» y «piedra».

Además, los esfuerzos para definir la democracia se ven frustrados por un tipo de dificultad más general y más convincente que el que se acaba de mencionar. Dado que «democracia» implica indudablemente el derecho al voto, mas no para todas las edades, su definición debe especificar necesariamente el límite *adecuado* de la edad de voto. Supongamos que nos ponemos de acuerdo en que  $L$  sea ese límite. La cuestión natural de por qué  $L - \epsilon$  no es un límite tan bueno pone de manifiesto la imposibilidad de que un concepto aritmomórfico tenga en cuenta todos los imponderables de «democracia».

De «democracia», al igual que de «bueno», «necesidad», etc., podemos decir lo que San Agustín dijo en esencia del Tiempo: si no sabes nada de ello, no puedo decirte qué es, pero si sabes aunque sea de forma vaga lo que significa, vamos a hablar de ello<sup>38</sup>.

6. *Conceptos dialécticos y ciencia.* Creo que ninguna escuela filosófica negaría actualmente la existencia de conceptos dialécticos tales como se han definido más arriba, pero las opiniones relativas a su relación con la ciencia y con el conocimiento en general varían entre dos extremos.

En uno de ellos, encontramos todas las formas de positivismo que proclaman que, cualesquiera que sean el propósito y los usos de los conceptos dialécticos, estos son antagónicos con la ciencia: el conocimiento adecuado existe exclusivamente en la medida en que se expresa en conceptos aritmomórficos. Esta postura recuerda la de la Iglesia Católica: las ideas sagradas no pueden expresarse más que en latín.

En el otro, se encuentran los hegelianos de todas las corrientes manteniendo que el conocimiento se alcanza sólo con la ayuda de nociones dialécticas en sentido hegeliano estricto, esto es, nociones en las que el principio «A es no-A» es pertinente *siempre*.

Existe, no obstante, cierta asimetría categórica entre las dos escuelas opuestas: ningún hegeliano —incluido el propio Hegel— ha negado nunca la especial facilidad con que el pensamiento trata los conceptos aritmomórficos ni su tremenda utilidad<sup>39</sup>, pues estos conceptos poseen un meca-

<sup>37</sup> Max Rheinstein, en la «Introduction» a Max Weber, *On Law in Economy and Society* (Cambridge, Mass., 1954), p. xxxvi.

<sup>38</sup> San Agustín, *Confessions*, XI, p. 17.

<sup>39</sup> No nos tiene por qué afectar que a la filosofía hegeliana se la haya hecho responsable de casi todos los abusos ideológicos y que se la haya denunciado como «puro disparate [que] hubiese sido previamente conocido sólo en los manicomios» o como «un monumento a la estupidez germana» (Will Durant, en *The Story of Philosophy*, Nueva York, 1953, p. 221, cita a E. Caird, *Hegel*, Londres, 1883, como la fuente de esas opiniones; todos mis esfuerzos por localizar la cita han sido en vano). Sin embargo, debo señalar que la acusación frecuentemente repetida de que Hegel negaba el gran valor de las matemáticas o de la ciencia teórica es totalmente infundada: véase *The Logic of Hegel*, trad. de W. Wallace (2.ª edición, Londres, 1904), p. 187.

nismo incorporado contra muchas clases de errores de pensamiento que no tienen en absoluto los conceptos dialécticos. Debido a esta diferencia, somos capaces de asociar conceptos dialécticos con el pensamiento aislado, incluso aunque no profesemos el positivismo lógico. La actualmente famosa expresión «las aguas revueltas de la dialéctica hegeliana» habla por sí sola. Además, el uso del arma antidialéctica ha llegado a ser la forma más sencilla de deshacerse de la argumentación de cualquier otro<sup>40</sup>. Con todo, el hecho altamente significativo es que nadie ha sido capaz de presentar una argumentación contra los conceptos dialécticos *sin recurrir incesantemente a ellos*.

Estamos gravemente equivocados si creemos que la presencia de expresiones como «sólo si» o «nada más que» en una frase la purifica de todo «sin sentido dialéctico». Como ejemplo elocuente, podemos tomar las frases «una proposición tiene sentido solamente si es verificable» y «cuando hablamos de verificabilidad queremos decir posibilidad *lógica* de verificación, y nada más que esto»<sup>41</sup>, frases que forman juntas el credo del positivismo vienes. Si no se es positivista, quizá podría admitirse que hay cierto sentido en estos principios, a pesar de la crítica que pueda hacerse. Pero si se es un positivista de una sola pieza, hay que afirmar también que «la línea divisoria entre la posibilidad lógica y la imposibilidad de verificación es *absolutamente nítida y diferenciada*; no existe transición gradual entre el sentido y la falta de él»<sup>42</sup>. En consecuencia, para que las dos proposiciones anteriores tengan sentido tenemos que describir de manera absolutamente nítida y diferenciada la «posibilidad lógica de [su] verificación». Que yo sepa, nadie ha ofrecido todavía semejante descripción. No parece que el positivismo se de cuenta en absoluto de que el concepto de verificabilidad —o la postura que proclama que «el sentido de una proposición es el método de su verificación»<sup>43</sup>— está cubierto por una penumbra dialéctica, a pesar del aparente rigor de las frases utilizadas en la argumentación. Indudablemente, se puede poner fácilmente ejemplos de puro sin sentido —Moritz Schlick se sirve de «un amigo murió pasado mañana»— o de puro sentido aritmomórfico, pero —como ya he dicho antes— esto no elimina la penumbra dialéctica de diferencias graduadas de nitidez entre los dos casos extremos. Espero que el lector no se ofenda por la ineludible conclusión de que durante la mayor parte del tiempo todos decimos algún sin sentido, esto es, expresamos nuestros pensamientos en términos dialécticos sin un sentido bien definido.

<sup>40</sup> Debido precisamente a que deseo demostrar que el defecto no se limita a la gente común, he de mencionar que en un solo artículo Knight denuncia el concepto de instinto como arbitrario y acientífico, pero utiliza libremente el concepto de necesidad. Frank H. Knight, *The Ethics of Competition* (Nueva York, 1935), p. 29 y *passim*.

<sup>41</sup> Moritz Schlick, «Meaning and Verification», *Philosophical Review*, XLV (1936), pp. 344, 349.

<sup>42</sup> *Ibid.*, p. 352. Las cursivas son mías.

<sup>43</sup> *Ibid.*, p. 341.

Algunos de los libros escritos precisamente por aquellos autores que —como Bertrand Russell o Bridgman, por ejemplo— han intentado combatir la imprecisión de la ciencia como rasgo propio del más alto honor intelectual constituyen la prueba más convincente de que no es imposible razonar correctamente con conceptos dialécticos<sup>44</sup>. A propósito de esta tesis mía y en relación con el enfoque positivista anteriormente mencionado (Sección 2) de que «este color es rojo» es una proposición que carece de sentido, me permito remitir al lector a uno de los más apreciados artículos de Bertrand Russell: «No sólo somos conscientes de amarillos específicos sino que, si hemos visto un número suficiente de amarillos y tenemos suficiente inteligencia, somos también conscientes del *amarillo* universal; éste universal es el sujeto en juicios tales como “amarillo difiere de azul” o “amarillo se parece a azul menos que a verde”; y el amarillo universal es el predicado en juicios tales como “esto es amarillo”»<sup>45</sup>. A pesar de que un positivista no encontraría sentido alguno en esta cadena de conceptos dialécticos, se trata de lo que yo calificaría de mejor expresión de razonamiento dialéctico (corriendo con ello el riesgo de hacer que Mr. Bertrand Russell se sienta ofendido), y el hecho importante es que semejante razonamiento es una operación mucho más delicada que hacer silogismos con conceptos aritmómorficos. Como expondré más adelante (Capítulo III, Sección 10), constituye la cualidad más importante que diferencia la mente humana de cualquier cerebro artificial.

Hace mucho tiempo, Blaise Pascal subrayó la diferencia existente entre esos dos tipos de razonamiento así como su correlación con dos cualidades distintas de nuestro intelecto: *l'esprit géométrique* y *l'esprit de finesse*<sup>46</sup>. Por esta razón, culpar a los conceptos dialécticos de todo pensamiento confuso equivale a echar la culpa a los colores del artista por lo que el hombre sencillo —e incluso el de talento en algunas ocasiones— pudiera hacer con ellos. Por lo que respecta al astuto empleo de los conceptos dialécticos por parte de los sofistas de todas las tendencias, fuimos instruidos hace ya mucho tiempo por Sócrates acerca de la diferencia entre «el simple arte de la disputa y la verdadera dialéctica»<sup>47</sup>.

Actualmente, tanto *l'esprit géométrique* como *l'esprit de finesse* se adquieren (o se desarrollan) a través de la formación apropiada y de la atención a la mayor cantidad de ideas posible; y no podemos negar que los científicos sociales poseen por regla general suficiente *esprit de finesse* para interpretar co-

<sup>44</sup> Por ejemplo, Bertrand Russell, *Principles of Social Reconstruction* (Londres, 1916), y P. W. Bridgman, *The Intelligent Individual and Society*.

<sup>45</sup> Bertrand Russell, *Mysticism and Logic* (Nueva York, 1929), p. 212. [En lo que se refiere a la próxima observación en el texto, el lector debe tener presente que Bertrand Russell vivía cuando este volumen entró en prensa].

<sup>46</sup> *Pensées*, I-2, en Blaise Pascal, *Oeuvres complètes*, edit. por J. Chevalier (París, 1954), pp. 1.091 y ss.

<sup>47</sup> Platón, *Philebus*, p. 17; más sobre esta cuestión en *Theaetetus*, pp. 167-168.

rectamente la proposición «la democracia hace posible una satisfacción equitativa de las necesidades individuales» y para razonar de modo igualmente correcto con proposiciones similares en las que casi cada uno de los términos es un concepto dialéctico (y si algunos científicos sociales no poseen suficiente *esprit de finesse* para esta tarea, ¡Dios les ayude!). La proeza no es en modo alguno extraordinaria; como observó Bridgman en cierta ocasión, «el pequeño Johnnie y yo mismo sabemos perfectamente bien lo que espero cuando le ordeno que sea bueno, a pesar de que ninguno de nosotros podría describir con exactitud lo que entendemos por interrogatorio»<sup>48</sup>.

La opinión de que los conceptos dialécticos tendrían que ser excluidos de la ciencia debido a que en otro caso la infestarían con pensamiento confuso es, por tanto, una ilusión, no inofensiva, por desgracia; y ello porque esa postura ha engendrado otro tipo de confusión que infesta ahora a grandes sectores de las ciencias sociales: la aritmomanía. Basta con citar unos pocos casos procedentes exclusivamente de la economía. La compleja noción de desarrollo económico se ha reducido a un número, la renta per capita, y el espectro dialéctico de las necesidades humanas (posiblemente el elemento más importante del proceso económico) se ha cubierto desde hace tiempo con el concepto numérico incoloro de «utilidad», concepto al que, por otra parte, nadie ha sido capaz hasta ahora de dotar de un procedimiento real de medición.

7. *Probabilidad: un ejemplo de dialéctica hegeliana.* Nada podría ilustrar con más nitidez la argumentación de la sección precedente que el concepto de probabilidad, actualmente común a todas las ciencias especiales. Como sabemos, existe una multiplicidad de «doctrinas», en gran parte antagónicas, cada una de las cuales reclama que únicamente su propio enfoque conduce al significado de probabilidad (o más bien, a lo que debería significar). Esa pretensión no tendría que sorprendernos en absoluto. Sin entrar aquí en grandes detalles, hay que resaltar que, si bien antagónicas, esas doctrinas tienen de hecho el mismo objetivo: ordenar expectativas con ayuda de cierto coeficiente numérico que cada una de ellas denomina «probabilidad». Ahora bien, la expectativa es un complejo estado de la mente humana que comprende dos elementos distintos: *E*, la parte de conocimiento del individuo de la que éste es consciente en el momento de la expectativa, y *P*, una proposición aseverativa sobre un hecho o un acontecimiento habitualmente (mas no necesariamente) incierto. Simbólicamente, la expectativa de un individuo, *I*, puede representarse entonces por  $\mathcal{E}(I, E, P)$ <sup>49</sup>.

<sup>48</sup> Bridgman, *Intelligent Individual and Society*, p. 72; también pp. 56 y ss.

<sup>49</sup> Véase mi artículo «The Nature of Expectation and Uncertainty» (1958), reimpresso en *AE*, donde presenté una crítica general de las principales doctrinas de las probabilidades. Además de la presente sección, el Capítulo VI y el Apéndice F de este volumen contienen otras consideraciones sobre este asunto.



En uno de los grupos doctrinales —el personalista y el subjetivista, como se les denomina—, la atención se centra en *I*, definiéndose la probabilidad como el «grado de confianza» que el individuo tiene en el hecho o acontecimiento afirmado por *P*. Otra categoría prescinde de *I* y de aquella parte de *E* que no es lenguaje y define la probabilidad como una medida de la «verdad» expresada por *P*, de hecho, como un coeficiente calculado de acuerdo con una receta sintáctica (ampliamente arbitraria). No es preciso decir que ninguna de esas doctrinas se encuentra libre de hipótesis abiertamente opuestas a los hechos elementales; algunas equivalen a poco más que un ejercicio, si bien encantador, de huera axiomatización.

Las únicas doctrinas que deberían retener aquí nuestra atención son las que podrían calificarse de «objetivistas» por definir la probabilidad con independencia de *I* (y del tipo de lenguaje utilizado por *I*). En mi precisión formal de las expectativas, el coeficiente objetivo de probabilidad —siempre que pueda determinarse de acuerdo con las reglas dadas y que también se conozca por *I*— es parte de *E*. La cuestión importante es que el ordenamiento de las expectativas individuales es un resultado de la ordenación aritmética de las probabilidades y no a la inversa (como sucede en el caso de las doctrinas subjetivistas o personalistas)<sup>50</sup>.

En el enfoque objetivista, la contienda tiene lugar entre la doctrina laplaceana y la frecuentista. La crítica más importante a la definición laplaceana de probabilidad como relación entre el número de casos favorables y el total de los casos posibles, «siendo todos los casos igualmente probables», no puede refutarse por motivos basados en la Lógica: la definición es circular. Sostengo que esa crítica es infundada porque la probabilidad objetiva es básicamente una noción dialéctica en sentido hegeliano. De la misma forma, la definición frecuentista es también circular si se formula de modo apropiado.

En la doctrina frecuentista, la probabilidad de un acontecimiento viene definida por la relación *matemática*

$$(D_1) \quad p = \lim f_n \quad \text{para } n \rightarrow \infty,$$

donde  $f_n$  es la frecuencia relativa del acontecimiento en las primeras  $n$  observaciones bajo condiciones invariables<sup>51</sup>. Aunque el campo de aplicación de la probabilidad está así enormemente restringido, la doctrina tiene un mérito doble: relaciona directamente el concepto con los hechos observados y con un número. Por esta razón, obtuvo desde el principio una aceptación arrolladora y fue acogida con entusiasmo por todos los estadísticos.

<sup>50</sup> Más sobre esta cuestión, en el Apéndice F.

<sup>51</sup> Evidentemente, la afirmación no implica que *todas* las expectativas se encuentren por eso ordenadas; para algunas *P* las probabilidades pueden no existir con arreglo a las normas estipuladas o pueden no ser parte de *E*.

Con una física moderna que adopta la postura de que los fenómenos a escala de las partículas elementales se encuentran regidos exclusivamente por leyes probabilísticas que reflejan un factor aleatorio de carácter irreducible y *no nuestra ignorancia de algunas variables ocultas*<sup>52</sup>, la doctrina frecuentista plantea una reivindicación de integridad epistemológica.

«Las probabilidades son tan reales como las masas», dijo H. Margenau<sup>53</sup>, pero lo cierto es más bien lo contrario: las masas son tan reales como las probabilidades. En efecto, todo lo que podemos decir actualmente sobre las masas depende de lo que podemos decir acerca de las probabilidades. Así, por ejemplo, «la masa del mesón mu es 200 veces la del electrón» es una proposición que lleva consigo la probabilidad de una observación que ponga de manifiesto que la masa de un mesón mu es, pongamos por caso, 195 veces la de un electrón. La verificación de proposiciones relativas a probabilidades es, por tanto, el único problema fundamental. Todo lo demás depende de esa verificación.

Recordando una observación anterior, preguntemos a un positivista qué método de verificación emplearía, de acuerdo con su filosofía, para la conocida proposición «la probabilidad de que al echar una moneda salga cara es 1/2». Posiblemente no contestaría que tendríamos que llevar a cabo un número infinito de observaciones, tal como lo exige la definición (D<sub>1</sub>), ya que en ese caso admitiría implícitamente que existen proposiciones que no pueden verificarse y, por consiguiente, no pueden clasificarse como sensatas o sin sentido. Tampoco podría indicarnos que realizásemos «un número suficientemente grande de observaciones», pues, entre otras cosas, se le cogería en flagrante delito de emplear un concepto dialéctico! Veamos en todo caso lo que nos diría en esencia la contestación típica: «Si se echase al aire una moneda mil veces y apareciese la cara 490 veces, consi-

<sup>52</sup> La incertidumbre en la física cuántica «no se debe a nuestra ignorancia humana: es objetivamente incierto cuándo se desintegrará un átomo [determinado]». F. Waismann, «The Decline and Fall of Causality», *Turning Points in Physics*, edit. por R. J. Blin-Stoyle, et. al. (Amsterdam, 1959), p. 141. Un teorema demostrado en 1932 por J. von Neumann (*Mathematical Foundations of Quantum Mechanics*, Princeton, 1955, pp. 323-325), según el cual las actuales leyes de la mecánica cuántica son incompatibles con la idea de que pueden encubrir algunas variables causales, fomentó la creencia de que esas leyes representan un límite definitivo a una explicación causal del comportamiento de la materia elemental (véase, Louis de Broglie, *Physics and Microphysics*, Londres, 1955, pp. 195-205). Sin embargo, debido a que implica que no puede haber progreso al nivel semántico, debería haberse sospechado desde el principio del teorema «sin salida» de Neumann. En realidad, Broglie —quien primero lo saludó de modo entusiasta— encontró un fallo en el conjunto de la argumentación (Broglie, *New Perspectives in Physics*, Nueva York, 1962, pp. 99-102). Para una discusión más exhaustiva de la cuestión, véase David Bohm, *Causality and Chance in Modern Physics* (Londres, 1957), pp. 95-97.

La idea opuesta, esto es, que el azar refleja exclusivamente nuestra incapacidad para resolver el inextricable sistema de ecuaciones que gobiernan los fenómenos o para conocer todos los factores involucrados, se encuentra asociada al nombre de Henri Poincaré (*The Foundations of Science*, pp. 159 y s., 395 y s.).

<sup>53</sup> H. Margenau, *Open Vistas: Philosophical Perspectives of Modern Science* (New Haven, Conn., 1961), p. 183n.



deraríamos que este resultado respalda la hipótesis de que la probabilidad de esa aparición es  $1/2\dots$ ; pero, si apareciese solamente 400 veces, rechazaríamos normalmente la hipótesis... Procedemos de este modo debido a que... hay una aceptación tácita de *cierto* grado de desviación admisible, por muy *vagamente* que nos la podamos formular»<sup>54</sup>. Se descubre así el pastel dialéctico de los positivistas.

Efectivamente, el cálculo de probabilidades nos proporciona un número al que los estadísticos denominan grado de confianza en una hipótesis. Ahora bien, qué grado de confianza específico es el que traza «la línea absolutamente nítida y diferenciada» entre una proposición verificada y una falsa es una cuestión que ha de responderse antes de que los positivistas puedan justificar su pretensión relativa a la diferenciación absoluta entre «sentido y sin sentido». Pero no acaba todo aquí. A partir de los teoremas fundamentales del cálculo de probabilidades —aprobados también por la doctrina frecuentista—, se sigue que una moneda verificada como buena con un grado de confianza inmensamente grande podría no obstante mostrar exclusivamente «caras» durante un número infinito de veces<sup>55</sup>. En consecuencia, la definición frecuentista esconde una contradicción de la Lógica, y esa contradicción permanecerá con nosotros en tanto nos neguemos a reconocer que, puesto que cualquier proposición relativa a la probabilidad (entendida como coordinada física) se convierte en probabilidad a efectos de verificación, la definición de probabilidad tiene que ser circular.

El defecto fundamental de la doctrina frecuentista reside en no darse cuenta de que, *contemplada como un todo, una secuencia de observaciones es un acontecimiento aleatorio de igual modo en que lo es una sola observación*. Y, de la misma manera en que una única observación puede ser errática, así puede serlo una secuencia. Por tanto, hemos de tener en cuenta que en algunos casos  $f_n$  puede tener un límite distinto de  $p$  o no tenerlo en absoluto. Ahora bien, hay que añadir que la probabilidad de una secuencia para la que  $f_n$  tiende a  $p$  es muy grande y que cuanto más larga es la secuencia mayor es esta probabilidad. Más concretamente, esta probabilidad tiende a la unidad al tender  $n$  hacia infinito. Vamos a postular por ello lo siguiente:

*Si E es un acontecimiento aleatorio, existe un número p tal que, para cualesquiera números positivos  $\varepsilon$  y  $\delta$ , existe un número entero N tal que*

$$(D_2) \quad 1 > \text{Prob} [ |f_n - p| < \varepsilon ] > 1 - \delta$$

*para todo  $n > N$ .*

<sup>54</sup> Ernest Nagel, «The Meaning of Probability», *Journal of American Statistical Association*, XXXI (1936), p. 22. Las cursivas de «vagamente» son mías.

<sup>55</sup> Respecto de la aparente contradicción entre esta afirmación y el hecho de que la probabilidad de tal acontecimiento sea «cero», véase el Apéndice A, párrafos 1 y 13.

Hay que aclarar algunos puntos relativos a esta proposición. En primer lugar, es indispensable la condición de que el término central de  $(D_2)$  debe ser menor que la unidad, pues sólo de este modo podemos admitir que existan a veces secuencias erráticas. En segundo lugar, la proposición debe contemplarse como ley de la Naturaleza, para la que podemos reservar el nombre de Ley de los Grandes Números, dando así fin a la confusión que rodea habitualmente al carácter de esta ley. En tercer lugar, hay que contemplar la proposición como una definición de probabilidad física; no tenemos más que observar que esta definición incluye tanto el inicio como el fin de un pensamiento completo para darnos cuenta de que no hay otra forma de concebir la probabilidad sino en el más puro sentido hegeliano. Si la probabilidad es el elemento último de la Naturaleza, su definición debe basarse a la fuerza en la probabilidad.

Por otro lado, si la lucha secular con el problema de encontrar una definición *cualitativa* de probabilidad ha dado sólo como resultado interminables controversias entre las diferentes doctrinas, se debe, en mi opinión, a que se ha dedicado muy poca atención a la singular noción de aleatoriedad, y ello porque la raíz dialéctica descansa de hecho en esta noción y la probabilidad es únicamente un aspecto aritmético de ella.

Está fuera de toda duda que la noción de aleatoriedad lleva consigo una contradicción irreductible. Para empezar, el orden aleatorio debe ser lo suficientemente irregular como para excluir toda posibilidad de representarlo por medio de una fórmula analítica. Esta es la esencia de la muy interesante observación de Borel en el sentido de que la mente humana es incapaz de reproducir el riesgo<sup>56</sup>. Ahora bien, hace ya mucho tiempo Joseph Bertrand preguntaba: «¿Cómo es posible que hablemos de las leyes del riesgo? ¿No es el riesgo la antítesis de cualquier ley?»<sup>57</sup>. La respuesta a la pregunta de Bertrand es que la aleatoriedad no significa algo totalmente fortuito, esto es, una ausencia completa de orden. La oposición entre la tesis de la irregularidad de la aleatoriedad y la antítesis del orden peculiar de la misma encuentra su síntesis en la noción de probabilidad. De aquí nace el carácter circular de la definición de probabilidad, ya sea en la forma laplaceana o en la frecuentista.

Otro resultado de la argumentación anterior es que la oposición entre la opinión de Poincaré —que la aleatoriedad es un residuo de la imperfección o falta de acabado de nuestro conocimiento— y el dogma de la física

<sup>56</sup> Émile Borel, «Sur l'imitation du hasard», *Comptes Rendus, Académie des Sciences*, CCIV (1937), pp. 203-205. Sin embargo, la pretensión de Borel (Émile Borel, «Les probabilités», *Encyclopédie Française*, I, 1. 96-4) de haber ofrecido una demostración de esa imposibilidad es falsa.

<sup>57</sup> Joseph Bertrand, *Calcul des probabilités* (París, 1889), p. vi. La traducción es mía.

moderna —que la aleatoriedad es un aspecto intrínseco del modo de ser de las cosas en general— es totalmente ficticia. Como sucedía frecuentemente en su caso, Poincaré ofreció algunas sorprendentes demostraciones de cómo pueden surgir comportamientos estadísticos estables a partir de relaciones causales si variaciones muy pequeñas en las condiciones iniciales del sistema (una ruleta, por ejemplo) producen resultados sensiblemente diferentes<sup>58</sup>. No obstante, todas esas pruebas dan por supuesto que las condiciones iniciales están sujetas a alguna ley probabilística, no necesariamente conocida. Es decir, Poincaré no creó la aleatoriedad a partir de una estructura puramente causal; y, al completar la justificación de su postura de que la aleatoriedad está ligada a la ignorancia, Poincaré explicó que la información proporcionada por las probabilidades «no dejará de ser cierta hasta el día en que se conozcan mejor esos fenómenos (fortuitos)»<sup>59</sup>. La afirmación pone al descubierto la esencia de toda la cuestión, porque, supongamos que descubrimos un día algunos fenómenos subcuánticos que nos permitan predecir qué átomo, o átomos, de radio se desintegrará primero; aun así, seguiremos teniendo que explicar por qué la desintegración de los átomos dejados a sí mismos sigue un orden aleatorio.

Por todo ello, podemos entender por qué, incluso desde el ocaso de la mecánica estadística, los físicos han mostrado una acusada debilidad por la idea de que la aleatoriedad puede generarse por un sistema regido *únicamente* por relaciones causales. Entre los numerosos intentos realizados para justificar esta idea, el de David Bohm proporciona una base muy instructiva. Al explicar que si los accidentes de automóvil son impredecibles se debe exclusivamente a que no podemos determinar ni tener en cuenta *ex ante* todos los numerosos factores que explican *ex post* cada accidente específico, Bohm no hace sino seguir a Poincaré<sup>60</sup>. Lo mismo es cierto en lo que se refiere a su postura de que el mundo está gobernado por leyes infinitamente numerosas y, por tanto, de que hay siempre infinitud de leyes o factores que permanecen más allá del alcance de la ciencia<sup>61</sup>. Ahora bien, no está siempre claro lo que intenta construir sobre esa base. En efecto, dice que «la hipótesis de que las leyes de la Naturaleza constituyen una serie infinita de pequeños y más pequeños pasos que aproximan lo que en esencia es un límite mecanicista es tan arbitraria e improbable como lo es la hipótesis de un conjunto finito de leyes que permiten un tratamiento

<sup>58</sup> Henri Poincaré, *Calcul des probabilités* (París, 1912), pp. 146-152, y Poincaré, *Foundations of Science*, pp. 403-406.

<sup>59</sup> Poincaré, *Foundations of Science*, p. 396.

<sup>60</sup> Bohm, *Causality and Chance*, pp. 2 y s., 21 y ss. Véase también D. Bohm y W. Schützer, «The General Statistical Problem in Physics and the Theory of Probability», *Nuovo Cimento*, Supl. Serie X, II (1955), pp. 1.006-1.008.

<sup>61</sup> Bohm, *Causality and Chance*, *passim*.

exhaustivo de la Naturaleza en su conjunto»<sup>62</sup>. Esta afirmación demuestra que Bohm reconoce implícitamente la existencia de una irreducible aleatoriedad *residual*, pero entonces es incomprensible su posterior afirmación de que la aleatoriedad es el resultado de que los infinitos factores «dejados fuera de semejante sistema teórico [finito] se encuentran sometidos en general a algún tipo de fluctuaciones aleatorias»<sup>63</sup>. Y ello porque, si suponemos una aleatoriedad residual, se derivan inmediatamente dos conclusiones: en primer lugar, la hipótesis adicional de infinitas leyes que gobiernan el mismo fenómeno no es necesaria ya para explicar la aleatoriedad, y, en segundo lugar, sin considerar cuántos factores se dejan sin tener en cuenta, las desviaciones de los observados a partir de valores «teóricos» no son puramente errores aleatorios. La razón por la que Bohm introduce la infinitud de leyes consiste en que espera justificar la última proposición en base al «conocido teorema [de acuerdo con el cual] los efectos de las fluctuaciones aleatorias tienden a anularse»<sup>64</sup>. Sin embargo, el famoso teorema tiene influencia sobre la realidad si, y sólo si, cada efecto se produce por una causa *aleatoria* que ha de definirse con independencia del teorema; y, si cada causa está sujeta a la aleatoriedad, tampoco necesitamos una infinitud de ellas para explicar esa aleatoriedad. Al igual que sucede con otros muchos autores que escriben sobre probabilidad, Bohm parece confundir aquí un teorema matemático abstracto con el comportamiento real de la Naturaleza. Esa confusión aparece ingeniosamente obvia en su afirmación (tan querida por algunos físicos) de que una «ley determinada» genera siempre aleatoriedad a condición de que el mecanismo al que rige sea tal que variaciones sumamente pequeñas en las condiciones iniciales produzcan resultados sensiblemente diferentes. Como sucede en otras argumentaciones similares, lo que Bohm demuestra de hecho es un teorema geométrico ergódico, lo que, huelga decir, es una oposición antitética a la idea de aleatoriedad<sup>65</sup>.

<sup>62</sup> *Ibid.*, p. 134. En este contexto, hay que resaltar la opinión opuesta, compartida por muchos estadísticos que trabajan en campos aplicados; de modo explícito o implícito, piensan que si la función de regresión incluyese todos los «factores no específicos» se obtendría una correlación perfecta (esto es, una relación totalmente determinada). La idea es que el producto

$$1 - R_{1,23\dots n}^2 = (1 - r_{12}^2)(1 - r_{13,2}^2)\dots(1 - r_{1n,23\dots n-1}^2),$$

donde  $R$  y las  $r$  son las notaciones estándar de los coeficientes de correlación, debe tender a cero para  $n \rightarrow \infty$ , ya que decrece con cada uno de los sucesivos factores,

$$1 - r_{1n,23\dots n-1}^2 < 1.$$

Sin embargo, en base a fundamentos puramente matemáticos, el límite de ese producto no tiene que ser necesariamente cero.

<sup>63</sup> *Ibid.*, p. 145; también Bohm y Schützer, p. 1.008.

<sup>64</sup> Bohm, p. 23.

<sup>65</sup> Bohm y Schützer, pp. 1.024 y ss. Véase más sobre esta cuestión en el Capítulo VI, Sección 3, posterior.

Curiosamente, los autores que se proponen demostrar el carácter reducible de la aleatoriedad a la causalidad alzan por lo general una punta del velo que cubre a la falacia de sus argumentos formales. Así, Bohm parece ignorar que la mecánica por sí sola no puede justificar la proposición de que, debido a la asimetría del dado y a la complejidad del movimiento de la mano, «a largo plazo y por término medio, esas fluctuaciones [del resultado] no favorecen a ninguna cara en particular»<sup>66</sup>. Por otra parte, tomar esta proposición como fundamento independiente de aleatoriedad y probabilidad significa remontarse al viejo Laplace y a su subjetivo Principio de la Razón Insuficiente.

La única solución consiste en enfrentarse al hecho de que en la idiosincrasia del mundo real hay un orden que, debido a su carácter dialéctico en sentido hegeliano, no puede representarse por medio de una fórmula analítica. Lo mismo que el sufrimiento no puede existir sin heridas o sin un individuo sensible, la aleatoriedad es un elemento de relación. Las dos opiniones opuestas sobre la aleatoriedad, a las que nos hemos referido aquí, son los dos extremos del mismo puente tendido entre la comprensión humana y el mundo real.

<sup>66</sup> Bohm y Schützer, p. 1.011. El más convincente contraejemplo de esta tesis es el hecho de que, incluso aunque la secuencia de los números «aleatorios» de Montecarlo se construya a través de un procedimiento que satisfaga tanto la condición de inestabilidad como la de tendencias estadísticas, tal secuencia alcanza finalmente una cadencia constante. Esa situación es totalmente análoga al famoso error de Poincaré al afirmar que los terceros guarismos decimales de una tabla de logaritmos forman una secuencia aleatoria (Poincaré, *Foundations of Science*, pp. 161 y s.).

### CAPÍTULO III

## CAMBIO, CUALIDAD Y PENSAMIENTO

1. *Ciencia y Cambio.* Como se explicó en el capítulo inicial, la filosofía griega comenzó preguntando por la razón de que las cosas cambien, pero el reconocimiento del Cambio planteó pronto el problema epistemológico más formidable. ¿Cómo es posible el conocimiento si las cosas cambian continuamente, si «no se puede entrar dos veces en los mismos ríos, como afirmaba el críptico Heráclito»?<sup>1</sup>. Desde entonces, hemos venido luchando con el problema de saber qué es *lo mismo* en un universo cambiante. Como inquirió Mach, ¿qué es «lo mismo» en un vapor de sodio que, al aumentar la temperatura, cambia de violeta a amarillo? O, como planteó Bridgman, ¿qué es «lo mismo» en un vaso de agua que se evapora continuamente?<sup>2</sup>. Son numerosos los intentos constantes de contestar a esa pregunta utilizando esquemas aritmomórficos (examinaremos dentro de poco el más ambicioso de todos ellos, llevado a cabo por Bertrand Russell). La observación hecha por David Bohm de que en cada momento una cosa tiene «un enorme (de hecho, infinito) número de aspectos que son comunes a los que tenía hace poco»<sup>3</sup> pone de manifiesto por qué la cuestión planteada por Mach se encuentra lejos de ser ociosa; a pesar de todo, esa observación no la contesta. Muchas cosas actuales tienen un infinito número de aspectos comunes a cada una de ellas e igualmente comunes a muchas cosas de hace poco tiempo. De este modo, seguimos sin conocer cuál de todos los posibles pares de una cosa pasada y otra actual representa la «misma cosa». Y, si nos quedamos satisfechos con el argumento de la continuación temporal de una cualidad específica de las cosas observadas, en ese caso debemos aceptar sin ningún género de dudas como perfectamente científico el procedimiento por el

<sup>1</sup> Fragmento 41 en J. Burnet, *Early Greek Philosophy* (4.<sup>a</sup> edición, Londres, 1930), p. 136. Las cursivas son mías.

<sup>2</sup> Ernst Mach, *Popular Scientific Lectures* (Chicago, 1895), p. 202; P. W. Bridgman, *The Logic of Modern Physics* (Nueva York, 1928), p. 35. Bridgman añade que hasta  $2 + 2 = 4$  se derrumba si se aplica a «esferas de un gas que se expande y se interpenetra».

<sup>3</sup> David Bohm, *Causality and Chance in Modern Physics* (Londres, 1957), p. 157.

que el lamaísmo decide quién es el *mismo* Dalai Lama por encima de la vida y la muerte.

Por otro lado, si no hubiese Cambio en absoluto, es decir, si las cosas hubiesen sido y fueran a ser siempre como son, toda ciencia quedaría reducida a una especie de geometría: *ubi materia, ibi geometria*, donde hay materia, hay geometría, como enseñó Kepler.

Se cortó el nudo, no se desató, gracias a la distinción –introducida bastante pronto– entre cambio de esencia y cambio de lugar<sup>4</sup>. Y, dado que, como lo expresó en forma sencilla Aristóteles, «el lugar no es parte de las cosas ni una cualidad de las mismas»<sup>5</sup>, pareció oportuno acordar que todo Cambio es locomoción, siendo el cambio de esencia pura apariencia. Para evitar toda posible referencia a la cualidad, la antigua doctrina atomista creada por Leucipo afirmaba que el Cambio consiste exclusivamente en la locomoción de las partículas atómicas de una materia *uniforme y eterna*. La primera crítica sistemática del atomismo monista fue la de Aristóteles, quien opuso la doctrina de la materia y la forma, lo que le llevó a analizar el Cambio en cambio (1) de lugar, (2) de cantidad (relacionado con el cambio por creación o destrucción) y (3) de cualidad<sup>6</sup>. Aun cuando desde entonces nos hemos ajustado en principio a este análisis, la actitud de la ciencia hacia el Cambio ha seguido un curso histórico muy desigual.

En primer lugar, el atomismo sufrió un eclipse total a lo largo de casi dos mil años hasta que Dalton lo resucitó a comienzos del pasado siglo; a partir de aquí, llegó gradualmente a gobernar casi todos los sectores de la física. Sin embargo, los recientes descubrimientos de una tras otra partícula intraatómica, todas ellas cualitativamente diferentes, han privado al atomismo monista de todas sus virtudes epistemológicas. Al ser actualmente reconocida como atributo primario de la materia elemental, la cualidad no es reducible ya a la locomoción. Así pues, por el momento se ha justificado de esta manera un aspecto de la doctrina aristotélica.

Durante bastante tiempo, el cambio por creación y destrucción persistió en las especulaciones escolásticas, pero, tras los diversos principios de conservación descubiertos por la física a lo largo de los cien últimos años, nos llegamos a convencer de que este tipo de cambio estaba enterado para siempre. Sólo los cosmólogos siguieron hablando de la creación del universo. Sin embargo, la idea de que la materia se crea y se destruye continuamente en cada rincón del universo ha adquirido recientemente el apoyo creciente de cierto número de físicos. Si llegase a

<sup>4</sup> Véase, por ejemplo, Platón, *Parménides*, p. 138.

<sup>5</sup> Aristóteles, *Physics*, 209<sup>b</sup> 26-27, 221<sup>a</sup> 1.

<sup>6</sup> *Physics*, 190<sup>a</sup> 33-37, 260<sup>a</sup> 27-29.

ser una hipótesis válida, podría no sólo revolucionar la cosmología sino también resolver el mayor misterio de la física, el de la gravitación<sup>7</sup>. El universo sería igualmente más inteligible, pues sus leyes serían entonces verdaderamente invariantes con respecto al Tiempo. Por todo ello, es muy posible que tuviéramos que volver a las opiniones de Aristóteles y reconsiderar el moderno axioma de que «el concepto de energía sin conservación carece de sentido»<sup>8</sup>. A decir verdad, sabemos ya que el concepto de entropía (que nos va a ocupar en los capítulos siguientes) no carece de sentido, a pesar del hecho de que el auténtico carácter de la entropía es crecer continuamente.

El cambio cualitativo no ha dejado nunca de ser un tema central de las ciencias de la Naturaleza, pero, una y otra vez, la admiración producida por los éxitos operativos de la física en casi todos los sentidos –a pesar de su decisión de ignorar el Cambio– nos ha llevado erróneamente a pensar que la ciencia no puede estudiar el Cambio. Los científicos sociales, en especial, continúan alabando fervientemente este principio, pero lo incumplen<sup>9</sup>. A pesar de todas estas declaraciones y de las repetidas argumentaciones en su apoyo, podemos reconocer igualmente bien que la máxima ambición de toda ciencia es descubrir las leyes de cualquier Cambio que se ponga de manifiesto en su campo fenomenológico.

Es ésta la tarea más sugestiva de la ciencia. Frente a lo que sostienen muchos científicos<sup>10</sup>, la madurez de cualquier ciencia no se mide por el grado en que ha sido capaz de construir una representación mecánica de su campo fenomenológico específico; en lugar de eso y como afirma David Bohm (¡un físico!), la madurez debe juzgarse por la capacidad de «considerar el proceso por el que las cosas *se han convertido* en lo que son, partiendo de lo que una vez *fueron*, y por el que continúan cambiando y convirtiéndose de nuevo en algo distinto en el futuro»<sup>11</sup>. Para hacer esto, hasta los astrofísicos, no sólo los biólogos, han de recurrir a la doctrina aristotélica del Cambio, en su fondo y en su forma. Como explica Gamow, la creación en la hipótesis de la «Gran Explosión» significa «hacer algo bien formado a partir de lo informe»<sup>12</sup>. No es superfluo, por tanto, plantear una gran interrogación en lo que se refiere a la extendida disposición de la economía a ignorar el cambio cualitativo y hasta a minimizar con ello todas

<sup>7</sup> Más adelante (Capítulo VIII), se discutirá con cierto detalle esta hipótesis. Aquí deseo resaltar únicamente que la idea de que la materia se crea y se destruye continuamente ya había sido reavivada en otros círculos. Véase, por ejemplo, Henri Bergson, *Creative Evolution* (Nueva York, 1913), pp. 246n y 368 y s.

<sup>8</sup> Bridgman, *Logic of Modern Physics*, p. 127.

<sup>9</sup> Por ejemplo, Frank H. Knight, *The Ethics of Competition* (Nueva York, 1935), p. 21.

<sup>10</sup> Por ejemplo, Henri Poincaré, *Mathematics and Science: Last Essays* (Nueva York, 1963), p. 8.

<sup>11</sup> Bohm, *Causality and Chance in Modern Physics*, p. 15.

<sup>12</sup> G. Gamow, *The Creation of the Universe* (Nueva York, 1952), p. vii.

las preocupaciones, a pesar de que en el campo económico el Cambio es, aun más que en la astrofísica, el alma del acontecer.

2. *Cambio y conceptos dialécticos.* El indudablemente difícil problema de describir el cambio cualitativo se deriva de una razón fundamental: ese cambio evita la esquematización aritmomórfica. El leitmotiv de la filosofía de Hegel: «donde hay movimiento, donde hay vida, donde algo se lleva a cabo en el mundo real, actúa la Dialéctica»<sup>13</sup> es propenso a no ser grato a una mente acostumbrada a la filosofía mecanicista. Sin embargo, lo cierto sigue siendo que el Cambio es la fuente de todos los conceptos dialécticos. Por ejemplo, «democracia», «feudalismo», «competencia monopolística» son conceptos dialécticos porque las organizaciones políticas y económicas evolucionan continuamente. Lo mismo es aplicable al «organismo vivo»: la vida biológica consiste en una continua e insinuadora transformación de materia inerte en materia viva. Lo que hace de «necesidad» un concepto dialéctico es que los medios de satisfacer necesidades pueden cambiar con el tiempo y el lugar: la especie humana hubiera desaparecido hace mucho si nuestras necesidades hubiesen sido inflexibles como un número. Por último, «especie» es dialéctica, porque toda especie «incluye el desconocido elemento de un acto diferenciado de creación»<sup>14</sup>.

La razón que forzó a Platón a excluir todo *cambio cualitativo* de su universo de ideas aritmomórficas es evidente. Por otro lado, Platón no discute la cuestión de si el movimiento se encuentra también excluido de ese universo, pero podemos estar casi seguros de que no tenía intención alguna —pues no había necesidad de ello— de concebir tal universo como *inmóvil*. De este modo, reconoció implícitamente que una estructura aritmomórfica es incompatible con el cambio cualitativo, mas no con la locomoción, incluso aunque admitió que el Cambio se compone de ambos<sup>15</sup>. Como resultado de ello, y como sucedía con la generación precedente, Platón seguía sin comprender las paradojas de Zenón y no pudo aclararlas.

Con sus paradojas, Zenón pretendía poner de manifiesto los defectos de la doctrina pitagórica de los Muchos frente a la doctrina de Parménides del Uno. La paradoja de la flecha, en concreto, intenta demostrar que hasta la locomoción es incompatible con una estructura molecular (esto es, aritmomórfica) del Espacio y del Tiempo, porque, reinterpremando a Zenón, si en un instante dado la flecha está en un lugar *discretamente diferenciado*, ¿cómo puede moverse a otro lugar semejante? Algunos afirman que la paradoja se resuelve definiendo la locomoción como relación entre una

<sup>13</sup> G. W. F. Hegel, *The Logic of Hegel*, traduc. de W. Wallace (2.ª edición, Londres, 1904), p. 148. Una página antes, dice que «el principio dialéctico constituye el alma y la vida del progreso científico».

<sup>14</sup> Charles Darwin, *The Origin of Species* (6.ª edición, Londres, 1898), p. 30.

<sup>15</sup> Platón, *Parménides*, p. 139.

variable tiempo y una coordenada espacial<sup>16</sup>; el hecho de que esta solución «matemática» es suficientemente buena para la física está fuera de duda. Ahora bien, desde determinado punto de vista, la paradoja es más sencilla de lo que esta solución sugiere, mientras que desde otras perspectivas es más complicada.

Es más sencilla, puesto que todo lo que Zenón hace es ignorar la diferencia cualitativa existente entre «estar en un lugar» y «moverse a través de un lugar», es decir, entre «reposo» y «movimiento». El error cometido intencionadamente por Zenón e inconscientemente por todos los que se engañaron creyendo haber vencido a la paradoja por medio de simples fórmulas matemáticas consistió en ignorar el hecho de que, si nos referimos exclusivamente a un instante del tiempo, es imposible distinguir entre «reposo» y «movimiento». Una fotografía perfectamente instantánea de un automóvil no puede revelar de ninguna manera si tal automóvil se encontraba parado o en movimiento; para saber qué es lo que sucedía, precisamos observar al automóvil durante un intervalo temporal, aunque sea breve. Sin duración, ni siquiera el «reposo» tiene significado alguno. Como contestó Aristóteles a la paradoja de Zenón, tanto el movimiento como el reposo «deben ocupar tiempo»<sup>17</sup>. Y, de acuerdo con Louis de Broglie, cuya insistente preocupación por la oposición entre partícula y onda en la microfísica es única entre los físicos, existe en esa paradoja una sutileza únicamente puesta de relieve por la física moderna: «lo que se encuentra en un punto no puede estar en movimiento o evolucionar, lo que se mueve o evoluciona no puede estar en ningún punto»<sup>18</sup>.

Así pues, la paradoja es más compleja de lo que nos hace creer su solución matemática, pues revela la confusión que rodea a la idea de que Espacio y Tiempo no son *conjuntos continuos* sino mera *multiplicidad de puntos indivisibles*. Como lo han señalado repetidamente muchas autoridades matemáticas, todas estas cuestiones siguen con nosotros a pesar de los espléndidos logros de Dedekind, Weierstrass y Cantor en lo que respecta al continuo matemático<sup>19</sup>. Es indudable que lo que principalmente buscaban esos famosos matemáticos era una formalización matemática del continuo intuitivo; Dedekind, en especial, refería constantemente su argumentación a los aspectos intuitivos del continuo lineal<sup>20</sup>. Sin embargo, la afirmación

<sup>16</sup> Por ejemplo, Bertrand Russell, *The Principles of Mathematics* (Cambridge, Ingl., 1903), cap. liv.

<sup>17</sup> Aristóteles, *Physics*, 234<sup>b</sup> 8-9.

<sup>18</sup> Louis de Broglie, *Physics and Microphysics* (Londres, 1955), p. 126.

<sup>19</sup> Por ejemplo, Hermann Weyl, *Das Kontinuum* (Leipzig, 1918), p. 16; Henri Poincaré, *The Foundations of Science* (Lancaster, Pa., 1946), pp. 51 y s.

<sup>20</sup> R. Dedekind, *Essays on the Theory of Numbers* (Chicago, 1924), pp. 6-12. En realidad, hasta Weierstrass, el número irracional no tenía otra base en las matemáticas sino la representación geométrica heredada de los pitagóricos. Véase G. Cantor, *Contributions to the Founding of the Theory of Transfinite Numbers* (Nueva York, sin fecha), p. 17.

de Bertrand Russell —escuchada ahora igual que entonces— de que «ninguna otra continuidad [distinta de la del continuo aritmético] está implícita en el espacio y en el tiempo»<sup>21</sup> carece por completo de base. Lo cierto es que la proposición de que existe una correspondencia exacta entre los números reales y los puntos de una línea es bien un axioma, o una definición matemática de línea<sup>22</sup>.

Los desarrollos llevados a cabo en las matemáticas —posteriores a la citada afirmación de Russell— demuestran que está lejos de ser infundado el principio aristotélico de que el punto es el límite de la línea, no *parte* de ella<sup>23</sup>.

En primer lugar, la moderna teoría de la medición representa un tardío reconocimiento de que al menos el principio no se preocupa de un pseudoproblema. Todavía más eficaz es el famoso teorema de Ernst Zermelo de que el continuo aritmético puede ser perfectamente metódico, lo que implica que todo número real tiene un inmediato sucesor. Incluso aunque no se pueda *dar nombre* a ese vecino inmediato, la prueba de que existe tiene que ver con una cuestión establecida antes, concretamente que un número tiene una individualidad perfectamente aislada<sup>24</sup>. Cualesquiera que sean las propiedades que pueda tener el continuo aritmético, su estructura es en todo caso la de las cuentas de una sarta, pero *sin la sarta*.

Creo que no hay ninguna necesidad de insistir en el aspecto de que cada elemento del continuo aritmético es exactamente igual que una cuenta, «una cosa individual absolutamente distinta de las otras y, además, absolutamente indivisible»<sup>25</sup>. Esta cuestión es hoy en día un lugar común matemático. Partiendo de esta base, hasta Henri Bergson observó de forma penetrante que «postular la impenetrabilidad de la materia significa simplemente reconocer la solidaridad de las nociones de número y espacio,

<sup>21</sup> Russell, *Principles of Mathematics*, p. 260.

<sup>22</sup> Véase G. D. Birkhoff, «A Set of Postulates for Plane Geometry, Based on Scale and Protractor», *Annals of Mathematics*, XXXIII (1932), p. 329, y Cantor, *Contributions*, p. 30.

<sup>23</sup> Aristóteles, *Physics*, 231<sup>a</sup> 25-29.

<sup>24</sup> Los lógicos modernos han adquirido una costumbre muy especial: cada vez que surge una paradoja, legislan nuevas reglas proscribiendo alguno de los pasos por los que se ha llegado a tal paradoja. Evidentemente, el procedimiento significa nada menos que el harakiri de la razón. (Véase H. Weyl, *Philosophy of Mathematics and Natural Science*, Princeton, 1949, p. 50. Véase también la aguda crítica de Henri Poincaré, *Foundations*, pp. 472 y ss., especialmente p. 485). En cualquier caso, no *resuelve* la paradoja sino que simplemente la *aplaza indefinidamente*. Por lo que se refiere al teorema de Zermelo, la propuesta consiste en prohibir que se elija un miembro de un conjunto sin darle realmente un nombre. Para emplear la altamente instructiva analogía de Bertrand Russell, en *Introduction to Mathematical Philosophy* (Nueva York, 1930), p. 126, a pesar de que sería legítimo elegir la bota izquierda de un par de botas, elegir un calcetín de un par de calcetines idénticos sería una operación ilícita. No veo en absoluto por qué la última elección sería incorrecta en un campo como las matemáticas en el que en toda época se han llevado a cabo operaciones mucho más raras. ¿No constituye una idea sumamente extraña la de casar nadie con nadie, como sucede al levantar sobre sí mismo el plano del conjunto nulo?

<sup>25</sup> Poincaré, *Mathematics and Science: Last Essays*, p. 30.

enunciar una propiedad de los números antes que de la materia», y al menos un famoso físico aprobó con entusiasmo la idea<sup>26</sup>. Ahora bien, la metáfora que se refiere a la «sarta» —a cuyo través deseo transmitir la idea de que las cuentas del continuo aritmético están colocadas una junto a otra como las de un collar normal— podría requerir una elaboración adicional; dado que tal elaboración no puede rehuir de ninguna manera los tecnicismos, se relega al Apéndice A.

3. *El continuo intuitivo frente al aritmético*. Hay una auténtica sabiduría en el consejo de que la ciencia no debiera tomar prestadas palabras del lenguaje corriente para designar sus conceptos de reciente creación. Si una palabra se ha estado empleando durante mucho tiempo, se produce una pegajosidad resistente entre esa palabra y sus antiguas connotaciones. Aun cuando sean totalmente extrañas al nuevo concepto, algunas de esas connotaciones pueden caer inadvertidamente en la imagen mental que tenemos de aquel y llevarnos a no tener presente la diferencia entre los nuevos y los viejos conceptos. Al final de su vida, el constructor del moderno utilitarismo, Jeremy Bentham, lamentaba que «*utilidad* era una palabra desafortunadamente elegida» para el concepto especial que tenía pensado para la nueva ciencia política<sup>27</sup>; el análisis económico sigue pagando un elevado precio por esa desafortunada elección. De modo semejante, el uso de la palabra «continuo» para denotar un agregado de elementos aislados, discretamente diferenciados, es sin duda alguna responsable de las frecuentes afirmaciones de que no existe otro tipo de continuidad. A pesar de todo, antes de que el continuo aritmético adquiriese su legítimo rango dentro de las matemáticas, la noción denotada por continuo tenía la finalidad de expresar una propiedad intuitiva de Tiempo, Espacio e incluso Naturaleza, la de ser conjuntos *sin suturas*.

El aforismo de que «las cosas que están en un universo no están separadas ni cortadas unas de otras con un hacha» se remonta al clásico Anaxágoras<sup>28</sup>. A diferencia del continuo aritmético, el continuo universo no tiene agujeros ni siquiera junturas en las que, como creía Platón, un buen escultor pudiera separar una especie de otra<sup>29</sup>. En mayor medida que cualquier otra cosa, los números son cortes artificiales que hemos hecho en ese conjunto. Evidentemente, dado cualquier conjunto, podemos hacer en él tantos cortes como queramos, pero la afirmación inversa, implícita en el posi-

<sup>26</sup> Henri Bergson, *Essais sur les données immédiates de la conscience* (Ginebra, 1945), p. 77; Louis de Broglie, *Physique et microphysique* (París, 1947), p. 208. (Tengo que remitir al lector al original francés de la obra de Broglie, ya que en la traducción inglesa el capítulo sobre Bergson está irreconociblemente alterado).

<sup>27</sup> Jeremy Bentham, *The Works of Jeremy Bentham*, edic. de J. Bowring (11 volúmenes, Edimburgo, 1838-1843), X, p. 582.

<sup>28</sup> Anaxágoras, Fragmento 8, en Burnet, *Early Greek Philosophy*, p. 259.

<sup>29</sup> Platón, *Phaedrus*, p. 265.



tivismo aritmético, de que puede reconstruirse el conjunto a partir de sus cortes está por completo en el aire.

La objeción corriente planteada por el absolutismo de la Lógica en el sentido de que nadie ha sido capaz hasta ahora de ofrecer una definición formal del continuo intuitivo se basa en un hecho sólido que, no obstante, no constituye prueba alguna contra la validez de ese concepto. El continuo intuitivo pertenece a esa categoría especial de conceptos sobre los que podemos disertar entre nosotros sin ser capaces de definirlos. A pesar de ser incondicional de la Lógica (llevó a cabo el intento más ilustre de reducir la Aritmética a Lógica), G. Frege advirtió a los absolutistas lógicos que, por ser «lógicamente simple [fundamental], no es posible una definición; no hay más remedio que guiar al lector o al oyente, a través de insinuaciones, a comprender las palabras como se desea»<sup>30</sup>. Esta categoría es el hábitat natural de todos los conceptos dialécticos, que descienden en realidad del correspondiente al continuo intuitivo; el propio Cambio es inconcebible sin este continuo.

Cabría argüir también que al amparo de la dialéctica podrían introducirse en la ciencia algunos disparates. De hecho, se han introducido así muchos disparates, pero otros muchos han penetrado en la ciencia revestidos de un espléndido manto lógico. Nos guste o no, no disponemos de la piedra filosofal que permita descubrir con rapidez un disparate. En lo que se refiere al continuo intuitivo, sería el colmo de la ineptitud (o de la arrogancia intelectual) afirmar que la mente humana ha construido el continuo aritmético por puro capricho de la mente, sin estar guiada por ninguna forma conceptual preexistente. Si fuese así, estaríamos ante el mayor milagro desde la Creación: un concepto que salió de la nada y partió de cero y que, no obstante, logra encajar perfectamente en el espacio y tiempo de las ciencias físicas. Los hechos históricos nos eximen de prestar atención a este enigma pues demuestran que no existe tal milagro. El continuo aritmético es el producto de una dura lucha con el problema de cómo representar el continuo intuitivo de forma que la mayor parte posible de su contenido se haga accesible al análisis matemático. «En la época en la que se desarrolló la teoría del continuo aritmético, la única concepción del continuo existente era la de que venía dado por la intuición», afirma un matemático de enorme reputación<sup>31</sup>. El problema de representar el continuo intuitivo no dejó de preocupar a los matemáticos incluso después de que el continuo aritmético se construyese en la forma que actualmente conocemos. Siguió después muchos interesantes intentos de incorporar rasgos del continuo intuitivo que se habían dejado fuera del aritmético<sup>32</sup>.

<sup>30</sup> *Translations from the Philosophical Writings of Gottlob Frege*, editores P. Geach y M. Black (Oxford, 1960), p. 43.

<sup>31</sup> E. W. Hobson, *The Theory of Functions of a Real Variable and the Theory of Fourier's Series* (2 volúmenes, Nueva York, 1957), I, p. 53.

En consecuencia, no viene al caso afirmar que la noción de continuo intuitivo se convirtió en un disparate después de haber servido al objetivo de llevar al continuo aritmético. No existe analogía alguna entre el caso del continuo intuitivo y, por ejemplo, la vieja creencia de que toda función continua tiene derivada; esa creencia llevaba consigo un error de la Lógica, la injustificada identificación de dos construcciones matemáticas diferentes. Por otra parte, al ser el problema del continuo intuitivo de carácter epistemológico, no existe prueba alguna imaginable con la que determinararlo.

Podemos decir, no obstante, que la imposibilidad de definir formalmente el continuo intuitivo es una consecuencia lógica de la oposición entre la propiedad esencial que tienen los números de ser diferenciadamente discretos y la propiedad característica del continuo intuitivo de componerse de elementos dialécticamente superpuestos y que no dejan resquicio alguno. Posiblemente, el modo más apropiado pese a todo de expresar esta peculiar estructura sea la sugerencia de Poincaré: en el continuo intuitivo,  $A = B$ ,  $B = C$  es perfectamente compatible con  $C > A$ <sup>33</sup>. Con ello quiso significar que, incluso aunque  $A$  sea indistinguible de  $B$  y  $B$  de  $C$ ,  $C$  puede distinguirse de  $A$ , una propiedad que recuerda mi propia noción de la penumbra dialéctica que separa  $A$  de su contrario. Sin embargo, debemos guardarnos del pecado mortal de atribuir a los signos en estas relaciones sus significados aritméticos y de someterlos entonces a análisis utilizando las leyes de la Lógica. Sólo haciendo precisamente eso pudo Borel haber llegado a la conclusión de que la idea de Poincaré es absurda<sup>34</sup>. La cuestión es que, cualesquiera nuevas ideas pueda ofrecer el futuro para ampliar el actual concepto de continuo aritmético, no parece posible resolver el conflicto que existe hoy en día entre la realidad construida con números y nuestra intuición. No hay forma alguna de que, desde el punto de vista aritmomórfico, tenga sentido la idea de Poincaré. De modo análogo, nuestra intuición se revela contra ciertos resultados del análisis aritmético. Un excelente ejemplo de ello lo proporciona el conjunto ternario de Cantor; se trata de un subconjunto del intervalo  $(0, 1)$  y, aunque tiene la misma potencia (esto es, los mismos puntos) que el intervalo, su medida es cero. La singularidad de todo ello es que entonces podría parecer posible supri-

<sup>32</sup> Véase el Apéndice A de este volumen.

<sup>33</sup> Poincaré, *The Foundations of Science*, p. 46.

<sup>34</sup> Émile Borel, *Probability and Certainty* (Nueva York, 1963), pp. 106-109. La argumentación de Borel es que a partir de  $A = B$ ,  $B = C$ ,  $A < C$ , debe derivarse necesariamente que  $A < B < C$ , porque, si  $C < B$  o  $B < A$ , entonces  $A < B$  o  $B < C$ , respectivamente; así pues, una de las premisas quedaría desmentida. Extrañamente, Borel no se dio cuenta de que su error era doble: como se observa fácilmente, su argumentación no es sólida, ni siquiera de acuerdo con las leyes de la Lógica. Un ejemplo contrario de tipo formal se encuentra en mi análisis del umbral en la elección, en el artículo «The Pure Theory of Consumer's Behavior» (1936), reimpresso en *AE*, pp. 158 y s.

mir un enorme número de puntos materiales de una regla sin afectar en absoluto a su contenido material ni a su estructura<sup>35</sup>.

Ahora bien, concluir que en este conflicto existente entre nuestra intuición y el edificio construido con números es nuestra intuición la única que yerra, constituye la forma más evidente de incongruencia. Así, por ejemplo, una de las actuales crisis sufridas por la microfísica se deriva precisamente del hecho de que las teorías habituales suponen que las partículas elementales son meros puntos en un continuo aritmético tridimensional<sup>36</sup>. E incluso aunque nuestra actual concepción es que la Naturaleza está hecha de cuantos indivisibles, la misma concepción rechaza la idea de que las cosas puedan estar «cortadas unas de otras». Como recalcó Niels Bohr, el objeto y el instrumento de los físicos forman un conjunto indivisible: al menos un cuanto se superpone a ambos. En realidad, el objeto, el instrumento y el observador forman un conjunto indivisible, ya que debe haber al menos un cuanto en el instrumento y en el observador.

4. *Instantes de tiempo y duración.* En relación con el asunto que se acaba de discutir, no debiera pasarse por alto el hecho de que nada menos que un coautor de los *Principia Mathematica*, Alfred North Whitehead, ha erigido todo su sistema filosófico sobre la diferencia esencial entre el continuo del universo y el del análisis aritmético. Que centrarse su argumentación en el Tiempo es natural, pues el Tiempo es el auténtico origen del continuo intuitivo. Pero la esencia de la postura filosófica de Whitehead no es totalmente nueva; antes de él, y posiblemente con mayor insistencia, Henri Bergson vio en la peculiar naturaleza del Tiempo la respuesta a muchos problemas filosóficos, en especial al de la conciencia y la evolución.

Nuevamente Aristóteles fue el primero en afirmar que el tiempo no está hecho de instantes puntuales sucesivos como los puntos de una línea<sup>37</sup>. Ese mensaje se ha repetido de diversas formas a lo largo de los siglos posteriores. En la época moderna, ha sido revivido no sólo por filósofos como Henri Bergson o Whitehead sino también por eminentes físicos: el «ahora» de nuestra experiencia no es el punto de separación en matemáticas<sup>38</sup>. Sin embargo, Bergson y Whitehead van mucho más allá y explican por qué la diferencia importa en la ciencia, a pesar de que a la física le haya ido estupendamente bien sin haberse preocupado de forma abierta del continuo intuitivo. Como lo reconoce Whitehead<sup>39</sup>, ambos insisten en que el hecho fundamental de la Naturaleza es el Cambio. Aun cuando prefiramos emplear «acontecimiento» o «proceso» en lugar de la palabra «suceso», el Cambio requiere tiempo para lle-

vase a efecto o para percibirse. Naturaleza en un instante o estado de cambio en un instante son abstracciones altamente imponentes. Para empezar, no hay respuesta alguna a la pregunta «¿qué sucede con la velocidad, en un instante?». Incluso «hierro en un instante» es ininteligible sin el carácter temporal de un acontecimiento. «La noción de un instante de tiempo, concebido como hecho simple primario, no tiene sentido alguno»<sup>40</sup>. Los hechos fundamentales de la Naturaleza se desvanecen por completo cuando alcanzamos el concepto abstracto de punto del Tiempo. Un instante tiene una estructura aritmomórfica y, por lo tanto, es indiferente a «si existe o no otro instante»<sup>41</sup>.

El hecho fundamental de la Naturaleza, ya sea el devenir de Bergson o el acontecimiento de Whitehead, incluye una *duración* con una extensión temporal<sup>42</sup>. Ahora bien, «la duración inmediata no está claramente trazada para nuestra comprensión»; es más bien «una extensión oscilante» entre el evocado pasado y el anticipado futuro. Así, el tiempo en el que comprendemos la Naturaleza no es «una simple serie lineal de instantes sin duración con determinadas propiedades matemáticas de continuidad [aritmética] en serie»<sup>43</sup> sino una seriación *sui generis* de duraciones. Estas no tienen una extensión mínima o máxima y, además, no se siguen una a otra externamente sino que cada una entra en las otras gracias a que los acontecimientos «se funden entre sí». Ninguna duración es discretamente diferenciada de su predecesora o sucesora, de igual manera que un acontecimiento no puede aislarse completamente de otros: «un acontecimiento aislado no es un acontecimiento»<sup>44</sup>. Las duraciones se superponen a duraciones y los acontecimientos se superponen a acontecimientos en una peculiar complejidad que Whitehead intentó analizar con relativo éxito a través del concepto de abstracción extensiva y de clases abstractas<sup>45</sup>. Sin embar-

<sup>35</sup> Alfred North Whitehead, *Modes of Thought* (Nueva York, 1938), pp. 199 y 207 (las cursivas son mías); *An Enquiry Concerning the Principles of Natural Knowledge* (2.ª edición, Cambridge, Ingl., 1925), p. 23. Las mismas ideas se encuentran como leitmotiv en todas las obras filosóficas de Whitehead, aunque están más claramente expresadas en las primeras. Véase su *Enquiry*, pp. 1-8, y su «Time, Space, and Material», *Problems of Science and Philosophy*, Aristotelian Society, Suplem. vol. II, 1919. Véase Erwin Schrödinger, *Science, Theory and Man* (Nueva York, Dover Publications, 1957), p. 62.

<sup>36</sup> Whitehead, *Modes of Thought*, pp. 199 y s.; Whitehead, «Time, Space, and Material», p. 45.

<sup>37</sup> Bergson, *Time and Free Will*, pp. 98 y ss.; Bergson, *Creative Evolutions*, pp. 1-7; Whitehead, «Time, Space, and Material», pp. 45 y s.; Whitehead, *Enquiry*, cap. ix.

<sup>38</sup> Whitehead, *Concept of Nature*, p. 69 y *passim*; Whitehead, «Time, Space, and Material», p. 44; Bergson, *Creative Evolution*, pp. 21 y s. También P. W. Bridgman, *The Nature of Physical Theory* (Princeton, 1936), p. 31.

<sup>39</sup> Whitehead, *Concept of Nature*, p. 142.

<sup>40</sup> Whitehead, *Enquiry*, Parte III. En mi opinión, su análisis representa más bien un *simil*, pues en último término sus operaciones de extensiones, intersección, etc. implican una diferenciación discreta, como se evidencia a partir del análisis esquemático que lleva a cabo en las páginas 103 y 105. De acuerdo con la postura de Whitehead, C. D. Broad, *Examination of McTaggart's Philosophy* (2 vols., Cambridge, Ingl., 1933-1938), vol. II, parte I, p. 284, señala con razón que los presentes (es decir, duraciones) engañosos no son colindantes sino que deben solaparse, pues de otro modo lo presente estaría sujeto a «reiterados saltos repentinos». Sin embargo, al igual también que Whitehead, fue incapaz de describir el solapamiento a través de un gráfico libre de «saltos» aritmomórficos (*ibid.*, pp. 285-288).

<sup>35</sup> Émile Borel, *Les paradoxes de l'infini* (2.ª edición, París, 1946), pp. 189-191.

<sup>36</sup> David Bohm, *Causality and Chance in Modern Physics*, pp. 121-123. Naturalmente, la crisis consiste en que en las operaciones sobre el papel aparecen infinitas energías.

<sup>37</sup> Aristóteles, *Physics*, 231<sup>b</sup> 6-10, 234<sup>a</sup> 23.

<sup>38</sup> P. W. Bridgman, *The Intelligent Individual and Society* (Nueva York, 1938), p. 107.

<sup>39</sup> Alfred North Whitehead, *The Concept of Nature* (Cambridge, Ingl., 1930), p. 54.

go, todo lo que dice con palabras «vagas» no deja duda alguna de que tanto «duración» como «acontecimiento», tal como se conciben por Whitehead, son conceptos rodeados por penumbras dialécticas, en el sentido que les hemos dado aquí<sup>46</sup>. Aun cuando menos inequívocamente, la misma conclusión surge de los escritos de Bergson: «Lo que está dado, lo que es real, es algo intermedio entre la extensión dividida [el intervalo de tiempo] y la pura inextensión [el instante]»<sup>47</sup>.

En resumidas cuentas, la postura de Whitehead y de Bergson es que el Tiempo se llena con acontecimientos que perduran y se superponen en sucesión dialéctica. Por encima de todo, el Tiempo no es una secuencia, aunque densa, de instantes sin duración representables a través de números. La razón por la que este esquema simplista ejerce, sin embargo, tan gran fascinación incluso sobre ciertos filósofos profesionales reside en que todos tenemos tendencia a pensar en términos de instantes antes que en duración en todo cuanto se refiere al Tiempo. Ya sea como físicos en un laboratorio o como personas normales que se dedican a sus asuntos particulares, estamos básicamente preocupados por coincidencias: las coincidencias de la manecilla de un reloj con uno de los puntos de la esfera. «Son las tres y media y no ha aparecido todavía» o «Justo cuando me iba sonó el teléfono» son frases típicas de nuestra forma de reparar en el Tiempo. Rara vez prestamos conscientemente atención al flujo del Tiempo e, incluso aunque lo hagamos, las más de las veces volvemos a hacer referencia a coincidencias.

Cuando observamos el movimiento, enfocamos también nuestra atención en coincidencias, en el paso de un cuerpo móvil a través de algún lugar, o en otras semejantes. Y, como observa Bergson, imaginamos así que el cuerpo móvil «podría pararse ahí; e, incluso cuando no se para ahí, [nos] inclinamos a considerar su paso como una detención, si bien infinitamente breve, ya que [nosotros] debemos tener al menos tiempo para pensar en ello»<sup>48</sup>. Este es el mecanismo por el que recibimos la ilusión —contra la que Zenón apuntó sus paradojas— de que el movimiento consiste en una secuencia (densa, claro está) de restos. No es preciso añadir nada para sacar a la superficie toda la incongruencia de la postura completamente equivalente de que el Tiempo no es sino una densa secuencia de instantes sin duración.

<sup>46</sup> Véase las siguientes obras de Whitehead: «Time, Space, and Material», p. 51; *Enquiry*, p. 4 y *passim*; *Concepts of Nature*, pp. 55, 59, 72 y s. y 75; *Process and Reality: An Essay in Cosmology* (Nueva York, 1929), p. 491; *Science and the Modern World* (Nueva York, 1939), pp. 151 y 183 y ss.

<sup>47</sup> Henri Bergson, *Matter and Memory* (Londres, 1913), p. 326 y *passim*. Esta característica dialéctica del tiempo está admirablemente expresada por F. H. Bradley, *Appearance and Reality* (2.ª edición, Oxford, 1930), p. 52: «El Tiempo... debe hacerse, pero con todo no puede hacerse de piezas [discretamente diferenciadas]».

<sup>48</sup> Bergson, *Matter and Memory*, p. 247.

Un filósofo tendría que saber algo más para poder considerar que la postura de Bergson-Whitehead está refutada por el hecho indiscutible de que la cinemática puede funcionar con un tiempo aritmético<sup>49</sup>. Ciertamente, todo lo que las ciencias físicas precisan la mayor parte del tiempo son coincidencias, indicaciones horarias. Igualmente, un físico puede afirmar perfectamente que  $s = vt$  es la notación abreviada de  $\Delta s = v \Delta t$ , pero incluso en la física clásica esta explicación no es siempre válida: un ejemplo lo proporciona el fenómeno de la presión atmosférica<sup>50</sup>. Desde su autorizado conocimiento de la microfísica, Broglie afirma que si la crítica del tiempo sin duración y del movimiento inmóvil de Bergson peca de algo «es más bien por un exceso de prudencia»<sup>51</sup>. Se refiere al Principio de Indeterminación, de Heisenberg, de acuerdo con el cual los errores de observación,  $\Delta x$  y  $\Delta p$ , de la posición y del momento de una partícula están sujetos a la desigualdad  $\Delta x \times \Delta p \geq h$  (donde  $h$  es la constante de Planck). Por lo tanto, «si se intenta localizar a una partícula en algún punto del espacio a través de la medida o de la observación, se obtendrá exclusivamente su situación y no se tendrá conocimiento alguno sobre su movimiento»<sup>52</sup>. En realidad, lo que distingue a la física moderna de la clásica son los desarrollos que van contra la noción de un acontecimiento en un instante de tiempo y que tiene lugar en un punto del espacio sin dimensión. Anteriormente, mencioné la crisis originada por una reducción de las partículas elementales a puntos. Igualmente instructivo es el hecho de que los fenómenos cuánticos más allá de ciertos límites de pequeñez ( $10^{-13}$  cm para la distancia y  $10^{-15}$  segundos para el tiempo) presentan aspectos tan desconcertantes que podemos considerar con seguridad que las propias nociones de Espacio y Tiempo van desapareciendo según intentamos empujar a límites sin dimensión nuestra extrapolación de objetos y acontecimientos<sup>53</sup>.

En lo que se refiere a la oposición entre Cambio y estructura aritmomórfica, la postura de Whitehead es esencialmente la misma que la de Hegel. Es posible que Hegel no haya expresado su pensamiento sobre la materia con más claridad que en el siguiente pasaje: «Número es precisa-

<sup>49</sup> A. Grünbaum, «Are "Infinity Machines" Paradoxical?», *Science*, 26 de enero de 1968, p. 398, comete también otra indiscreción: sin citar un solo texto en su apoyo, atribuye a Whitehead la idea de que las duraciones se suceden una a otra no en continuidad dialéctica sino «en forma de secuencia discreta».

<sup>50</sup> Whitehead, *Enquiry*, pp. 2 y s.

<sup>51</sup> Louis de Broglie, *Physique et microphysique*, pp. 201 y s.

<sup>52</sup> *Ibid.*, p. 201 (las traducciones son mías). También, Louis de Broglie, *New Perspectives in Physics* (Nueva York, 1962), p. 9. En la primera edición del presente ensayo, utilicé «Principio de Indeterminación» en lugar del consagrado «Principio de Incertidumbre», no porque esperase pegar nuevas etiquetas en viejas botellas (práctica que está muy alejada de mi concepción de científico) sino debido a que creía que para un no especialista la primera expresión describe mejor el significado de la ley de Heisenberg. Después he descubierto que también algunos físicos consideran más apropiado el mismo término. Véase David Bohm, *Causality and Chance in Modern Physics*, p. 85n.

<sup>53</sup> Véase Bohm, *ibid.*, pp. 105 y 155.

mente esa característica totalmente inactiva, inerte e indiferente en la que se extingue cada movimiento y proceso relacional»<sup>54</sup>. Se ha criticado generalmente a esta afirmación calificándola de oscurantismo y anticientifismo hegelianos. Sin embargo, como ya he indicado, Hegel no intentó demostrar nada más que Whitehead, quien mantenía que ninguna ciencia puede «reclamar estar basada en la observación» si insiste en que los hechos fundamentales de la Naturaleza «han de basarse en instantes de tiempo sin duración»<sup>55</sup>. Whitehead únicamente se benefició de un conocimiento en matemáticas y en las ciencias de la Naturaleza mucho mayor de lo que era en tiempos de Hegel.

5. *Una solución lógica.* Incluso aunque la responsabilidad de la prueba recaiga en quien afirme el carácter funcional de una idea, ninguno de los que afirman que el Cambio puede describirse completamente a través de conceptos aritmomórficos parece haber demostrado cómo puede hacerse eso en todos los casos. (Señalar sólo a la física sería evidentemente insuficiente, incluso aunque la física fuese un modelo de perfección a ese respecto). Que yo sepa, existe solamente una excepción que precisamente por ello es la más instructiva. En una *oeuvre de jeunesse*, Bertrand Russell afirmó que todo cambio cualitativo puede representarse como relación entre una variable tiempo y el *verdadero valor* de un conjunto de proposiciones «relativas a la *misma* entidad»<sup>56</sup>. La afirmación plantea diversas cuestiones<sup>57</sup>.

Posiblemente debiéramos preguntar qué significa «*mismo*» en semejante estructura cambiante y compleja; sin embargo, parece oportuno dejar de lado esta cuestión durante algún tiempo. En consecuencia, supongamos que  $E$  denota «la misma entidad». Considerando el caso más simple posible de un cambio continuo, lo que Russell quiere decir además es que, (1) para cada valor de la variable tiempo,  $t$ , hay una proposición « $E$  es  $A(t)$ » que es cierta, y (2) esta misma proposición es falsa para cualquier otro valor de la variable tiempo. Evidentemente, el conjunto de todas las proposiciones « $E$  es  $A(t)$ » y, por tanto, el conjunto  $[A(t)]$  tienen el poder de lo continuo. Se presentan ahora dos alternativas.

En primer lugar,  $[A(t)]$  representa una variedad de cualidad *cuantificada*. En este caso,  $A(t)$  es un número y la solución de Russell no es mejor ni peor que la representación matemática de locomoción. Sin embargo, su carácter funcional se limita al campo de las cualidades mensurables.

<sup>54</sup> G. W. F. Hegel, *The Phenomenology of Mind* (2.ª edición, Nueva York, 1931), p. 317.

<sup>55</sup> Whitehead, *Enquiry*, p. 2, y *Concept of Nature*, p. 57.

<sup>56</sup> Bertrand Russell, *Principles of Mathematics*, p. 469. Las cursivas son mías.

<sup>57</sup> Una famosa crítica de la idea de Russell es la de J. M. E. McTaggart, *The Nature of Existence* (2 volúmenes, Cambridge, Ingl., 1927), II, cap. xxxiii, basada en que el tiempo, por su parte, no es real (véase el Capítulo V, Sección 5, posterior). Mis propias objeciones, que indico a continuación, siguen una dirección diferente.

La segunda alternativa, sobre la que gira la cuestión, consiste en el caso en que  $A(t_1)$  y  $A(t_2)$ , para  $t_1 \neq t_2$ , representan dos cualidades puras distintas, como, por ejemplo, «feudalismo» y «capitalismo». En este caso, la solución de Russell es puramente formal, mejor dicho, vacua. Teóricamente, podemos escribir con facilidad que  $E$  es  $A(t)$  en el momento de tiempo  $t$ , pero si  $A(t)$  es una cualidad pura debe definirse con independencia de que sea un atributo de  $E$  en  $t$ . Evidentemente, decir que el 1 de enero de 1963 el sistema económico de los Estados Unidos es «el sistema económico de los Estados Unidos el 1 de enero de 1963» es la quintaesencia de la hueca palabrería. Lo que necesitamos es una proposición en la que  $A(t)$  se sustituya, por ejemplo, por «libre empresa bajo vigilancia pública». Si  $A(t)$  es una cualidad pura, esto es, no puede representarse por un número, la representación del cambio continuo por el esquema de Russell tropieza contra un obstáculo más elemental: todo vocabulario es un conjunto finito de símbolos. Tenemos que garantizar, a lo sumo, que la estructura idiomática sea la de una infinidad capaz de ser contada, pero en manera alguna debe tener la potencia de lo continuo. Por todo ello, la propuesta de Russell se derrumba antes de que podamos plantear ninguna cuestión del tipo que un filósofo logístico rechazaría por «metafísica».

6. *¿Qué es identidad?* Existen verdaderamente otros problemas que no pueden concretarse por medio del sencillo ejemplo que he utilizado en la discusión precedente. El caso más importante de cambio cualitativo es aquel en el que para todo valor de  $t$  existe más de una proposición verdadera referente a  $E$ . Para aludir al ejemplo más sencillo, el esquema de Russell nos dice exclusivamente lo siguiente: dado  $t \neq t'$ , existe un par de proposiciones, « $E$  es  $A$ » y « $E$  es  $B$ », verdadero en  $t$  y falso en  $t'$ , y otro par, « $E$  es  $C$ » y « $E$  es  $D$ », verdadero en  $t'$  y falso en  $t$ . Nada se dice acerca de si los pares están *ordenados* o no. Ahora bien, sin la condición de que estén ordenados, el esquema es inadecuado incluso para describir un cambio cuantitativo, pues ¿qué sería de cualquier ley física si el observador fuese incapaz de discernir qué miembro de cada par,  $(A, B)$  y  $(C, D)$ , representa, por ejemplo, la presión de un gas y cuál la temperatura? Ordenar cada par utilizando el Axioma de la Elección no serviría de nada, incluso aunque considerásemos que el axioma está perfectamente legitimado. En consecuencia, si el esquema ha de ser operativo, debe incluir desde un principio la condición de que un miembro de cada par, como  $(A, B)$ , pertenezca a un conjunto  $[P_1(\hat{t})]$ , y el otro miembro a otro conjunto  $[P_2(\hat{t})]$ . Naturalmente, esta información adicional corresponde al hecho de que el observador debe conocer de antemano si los dos atributos observados en dos momentos diferentes pertenecen o no a la *misma* serie cualitativa. Así pues, un esquema Russelliano operativo requiere el concepto de *identidad* no sólo con respecto a  $E$  sino también en relación a cada atributo. Para establecer la *identidad* de atributo, precisamos saber qué es «la *misma* cualidad». Por

tanto, el ejercicio russelliano de lógica formal no elimina en absoluto lo postulado por la intuición; por el contrario, un análisis más concienzudo permite ver que no puede funcionar sin lo que pretende destruir<sup>58</sup>.

Posiblemente nada ilustre más acertadamente los asombrosos problemas planteados por la «identidad» que una de las observaciones de Bridgman. Gracias al descubrimiento de la relatividad en la física, es perfectamente posible que dos observadores que viajen a través del espacio en diferentes direcciones puedan registrar como dos hechos diferentes una misma señal procedente de una tercera fuente. Así, por ejemplo, un observador puede ver «un destello de luz amarilla», en tanto que el otro puede experimentar únicamente «una sensación de calor en un dedo». ¿Cómo pueden entonces estar seguros de haber relatado el mismo acontecimiento, dado que no pueden volver a la simultaneidad en ausencia del tiempo absoluto?<sup>59</sup> El razonamiento de Bridgman es que hasta la física de la relatividad presupone la identidad en cierto sentido absoluto, aunque no pueda demostrar cómo podría establecerse. El resultado es que hemos de reconocer de una vez por todas que la identidad es un asunto interno de una sola mente, ya sea una individual u otra que abarque las de varios individuos. Parece que hemos ido demasiado lejos al creer que los fenómenos de la Naturaleza pueden reducirse exclusivamente a registros de señales y, consiguientemente, que la mente no desempeña ningún papel directo en el proceso de observación. Por el contrario, la mente es un *instrumento* de observación tan indispensable como cualquier dispositivo físico. Esta cuestión es de importancia capital para las ciencias sociales, por lo que volveré a referirme a ella más adelante.

Sobre el problema filosófico de la «identidad», únicamente se puede decir que es tan espinoso como antiguo. Cuán espinoso es puede ponerse de manifiesto con un breve resumen de las ideas de Whitehead sobre la cuestión. De acuerdo con Whitehead, comprendemos la Naturaleza en términos de objetos *uniformes* y acontecimientos *únicos*, siendo los primeros componentes de los últimos. «Los objetos son elementos de la Naturaleza que no pasan». Dado que son «intemporales», «pueden “volver”», de

<sup>58</sup> La falacia de creer que el arma de la pura lógica basta por sí sola para destruir toda criatura de la intuición no es en absoluto extraña. Un ejemplo de esa falacia se discute en el trabajo del autor, «The End of the Probability Syllogism?», *Philosophical Studies*, Febrero de 1954, pp. 31 y s. Un ejemplo adicional es la refutación de las leyes históricas en base a «razones estrictamente lógicas» (Karl R. Popper, *The Poverty of Historicism*, Boston, 1957, pp. ix-xi). La primera premisa de la argumentación popperiana, «el curso de la historia humana está fuertemente influenciado por el crecimiento del conocimiento humano», es sencillamente una ley histórica. Es decir, ¡la conclusión de que un conjunto de proposiciones está vacío se deriva a partir de una proposición que pertenece al mismo conjunto! Hay que observar, no obstante, que en una nota a pié de página (*The Logic of Scientific Discovery*, Nueva York, 1959, p. 279n2) Popper sigue una línea más suavizada, un tanto agnóstica.

<sup>59</sup> Bridgman, *Nature of Physical Theory*, p. 77, y especialmente sus *Reflections of a Physicist* (2.ª edición, Nueva York, 1955), pp. 318 y ss.

modo que podemos decir «¡Hola, vuelven otra vez los obeliscos!». Los acontecimientos, por el contrario, una vez que pasan «han pasado y no pueden volver jamás». A lo sumo, hemos de admitir que un acontecimiento es *análogo* a cualquier otro<sup>60</sup>. No se puede dejar de tener la sensación de que esta perspectiva dualista está lejos de resolver el problema y que los «acontecimientos análogos» se encuentran entre sí en la misma relación que dos objetos a los que se reconoce como iguales. Además, sigue desconcertando la cuestión de si cualquier objeto, como los obeliscos, es verdaderamente intemporal como para que dentro de miles de años pudiéramos seguir diciendo que «vuelve otra vez». Y si pensamos en millones de años, tendríamos que poner en duda que el propio universo sea «intemporal». Por otro lado, al describir la Naturaleza estamos interesados tanto en objetos *uniformes* como en acontecimientos *análogos*; es decir, manteniéndonos dentro del sistema de Whitehead, sabemos que la ciencia se ocupa también de si podemos decir «vuelve *otro* “Rey de Inglaterra”» o «vuelve *otra* “coronación”». En realidad, la ciencia puede incluso prescindir de objetos, mas no de acontecimientos. El electrón, por ejemplo, «no puede identificarse, le falta “identidad”»<sup>61</sup>; consecuentemente, no podemos decir «vuelve otra vez el mismo electrón» sino sólo que «vuelve otro acontecimiento-electrón».

Pero, en ese caso, ¿por qué hemos de distinguir entre objeto, esto es, el ser, y acontecimiento, es decir, el devenir? Al final, verificamos lo que sabemos desde hace mucho tiempo, que el dualismo está repleto de dificultades. La única solución consiste en reconocer que la distinción entre objeto y acontecimiento no es discreta sino dialéctica, y probablemente ese es también el mensaje de Whitehead<sup>62</sup>. En cualquier caso, una posterior discusión de este punto nos involucraría demasiado profundamente en la dialéctica hegeliana pura.

7. ¿Cuántas son las cualidades? La existencia de la cualidad en el universo, tal como se contempla por el hombre, no plantearía problema alguno para la ciencia si el número de cualidades fuese finito. Hasta fecha muy reciente, los físicos podían permitirse ignorar el problema debido precisamente a que el número de partículas cualitativamente diferentes parecía ser finito, muy pequeño en realidad. Ahora bien, tras los últimos descubrimientos, no parece haber límite alguno al número de nuevas partículas, de modo que algunos físicos reconocen ya que «no hay otra solución sino considerar las consecuencias [para la orientación de la física] de la hipótesis

<sup>60</sup> Whitehead, *Concept of Nature*, pp. 35, 77 y s., 143 y ss. y 169 y ss.; Whitehead, *Enquiry*, pp. 61 y ss. y 167 y s.

<sup>61</sup> Schrödinger, *Science, Theory and Man*, p. 194; Bridgman, *Intelligent Individual and Society*, pp. 32 y s.; Louis de Broglie, *Continu et discontinu en physique moderne* (París, 1941), p. 75.

<sup>62</sup> Véase Whitehead, *Concept of Nature*, pp. 166 y s.



de que el número de tales cualidades significativas no es limitado»<sup>63</sup>. La infinidad cualitativa de la Naturaleza plantea (o reaviva), no obstante, un problema muy difícil. En mi primera discusión de la formalización ruse-lliana del cambio (Sección 5), he puesto de manifiesto que se ha llegado a un callejón sin salida como consecuencia de que las palabras no son tan numerosas como las cualidades puras; pero posiblemente podría aclararse esa situación empleando números en vez de palabras para designar las cualidades. Puede presentarse fácilmente un ejemplo de sejemante catálogo *continuo*: cada uno de los colores del espectro *visual* puede identificarse por la longitud de onda del color puro equivalente. Como es casi superfluo añadir, tal catalogación no implica necesariamente la mensurabilidad de la serie de cualidades incluidas. Sin embargo, la cuestión de si es posible la catalogación constituye un requisito previo de la referente a la mensurabilidad, si bien por una u otra razón no se ha reconocido este aspecto hasta época muy reciente, al menos en la economía. Evidentemente, no existe razón alguna para que la potencia cardinal de todas las cualidades que podamos imaginar para los pares en una estructura simple no supere la del continuo aritmético. Por el contrario, como ya he afirmado con respecto a las expectativas y preferencias individuales<sup>64</sup>, hay muchas y buenas razones en favor de la opinión de que los números reales no son siempre suficientes para catalogar un conjunto de cualidades. En otras palabras, la multiplicidad de nuestros pensamientos se diferencia del continuo aritmético no sólo por su continuidad indivisible sino también por su dimensionalidad<sup>65</sup>. Como acostumbramos a decir en matemáticas, el continuo del sistema de números reales forma únicamente una infinidad *simple*.

La sugerencia, natural a estas alturas, de utilizar más de un número real —es decir, un vector— para designar cualidades tampoco reduciría la cualidad a un número, pues, como nos dice la teoría de conjuntos, cualesquiera que sean las coordenadas que se añadan ningún conjunto de vectores puede trascender la infinidad simple en su potencia. Existe una íntima relación entre esta proposición matemática y las conocidas dificultades de la clasificación biológica.

Fue a Linneo a quien primero se le ocurrió la idea de utilizar un nombre compuesto de dos palabras para cada especie, de modo que la primera palabra representase al género y la segunda a la especie dentro de ese género. En la actualidad, todos los naturalistas se muestran de acuerdo en que, pese a ser bidimensional, toda expresión taxonómica no abarca una forma aritmomórfica inmutable sino una penumbra dialéctica de formas. El hecho de que sigan empleando el sistema *binario* de

<sup>63</sup> David Bohm, *Causality and Chance in Modern Physics*, p. 134, también pp. 123 y 133-136.

<sup>64</sup> Véase «Choice, Expectations and Measurability» (1954), reimpresso en *AE*.

<sup>65</sup> No estoy completamente seguro de que esos dos aspectos no se reduzcan a uno solo.

Linneo pone claramente de manifiesto que la multiplicidad de especies biológicas es en esencia más compleja que una infinidad lineal simple. Así pues, el problema de la clasificación biológica no es en absoluto equivalente a la que podría ejemplificarse a través de una catalogación continua de colores y, consecuentemente, las dificultades de los naturalistas no tendrían fin incluso aunque utilizaran un vector numérico para clasificar a las especies.

Uno tras otro, los naturalistas han comprendido de forma intuitiva que —como lo expresó Yves Delage— «hagamos lo que hagamos, nunca seremos capaces de tener en cuenta todas las afinidades existentes entre los seres vivos clasificándolos en clases, órdenes, familias, etc.»<sup>66</sup>. Muchos han afirmado que ello se debe a que en el campo de los organismos vivos únicamente cuenta la *forma* y ésta es un concepto fluido que resiste cualquier intento de clasificación<sup>67</sup>; otros han dicho sencillamente que la forma no puede identificarse a través de un número<sup>68</sup>. Hasta Edmund Husserl, a pesar de haberse formado como matemático, creía que la cuestión era totalmente evidente: «La geometría más perfecta» —dice— no puede ayudar al estudioso a expresar en conceptos precisos «lo que expresa en palabras de modo tan claro, tan comprensible y tan enteramente adecuado: dentadas, lenticulares, umbelíferas y similares, conceptos simples que son *esencialmente y no accidentalmente inexactos y, por tanto, también no matemáticos*»<sup>69</sup>. Con todo, una sencilla proposición de la teoría de los números cardinales justifica lo esencial de estas afirmaciones intuitivas; se trata de la proposición que afirma que el número cardinal inmediatamente superior que las matemáticas han sido capaces de construir tras el del continuo aritmético se encuentra representado por el conjunto de todas las funciones de una variable real, es decir, por un conjunto de formas. Es evidente entonces que *las formas no pueden numerarse*.

8. *Continuidad de las cualidades*. El peculiar carácter de la mayor parte de las estructuras cualitativas conduce a un tipo de dificultades bastante similar en lo que se refiere a su ordenamiento. La mejor manera de ilustrar esta dificultad es utilizando un ejemplo extraído de mi propia obra. Hace treinta años, cuando intentaba desenmarañar las diversas ideas que subyacen tanto a los primitivos como a los contemporáneos escritos sobre la utilidad y ordenarlos como «postulados» transparentes, me convencí de la ne-

<sup>66</sup> Citado en G. G. Simpson, «The Principles of Classification and a Classification of Mammals», *Bulletin of the American Museum of Natural History*, LXXXV (1945), p. 19 (he traducido al inglés las palabras de Delage).

<sup>67</sup> Por ejemplo, Theodosius Dobzhansky, *Evolution, Genetics, and Man* (Nueva York, 1955), cap. x, y especialmente la elocuente descripción de la p. 183.

<sup>68</sup> Por ejemplo, P. B. Medawar, *The Uniqueness of the Individual* (Nueva York, 1958), pp. 117 y ss.

<sup>69</sup> Edmund Husserl, *Ideas: General Introduction to Pure Phenomenology* (Nueva York, 1931), p. 208. Las cursivas son de Husserl.



cesidad lógica de establecer por encima de todo una cuestión relacionada con el Postulado A de uno de mis primeros trabajos<sup>70</sup>. Ese postulado afirma que, dado un conjunto de preferencias  $[C_\alpha]$  —donde  $\alpha$  es un número real y  $[C_\alpha]$  está ordenado por preferencias, de modo que  $C_\alpha$  se prefiere a  $C_\beta$  si  $\alpha > \beta$ — y no perteneciendo  $C$  a  $[C_\alpha]$ , existe un  $i$  tal que  $C$  y  $C_i$  son combinaciones indiferentes. En aquella época, el postulado me preocupaba; intuitivamente, me daba cuenta de que la precisión de la elección humana no puede compararse con la de un instrumento perfecto, pero era incapaz de construir un ejemplo *formal* que convenciese, tanto a mí mismo como a los pocos colegas con los que había discutido la cuestión, de que podía invalidarse el Postulado A. Lo más que hubiera podido hacer era introducir en la elección un factor estocástico —lo que creo era una idea bastante nueva—, pero con ello hubiera seguido sin resolver mis dudas o las de mis colegas sobre mi Postulado A.

Retrospectivamente, las objeciones de mis colegas y mi incapacidad —debida a mis deficientes conocimientos matemáticos— para responder a tales objeciones son altamente instructivas y oportunas. Mis críticos consideraban por regla general que el Postulado A era totalmente superfluo: unos afirmaban que es imposible pasar de la no preferencia a la preferencia sin alcanzar realmente un estado de indiferencia<sup>71</sup> y otros sostenían que, dado que  $[C_\alpha]$  es continuo, no hay lugar en él para otras cosas, ni siquiera para una sola. Un ejemplo que propuse como base de discusión era demasiado torpe para cualquiera de los implicados: un hipotético aficionado al vino que prefiere siempre más vino que menos, pero que en todo caso tiene una muy pequeña preferencia por el vino tinto, de modo que entre dos cantidades iguales de vino prefiere el tinto. Expresé con  $y$ , y  $z_w$  las cantidades de vino tinto y blanco, respectivamente, pero cuando llegué a escribir  $x_r > x_w$  induje a la objeción de que « $x$  es  $x$ ». Hoy en día, la relación entre el ejemplo y la vieja noción de una jerarquía de necesidades puede parecer obvia, pero no fui capaz de clarificar mis propias ideas sobre la materia hasta mucho más tarde, después de haberme encontrado con una objeción planteada por un crítico a una de las proposiciones de Harold Jeffrey. Al tener entonces por vez primera noticia del ordenamiento lexicográfico, fui capaz de resolver mi problema<sup>72</sup>. Sin embargo, mis dificultades iniciales con el ejemplo del aficionado al vino tienen que ver con un aspecto que deseo resaltar ahora.

<sup>70</sup> Véase mis ensayos «The Pure Theory of Consumer's Behavior» (1936) y «Choice, Expectations and Measurability» (1954), reimpresos en *AE*.

<sup>71</sup> A partir de nuevas discusiones, llegué al convencimiento de que hasta los matemáticos son capaces de plantear esa objeción.

<sup>72</sup> «Choice, Expectations, and Measurability» (1954), reimpreso en *AE*. Es posible que este retazo de historia personal sea suficiente para poner de manifiesto lo indispensable que es para el estudio de la economía lograr una importante familiaridad con todas las ramas de las matemáticas.

Cualquiera de los conjuntos  $[y_r]$  o  $[z_w]$ , tomado por sí mismo, es continuo en sentido matemático. Por consiguiente, no se comete un delito grave si se considera, por ejemplo, que  $[x_r]$  es la representación aritmomórfica del continuo de preferencias en el caso de que únicamente se disponga de vino tinto. Ahora bien, si se introduce en el esquema no sólo el vino tinto sino también el blanco, la representación aritmomórfica de las preferencias del aficionado al vino se hace repentinamente discontinua: en el ordenamiento lexicográfico correspondiente (con respecto al *subíndice*), no existe elemento alguno entre  $x_w$  y  $x_r$ , o bien, en cambio,  $x_r$  es el sucesor inmediato de  $x_w$ . Por otra parte, no hay razón por la que la propia preferencia tenga que ser discontinua debido a las variaciones cualitativas en el objeto de preferencia. Afirmar que la preferencia es discontinua como consecuencia de serlo su símil aritmomórfico equivale a negar la tridimensionalidad de los objetos materiales en base a que sus fotografías tienen sólo dos dimensiones. La cuestión estriba en que un símil aritmomórfico de un continuo cualitativo muestra juntas falsas debidas a la peculiar propiedad del medio elegido para representar a ese continuo. Cuanto más compleja sea la escala cualitativa así formalizada mayor será el número de tales juntas artificiales, ya que la variedad de la cualidad es continua en un sentido que no puede reflejarse fielmente a través de una multiplicidad matemática.

9. *Crítica del aritmomorfismo.* Al igual que todas las ficciones, la del concepto aritmomórfico tiene sus rasgos positivos y negativos. Por una parte, ha acelerado el avance del conocimiento en el campo de la materia inerte y nos ha ayudado también a detectar numerosos errores en nuestro pensamiento, incluso en el matemático; gracias a la Lógica, y a las matemáticas en última instancia, el hombre ha sido capaz de liberarse de la mayor parte de las supersticiones animistas al interpretar las maravillas de la Naturaleza. Por otra parte, debido a que un concepto aritmomórfico no tiene absolutamente ninguna relación con la vida, con el *ánima*, hemos sido llevados a considerarlo como la única expresión razonable de conocimiento; debido a ello, a lo largo de los últimos doscientos años hemos dirigido todos nuestros esfuerzos a entronizar una superstición tan peligrosa como el animismo de los antiguos: la del Todopoderoso Concepto Aritmomórfico. En la actualidad, se correría el riesgo de ser excomulgado de la moderna *Academia* si se denunciase con demasiada fuerza esta moderna superstición. La disposición natural de nuestro siglo ha llegado así a ajustarse a uno de los adagios de Platón: «Quien nunca busca números en nada, nunca será buscado en el número de los hombres famosos»<sup>73</sup>. Que esta actitud tiene también algunas desafortunadas consecuencias es evidente para todo aquel que quiera abandonar durante algún tiempo la supersti-

<sup>73</sup> Platón, *Philebus*, p. 17.

ción aritmomórfica: hoy en día hay pocos alicientes, si es que existe alguno, para estudiar el Cambio, a menos que se refiera a un atributo mensurable. Muy posiblemente, si Darwin hubiese nacido cien años después, la evolución hubiera seguido siendo un asunto en gran parte misterioso. Lo mismo puede aplicarse a Marx y, como mínimo, a su análisis de la sociedad; con su mente creativa, el Marx del siglo XX hubiera sido probablemente el mayor econométra de todos los tiempos.

A pesar de su carácter excepcional, las denuncias de la superstición aritmomórfica han procedido no solamente de anticuados o modernos hegelianos sino también últimamente de los sumos sacerdotes de la ciencia y en ocasiones incluso de exégetas del positivismo lógico. Entre los premios Nóbel, al menos P. W. Bridgman, Erwin Schrödinger y Werner Heisenberg nos han advertido que lo deficiente es el concepto aritmomórfico (indirectamente, la Lógica y las matemáticas), no nuestro conocimiento de los fenómenos de la Naturaleza<sup>74</sup>. Ludwig Wittgenstein, un ejemplo altamente deslumbrante en este contexto, admite «el encantamiento de nuestro entendimiento por medio de nuestro lenguaje [rígidamente interpretado]»<sup>75</sup>. La rigidez aritmomórfica de los términos y símbolos lógicos acaba estrechando nuestra mente. Casi podemos oír a Hegel hablando de «los restos mortales de la Lógica» y de «la batalla de la Razón... para romper la rigidez a la que el Entendimiento ha reducido todo»<sup>76</sup>, pero hasta Hegel tiene sus precursores: mucho antes que él, Pascal había señalado que «el razonamiento no está hecho de *barbara* y *baralipton*»<sup>77</sup>. Sin embargo, el temple de una época es un fenómeno particularmente sólido que revela públicamente sólo lo que quiere y continúa sin que le perturbe en lo más mínimo la autocritica expresada por una minoría. En cierto sentido, eso es natural: en la medida en que hay mucho oro en polvo en los ríos, ¿por qué ha de perderse tiempo en talar madera para hacer galerías en minas de oro?

No puede haber duda alguna de que todas las argumentaciones contra la suficiencia de los conceptos aritmomórficos tienen sus raíces en ese «bloque de prejuicios no analizados a los que los kantianos denominan "intuición"»<sup>78</sup> y que, por consiguiente, no existirían sin él. Con todo, incluso los que, como Russell, desprecian la intuición como medio de justificar una ilusión filosófica, posiblemente no podrían comprender o pensar —o incluso argumentar contra el prejuicio kantiano— sin esa función no

<sup>74</sup> Bridgman, *Logic of Modern Physics*, p. 62, y *Nature of Physical Theory*, p. 113; Erwin Schrödinger, *What Is Life?* (Cambridge, Ingl., 1944), p. 1; Werner Heisenberg, *Physics and Philosophy: The Revolution in Modern Science* (Nueva York, 1958), pp. 85 y ss.

<sup>75</sup> L. Wittgenstein, *Philosophical Investigations* (Nueva York, 1953), I, p. 109. La traducción es mía.

<sup>76</sup> *The Logic of Hegel*, p. 67.

<sup>77</sup> Blas Pascal, «De l'esprit géométrique et de l'art de persuader», en *Oeuvres complètes*, edic. de J. Chevalier (París, 1954), p. 602.

<sup>78</sup> Russell, *Principles of Mathematics*, p. 260.

analizada del intelecto. La tragedia de toda corriente del positivismo es que para razonar su argumentación tiene que apoyarse con fuerza en algo que, de acuerdo con su propia doctrina, es sólo una sombra. Como excelente ilustración de estos aspectos, puede utilizarse un popular tratado que pretende demostrar que si «ninguna experiencia sensorial posible» puede determinar la verdad o la falsedad de una proposición no tautológica, entonces ésta «es metafísica,... ni verdadera ni falsa sino literalmente sin sentido»<sup>79</sup>. Después de haber leído esta afirmación en la primera página del prefacio, uno no puede dejar de sorprenderse por la forma en la que el resto del libro la pretende sostener, siempre que la afirmación sea cierta, como pretende el autor. Por supuesto que la argumentación posterior no tiene relación alguna con la experiencia sensorial, exceptuada, naturalmente, la percepción visual de letras negras, mejor dicho, manchas sobre un fondo blanco.

Las frecuentes diatribas contra este o aquel concepto dialéctico específico adolecen del mismo defecto. Así, por ejemplo, Cornelius Muller predica la abolición del concepto de colectividad. El razonamiento es que, dado que «los diversos ejemplos existentes de una clase de colectividades no son idénticos y [puesto que] las clases contiguas de colectividades no se distinguen entre sí..., la palabra no tiene sentido alguno»<sup>80</sup>. Ahora bien, la argumentación es evidentemente suicida, pues el significado de la premisa se niega por su propia conclusión. A lo que parece, no hemos aprendido nada del legendario embustero cretense de la antigua escuela sofista.

Los defensores de enfoques como los acabados de mencionar —o este autor para el caso— no se tomarían la molestia de discutir los problemas de los conceptos dialécticos si creyésemos que tales problemas no tienen en absoluto que ver con la orientación científica. Por esta razón, no es sorprendente que Muller, quien afirma que no existen «entidades reales» —sea lo que sea lo que esto pueda significar— a no ser que podamos distinguirlos del mismo modo en que distinguimos un isótopo de carbón de otro, inicie su ataque sobre «colectividad» preguntando «¿existe una teoría mecanicista que... se ajuste a la verdadera esencia de las colectividades?»<sup>81</sup>. La moraleja es obvia: las ciencias sociales y la biología deberían adherirse a la universalidad de la mecánica, es decir, a una posición retrógrada abandonada desde hace tiempo incluso por la física.

Por desgracia para todos los afectados, los fenómenos vitales no son tan simples como eso, pues no todos sus aspectos son tan diáfanos como un concepto aritmomórfico. Sin los conceptos dialécticos, las ciencias de

<sup>79</sup> A. J. Ayer, *Language, Truth and Logic* (2ª edición, Nueva York, 1946), p. 31.

<sup>80</sup> Cornelius H. Muller, «Science and Philosophy of the Community Concept», *American Scientist*, XLVI (1958), pp. 307 y s.

<sup>81</sup> *Ibid.*, p. 298.

la Naturaleza no podrían realizar su tarea. Como ya he subrayado anteriormente, no hay modo alguno de definir «democracia» o «competencia», por ejemplo, de forma que se satisfaga el criterio de Muller de la entidad real. Lo máximo que podemos hacer en aras de una mayor precisión es distinguir especies dentro de cada género, como en biología: «democracia americana», «democracia británica», «competencia monopolista», «competencia práctica», etc. Hay que tener en cuenta que hasta la noción familiar y aparentemente simple de la lucha por la existencia tiene muchos matices de su significado que «se solapan entre sí»<sup>82</sup> y, por tanto, es dialéctica. Por último, debemos observar que la única prueba de evolución es la relación dialéctica de las especies en su clasificación filogenética. Si algún día logramos construir un concepto aritmomórfico de las especies (o de algo equivalente), en ese momento la biología habrá regresado a los criterios prelamarcianos: las especies se crearon inmutables y por orden superior. Una especie, una colectividad idénticas a sí mismas, algo idéntico a sí mismo, no pueden justificar la evolución biológica o social: «la identidad a sí mismo no tiene vida alguna»<sup>83</sup>. Más explícitamente, ningún proceso de cambio puede descomponerse por completo en partes aritmomórficas, desprovistas por su lado de cambio<sup>84</sup>. Y, así, debido a que la sociedad y sus organizaciones se encuentran en un constante fluir, la justicia genuina no puede significar una rígida interpretación de los textos de las leyes escritas. Como lo observó adecuadamente Bridgman, únicamente un conflicto amargo e innecesario puede derivarse de ignorar el carácter dialéctico de «deber» y de emplear el término como si tuviese la «nitidez y unicidad de un concepto matemático»<sup>85</sup>.

La protesta de Robert Mayer en el sentido de que «un solo número contiene más verdad y valor permanente que un vasto catálogo de hipótesis» estaba totalmente en su lugar; hablaba como físico dirigiéndose a físicos y, en consecuencia, no tenía necesidad de añadir «siempre que ese número nos ayude a describir adecuadamente la realidad». Omisiones de este tipo han hecho posible que afirmaciones similares realizadas por las mayores autoridades científicas hayan sido interpretadas como aplicables a *todo* número. No es fácil superar la fascinación que nuestro intelecto experimenta por los números; tal fascinación es responsable igualmente del hecho de que el consejo dado por Galileo a astrónomos y físicos se haya transformado en una definición de esencia: «la ciencia es medición». Las consecuencias de esas loables generalizaciones no han sido siempre afortunadas.

<sup>82</sup> Darwin, *Origin of Species*, p. 46.

<sup>83</sup> G. W. F. Hegel, *Hegel's Science of Logic* (2 volúmenes, Londres, 1951), II, p. 68.

<sup>84</sup> Whitehead, *Modes of Thought*, pp. 131 y s. Véase también *Hegel's Science of Logic*, II, pp. 251 y s.

<sup>85</sup> Bridgman, *Intelligent Individual and Society*, p. 116.

Planck, por ejemplo, observó que al exagerar el valor de la medición podíamos perder por completo el contacto con el objeto real. Entre los muchos ejemplos que podrían ilustrar esta cuestión, hay uno especialmente incitante. Desde el comienzo de la Historia, el grado de envejecimiento del hombre se ha medido por su edad, razón por la que los biólogos han pensado sencillamente poco en el envejecimiento, si es que han llegado a hacerlo. De este modo, recientemente han descubierto de pronto «un problema sin resolver de la biología»: la edad puede ser una medida media del envejecimiento, pero éste es algo completamente diferente de hacerse viejo<sup>86</sup>. Un ejemplo todavía más incitante es el hecho de que seguimos midiendo la «inteligencia» a través del conocido C.I. (cociente intelectual), pero no sabemos exactamente qué es lo que se mide<sup>87</sup>.

Indudablemente, en el caso de las ciencias que se ocupan de fenómenos casi desprovistos de forma y cualidad, la medida implica por regla general un conocimiento ampliado. En la física, definida de modo bastante adecuado como conocimiento cuantitativo de la Naturaleza, no se produce un grave perjuicio si la medición se contempla como un fin en sí misma; pero en otros campos idéntica actitud puede llevar al menos a una hueca teorización. El consejo «busque el número» es juicioso exclusivamente si no se interpreta en el sentido de que «debe encontrarse un número en todas las cosas». *No hemos* de representar opiniones por medio de números únicamente porque nuestra mente se sienta también desconcertada si ha de predecir el resultado de una tirada de monedas a cara y cruz o cuál será la situación política en Francia dentro de diez años; ambos acontecimientos no son ejemplo del mismo fenómeno. Una medida para todas las situaciones inciertas, incluso aunque sea un número, no tiene absolutamente ningún valor científico, ya que sólo puede obtenerse gracias a una representación de la realidad intencionadamente mutilada. Casi todos los días oímos a la gente hablar de «riesgo calculado», pero nadie puede decirnos cómo lo ha calculado de modo que pueda contrastar sus cálculos. Tomado en su sentido literal, «riesgo calculado» es un mero desfile de términos matemáticos<sup>88</sup>.

Bajo la influencia de la idea de que «hay un número en todas las cosas» ha sido como hemos saltado a la conclusión «donde hay "más" y "menos" hay también cantidad» y como, consiguientemente, hemos esclavizado nuestros pensamientos a lo que he denominado «la falacia ordinalista», consistente en sostener que allí donde hay orden hay también medida, ordinal al menos.

<sup>86</sup> Véase Medawar, *The Uniqueness of the Individual*, cap. ii.

<sup>87</sup> Para una discusión sucinta de esta cuestión, véase J. P. Guilford, «Intelligence Has Three Facets», *Science*, 10 de mayo de 1968, pp. 615-618, así como las breves notas en la próxima sección.

<sup>88</sup> Sobre la argumentación que he presentado contra la mensurabilidad de las creencias, aunque estén documentadas, véanse mis artículos «Choice, Expectations and Measurability» (1954) y, en especial, «The Nature of Expectation and Uncertainty» (1968), reimpresos en *AE*.

10. *Pensamiento y «Pensamiento»*. En un principio y durante largas épocas, el animismo representó la fe científica del hombre: todo lo que se mueve, desde las nubes y los ríos hasta los seres vivos, lo hace gracias a que posee un alma semejante a aquella de la que el hombre es directamente consciente. Poco a poco, se fue eliminando a las cosas inanimadas de la categoría *anima*. Por lo que sabemos, fue Leonardo da Vinci quien, en uno de sus numerosos ensayos y notas inéditos, primeramente disintió del animismo. En una forma que vale admirablemente bien para la actual fe maquinista, proclamó que «un pájaro es un instrumento que trabaja de acuerdo con la ley matemática, instrumento que la capacidad del hombre puede reproducir con todos sus movimientos» (*Macchine per volare*, sin fecha). La época parece haber sido apropiada para discutir, pues poco después y de forma independiente el físico y filósofo español Gómez Pereira (*Antoniana Margarita*, 1554), utilizando sus conocimientos de medicina, expuso la tesis general de que todas las estructuras vivientes se componen exclusivamente de movimientos: con excepción del hombre, son todas autómatas sin alma<sup>89</sup>. Debido a que esta doctrina invertida nos libera de reconocer más de un misterio de la Naturaleza, ha ejercido desde entonces una inmensa fascinación sobre la mente humana, incluso aunque obviamente presagiaba la negación última de la propia mente<sup>90</sup>. A partir de ello se explican las entusiastas modas periódicas a las que ha dado origen.

Cien años después de Pereira, Descartes confirió a la doctrina su gran autoridad afirmando que «el cuerpo vivo es una máquina... ni más ni menos que los movimientos de un reloj o de cualquier otro automatismo» (*De l'Homme*, 1664). Otros cien años después, Julien de La Mettrie (*L'Homme Machine*, 1748) dio un nuevo impulso a la cuestión, apoyándola con multitud de detalles sofisticados. En la siguiente centuria, Charles Babbage, con un sentido práctico típicamente británico, pasó a aplicar la doctrina a los hechos al intentar construir una Máquina Analítica<sup>91</sup>. Al cabo de otros cien años, apareció la actual moda con su ferviente creencia en que sólo algunas imperfecciones temporales se oponen a nuestra marcha

<sup>89</sup> Véase J. M. Guardia, «Philosophes Espagnols: Gómez Pereira», *Revue philosophique de la France et de l'Étranger*, XXVIII (1889), pp. 270-291, 382-407 y 607-634.

<sup>90</sup> Con el fin de subrayar esta negación, G. Ryle, *The Concept of Mind* (Londres, 1949), pp. 15 y ss., se refirió a la Mente como «el Alma en la Máquina» o «el Caballo en la Locomotora». (En realidad, la metáfora pertenece a un novelista alemán y ya había sido mencionada por Max Planck en *The New Science*, Nueva York, 1959, p. 82). También es interesante la conclusión de Ryle en «The Physical Basis of Mind: A Philosophers' Symposium», *The Physical Basis of Mind*, edic. de P. Laslett (Oxford, 1952), pp. 75-79, concretamente que «Mente» y «Materia» son ecos procedentes de la palestra de la filosofía y perjudican las soluciones de todos los problemas planteados en sus términos». Para una refutación penetrante, aunque apasionada, véase A. Koestler, *The Ghost in the Machine* (Nueva York, 1967).

<sup>91</sup> Véase B. V. Bowden, «A Brief History of Computation», *Faster than Thought: A Symposium on Digital Computing Machines*, edic. de B. V. Bowden (Londres, 1953), pp. 3-31.

hacia la construcción de una máquina que pueda «competir con los hombres en todos los campos puramente intelectuales», como lo proclama con seguridad el lógico británico, A. M. Turing<sup>92</sup>.

Habitualmente se sostiene que lo que hace que esa afirmación sea ahora válida son los modernos descubrimientos e innovaciones en el campo de la electrónica<sup>93</sup>. Lo cierto es que la creencia en la validez de la afirmación ha estado y sigue estando alimentada por el creciente culto al Todopoderoso Concepto Aritmomórfico. Efectivamente, el proyecto original del autómata moderno, un artículo precursor de Turing, precedió como poco en cinco años al primer ordenador electrónico<sup>94</sup>. El propio Turing insiste en que la base real del rendimiento de un ordenador es el programa mecanicista: la electrónica únicamente acelera el funcionamiento<sup>95</sup>.

También ha sido Turing quien primeramente ha establecido el criterio para verificar la afirmación. Como podríamos esperar de un profesional de la lógica, Turing empieza negando todo significado a la pregunta «¿Puede pensar una máquina?» a menos que se definan de modo inequívoco «pensar» y «máquina». Así pues, la sustituye por otra pregunta «en palabras relativamente inequívocas»: ¿Puede una máquina imitar al cerebro humano? Más concretamente, un interrogador humano que se comunicase a través de mensajes escritos con un interlocutor oculto, ¿se equivocaría acerca del carácter de tal interlocutor con tanta frecuencia en el caso de que fuese una máquina como en el de que fuese un hombre?<sup>96</sup>. El «test» es indudablemente razonable y se ha empleado para responder innumerables cuestiones del tipo «¿puede confundirse este vino californiano con un St. Emilion de Francia?». La cuestión consiste en si la prueba permite tener en

<sup>92</sup> A. M. Turing, «Computing Machinery and Intelligence», *Mind*, LIX (1950), p. 980.

<sup>93</sup> Por ejemplo, W. R. Ashby, «Design for a Brain», *Electronic Engineering*, XX (1948), p. 379, afirma que, antes de la electrónica, las máquinas eran mecánicas, pero ahora tienen un significado más rico gracias a la realimentación, idea igualmente propuesta por Norbert Wiener en *Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine* (2ª edición, Nueva York, 1961). Con todo, la realimentación no pertenece exclusivamente a la electrónica; en efecto, el principio de los desplazamientos virtuales empleado por la mecánica clásica en su análisis de la estabilidad del equilibrio (importado más tarde por la economía) implica claramente la realimentación. Formalmente, no existe diferencia alguna entre el homeostato de Ashby (pp. 380 y s.) y un sistema de cierto número de bolas abandonadas a sí mismas dentro de un cuenco; ambas cosas volverán a su «equilibrio» si se les perturba dentro de límites razonables.

<sup>94</sup> A. M. Turing, «On Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungsproblem», *Proceedings of the London Mathematical Society*, Ser. 2, XLII (1936), pp. 230-265, y «A Correction», *ibid.*, XLIII (1937), pp. 544-546.

<sup>95</sup> Turing, «Computing Machinery», p. 439.

<sup>96</sup> *Ibid.*, pp. 433-435. Una y otra vez, un positivista lógico parece no ser consciente de esta difícil situación. Turing no pone reparos al hecho de que «un interlocutor humano» es también un término ambiguo. ¿Incluye un Newton o un Einstein? Si no es así, ¿dónde paramos? De igual modo, parece indiferente al obvio bumerang de su postura cuando llega a admitir que incluso para una máquina «es difícil estructurar las definiciones de modo que se satisfagan las condiciones [enumeradas], que —ha de resaltarse— están formuladas en términos dialécticos!

cuenta todas las diferencias (excepto, naturalmente, la diferencia de «etiquetas»). La prueba de ambos vinos no debiera excluir, por ejemplo, la diferencia de color. Nunca será factible pretender ser daltónico a fin de argumentar que los que insisten en ver algo que no puede reducirse a un tono incoloro son ciegos o sufren alucinaciones metafísicas, pero esto es precisamente lo que hacen quienes afirman que las máquinas piensan.

El ejemplo artificial puesto por Turing de la imitación de un diálogo entre un hombre y un ordenador está evidentemente diseñado para fomentar la fe. Naturalmente, se ha convertido en un artículo profesional bastante popular. Véase un extracto:

Interrogador: ¿Diría Vd. que Mr. Pickwick le recordó la Navidad?

Testigo: En cierto modo.

Interrogador: Pero la Navidad es un día invernal y no creo que Mr. Pickwick soportase la comparación.

Testigo: No creo que hable Vd. en serio. Por día invernal uno piensa en un típico día invernal y no tanto en uno especial como la Navidad<sup>97</sup>.

Turing afirma incluso que el ejemplo ilustra las potencialidades aún sin realizar no de un ordenador complejo sino de uno meramente digital, pero huye de toda definición inequívoca del diálogo de prueba, incluso de cierta explicación socrática sobre su naturaleza. Su artículo no lleva a creer que pueda haber alguna restricción en lo que se refiere a lo que podría implicar el diálogo. Es cierto que Turing apunta de pasada que posiblemente no debiera esperarse que la máquina respondiese a preguntas del tipo de «¿Qué piensa sobre Picasso?», lo que no parece un tipo de cuestión esencialmente diferente de la relativa a Mr. Pickwick. Ahora bien, no hay duda de que puede preguntarse al interlocutor si «él» juega a las tres en raya, al NIM (juego en el que dos jugadores deben coger alternativamente uno o más objetos de uno o varios montones, e intentar uno no coger y el otro sí el último objeto que quede. N. del T.), a las damas, etc. hasta obtener la respuesta «No». La pregunta «¿Está dispuesto a empezar a aprender *ahora* esos juegos?» dará entonces una prueba indefectiblemente decisiva, ya que un hombre está programado para empezar a aprender *cualquier cosa en cualquier momento*, mientras que, por el contrario, una máquina programada para aprender a jugar a las damas, por ejemplo, sabe ya cómo jugar: si no lo sabe, *ipso facto* tampoco está programada para aprenderlo. Así, la respuesta de la máquina finalizará forzosamente en ese preciso momento. Igualmente sostengo que se obtendrá idéntico resultado (con menos seguridad, en todo caso) pidiendo al interlocutor que, para variar, elabore otro cuestionario, porque inventar algunas preguntas simples pero altamente interesantes es en conjunto mucho más difícil (hasta para una mente hu-

<sup>97</sup> *Ibid.*, p. 446.

mana) que formular cuestiones técnicamente complejas repasando el material memorizado.

Podría aducirse que una máquina universal del tipo de la de Turing, esto es, una máquina que pudiese realizar *cualquier* función llevada a cabo por *cualquier* otra máquina, sería inmune a las anteriores pruebas decisivas. El problema consiste en que tal máquina existe exclusivamente en la teoría, pues un proyecto práctico requeriría que fuese ilimitada su capacidad para recibir instrucciones<sup>98</sup>.

Una vez dicho y hecho todo eso, se observa que todas las comprobaciones de que «rendimiento de ordenador = pensamiento humano» llevan consigo el eterno fraude verbal. «Pensar» es únicamente lo que hacen los ordenadores (o pueden hacer, teóricamente), no lo que hace en realidad el ordenador primitivo, el cerebro humano<sup>99</sup>. Como ya hemos visto en el caso de Turing, la justificación ofrecida es que «inteligencia» o «pensamiento» son nociones ambiguas en su acepción general. La ecuación se convierte, por tanto, en una tautología. Curiosamente, al final aparece de nuevo con su antiguo significado equívoco, seguido en esta ocasión por Q. E. D. (quod erat demonstrandum) de la manera más enérgica posible. Esta cuestión está admirablemente ejemplificada por los «amplificadores de inteligencia» de W. R. Ashby, en cuya defensa afirma que la «inteligencia» consiste exclusivamente en la facultad de seleccionar un elemento determinado entre un conjunto de alternativas<sup>100</sup>. Esta opinión no modifica el hecho evidente de que la mente humana incluye otras muchas facultades intelectuales ni transforma toda función seleccionada en una proeza intelectual. Aunque un río separe la arena de los guijarros, sería absurdo dotarle de inteligencia (a no ser que regresemos al primitivo animismo).

En realidad, ya desde comienzos de nuestro siglo, cuando Alfred Binet planteó por vez primera la cuestión, los psicólogos han buscado en vano una definición aritmomórfica de inteligencia en términos sencillos. «No existe un significado generalmente aceptado del término»<sup>101</sup>, y no hay ninguno, porque, al igual que la mayor parte de las manifestaciones de la

<sup>98</sup> No puede negarse el interés teórico de los ordenadores de capacidad infinita. *Ibid.*, pp. 438 y s.

<sup>99</sup> Hasta los escritores más cuidadosos sobre la cuestión no están siempre libres de este pecado de alteración. Así, por ejemplo, leemos en John von Neumann, «The General and Logical Theory of Automata», *Cerebral Mechanisms in Behavior: The Hixon Symposium*, edit. por L. A. Jeffress (Nueva York, 1951), p. 10: «Debo considerar los organismos vivos como si fuesen autómatas puramente digitales». Pocos son los especialistas en este campo que, al igual que W. S. McCulloch y W. Pitts, «A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity», *Bulletin of Mathematical Biophysics*, V (1943), p. 117, advierten al lector que no conciben que «la equivalencia formal sea una explicación objetiva. *Per contra*».

<sup>100</sup> W. R. Ashby, «Design for an Intelligence-Amplifier», *Automata Studies*, eds. C. E. Shannon y J. McCarthy (Princeton, 1956), pp. 220 y 233.

<sup>101</sup> W. C. Halstead, «Brain and Intelligence», *Cerebral Mechanisms in Behavior*, pp. 246 y 251; véase también J. P. Guilford, «Intelligence Has Three Facets», pp. 615-620.



vida, inteligencia es una noción dialéctica. La penumbra que la rodea puede constatarse a través de múltiples ejemplos. Así, cuando no se está seguro del uso de una palabra, se busca el diccionario y se lee la explicación. Se echa igualmente mano al pasamanos y se agarra con fuerza el mismo si se siente que se pierde el equilibrio en una escalera. ¿Cuál de esas acciones es una manifestación de inteligencia, si lo es alguna?

Sin embargo, en su conjunto la imagen general de la inteligencia tal como se estudia por los psicólogos no difiere de la correspondiente al significado «vulgar». Incluye todas las actividades, desde las de memorizar, recordar, calcular y razonar, hasta inventar nuevos conceptos y sintetizar diversos elementos en abstracciones unificadas, pasando por identificar analogías de forma y contenido por medio de la abstracción a partir de los detalles de lo particular, razonar con conceptos dialécticos y componer obras artísticas. Respecto de esta lista incompleta (estoy seguro de ello) de actividades es como debemos juzgar las afirmaciones de que los ordenadores no solamente «poseen» inteligencia, incluso inteligencia amplificada, sino que también proporcionan el único medio eficiente para estudiar cómo resuelve problemas el cerebro humano<sup>102</sup>.

Lo que es todavía más curioso, afirmaciones extravagantes similares no han acompañado a otras invenciones humanas, igualmente maravillosas, aunque muchas ya existiesen cuando se pusieron de moda. Un telescopio con una cámara adaptada al mismo puede «ver» mil veces más lejos y mejor que el ojo humano, pero nadie afirmó que poseyera todas las cualidades de ese ojo humano o de que los oftalmólogos debieran trabajar con tal dispositivo a fin de estudiar cómo funciona el ojo humano en todos sus aspectos. La inmensa utilidad de un avión a reacción no está en absoluto afectada por el hecho de que no bata sus alas, ponga huevos y los empolle, como los pájaros. Del mismo modo, la igualmente inmensa utilidad de los ordenadores no precisa de una jerga de vendedor. Un ordenador ha calculado los primeros cien mil decimales de  $\pi$  en algo menos de nueve horas, tarea que se estima que un hombre, con la ayuda de una calculadora, tardaría 30.000 años en realizar<sup>103</sup>. Ahora bien, esta no es razón suficiente pa-

<sup>102</sup> Nótese también que tales afirmaciones no se han hecho siempre por principiantes. Véanse las obras (ya citadas) de A. M. Turing, Norbert Wiener y John von Neumann, así como H. A. Simon, «The Control of the Mind by Reality: Human Cognition and Problem Solving», y las intervenciones del mismo autor en la mesa redonda sobre «Restriction of the Mind», *Man and Civilization: Control of the Mind*, eds. S. M. Farber y R. H. L. Wilson (Nueva York, 1961), pp. 219-232 y 281-285, e, igualmente, J. A. Simon y A. Newell, «Heuristic Problem Solving by Computer», *Symposium on Computer Augmentation of Human Reasoning*, eds. Margo A. Sass y W. D. Wilkinson (Washington, 1965), pp. 25-35.

<sup>103</sup> D. G. Fink, *Computers and the Human Mind* (Nueva York, 1966), p. 12. Dado que se estima que los ordenadores examinan sus memorias, clasifican y calculan un millón de veces (a lo sumo) más rápidos que el hombre, la cifra anterior debe tener en cuenta el inmenso tiempo que precisa el hombre para poner por escrito todos los cálculos intermedios.

ra presentar a los ordenadores como gigantes inteligentes con un C. I. de un millón y cuya inteligencia «supera la de su diseñador»<sup>104</sup>. Y, si en una prueba normal un ordenador mostrase un C. I. de un millón, ni siquiera eso, de mil, tal cosa no significaría más que —como ya he sostenido antes— al enfocar la atención en la medida hemos perdido de vista lo que se mide. El ordenador puede superar algunas de las limitaciones intelectuales de su diseñador, pero no su inteligencia en el sentido apropiado del término<sup>105</sup>.

Por razones obvias, los argumentos aducidos en apoyo de la doble ecuación «ordenador = cerebro humano» difícilmente pueden recurrir al fraude verbal y definir «cerebro» *ad hoc*. En lugar de ello, recurren a modelos empíricos basados en hipótesis y analogías «prácticas», ignorando por completo lo que neurohistólogos, neurofisiólogos, neuropsicólogos y psiquiatras nos dicen sobre las cuestiones incontestadas referentes al cerebro. Hasta la primitiva especulación de Neumann en el sentido de que el cerebro es un sistema mixto de un ordenador analógico y otro digital se adelanta bastante a las demás; y, a pesar de ser ferviente partidario de la potencialidad de los autómatas, Neumann tuvo que admitir por último que «de hecho, el “método digital”... puede ser totalmente extraño al sistema nervioso [de cualquier animal]»<sup>106</sup>. La descripción actualmente más verosímil es que el funcionamiento del cerebro implica no sólo pulsaciones eléctricas de un carácter todavía desconocido sino también cierto tipo de informatización química<sup>107</sup>. ¿Tendríamos que sorprendernos de descubrir un día que implica igualmente cierto tipo de informatización a un nivel subcuántico aún inexplorado?

Un famoso neuropsicólogo, K. S. Lashley, dedicó toda su vida a buscar «centros de memoria» en el cerebro y fracasó en su intento. Se admite actualmente que la memoria no se sitúa en un lugar determinado del cerebro: se trata de un proceso incesante que implica también cierta síntesis proteínica<sup>108</sup>. Aún menos es lo que se sabe acerca de cómo aprende el cerebro. Los especialistas siguen preguntándose por qué (o cómo) hace el cerebro ciertas cosas que no puede hacer ninguna máquina «inteligente». Así,

<sup>104</sup> Como lo hace Ashby en «Design for an Intelligence-Amplifier», pp. 216 y 220.

<sup>105</sup> Está fuera de toda duda que, al igual que sucede con todas las invenciones o descubrimientos humanos, el diseñador puede descubrir que un ordenador pensado para determinadas tareas puede utilizarse también para otras no propuestas. Así, se da el hecho de que un ordenador puede causar, por ejemplo, un bloqueo de enorme amplitud bien por mal funcionamiento o porque el hombre experimenta a ciegas con él. Véase la nota 127 posterior.

<sup>106</sup> Neumann, «The General and Logical Theory of Automata» (citado en la nota 99 anterior), Discusión, p. 38, y Neumann, *The Computer and the Brain* (New Haven, 1958), p. 44.

<sup>107</sup> Halstead, «Brain and Intelligence», pp. 269 y s.

<sup>108</sup> Véase la reciente obra de E. Roy John sobre esta cuestión, *Mechanisms of Memory* (Nueva York, 1967). No puede dejar de subrayarse igualmente la milagrosa cualidad del cerebro de rebelarse contra la memorización de cosas irrelevantes y de olvidarlas con rapidez si se han memorizado. Véase el Capítulo I, nota 15, anterior.



por ejemplo, el cerebro puede manejar situaciones y errores totalmente imprevistos o autorepararse en grado considerable<sup>109</sup>. Como dijo irónicamente una autoridad del cerebro, W. S. McCulloch, los estudiosos del cerebro envidian a los científicos que estudian las máquinas porque éstos poseen modelos anatómicos y fisiológicos completos. «El cerebro es parecido a una máquina calculadora, pero no hay ninguna máquina calculadora parecida al cerebro»<sup>110</sup>. Así es como están las cosas.

Volviendo a las limitaciones de lo que el ordenador puede hacer en comparación con el rendimiento intelectual del cerebro, debemos tener presente que un ordenador digital tiene una estructura *finita y discreta*. En cualquier momento determinado, a través de cada relé pasa un impulso eléctrico o ninguno: el funcionamiento se basa en una configuración de «todo o nada»<sup>111</sup>. El famoso teorema de McCulloch y Pitts —que «todo lo que puede expresarse completa e inequívocamente en palabras es ipso facto realizable a través de una adecuada red neurológica [de relés] finita»<sup>112</sup>— constituye un resultado técnicamente interesante mas no inesperado. Neumann pone de manifiesto que, debido a su modo de funcionamiento de todo o nada, el ordenador digital está sujeto a las mismas limitaciones «poco atractivas» que la Lógica; sin embargo, afirma que el único inconveniente de ese ordenador es que no puede resolver problemas de análisis matemático en los que intervenga el infinito<sup>113</sup>. Por otra parte, un ordenador analógico debería estar libre de ese inconveniente, pero su estructura sigue siendo aritmomórfica. A partir de todo lo que he dicho en el presente capítulo y en el anterior, se deduce que, con independencia de su tipo, ningún ordenador puede llevar a cabo ninguna función que esté directa o indirectamente ligada al razonamiento dialéctico. Semejante modo de funcionamiento es prerrogativa exclusiva del cerebro humano.

Entre la plasticidad del cerebro y la estructura mecánica de un ordenador hay un vacío insalvable aun mayor que el que existe entre hacer silogismos y razonar. Desde cualquier ángulo que contemplemos el pensamiento vivo, llegamos a la misma ineludible conclusión: el pensamiento, incluso el matemático, llegaría a estancarse si se confinara a nociones idénticas

<sup>109</sup> Diversas discusiones se encuentran en *Cerebral Mechanisms in Behavior*, edit. por Jeffress, pp. 32 y ss. y 193 y s. La objeción de W. S. McCulloch, en «Why the Mind Is in the Head», *ibid.*, pp. 54 y s., de que para un ordenador con tantas «neuronas» como el cerebro (aproximadamente 10<sup>10</sup>) las cataratas del Niágara no bastarían para suministrar la corriente eléctrica necesaria ni el río Niágara para refrigerar la planta, no me parece esencial. Evidentemente, todo eso puede ser únicamente un impedimento técnico temporal.

<sup>110</sup> W. S. McCulloch, citado en Fink, *Computers and the Human Mind*, p. 178.

<sup>111</sup> Turing, «Computing Machinery», pp. 439 y ss.; Neumann, «The General and Logical Theory», pp. 15 y s.

<sup>112</sup> Neumann, *ibid.*, p. 23 (las cursivas son mías). En lo que respecta al teorema, véase el artículo de McCulloch y Pitts citado en la nota 99, anterior.

<sup>113</sup> Neumann, «The General and Logical Theory», p. 16.

entre sí. Ya Whitehead nos advirtió que «tan pronto como se abandona el camino trillado de la vaga claridad y se confía en la exactitud, se tropieza con dificultades»<sup>114</sup>. Cualidades infinitamente continuas, penumbras dialécticas sobre relaciones e ideas, un halo de brillo y contorno variables, eso es pensamiento: un medio gaseoso, como lo describió Wittgenstein tras sus vanos esfuerzos (entre los más brillantes de todos) por reducir la razón a un fundamento aritmomórfico<sup>115</sup>. La causa de que ningún ordenador pueda imitar el funcionamiento del cerebro humano reside en que el pensamiento es un proceso infinito de Cambio que, como he intentado demostrar en el presente capítulo, es esencialmente dialéctico. Por otro lado, la estructura aritmomórfica de cualquier ordenador constituye una inercia con respecto a la novedad y al Cambio, como lo es el propio número. Sin el carácter dialéctico del pensamiento, no sería posible ninguna asociación de ideas, y mucho menos la aparición de ideas originales.

Así, por ejemplo, puede programarse un ordenador para que juegue una excelente partida de NIM<sup>116</sup> con la misma técnica empleada para «enseñar» a las máquinas a jugar a las damas o al ajedrez<sup>117</sup>. En realidad, si las dimensiones del juego no son muy grandes, el ordenador puede examinar *todo* el tronco del juego y retener exclusivamente las ramificaciones ganadoras, lo que implica una solución completa de esa partida específica. Incluso en el caso del modelo simple de NIM (1,2,3), el tronco del juego tiene nada menos que 182 ramificaciones. ¡Intente plasmarlas sobre el papel! Sin embargo, el hombre puede hacer lo que no puede la máquina: ha descubierto la fórmula de los movimientos ganadores en *cualquier modelo*, lo que debería sorprender a todo aquel capaz de apreciar un prodigio. Y, si existe una fórmula ganadora para las damas o el ajedrez, podemos tener la seguridad de que únicamente el hombre podrá descubrirla, ya que sólo su mente puede abrirse a sí misma nuevas vías de conocimiento. Incluso aunque por azar el ordenador muestre una regularidad continua a partir de cierto número, se seguirá precisando un cerebro humano para probar la validez de la regularidad de *cualquier número*. El ordenador calculó los primeros cien mil decimales de  $\pi$  a una velocidad 30.000.000 de veces superior a la que Leibnitz podría haberlo hecho, ¡pero fue Leibnitz, no un ordenador, quien ideó la series infinitas para  $\pi/4$  sobre las que se programó el ordenador!

<sup>114</sup> Alfred North Whitehead, *Science and Philosophy* (Nueva York, 1948), p. 136.

<sup>115</sup> Wittgenstein, *Philosophical Investigations*, I, p. 109.

<sup>116</sup> En lo que se refiere al juego y a la fórmula ganadora, véase W. W. Rouse Ball, *Mathematical Recreations and Essays* (Nueva York, 1962), pp. 36-38.

<sup>117</sup> Fundamentalmente, la técnica, denominada hoy en día «heurística», consiste en utilizar como guía una función de cálculo puntual (semejante a la de Charles H. Goren para el bridge) y en disponer la máquina de modo que memorice todos los tableros perdidos, tal como se da durante el «entrenamiento». En el juego real, la máquina examina unos pocos movimientos hacia delante en el tronco del juego. Véase el instructivo artículo de A. L. Samuel, «Some Studies in Machine Learning, Using the Game of Checkers», *IBM Journal of Research and Development*, III (1959), pp. 210-229.

Podemos preguntarnos también qué máquina contrastadora de teoremas geométricos sería capaz de «pensar» en otro prodigio, la sencilla prueba ideada por H. A. Schwartz para un teorema elemental, prueba en la que se hace girar un triángulo seis veces sin razón evidente alguna<sup>118</sup>. Igualmente, ¿a qué máquina «heurística» se le ocurriría la idea euleriana, aparentemente inútil, pero brillante, de descomponer  $x$  en factores simples como si fuese un polinomio?<sup>119</sup> Intuiciones como las de Schwartz o Euler distinguen pensamiento de «pensamiento». Algunos entre nosotros pueden despreciar la intuición por considerarla una cualidad nebulosa o un prejuicio kantiano, pero la intuición por sí sola fomenta el conocimiento creativo. Muy recientemente, en un editorial de *Science* que elogiaba determinado descubrimiento bioquímico, P. H. Abelson subrayaba que los perfeccionados métodos de investigación no son por sí solos garantía de nuevo progreso; éste «dependerá de la cualidad del criterio intuitivo con el que los científicos seleccionen los materiales de estudio»<sup>120</sup>.

Hay que tener también en cuenta que los problemas matemáticos mencionados anteriormente están formulados *completamente en palabras inequívocas*. En consecuencia, la condición que constituye el leitmotiv de las argumentaciones en favor de que «los ordenadores piensan» no puede invocarse contra las conclusiones derivadas de esos ejemplos. Y esto no es todo. Como espero haber demostrado en las secciones precedentes, la mayor parte de nuestro pensamiento importante lleva consigo nociones y relaciones dialécticas. Esto es posiblemente lo que John von Neumann quería admitir en una monografía póstuma al decir que «*el lenguaje del cerebro no [es] el lenguaje de las matemáticas*», por lo tanto, tampoco el de los ordenadores<sup>121</sup>. Por su parte, Norbert Wiener nos dice que había previsto las dificultades de diseñar un ordenador que pudiese identificar un cuadrado sin tener en cuenta su posición relativa<sup>122</sup>. Más recientemente, Oliver Selfridge subraya de nuevo en un sobrio informe que las máquinas no pueden identificar invarianzas de simetría, ni siquiera la colinealidad en una partida de tres en raya, «sin que se les indique», mientras que el hombre lo empieza a hacer por sí mismo<sup>123</sup>. Ha de tenerse igualmente presente que la Gestalt no significa únicamente identificar formas geométricas; significa también identificar las «apuntadas, dentadas, lenticulares, umbelíferas y similares»,

<sup>118</sup> En lo relativo a esta prueba, véase H. Rademacher y O. Toeplitz, *The Enjoyment of Mathematics* (Princeton, 1957), pp. 29 y s.

<sup>119</sup> Véase la fascinante historia en G. Polya, *Mathematics and Plausible Reasoning* (2 volúmenes, Princeton, 1954), I, pp. 19-21.

<sup>120</sup> *Science*, 31 de mayo de 1968, p. 951.

<sup>121</sup> Neumann, *The Computer and the Brain*, p. 80.

<sup>122</sup> Wiener, *Cybernetics*, p. 18.

<sup>123</sup> Oliver Selfridge, «Reasoning in Game Playing by Machine», *Symposium on Computer Augmentation of Human Reasoning* (nota 102, anterior), p. 208.

de las que hablaba Husserl. Por encima de todo, significa identificar «democracia», «especie», «necesidad», etc., con indiferencia de las irregularidades individuales. Y, por último, no podemos olvidar que significa incluso reconocer la Gestalt, que es en sí misma una noción dialéctica.

Si una definición *ad hoc* de pensamiento pudiese ayudarnos a desemmarañar los problemas, aprobaría la de J. P. Eckert (uno de los diseñadores de ENIAC, el primer ordenador electrónico digital), quien declaró que tras una experiencia de diecisiete años se ha visto «forzado a adoptar la definición de que pensamiento es lo que no pueden hacer los ordenadores»<sup>124</sup>. Por las razones desarrolladas en los apartados anteriores, esta definición de Pensamiento está lejos de ser vana. Wiener nos advierte que «la máquina calculadora ultrarrápida no reducirá con toda seguridad la necesidad de matemáticas [de categoría]»<sup>125</sup>. Podemos dar un paso más y decir que los ordenadores heurísticos, los que contrastan teoremas, los de juego o cualesquiera otros no reducirán la necesidad de Pensamiento. La prueba más adecuada la ofrecen los trabajos en los que Turing, Neumann, Simon *et al.* mezclan nuevas ideas con el razonamiento dialéctico, obteniendo vigorosas argumentaciones que ningún ordenador podría reproducir. Estoy seguro de que, ni siquiera en defensa de la causa, habría ido Turing tan lejos como para sostener que su fascinante artículo podría haberse escrito por un ordenador en respuesta a la pregunta «¿puede pensar una máquina?».

Sigue siendo válida la cuestión planteada por Lady Lovelace en relación con la Máquina Analítica de Babbage, esto es, que una máquina puede hacer exclusivamente lo que al diseñarla le ordenamos que haga. Lo confirma así uno de los más distinguidos veteranos en la programación de máquinas «inteligentes», A. L. Samuel, quien añade que «los ordenadores... son imbéciles gigantes, no cerebros gigantes»<sup>126</sup>. Son imbéciles porque no pueden Pensar. Por esa razón, no tenemos que estar aterrorizados (como Samuel Butler y Norbert Wiener dicen que debiéramos estar) por la idea de que los ordenadores podrían significar por sí mismos el fin de la especie humana<sup>127</sup>. Como sucede en el caso de la energía atómica, el peli-

<sup>124</sup> Citado en Fink, *Computers and the Human Mind*, p. 208.

<sup>125</sup> Wiener, *Cybernetics*, p. 131.

<sup>126</sup> A. L. Samuel, «Artificial Intelligence: A Frontier of Automation», *Annals of The American Academy of Political and Social Science*, CCCXL (marzo de 1962), p. 13.

<sup>127</sup> La postura fundamental de N. Wiener, resumida en su «Some Moral and Technical Consequences of Automation», *Science*, 6 de mayo de 1960, pp. 1.355-1.358, es que, debido a que las máquinas trabajan increíblemente más rápidas que el hombre, éste puede no ser capaz de parar a tiempo una máquina si se percata de que lo que ésta hace es una catástrofe, situación que compara con la de «El Aprendiz de Brujo» de Goethe. Defiende esa postura, no por la posibilidad de que el hombre haga un uso equivocado de las máquinas, sino por la conocida afirmación de que las máquinas trascienden «las limitaciones de sus diseñadores». Véase «A Refutation», por A. L. Samuel, en *Science*, 16 de Septiembre de 1960, pp. 741 y s.

gro podría derivarse únicamente del uso que el Pensamiento pudiera hacer de los cerebros imbéciles (aunque, más probablemente, de algunas criaturas sin cerebro: un hongo, una bacteria o un virus).

Al igual que sucede con todas las argumentaciones relativas a cuestiones objetivas, tanto los que están a favor de que «las máquinas pueden pensar» como los que (como es mi caso) se oponen a ello utilizan necesariamente la inducción incompleta. Algunos afirman que, dado que se ha demostrado la falsedad de «las máquinas no pueden calcular», no tenemos ya base inductiva alguna para no creer que «las máquinas pueden pensar»<sup>128</sup>. Otros emplean la argumentación inductiva de forma directa y explícita: «La construcción de un cerebro sintético requiere ahora poco más que tiempo y trabajo»<sup>129</sup>. O bien, «paso a paso, se combaten las limitaciones restantes»<sup>130</sup>. Las argumentaciones de este tipo nos recuerdan la glorificación de la mecánica hace más de un siglo y en realidad brotan de las mismas raíces, del dogma de que en la Naturaleza no existe elemento alguno que no pueda reducirse a leyes precisas, finitas y reproducibles.

El fundamento mecanicista de la «teoría» general de los autómatas se pone inequívocamente de manifiesto en la famosa proposición confirmada por John von Neumann: la *máquina* universal de Turing puede concebirse de modo que si se dejase en un medio flotante junto a gran número de sus partes elementales se reproduciría por sí misma<sup>131</sup>. ¿Qué otra cosa necesitamos para tener una réplica mecanicista de la vida y, por tanto, del propio pensamiento? Ahora bien, debemos observar que, a la vista de la universalidad de la máquina y de las hipótesis implícitas a la contrastación, la proposición de Neumann puede hacerse mucho más fuerte. En efecto, podría ampliarse a una máquina que incluyese también todas las operaciones de minería, manufactura y transporte y que se reprodujese por sí misma si se la dejase sola en el desnudo entorno material de este planeta. Además, no es preciso eliminar completamente al hombre de los productos intermedios de la máquina. El propio Turing presupone que esta ampliación no es una aberración, ya que en otro caso no habría tenido sentido alguno su explícita instrucción de que «los hombres nacidos en la forma habitual» no deberían ser parte elemental de la máquina<sup>132</sup>. Esta afirmación sugiere con

<sup>128</sup> Véase Turing, «Computing Machinery», p. 448. Richard Laing concluye así su revisión de M. Taube, *Computers and Common Sense* (Nueva York, 1961): «no parece que haya argumentos rigurosos contra la posibilidad de que los ordenadores hagan cosas típicas de la inteligencia humana». *Behavioral Science*, VII (1962), p. 240.

<sup>129</sup> Ashby, «Design for a Brain» (nota 93, anterior), p. 382.

<sup>130</sup> Simon y Newell, «Heuristic Problem Solving by Computer» (nota 102, anterior), p. 32. Véanse también las observaciones, relativas a la idea de Polya de un Razonamiento Verosímil, hechas por H. Gelernter, «Realization of a Geometry-Theorem Proving Machine», *Computers and Thought*, eds. E. A. Feigenbaum y J. Feldman (Nueva York, 1963), p. 135.

<sup>131</sup> Neumann, «The General and Logical Theory of Automata», pp. 28-30.

<sup>132</sup> Turing, «Computing Machinery», p. 435.

claridad una visión verdaderamente grandiosa: que una máquina puede llegar a reproducir la evolución completa del hombre desde el tórrido magma que existía antes de que apareciera la primera célula viva.

Sin embargo, cuanto más hemos aprendido sobre la Naturaleza desde la apoteosis laplaceana de la mecánica, tanto más clara se ha hecho la infinidad cualitativa de la Naturaleza. Y, como ya he afirmado antes (Capítulo II, Sección 7), lo que nos impide reducir el universo físico a conceptos aritmomórficos es el factor dialéctico denominado «aleatoriedad». Así, se encuentran ahora los dos extremos: al ser dialéctico el carácter del Pensamiento, éste no puede reproducirse por máquinas construidas en base a modelos aritmomórficos.

Con el fin de minimizar el riesgo de que la crítica anterior de la apoteosis de los ordenadores pueda malinterpretarse en lo que se refiere a su ámbito, deseo subrayar como conclusión que no hay nada más lejos de mi ánimo que restar importancia a la utilidad de este extraordinario invento —el ordenador— o que negar el valor de los distintos experimentos «heurísticos» como fuente de inspiración de nuevos y más interesantes empleos de ese invento, pero no como paso hacia el cerebro sintético. La única razón que me ha movido a escribir esta crítica es que el ordenador constituye, por así decirlo, un experimento de laboratorio por el cual el pensamiento aritmomórfico se aísla del razonamiento dialéctico y que, con sus limitaciones, proporciona la contrastación experimental de lo que he intentado predicar a mis colegas economistas desde que ciertas experiencias profesionales me despertaron del sueño aritmomórfico: «hay un límite a lo que podemos hacer con números, como lo hay a lo que podemos hacer sin ellos»<sup>133</sup>. Y ello porque, si ignoramos o negamos esta verdad, somos propensos a pensar (como lo hacemos actualmente en gran medida) que la locomoción, máquinas para hacer máquinas, es todo lo que existe en la vida económica. Como consecuencia de esta manera de desviarnos del verdadero núcleo del proceso económico en el que principalmente operan las propensiones dialécticas del hombre, fracasamos en nuestro reconocido objetivo como economistas: estudiar al hombre con la esperanza de ser capaces de contribuir a su felicidad en la vida.

<sup>133</sup> Véase mi artículo «The Nature of Expectation and Uncertainty» (1958), reimpresso en *AE*, p. 275.

## CAPÍTULO IV

### MEDICIÓN, TAMAÑO E IDENTIDAD: ALGUNAS LECCIONES OBJETIVAS DE LA FÍSICA

1. *Física y filosofía de la ciencia.* Todo científico social que busque en la moderna filosofía de la ciencia consejo e inspiración para su propia actividad está expuesto a experimentar una gran decepción, incluso a desconcertarse. Por una u otra razón, la mayor parte de esta filosofía ha llegado a ser básicamente una mera alabanza de la ciencia teórica y nada más. Y, dado que entre todas las ciencias actualmente profesadas solamente algunas partes de la física satisfacen la idea de ciencia teórica, es lógico que casi todos los tratados modernos de filosofía crítica eviten cualquier referencia a campos distintos de los de la física teórica. Cuando (raras veces) se hace mención a esos otros campos, es únicamente con el fin de probar lo acientíficos que son.

La moderna filosofía de la ciencia no libra ya batalla alguna, porque, según creo, nadie podrá negar que el espectacular avance en varias ramas de la física se debe por completo a la posibilidad de organizar en una teoría la descripción del correspondiente campo fenomenológico. Ahora bien, razonablemente habría de esperarse algo más de la filosofía crítica, en concreto un análisis imparcial y constructivo de la metodología científica en todos los campos del conocimiento; y la cruda realidad es que las modernas obras sobre filosofía de la ciencia ni siquiera abarcan por completo todo el terreno de la física.

El resultado de esta actitud acrítica es que aquellos que han trabajado dentro del edificio de la física no siempre están de acuerdo con los que la contemplan sólo desde fuera. Los de dentro admiten, a su pesar, que la corona de la física ha perdido parte de las brillantes gemas que tenía en la época de Laplace. Ya he mencionado una de tales gemas desaparecidas: la imposibilidad, que se hace más convincente con cada nuevo descubrimiento, de un fundamento lógico no contradictorio para todas las propiedades de la materia. Para el biólogo o el científico social, esto constituye una lección objetiva muy valiosa, pero hay otras lecciones al menos igual de importantes. En lo que sigue, voy a intentar puntualizar algunas de ellas.

Deseo comenzar subrayando un hecho incuestionable: el progreso de la física ha venido impuesto por el ritmo con el que los atributos de los fenómenos físicos se han sometido a medición, especialmente a la instrumental. Más interesante aún para nuestro objetivo es la correlación existente entre el desarrollo de varias partes de la física y la *naturaleza* de los atributos conquistados por la medición.

Aunque podamos considerarlo natural *ex post*, los comienzos se basaron en aquellas variables cuya medición no planteaba problema alguno, dado que se practicaba desde tiempo inmemorial. Contemplada como ciencia de las propiedades *intemporales* de objetos corpóreos, la geometría tiene exclusivamente un atributo básico: longitud, el prototipo de un atributo libre de cualidades. La mecánica fue el siguiente capítulo de la física que se convirtió en un sistema teórico completo. Una vez más, las mediciones de las variables implicadas habían estado en práctica durante milenios. Es muy importante observar que lo que la mecánica entiende por «espacio» y «tiempo» no es *situación y tiempo cronológico* sino *distancia indiferente e intervalo temporal indiferente*. O bien, como se expresa con frecuencia la misma idea, los fenómenos mecánicos son independientes de Lugar y Tiempo. Lo sobresaliente aquí es que incluso el espectacular progreso logrado por la mecánica teórica está limitado a un campo fenomenológico en el que bastan los tipos más transparentes de medición. En terminología moderna, tanto el espacio como el tiempo y la masa de la mecánica tienen una medición *cardinal*.

La situación cambió esencialmente con el advenimiento de la termodinámica, la siguiente rama de la física tras la mecánica en lograr un edificio teórico. Por vez primera, se incluyó en un contexto teórico variables *no cardinales*, como la temperatura y el tiempo cronológico, por mencionar sólo las más familiares de ellas. Esta novedad no significó un acontecimiento neutral e insignificante. No preciso mencionar sino las diversas escalas propuestas para medir la temperatura, es decir, el nivel de calor, y, especialmente, el hecho de que no todos los problemas planteados por tal medición se han resuelto aún a satisfacción de todos<sup>1</sup>.

La ampliación a otros campos de esa estructura teórica sigue tropezando con grandes dificultades. Esto es especialmente evidente en el caso de la electricidad, donde todas las variables básicas se miden *instrumentalmente* y ninguna de ellas está directamente ligada a un órgano sensor, como lo está la mayor parte de las variables en otras ramas de la física. Es así perfectamente natural que la invención de los especiales instrumentos de medición de las variables eléctricas haya tenido que llevar más tiempo. Mucho más que en el

<sup>1</sup> Por ejemplo, P. W. Bridgman, en *The Logic of Modern Physics* (Nueva York, 1928), p. 130, observa que «ningún significado físico puede atribuirse directamente al flujo de calor, y no hay modo alguno de medirlo».

caso de las otras ramas, la electricidad avanzó cada vez únicamente en tanto que cada instrumento de medición podía iluminar un campo adicional. Lo contrario es cierto en la mecánica: su progreso no se vio muy entorpecido por el problema de la medición. Todos conocemos la fascinante historia de cómo Galileo descubrió el isocronismo del péndulo al comparar con su propio pulso la oscilación de un candelabro de la catedral de Pisa.

Habitualmente, solemos dejar aquí la visión panorámica de la física, con lo que perdemos una lección objetiva muy importante procedente de campos como la mecánica estructural o la metalurgia. La historia completa pone de manifiesto que esos campos —que son tan parte de la ciencia de la materia como lo es la teoría atómica— siguen luchando contra un conocimiento desigual aún sin unificar en un solo cuerpo teórico. La única explicación posible de esta falta de desarrollo reside en el hecho de que muchas variables de la estructura material —dureza, deformación, flexión, etc.— son en esencia *cualidades cuantificadas*. Como voy a demostrar en lo que sigue, en este caso la cuantificación no puede suprimir por completo el peculiar carácter de la cualidad; por el contrario, deja siempre un residuo cualitativo que se oculta de algún modo dentro de la estructura métrica. La física, por tanto, no se encuentra tan libre de metafísica como sostiene la actual filosofía crítica, siempre que se considere (como generalmente se hace) que los problemas planteados por la oposición entre número y cualidad son metafísicos.

2. *Medición, cantidad y cualidad*. Como cabría esperar, el hombre utilizó en primer lugar el tipo de medición más directo y transparente, es decir, midió primeramente la *cantidad*. Ahora bien, deberíamos resistir la tentación de considerar que este paso fue un simple accidente. La cantidad presupone la abstracción de toda variación cualitativa: por consiguiente, únicamente tras alcanzar esa abstracción, la medición de la cantidad puede llegar a convertirse en materia simple, en la mayor parte de los casos. Es indudable que el hombre no tardó mucho en constatar que frecuentemente no podía observarse diferencia cualitativa alguna entre dos ejemplos de «trigo», de «agua» o de «tela», pero hubo de transcurrir muchísimo tiempo antes de que el peso, por ejemplo, apareciera como atributo generalmente mensurable de toda sustancia palpable. Es a este tipo de medición al que habitualmente se califica de *cardinal*.

A la vista de la tendencia actualmente bastante común a negar la necesidad de distinguir la medición cardinal de otros tipos de medición, es preciso subrayar que la mensurabilidad cardinal es el resultado de una serie de operaciones *físicas* específicas sin las cuales no serían en absoluto pertinentes las operaciones hechas sobre el papel con números-medición<sup>2</sup>. Así pues,

<sup>2</sup> En lo que se refiere a un análisis axiomático de cómo la medición cardinal se deriva de esas operaciones físicas, véase el artículo del autor «Measure, Quality, and Optimum Scale», en *Essays on Econometrics and Planning Presented to Professor P. C. Mahalanobis on the Occasion of His 70th Birthday*, edit. por C. R. Rao (Oxford, 1964), pp. 232-246.

la mensurabilidad cardinal no es una medición como las demás sino que refleja determinada propiedad física de una categoría de cosas. Cualquier variable de esta categoría existe siempre como *quantum* en el estricto sentido de la palabra (que no debe confundirse con el de la «mecánica cuántica»). A su vez, el quantum posee propiedades simples, pero específicas.

Sea que contemos el número de píldoras pasándolas una a una de la palma de la mano a un tarro, sea que midamos la cantidad de agua de un depósito vaciando éste cubo a cubo, sea que utilicemos una romana para pesar un montón de harina, la medición cardinal implica siempre la *adición indiferente* y la *sustracción* en un sentido físico definido. Veamos un ejemplo muy elemental: gracias a una operación *física* independiente de toda medición, podemos adicionar un vaso de agua y una copa de agua o detraer una copa de agua de una jarra de agua. En ambos casos, el resultado es un ejemplo de la misma entidad, «agua».

De esas dos condiciones (que son necesarias, pero no suficientes, para la cardinalidad), la sustracción es más rigurosa. Así, por ejemplo, podemos adicionar cestas de manzanas y peras, e incluso colores, en caso de utilizar algún dispositivo específico. Ahora bien, la condición aditiva basta para refutar la cardinalidad de gran número de variables a las que los economistas tratan como cardinales, si no continuamente al menos con una frecuencia significativa. Hasta Bentham, en un momento de autocrítica, invocó la ausencia de adición contra su propia noción de una utilidad cardinal para la colectividad en su conjunto: «Es inútil hablar de cantidades aditivas que tras la adición continúan siendo distintas como lo eran antes de ella,... también se podría pretender adicionar veinte manzanas a veinte peras»<sup>3</sup>. En realidad, la misma argumentación muestra el camino más sencillo para refutar la tesis de la utilidad cardinal incluso para el individuo, porque podría preguntarse: ¿dónde se encuentra ese depósito en el que se acumulan las utilidades y desutilidades de una persona? Consideradas como relación entre un objeto externo y la situación mental de un individuo, no como propiedad intrínseca del objeto, la utilidad y la desutilidad son flujos psíquicos. En el momento en que nos sentimos agotados al final de una jornada de trabajo, nadie puede decir dónde está el placer experimentado durante alguna fase de ese trabajo; al igual que el propio pasado, se ha ido para siempre. Sin embargo, el ejemplo que debería ser suficiente para clarificar la cuestión de la necesidad de distinguir la cardinalidad de la pura ordinalidad es el tiempo cronológico o, si se quiere, el «dato histórico», y ello

<sup>3</sup> La cita, procedente de un manuscrito inédito, se encuentra en Elie Halévy, *The Growth of Philosophic Radicalism*, (Boston, 1955), p. 495. Sin embargo, al igual que muchos otros, Bentham llegó a afirmar que se trata aquí de la voz de la «indiferencia o incapacidad», explicando que, incluso aunque la capacidad aditiva de la felicidad de diferentes individuos es ficticia, sin ella «todo razonamiento político se encuentra detenido». Véase también *The Works of Jeremy Bentham*, edit. por J. Bowring (11 volúmenes, Edimburgo, 1838-1843), I, p. 304.

porque es tan claro y tan familiar para todo el mundo. Evidentemente, no existe en absoluto ningún sentido en el que podamos sumar de forma significativa dos fechas históricas, ni siquiera a través de operaciones sobre el papel tras haber atribuido algún número a cada una de aquellas. El «dato histórico» no es una variable cardinal y ninguna convención racional puede hacer que lo sea<sup>4</sup>.

A fin de completar todos los aspectos de mi argumentación contra la postura relativista, quiero subrayar que si se interrumpe a un científico de la Naturaleza en el transcurso de una de sus argumentaciones y se le pregunta qué corresponde en realidad a cualquiera de las ecuaciones que pueda haber escrito en la pizarra, dará una respuesta definida y perfectamente inteligible. Puede que llegue incluso a invitar a ir a su laboratorio a fin de mostrar el sentido operativo de tal ecuación. Frente a esta situación, los científicos sociales utilizan generalmente la aritmomanía y aplican las operaciones aritméticas hechas sobre el papel a cualesquiera números que puedan ocurrírseles o encontrarse, sin pararse ni un momento a considerar si esas operaciones tienen algún sentido. ¿Acaso no vemos con frecuencia a los economistas adicionar utilidades descontadas de fechas futuras —es decir, flujos futuros descontados— como si fuesen anualidades satisfechas en dinero (una variable cardinal)? ¿Con qué frecuencia vemos también la fórmula de la media aritmética —que implica adición— aplicada a variables para las que la adición no tiene absolutamente ningún sentido? Incluso aunque pueda garantizarse que los resultados de un examen, por ejemplo, están ordenados de igual modo por todos los miembros del tribunal, las calificaciones de los diferentes miembros difícilmente darán como resultado la misma media aritmética; la consecuencia es que el estudiante A será el candidato típico para el miembro X, el estudiante B lo será de acuerdo con el miembro Y, etc.<sup>5</sup>. Los psicólogos y los especialistas en educación han llegado gradualmente a ser conscientes de esa falacia y en la actualidad utilizan exclusivamente la mediana, un estadístico ordinal, para describir atributos que son variables puramente ordinales. Los economistas parecen seguir estando lejos de alcanzar la mayoría de edad a este respecto.

Como ya he insinuado, no puede considerarse a la cantidad como noción anterior a la calidad, ya sea en el orden lógico o en el evolutivo. Es indudable que antes de tener la idea de medir cantidades de trigo, por ejemplo, el hombre debe haber llegado primero a darse cuenta, *sin pesarlos*, de que un montón de trigo es mayor que otro. Durante mucho tiempo, «más frío» y «más caliente» no tuvieron medición alguna. De igual modo, distin-

<sup>4</sup> Véanse más observaciones sobre este punto en la Sección 6 del presente capítulo.

<sup>5</sup> Para una discusión general del concepto de «media» desde este específico punto de vista, véase mi ensayo «An Epistemological Analysis of Statistics as the Science of Rational Guessing», *Acta Logica*, X (1967), pp. 61-91.



ciones como las existentes entre «más amable» y «menos amable» y, especialmente, entre «antes» y «después», que reflejan diferencias cualitativas, deben haber precedido durante largo tiempo a la práctica de la medición cuantitativa. Todas las cosas a las que son de aplicación términos como los anteriores pudieron llegar a organizarse de acuerdo con un orden mental definido. Sólo posteriormente se asignó un número de orden a cada uno de ellos, como debe haber ocurrido en primer lugar con los acontecimientos temporales y, probablemente, con el parentesco. Ese paso hacia la «categorización» representa la base del moderno concepto de medición *ordinal*. Ahora bien, la primacía del concepto categorizador sobre el de cantidad tuvo una influencia decisiva en el desarrollo de nuestras ideas en este cambio. Bertrand Russell observó acertadamente que los filósofos están totalmente equivocados al pensar que la cantidad es esencial para las matemáticas; donquiera que pueda aparecer, la cantidad no es «*actualmente* susceptible de tratamiento matemático»<sup>6</sup>. Pero incluso hoy en día es el orden, no la cantidad, quien ocupa el lugar central en la matemática pura.

Por más antiguos que sean los principios básicos de medición y por más frecuentemente que hayan sido discutidos en los últimos años, hemos percibido con bastante lentitud la diferencia esencial existente entre la medición cardinal y la puramente ordinal. En concreto, a partir del hecho de que la medición cardinal presupone la ordinalidad, hemos llegado con frecuencia a la conclusión de que distinguir entre la medición cardinal y la puramente ordinal es una sutileza irrelevante. Esta postura ignora por completo la sombra que la cualidad proyecta sobre la medición puramente ordinal. En efecto, las cosas abarcadas por una medición puramente ordinal tienen que variar necesariamente de forma cualitativa, pues en otro caso no habría absolutamente nada que nos impidiese adicionarlas y sustraerlas físicamente y, por consiguiente, construir para ellas una medición cardinal.

Por otra parte, hemos de reconocer que la mensurabilidad cardinal y la puramente ordinal representan dos polos extremos y que entre ellos hay sitio para ciertos tipos de medición en el que calidad y cantidad se entretengan de forma posiblemente ilimitada. Algunas variables, mensurables ordinalmente mas no cardinalmente, son de tal tipo que lo que nos parece ser su «diferencia» tiene una medición cardinal indirecta. Ejemplo de ello son el tiempo cronológico y la temperatura. Existe exclusivamente una norma para construir una escala de medición para esas variables que refleje su propiedad específica; debido a su frecuencia entre las variables físicas, propuse que se distinguiera a esa propiedad a través de la expresión *cardinali-*

<sup>6</sup> Bertrand Russell, *The Principles of Mathematics* (Cambridge, Ingl., 1903), p. 419. Las cursivas son mías para subrayar que la teoría matemática de la medición era todavía una cuestión bastante esotérica en la época de la afirmación de Russell.

*dad débil*<sup>7</sup>. Por razones evidentes, al igual que sucede con una medición cardinal normal, una medición cardinal débil se transforma fácilmente en otra instrumental.

Llegados aquí, aparece inevitablemente una cuestión espinosa: ¿existen atributos ordinalmente mensurables que tal vez no puedan medirse por un instrumento de lectura puntual? Cualquier respuesta definitiva a esta cuestión implica como mínimo una postura epistemológica definida, si no incluso una postura metafísica. La opinión predominante es que todos los atributos son susceptibles de medición instrumental: con tiempo suficiente somos capaces de inventar un instrumento de lectura puntual para cada atributo. Así, por ejemplo, la confianza de F. P. Ramsey en la invención final de algún tipo de psicogalvanómetro para medir la utilidad refleja claramente esa postura<sup>8</sup>. En defensa de Ramsey puede observarse que en la actualidad un contador de un ordenador electrónico podría mostrar el C. I. de un individuo una fracción de segundo después de haber pulsado un sistema de botones relacionados con la verdad-falsedad de una serie de cuestiones; y si se está satisfecho con la idea de que el C. I. mide la inteligencia, entonces la inteligencia *está* medida por un instrumento de lectura puntual. Por otro lado, está el hecho de que la dureza ha desafiado hasta ahora la consumada ingenuidad de los físicos y de que su escala sigue siendo exclusivamente cualitativa. No obstante, probablemente el ejemplo más destacado a este respecto lo ofrece la entropía: aunque esta variable es fundamental en la física teórica, no existe ningún *entropómetro* y los físicos no pueden ni siquiera sugerir cómo podría diseñarse<sup>9</sup>. Así, aunque la evidencia nos indica que la física ha sido capaz de idear instrumentos de medición para un número cada vez mayor de atributos mensurables, no respalda la opinión de que potencialmente todas las mediciones pueden reducirse a lecturas puntuales.

3. *El residuo cualitativo*. En todas las ecuaciones de la física, ya sea en la mecánica o en la estructura de la materia, las variables representan números. La única vía a cuyo través aparece explícitamente la calidad en esas ecuaciones es la de diferenciación de símbolos, como en  $E = mc^2$ , donde  $E$ ,  $m$  y  $c$  representan categorías discretamente diferenciadas o constantes. Por regla general, un físico no se preocupa en absoluto por

<sup>7</sup> Véase el artículo del autor «Measure, Quality, and Optimum Scale», p. 241.

<sup>8</sup> F. P. Ramsey, *The Foundations of Mathematics and Other Logical Essays* (Nueva York, 1950), p. 161. Como podría esperarse, Ramsey tuvo algunos famosos predecesores entre los hedonistas. Bentham parece haber sido el primero en soñar con un «termómetro moral» (*Works*, I, p. 304). Posteriormente, F. Y. Edgeworth, en *Mathematical Psychics* (Reimpresión, Londres, 1932), p. 101, llegó incluso a acuñar una palabra, «hedonímetro», para el instrumento de sus sueños.

<sup>9</sup> Otra variable importante en la física moderna que no es instrumentalmente mensurable es la función de movimiento ondular,  $\psi$ . Louis de Broglie, *Physics and Microphysics* (Londres, 1955), p. 80.

el hecho de que algunas variables sean mediciones cuantitativas mientras que otras miden cualidades cuantificadas. Sin embargo (como ya he expuesto en la sección precedente), la cuantificación de un atributo cualitativo no cambia la esencia del propio atributo ni, en consecuencia, puede destruir el ingrediente cualitativo de un fenómeno que lleve consigo tal atributo. Es así inmediatamente evidente que, puesto que la cuantificación no hace que desaparezca la cualidad, queda un residuo cualitativo que forzosamente debe trasladarse a la fórmula numérica con la que se describe el fenómeno, pues en caso contrario esa fórmula no constituiría una descripción adecuada. El problema consiste en hallar la forma en que el residuo cualitativo puede ocultarse en un esquema puramente numérico.

Un examen de las leyes fundamentales de la mecánica clásica nos mostrará la dirección en que va la respuesta. Como ya se ha resaltado, esa antigua rama de la física abarca exclusivamente variables cardinales. La Segunda Ley de Newton dice, en primer lugar, que el efecto de una fuerza sobre un cuerpo dado, esto es, la aceleración del movimiento de ese cuerpo, es *proporcional* a la cantidad de fuerza, y, en segundo lugar, que el efecto de una fuerza dada sobre cualquier cuerpo es *proporcional* a la masa de este último. Además, la esencia de la Ley de la Gravitación de Newton puede formularse de manera semejante: la atracción ejercida por un cuerpo sobre una unidad de masa es *proporcional* a la masa del cuerpo y está uniformemente difundida en todas las direcciones.

Podrían citarse otras leyes fundamentales de la física que afirman también la variación proporcional de las variables implicadas: las diferentes leyes de transformación de la energía o leyes famosas como la de Planck ( $E = hv$ ) y la de Einstein ( $E = mc^2$ ). La cuestión sobre la que quiero llamar la atención es que ese modelo simple no es un mero accidente; por el contrario, en todos esos casos, la variación proporcional de las variables es consecuencia inevitable del hecho de que cada una de tales variables está libre de cualquier variación cualitativa. En otras palabras, se trata en todos los casos de variables cardinales. La razón de todo esto es simple: si dos de esas variables están conectadas a través de una ley, *siendo la conexión inmediata en el sentido de que la ley no es una relación obtenida resumiendo una cadena de otras leyes*, lo que es cierto para un par de valores debe serlo también para todos los pares sucesivos; en caso contrario, habría alguna diferencia entre el primer par y, por ejemplo, el centésimo, lo que únicamente podría significar una diferencia cualitativa. Esta propiedad característica de las leyes *cardinales* (como propiamente han de denominarse las leyes que se están examinando) constituye la auténtica base sobre la que Cantor establece su famosa distinción entre número cardinal y ordinal. Se llega así, dice Cantor, a la noción de número cardinal haciendo abstracción de la variable cualidad de los elementos implicados y del orden en que se han «con-

tado»<sup>10</sup>. De hecho, la primera condición es la fundamental, ya que sin una diferencia cualitativa de algún tipo, el orden en el que contamos los elementos sigue siendo arbitrario y, por lo tanto, deviene inmaterial.

Existe, por consiguiente, una íntima conexión entre la cardinalidad y la linealidad homogénea de una fórmula con la que se expresa una ley directa. En base a este principio, la linealidad no homogénea indicaría por lo general que algunas de las variables poseen sólo una cardinalidad débil. Naturalmente, una relación lineal no homogénea es equivalente a una relación homogénea lineal entre las diferencias finitas de todas las variables.

Un contraste del principio recién expuesto es todavía más instructivo. Para ello, hay que volver a la rama de la física mencionada en último lugar, la de la estructura de la materia. Este campo abunda en cualidades cuantificadas: resistencia a la tracción, límite de elasticidad, flexión, etc. No precisamos sino abrir al azar cualquier tratado de estructura de la materia para convencernos de que ninguna ley que comprenda a tales variables se expresa a través de una fórmula lineal (de hecho, en algunos casos no hay ninguna fórmula sino únicamente un gráfico empíricamente determinado). La razón es, una vez más, sencilla. Sucesivos pesos iguales añadidos pueden considerarse como causas iguales, pero su efecto individual sobre la forma de una viga no es el mismo. Al ser la deformación una cualidad mensurable, el grado  $n$ -simo de deformación no es cualitativamente idéntico a ninguno de los grados precedentes ni, por otra parte,  $n$  grados de deformación «representan la inclusión de  $n$  veces «un grado de deformación». Se llega así al principio correlativo al expuesto en el párrafo anterior: el carácter no lineal es el aspecto con el que el residuo cualitativo aparece en una fórmula numérica de un fenómeno relacionado con la cualidad.

Podría pensarse en refutar esa conclusión a través de la *medición implícita*, esto es, eligiendo una escala ordinal para la cualidad cuantificada de modo que se transformase la relación no lineal en otra lineal. Joan Robinson intentó en una ocasión aplicar esta idea a la eficiencia del factor trabajo<sup>11</sup>. La razón por la que tal intento fracasó es de carácter general: hay que establecer una medición implícita para *cada* situación a la que se refiere la relación, lo que no sería medición alguna. Además, muchos de los fenómenos relacionados con la cualidad tienen una especie de punto culminante, seguido por un rápido desplome; semejante variación no monótona no puede representarse por una función lineal.

La situación no es tan clara en el caso de la linealidad homogénea. Algunas leyes que abarcan a la cualidad cuantificada se expresan, no obstante, como variaciones proporcionales. Un ejemplo de ello es la ley de Ro-

<sup>10</sup> G. Cantor, *Contributions to the Foundations of the Theory of Transfinite Numbers* (Nueva York, sin fecha), p. 86.

<sup>11</sup> Joan Robinson, *The Economics of Imperfect Competition* (Londres, 1938), p. 109 y *passim*.

bert Hooke: la tensión elástica es proporcional a la presión de la carga. Sin embargo, la contradicción es meramente superficial, pues en todos esos casos la fórmula lineal es válida sólo para una zona determinada e incluso para tal zona representa exclusivamente una aproximación práctica, una norma empírica<sup>12</sup>. Todos esos casos sugieren que alguna de las restantes leyes actualmente expresadas por fórmulas lineales pueden ser sólo una norma empírica. Un día cualquiera puede descubrirse que el carácter lineal se derrumba fuera de la zona abarcada por experimentos anteriores. La moderna historia de la física ofrece varios ejemplos de tales descubrimientos. Posiblemente, el más instructivo de todos ellos sea la famosa fórmula propuesta por H. A. Lorentz para la adición de velocidades. En la fórmula clásica, derivada del principio de que causas iguales producen efectos iguales sobre la velocidad, tenemos  $V = v + v + \dots + v = nv$ , que es una función lineal homogénea de  $n$ , es decir, de escala. Ahora bien, para la misma situación y como se demuestra fácilmente, la ley de Lorentz da como resultado  $V = c [(c + v)^n - (c - v)^n] / [(c + v)^n + (c - v)^n]$ . En este caso, el efecto de cada  $v$  adicional se reduce juntamente con la escala  $n$ . Podemos entender así por qué los físicos no pierden oportunidad alguna de criticar la extrapolación de cualquier ley conocida fuera del campo de los experimentos concretos<sup>13</sup>. Incluso aunque las críticas no se tomen en sentido literal, su base es incuestionable. Parece, por tanto, que si suponemos que la cardinalidad es una propiedad física tendremos igualmente que admitir que también esta propiedad podría estar limitada a una zona determinada del quantum. Se justificaría así la afirmación de Hegel de que los cambios cuantitativos acarrear en último término cambios cualitativos<sup>14</sup>, y ello a lo largo de todo el campo de la física y probablemente con una amplitud ni siquiera pretendida por Hegel. En efecto, si la afirmación se aplica a la cantidad en sí misma pierde todo su significado<sup>15</sup>.

Por otra parte, ningún físico (que yo sepa) ha denunciado la extrapolación de la cardinalidad, ni mucho menos la existencia de variables cardinales. Para un físico, la medición instrumental típica implica la comparación de dos casos de la *misma* variable. Sin embargo, sólo en unos pocos casos puede incluirse o compararse *directamente*. La longitud y la masa son los ejemplos por excelencia, razón por la que se engloban en el sistema funda-

<sup>12</sup> Ejemplos semejantes son mucho más frecuentes en los campos orgánicos. En psicología, la ley de Weber dice que el umbral de percepción es proporcional a la intensidad del estímulo aplicado; en economía, tenemos el Principio de la Aceleración.

<sup>13</sup> Bridgman, *Logic of Modern Physics*, p. 203; P. W. Bridgman, *The Intelligent Individual and Society* (Nueva York, 1938), p. 13; Werner Heisenberg, *Physics and Philosophy: The Revolution in Modern Science* (Nueva York, 1958), pp. 85 y s.

<sup>14</sup> *The Logic of Hegel*, trad. W. Wallace (2ª edición, Londres, 1904), pp. 203 y *passim*.

<sup>15</sup> «En la cantidad tenemos un alterable que, pese a las alteraciones, sigue siendo el mismo». *Ibid.*, p. 200.

mental de unidades sobre el que descansa la operatividad instrumental de la física. Aunque el sistema incluya también el tiempo, este no es una variable fundamental en el mismo sentido en el que lo son la longitud y la masa. Para englobar o comparar dos intervalos de tiempo hay que medirlos primero por medio de algún tipo de reloj (que proporciona una medición indirecta del tiempo a través de la longitud). La medición del tiempo, al igual que muchas otras mediciones de la física, se basa en una convención en gran parte arbitraria<sup>16</sup>. Precisamente por estas razones, cuando la cardinalidad de la longitud pareció estar amenazada por la fórmula contractiva de Lorentz, fue la cardinalidad del tiempo newtoniano la que se sacrificó en su lugar: la fórmula Einsteiniana para la «contracción» del tiempo salvó la cardinalidad de la longitud. El resultado es que si una variable es de tal tipo que su medición cardinal actual se encuentra establecida dentro de un sistema cerrado —es decir, sin referencia alguna a otras variables a través de cualesquiera instrumentos de medición— es difícil concebir razones en favor de un abandono de la cardinalidad en el futuro. Posiblemente, era propósito de Hegel que se aplicase la cantidad sólo a tales variables primarias.

Sea como sea, descubrimos que algunas variables actualmente consideradas cardinales no lo son realmente —como pasaba con el tiempo y la velocidad—, pero en todo caso no parece posible que ninguna ciencia pueda deshacerse de la cantidad en su totalidad de igual manera que no puede ignorar por completo la cualidad. Y ello porque todas las leyes de la física se reducirían a proposiciones no métricas, topológicas, llegando así su éxito prácticamente a su fin. Esta cuestión es importante, por lo que voy a ilustrarla ahora con algunos ejemplos extraídos de la economía.

4. *El problema del tamaño*. Sin olvidar en modo alguno las advertencias que he señalado en el análisis anterior, por regla general puede esperarse que si las variables *inmediatamente relacionadas* con un fenómeno son cardinalmente mensurables, pueden incrementarse todas ellas en la misma proporción y seguir representando así el mismo fenómeno. En ese caso, la fórmula que describe el fenómeno debe ser homogénea y lineal o, más generalmente, una función homogénea de primer grado. Por otro lado, si una variable determinada es una cualidad cuantificada, parece que nadie puede poner en duda nuestra creencia en que la fórmula será no lineal.

Puesto que la primera situación caracteriza un fenómeno (o un proceso) *con indiferencia del tamaño*, es evidente que el problema del tamaño surge únicamente en el caso de procesos que llevan consigo cualidades cuantificadas, y viceversa. No es preciso añadir que lo mismo sería aplica-

<sup>16</sup> Debido precisamente a que el tiempo no es una variable primaria, E. A. Milne, en *Kinematic Relativity* (Oxford, 1948), p. 37, pudo sugerir con total libertad que el tiempo debía medirse no en la escala  $t$  del reloj ordinario sino en la escala  $e'$ .

ble incluso con más intensidad a procesos que implicasen cualidades no cuantificables. La conclusión es que el problema del tamaño se encuentra estrictamente limitado a procesos vinculados a la cualidad.

La cuestión que deseo subrayar es que en apoyo de esa conclusión no he recurrido a una sola prueba no incluida en el campo de la materia inerte. El hecho de que sea la física la que nos enseña que el tamaño se encuentra indisolublemente ligado a la cualidad requiere, por consiguiente, una especial atención por parte de los estudiosos de los fenómenos vitales. Así pues, la opinión predominante en lo que respecta al tamaño, que constituye uno de los más importantes capítulos de la biología y de las ciencias sociales, ha consistido en que el problema aparece exclusivamente en tales ciencias debido a que sólo tienen que estudiar organismos.

La idea de que el tamaño óptimo de un elefante o de un mosquito se encuentra determinado no por el capricho de la criatura o por un accidente sino por leyes físicas relacionadas con cualidades cuantificadas es, curiosamente, relativamente antigua, más antigua que el origen de la biología sistemática. Fue expuesta por vez primera por Galileo de forma tan penetrante que merece citarse textualmente el párrafo en que la resume:

«A partir de lo que ya se ha demostrado, puede observarse con claridad la imposibilidad de aumentar el tamaño de las estructuras hasta dimensiones enormes, tanto en su carácter como en su naturaleza; *lo mismo* (sucede) *con la imposibilidad de construir barcos, palacios o templos de enorme tamaño* de tal modo que sus remos, vergas, vigas, cerrojos y, en resumen, todas las demás partes se mantengan unidas; y tampoco puede la Naturaleza producir árboles de tamaño extraordinario, pues las ramas se romperían por su propio peso; así, también sería imposible construir las estructuras óseas de los seres humanos, de los caballos o de otros animales manteniéndolas unidas y llevando a cabo sus funciones normales en el caso de que estos animales aumentasen extraordinariamente su altura, porque ese aumento únicamente podría realizarse empleando un material más duro y fuerte de lo habitual o alargando el tamaño de los huesos, con lo que se modificaría su aspecto hasta el punto en que la forma y apariencia de los animales sugiriese una monstruosidad»<sup>17</sup>.

Si los biólogos (incluso desde que Herbert Spencer redescubriera la argumentación de Galileo) han sido capaces tanto de aceptar la idea de la conexión íntima entre el tamaño biológico y las leyes de la estructura de la materia como de explorar minuciosamente sus implicaciones<sup>18</sup>, se debe a

<sup>17</sup> Galileo Galilei, *Dialogues Concerning Two New Sciences*, trad. H. Crew y A. de Salvio (Chicago, 1939), p. 130. Las cursivas son mías.

<sup>18</sup> Herbert Spencer, *The Principles of Biology* (2 volúmenes, Nueva York, 1886), I, pp. 121 y ss. Prácticamente todos los biólogos de renombre han escrito sobre esta materia: por ejemplo, J. B. S.

que únicamente los biólogos se han interesado por lo que sucede dentro del organismo individual. El habitual complejo de flujos del economista conduce a la postura de que lo que sucede dentro de una unidad de producción afecta exclusivamente al ingeniero y que la economía se ocupa únicamente de los flujos observados a pié de planta, es decir, de los *flujos entre unidades*. Y este complejo de flujos es responsable de muchas visiones miopes del proceso económico.

En realidad, aparte de unas pocas excepciones, los economistas (al igual que otros científicos sociales) se han opuesto a cualquier sugerencia en el sentido de que el concepto general de organismo pueda ser una herramienta útil en su propio campo. Su visión innatamente mecanicista de la explicación científica ha impulsado a muchos a calificar incluso a ese concepto de acientífico y, naturalmente, a negar su uso legítimo en cualquier ciencia especial. Como resultado de ello, sigue sin resolverse en el campo de la economía el problema de si existe un tamaño óptimo de la unidad de producción. Aparentemente cansados de esa controversia sin fin, numerosos economistas han dejado ahora de prestar atención al problema, pero la bibliografía de años y épocas pasadas relacionada con el mismo contiene varias argumentaciones altamente ingeniosas, si bien muy específicas, contra la existencia de un tamaño óptimo. Curiosamente, muchas de esas argumentaciones, a ambos lados de la barrera, implican en realidad analogías biológicas; algunas se desarrollan en términos de «anti-hombres» y «anti-máquinas»<sup>19</sup>.

Una de las argumentaciones, la que se enfrenta al problema desde una posición independiente y gusta enormemente a muchos economistas, puede parecer a primera vista tener cierta afinidad con el principio defendido al comienzo de la presente sección. La argumentación afirma que, si se tienen en cuenta *absolutamente todos* los elementos pertinentes de los fenómenos, las leyes de la Naturaleza se expresan siempre a través de funciones homogéneas de primer grado; si —como suele ser con frecuencia el caso— nuestras observaciones nos conducen a un tipo diferente de fórmula, no se trata de una prueba contra esa afirmación sino de un indicador positivo de que hemos ignorado algunos factores. El hecho curioso en torno a esta tesis es que, aun en el caso de que fuese válida, no tiene relación alguna con el problema económico del tamaño óptimo de la unidad de producción. Indudablemente, el problema económico no depende de todos los factores pertinentes, pues algunos de estos son bienes libres. Por otra parte, si se la

Haldane, *Possible Worlds and Other Papers* (Nueva York, 1928), pp. 20-28, pero ninguno la ha abarcado más genial y completamente que D'Arcy W. Thompson, *On Growth and Form* (2 volúmenes, 2.ª edición, Cambridge, Ingl. 1952), I, pp. 22-77.

<sup>19</sup> En lo que se refiere a la crítica de la más popular de esas argumentaciones, véase mi trabajo «Chamberlin's New Economics and the Unit of Production», en *Monopolistic Competition Theory: Studies in Impact*, edit. por R. E. Kuenne (Nueva York, 1967), pp. 31-62.

contempla como principio general de la Naturaleza, la tesis no solamente es operativamente inútil —como lo subrayó Samuelson—<sup>20</sup> sino también categóricamente incongruente. En efecto, sea  $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$  la expresión linealmente homogénea de una ley completa, esto es, cuando se tienen en cuenta todos los factores pertinentes  $X_1, X_2, \dots, X_n$ . Supongamos que  $X_n$  es el factor ignorado y que no hay errores de observación<sup>21</sup>. En el caso general, nuestras observaciones se dispersarán a lo largo de un campo  $n$ -dimensional del espacio  $(y, x_1, x_2, \dots, x_{n-1})$  y, en consecuencia, no seremos ni siquiera capaces de sospechar la existencia de una ley. Si, no obstante, sucede que todas las observaciones se encuentran en una hipersuperficie,  $y = g(x_1, x_2, \dots, x_{n-1})$ ,  $X_n$  es un factor espurio y la última ecuación será la ley en su totalidad. Es decir, todas las leyes observadas deben ser leyes completas y, dado que no todas las leyes observadas se expresan a través de funciones lineales homogéneas, se demuestra así lo absurdo de la tesis.

5. *Identidad y proceso*. Como continuación de las observaciones precedentes, hay que subrayar ahora una cuestión: el problema del tamaño se encuentra indisolublemente ligado a la noción de identidad, en concreto a la noción de «mismo fenómeno» o «mismo proceso». En economía, preferimos la expresión «unidad de producción» a la de «mismo proceso», con el fin de recalcar el criterio abstracto a través del cual se establece la identidad. Cualquiera que sea la expresión que utilicemos, la identidad sigue siendo fundamentalmente una noción primaria no susceptible de formalización completa. «El mismo proceso» es un tipo de acontecimientos análogos y plantea incluso más dificultades que «el mismo objeto». Ahora bien —en este caso aún menos que en otros—, no debemos permitir que nuestro análisis encalle en este tipo de dificultad. Hay muchas cuestiones que pueden explicarse provechosamente si admitimos que, pese a no ser analizable, «identidad» es en la mayoría de los casos un concepto operativo.

Así pues, sean  $P_1$  y  $P_2$  dos momentos distintos de un proceso. El problema del tamaño surge únicamente en aquellos casos en los que es posible englobar  $P_1$  y  $P_2$  *in vivo* en otro momento  $P_3$  del mismo proceso. Si esto es posible, diremos que  $P_1$  y  $P_2$  se suman internamente y escribiremos

$$(1) \quad P_1 \oplus P_2 = P_3$$

Podemos decir también que  $P_3$  está *dividido* entre  $P_1$  y  $P_2$  o que el correspondiente proceso ( $P$ ) es *divisible*. A modo de ejemplo, si las masas  $m_1$  y  $m_2$  se transforman en las energías  $E_1$  y  $E_2$ , respectivamente, en dos momentos distintos  $P_1$  y  $P_2$ , esos momentos particulares pueden sumarse in-

<sup>20</sup> Paul A. Samuelson, *Foundations of Economic Analysis* (Cambridge, Mass., 1948), p. 84.

<sup>21</sup> La última hipótesis es absolutamente necesaria para probar la tesis, que, hay que resaltarlo, no tiene nada que ver con los errores de observación ni, en realidad, con la cuestión de las aproximaciones sucesivas.

ternamente porque existe un momento del mismo proceso que transforma  $m_1 + m_2$  en  $E_1 + E_2$ . Podemos dividir también  $P_3$  en  $P_1$  y  $P_2$  o incluso en dos mitades de  $P_3$ , siempre que  $P$  no posea una unidad natural e indivisible. No es preciso decir que no podemos dividir (en el sentido estricto de la palabra) procesos del tipo de «elefante» o ni siquiera de «Harvard University».

Es evidente que la adición interna *in vivo* es lo que explica el carácter lineal de la correspondiente operación sobre el papel, porque, si bien es posible englobar  $P_1$  y  $P_2$ , aunque represente un momento de un proceso *diferente*, nuestras operaciones sobre el papel ponen de manifiesto un término no lineal<sup>22</sup>.

Otra cuestión que merece atención es que los procesos también pueden *sumarse externamente*. En este supuesto,  $P$  y  $P$  no precisan ni siquiera ser momentos del mismo proceso. En la adición externa,

$$(2) \quad P' + P'' = P'''$$

$P'$  y  $P''$  conservan su individualidad (separación) *in vivo* y se agrupan únicamente en el pensamiento o en el papel. Así pues, la adición externa y la interna son dos nociones totalmente distintas.

Cuando un contable consolida varios balances en uno solo o cuando calculamos el producto nacional neto de una economía, no hacemos más que sumar externamente todos los procesos productivos. Esas operaciones sobre el papel no implican necesariamente una fusión real de los procesos afectados. En la contabilidad, todos los procesos son aditivos, razón por la que deberíamos distinguir con claridad el proceso de una unidad de producción (planta o empresa) del de la *industria*. El problema estriba en que una industria puede desarrollarse gracias al aumento de procesos de producción *inconexos*, pero el crecimiento de una unidad de producción es el resultado de un cambio morfológico interno.

De todo ello se concluye que, si las unidades externamente sumadas en el proceso contable de la industria son *idénticas*, la proporcionalidad dominará las variaciones de las variables afectadas, inputs y outputs. Así pues, la constancia de los rendimientos de escala es una propiedad tautológica de una industria granular<sup>23</sup>. En la medida en que una industria represente un aumento de empresas prácticamente idénticas, no puede plantearse reparo

<sup>22</sup> Este término refleja lo que podemos denominar interacción originada por la combinación de dos fenómenos individuales distintos. Para obtener una explicación instructiva, puede remitirse al lector a la interpretación que hace E. Schrödinger del término no lineal en la ecuación de la mecánica ondulatoria. E. Schrödinger, «Are There Quantum Jumps?», *British Journal for the Philosophy of Science*, III (1952), p. 234.

<sup>23</sup> Utilizo la expresión «industria granular» en lugar de «industria atomística» no sólo porque actualmente la última puede dar lugar a confusión sino también porque la propiedad de rendimientos de escala constantes no exige necesariamente que el número de empresas sea extraordinariamente grande.



alguno a la hipótesis de coeficientes de producción constantes en el sistema de Wassily Leontief.

Una cuestión relacionada con la argumentación anterior puede inducir a error. Puesto que he afirmado que los fenómenos que implican exclusivamente a variables cardinalmente mensurables son necesariamente indiferentes a la escala, podría sostenerse que con ello he ofrecido como mínimo el mejor argumento contra la existencia de la dimensión óptima de la planta. Así, un crítico podría preguntar: en general, ¿no son los inputs y los outputs de una planta cardinalmente mensurables?

Semejante interpretación ignoraría la auténtica esencia de mi argumentación, que dice que sólo si las variables cardinalmente mensurables se encuentran vinculadas de forma inmediata —como lo están causa y efecto en el estricto sentido de la expresión— podemos esperar que la ley se exprese a través de una fórmula lineal homogénea. Volviendo a uno de los ejemplos utilizados anteriormente, podemos esperar que la aceleración sea proporcional a la fuerza porque ésta afecta a aquella de forma directa: que sepamos, no existe entre ambas vínculo intermedio alguno. Tampoco he insinuado que la cardinalidad por sí misma baste para justificar formulaciones de leyes homogéneas y lineales. Imagino la cardinalidad como propiedad física que permite ciertas operaciones definidas ligadas a la medición y, por tanto, como propiedad establecida con anterioridad a la descripción de un fenómeno que afecta a variables cardinales. Precisamente por esa razón, no estaría de acuerdo con la opinión de Schrödinger de que la energía puede ser en unos casos «un “concepto cuantitativo” (Quantitätsgrösse)» y en otros «un “concepto cualitativo” o un “concepto de intensidad” (Intensitätsgrösse)»<sup>24</sup>. Aunque puede parecer evidente hoy en día, en mi opinión la distinción debería hacerse entre procesos internamente aditivos y no aditivos, en lugar de decir que la cardinalidad de una variable cambia con el proceso en el que entra.

Por lo que se refiere al caso de una unidad de producción, todo economista deseoso de abandonar el complejo de flujo debería tener claro que inputs y outputs no están *directamente relacionados* y que, por consiguiente, no existe *a priori* razón alguna para esperar que la función de producción sea homogénea de primer grado. La familiar función de producción de la planta es la expresión de la adición externa de una serie de procesos físicos, perteneciente cada uno de ellos a una de las operaciones necesarias

Este número debe ser sólo lo suficientemente grande como para hacer impracticable que cualquier empresa pueda predecir el efecto *final* sobre el mercado de cualquier estrategia que pueda adoptar, es decir, lo bastante grande como para que sea infructuosa la competencia entre intraespecies. Es evidente que existe una penumbra de números que satisface precisamente esa condición y que su magnitud depende del estado del análisis de estrategias, del conocimiento que el empresario tenga de tal estrategia y de la información de que normalmente pueda disponer cada empresa.

<sup>24</sup> Schrödinger, «Are There Quantum Jumps?», p. 115.

para transformar en producto(s) el input de materiales. Debido a que muchos de esos procesos intermedios están relacionados con la cualidad, ningún proceso de la planta puede ser indiferente a la escala. Sabemos que el valor productivo de muchos inputs que indudablemente son cardinalmente mensurables no reside en su quantum material. Aunque los materiales se adquieren según su peso o volumen, lo que en verdad adquirimos frecuentemente es resistencia a la tensión, al calor, etc., es decir, cualidad, no cantidad. Esto es cierto sean o no tales materiales perfectamente divisibles. Por todo ello, la denominada tesis tautológica —que la perfecta divisibilidad de los factores supone rendimientos de escala constantes— es totalmente inútil; el que, pese a todo, pueda tener cierto atractivo se debe exclusivamente a que, a lo largo de la argumentación, «divisibilidad de factores» se confunde con «divisibilidad de procesos». Aunque sea así, la argumentación no es ya aplicable a la unidad de producción pues, con complicaciones innecesarias, únicamente demuestra una característica tautológica de una industria molecular.

6. *Cardinalidad y residuo cualitativo*. Posiblemente la mayor revolución en las matemáticas modernas fue causada por la noción de grupo, de Evariste Galois. Gracias a la aportación de Galois, las matemáticas cayeron en la cuenta de que una serie de propiedades, hasta entonces consideradas totalmente distintas, encajaban en el *mismo modelo abstracto*. La economía de pensamiento lograda al descubrir y estudiar otros modelos abstractos en los que podía reflejarse una multitud de situaciones es tan evidente que los matemáticos han desviado cada vez más su atención en este sentido, es decir, hacia el formalismo. Un ejemplo instructivo del poder del formalismo es el modelo abstracto que corresponde perfectamente al mismo tiempo a las relaciones punto-línea de la geometría Euclideana y a la organización de cuatro personas en clubes de dos miembros<sup>25</sup>. En repetidas ocasiones, el éxito del formalismo en las matemáticas condujo a la postura epistemológica de que la base del conocimiento se compone exclusivamente de modelos formales: el hecho de que en el ejemplo recién mencionado el modelo se aplique a puntos y líneas, en un caso, y a personas y clubes, en el otro, es una cuestión totalmente secundaria. A través de un procedimiento semejante —que toda escala de medición puede convertirse en otra a través de una transformación monótona y que, en consecuencia, esta última es el modelo formal de la medición— se ha llegado a negar a la cardinalidad todo significado epistemológico. De acuerdo con esta opinión, no hay razón alguna para que un carpintero no pueda contar uno, dos, ..., 2<sup>n</sup>, al extender su medición una vez, dos veces, ..., *n* veces o, como sugiere Broglie, utilizar una regla logarítmicamente graduada.

<sup>25</sup> Véase R. L. Wilder, *Introduction to the Foundations of Mathematics* (Nueva York, 1956), pp. 10-13.



Al ser estas las objeciones típicas contra la distinción entre diversas clases de mensurabilidades, equivalen a afirmar que no existen razones objetivas para distinguir, por ejemplo, un pez de un insecto, porque ¡ambos son animales! Louis de Broglie continua aun diciendo que la cardinalidad es una idea arbitraria (como máximo, una mera convención) que refleja hábitos inconscientes e intuiciones superficiales<sup>26</sup>; con lo que nos deja preguntándonos si un físico limpio de tales impurezas podría seguir llevando a cabo cualquier operación rutinaria en su laboratorio. Para demostrar así que la cardinalidad es un problema de convención, Broglie plantea el caso de dos gases que tienen el *mismo* número de moléculas. Siendo  $E_1$  y  $E_2$  las energías calóricas de esos gases, la relación  $E_1 = kE_2$  implica, como es sabido, que las temperaturas absolutas,  $T_1$  y  $T_2$ , satisfacen la relación análoga  $T_1 = kT_2$ . Es decir, tenemos aquí una convención que transfiere la cardinalidad de la energía calórica a la temperatura absoluta. La argumentación, no obstante, logra únicamente que se sea más plenamente consciente de por qué la temperatura absoluta no es una variable cardinal. El contraste es ahora más acusado: la longitud es una variable cardinal, debido a que podemos realizar determinadas operaciones directamente con ella (podemos, por ejemplo, englobar longitudes) y no debido a que podamos hacer una convención completamente análoga a la de Broglie, tomando como base el hecho de que las longitudes de dos rectángulos de la *misma* anchura son proporcionales a las dos áreas.

Hay también economistas que han propuesto la relatividad de la medición. Aparentemente, no fueron capaces de ver que ese enfoque socava todos los cimientos sobre los que descansa la ciencia económica. En efecto, esos cimientos están formados por un puñado de principios, todos los cuales afirman que cualquier fenómeno específico está sujeto a variaciones de crecimiento o decrecimiento. No existe excepción alguna, ya pertenezca el principio a los fenómenos de consumo o a los de producción: utilidad marginal decreciente, tasa marginal de sustitución decreciente, economías internas crecientes, etc.

Es una cuestión relativamente simple ver que esos principios pierden su significado si la cardinalidad es falsa. Evidentemente, si no existe base epistemológica para medir los cereales de una u otra forma, la utilidad marginal puede estar creciendo o decreciendo libremente a lo largo de cualquier intervalo dado. Por sorprendente que pueda parecer, la relatividad de la medición daría lugar a un desastre mayor en el estudio de la producción que en el del consumo. En ese caso, podría darse a las isocuantas, a las curvas de costes, a las curvas de nivel, etc., prácticamente cualquier

<sup>26</sup> Louis de Broglie, *Physics and Microphysics*, pp. 81 y s.

pendiente que se quisiera<sup>27</sup>. El problema de si la física teórica necesita una base cardinal cae fuera del alcance del presente ensayo, pero difícilmente puede haber dudas de que, debido a su carácter pedestre, la actividad económica no puede existir sin una base semejante.

Compramos y vendemos la tierra por acres debido a que frecuentemente la tierra es homogénea a lo largo de grandes extensiones; y, debido a que tal homogeneidad no es general, tenemos la renta diferencial. Imaginemos lo extraordinariamente complicada que sería la vida económica si adoptásemos una medición ordinal de la tierra, elegida de tal modo que eliminase la renta diferencial, y pensemos solamente en aplicar la misma idea a todas las variables económicas que implican variaciones cualitativas.

Dado que la cardinalidad está ligada a la total ausencia de variación cualitativa, representa una especie de origen natural de la cualidad. El hecho de eliminarla de la caja de nuestras herramientas descriptivas equivale a destruir también todo punto de referencia a la cualidad. Todo se reduciría a «esto» o «eso», idea que sería especialmente perniciosa si se aplicase en economía. Cualquiera de los principios básicos sobre los que descansa buena parte del análisis económico es en el fondo expresión de cierto residuo cualitativo derivado de la proyección sobre una cuadrícula cardinal de fenómenos relacionados con la cualidad. Por poner un ejemplo, el principio de la elasticidad decreciente de la sustitución de factores no es más que un residuo. Un examen crítico de su justificación revelaría fácilmente que los factores sustituibles pertenecen a una categoría especial mencionada anteriormente: participan en el proceso productivo a través de sus propiedades cualitativas. La otra categoría de factores, acarreados a través del proceso como meras sustancias de cualquier tipo, no puede, estrictamente hablando, originar ningún residuo cualitativo ni, por tanto, dar lugar a la sustitución; como ejemplo a este respecto, puede citarse los inputs de cobre y cinc en la producción de un latón determinado. Así pues, se llega a la conclusión de que toda relación entre dos inputs, o entre un input y el output, puede o no mostrar un residuo cualitativo según sea el tipo de papel que los correspondientes factores desempeñan en el proceso productivo. Esta diferencia es responsable de la gran variedad de modelos que puede exhibir una función de producción y que se encuentra abarcada por la noción general de la cualidad de limitación<sup>28</sup>.

Muchos economistas sostienen que la economía es una ciencia deductiva. El anterior análisis del carácter de los principios básicos propios de las variaciones cuantitativas de los bienes económicos cardinalmente mensurables jus-

<sup>27</sup> Para obtener más detalles, véase mi artículo antes citado, «Measure, Quality, and Optimum Scale», pp. 234 y 246.

<sup>28</sup> Las observaciones anteriores pueden contemplarse como ideas adicionales a mi trabajo del año 1935, «Fixed Coefficients of Production and the Marginal Productivity Theory», reimpreso en *AE*, trabajo que representa sin duda el primer intento de un análisis general de la cualidad de limitación con relación al mecanismo de fijación de precios.

tifica su postura, si bien sólo en parte. Evidentemente, afirmar la existencia de un residuo cualitativo es un juicio sintético *a priori* antes que una proposición empírica, pero únicamente a través de la evidencia objetiva podemos averiguar si el residuo cualitativo está representado por variaciones crecientes o decrecientes. La cuestión parece suficientemente evidente, pero, en todo caso, deseo ilustrarla a través de un ejemplo especialmente instructivo.

Mientras tanteaba la idea de que la característica fundamental del mapa de preferencias en *un campo de bienes cardinalmente mensurables* refleja un residuo cualitativo, en un artículo del año 1954 reemplacé el principio de tasa marginal de sustitución decreciente por una nueva proposición que destaca la cualidad en primer plano. Para expresarlo de forma elemental, mi punto de partida consistió en que si *diez libras* de patatas y *diez libras* de harina de trigo pueden ser rentas equivalentes para un consumidor, una renta de *diez libras* de cualquier mezcla de patatas y harina de trigo podría no ser equivalente a ninguna de las alternativas iniciales. Esta afirmación negativa no hace más que reconocer la existencia de un residuo cualitativo en el mapa de preferencias y, por lo tanto, no precisa de apoyo empírico: es suficiente el «axioma» de que la elección se encuentra relacionada con la cualidad. Ahora bien, bajo la influencia de la noción tradicional de que las curvas de indiferencia son *evidentemente* convexas, di un paso más y afirmé que la mezcla de diez libras se prefiere (generalmente) a cualquiera de las otras dos. Por razones obvias, llamé al postulado así expuesto *Principio de Complementariedad*<sup>29</sup>. Carl Kaysen puso en duda el postulado basándose en que algunos ingredientes pueden producir perfectamente una mezcla nauseabunda. En aquella época, apenas estuve preocupado por esa objeción, pues me encontraba satisfecho por la observación de que mi postulado no impulsa al individuo ni a mezclar realmente los ingredientes ni a consumirlos en un orden determinado. Fue sólo más tarde cuando caí en la cuenta de la importancia de la cuestión planteada por Kaysen, al ocurrírseme un simple contra-ejemplo del postulado: a un amigo de los animales puede serle indiferente tener dos perros o dos gatos, pero podría encontrar la vida desagradable si tuviese un perro y un gato. El ejemplo pone de manifiesto que, dado que algunos bienes pueden tener un efecto antagónico, el Principio de Complementariedad no es generalmente válido. Como ya he dicho, únicamente la evidencia objetiva puede determinar la dirección en la que el residuo cualitativo perturba la proporcionalidad, y, dado que sin especificar esa dirección los principios fundamentales de la economía carecen prácticamente de valor, la postura de que existen *a priori* verdades sintéticas sólo está justificada a medias. Al igual que en todas las medias verdades, esa postura ha tenido algunos efectos desafortunados sobre nuestros pensamientos.

<sup>29</sup> Véase la Sección II de «Choice, Expectations, and Measurability» (1954), reimpresso en *AE*.

## CAPÍTULO V

### NOVEDAD, EVOLUCIÓN Y ENTROPÍA: NUEVAS LECCIONES OBJETIVAS DE LA FÍSICA

1. *Teoría y novedad.* La moderna filosofía de la ciencia no presta normalmente suficiente atención al hecho de que el estudio de la materia inerte se encuentra dividido entre física y química. Probablemente se piensa que la separación de química y física es una cuestión de tradición o de división del trabajo, pero, si únicamente fueran esas las razones, la química se hubiera convertido hace ya mucho tiempo en una rama ordinaria de la física, al igual, por ejemplo, que la óptica o la mecánica. En una época en la que el credo de la ciencia unificada domina el mundo intelectual, ¿por qué siguen existiendo los puestos fronterizos? El reciente establecimiento de la química física como vínculo intermedio entre física y química pone claramente de manifiesto que la fusión completa se ve impedida por alguna razón muy profunda y que no es otra sino que la química no posee un código teórico metódico. Por lo tanto, únicamente perjuicios podrían derivarse de dejar entrar ese caballo de Troya en la ciudadela de la física<sup>1</sup>.

Puede sentirse gran desconcierto ante la observación de que no existe una química teórica. Después de todo, la química, al igual que la física, se ocupa de cantidades y de cualidades cuantificadas. El hecho de que dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno se combinen para formar una molécula de agua es un ejemplo de proposición química cuantitativa. En realidad, la química sí estudia algunas cualidades materiales cuantificadas: color, dureza, acidez, impermeabilización, etc., pero en último término incluso esas propiedades cualitativas se expresan a través de proposiciones aritmomórficas. *Prima facie*, por tanto, nada puede evitar que pasemos todas las proposiciones químicas a través de un tamiz lógico para separarlas

<sup>1</sup> El lector que desee encontrar en W. Heisenberg, *Physics and Philosophy: The Revolution in Modern Science* (Nueva York, 1958), p. 101, la afirmación de que física y química «han llegado a una unión completa» deberá tener en cuenta que con ello Heisenberg únicamente quiere decir que la química trata ahora también la materia como compuesta por átomos de Bohr.

en una clase- $\alpha$  y una clase- $\beta$  (como se sugería en el Capítulo I, Sección 5). Así pues, ¿por qué no hay una *teoría* química?

Para responder a esa cuestión, hay que observar que, a pesar de la forma estocástica de sus leyes y de la indeterminación de las observaciones instrumentales, la física sigue siendo una ciencia mecanicista, si se da a esta expresión un significado más amplio que conserve el decisivo artículo de la fe clásica. En este sentido, una ciencia es mecanicista si, en primer lugar, adopta solamente un número finito de elementos cualitativamente diferentes y si, en segundo lugar, asume un número finito de leyes fundamentales que relacionen esos elementos con cualquier otra cosa del mismo campo fenomenológico. El hecho de que las leyes fundamentales puedan ser complementarias en el sentido de Bohr no constituye un impedimento en este contexto. Ahora bien, la física puede dejar de ser mecanicista si la actual tendencia a descubrimientos de una partícula elemental tras otra lleva a la conclusión de que el número de tales partículas es ilimitado. Con una infinidad *cualitativa* a nivel elemental, el sistema de leyes fundamentales tendría que ser igualmente infinito. En ese caso, ya no sería posible lograr cualquier economía del pensamiento a través de un examen cuidadoso de todas las proposiciones. Lo más que podríamos hacer sería clasificar todas las proposiciones en un número finito de clases utilizando determinado criterio de afinidad o, lo que sería más práctico, en grupos de acuerdo con la frecuencia con que cada proposición se precisa en la actividad cotidiana.

En la actualidad, tenemos en la química una situación análoga, aunque originada por factores que proceden de otra dirección. En efecto, la química no se interesa únicamente por la forma en que el número finito de elementos químicos se combina entre sí en otras innumerables sustancias químicas. Como ya se ha indicado antes, la química se interesa también (e incluso más) por las diversas cualidades de las sustancias *en bruto*, y la cruda realidad es que muchas de esas cualidades no pueden deducirse de las propiedades simples de los elementos implicados en la fórmula química. Las reglas actualmente utilizadas para predecir las cualidades de una sustancia a partir de su fórmula química son muy desiguales; además, muchas de ellas se han establecido gracias a procedimientos puramente empíricos y, por tanto, es menos probable que tengan mucho peso más allá de los casos realmente observados. En consecuencia, desde el punto de vista del conocimiento existente, casi todo nuevo compuesto representa una *novedad* en uno u otro aspecto. Esa es la razón por la que cuantos más compuestos químicos ha sintetizado la química más desconcertante ha llegado a ser la irregularidad de la relación entre la estructura química y las propiedades cualitativas. Si esta tendencia histórica nos enseña algo es que nada nos autoriza a esperar que esa creciente irregularidad se vea reemplazada en el futuro por algunos principios simples.

Supongamos que nos hemos tomado la molestia de distribuir todas las proposiciones *conocidas* de la química en una clase- $\alpha$  y en una clase- $\beta$ . Ahora bien, todos los días se descubren por centenares nuevos compuestos químicos<sup>2</sup>. De acuerdo con el párrafo anterior, se concluye que con cada descubrimiento, incluso con el más pequeño, la clase- $\alpha$  ha de verse incrementada con nuevas proposiciones, a veces más numerosas que las que se añaden a la clase- $\beta$ . Al ser tan numerosos los componentes conocidos, no necesitamos realmente determinar la actual clase- $\alpha$  de la química para comprobar que contiene un número inmenso de proposiciones, posiblemente más grande que el de la clase- $\beta$ . Así pues, es evidente por qué nadie ha intentado construir una base lógica de la química. Como he afirmado en el primer capítulo del presente libro, la *raison d'être* de una construcción teórica es la economía de pensamiento a que da lugar. Si la novedad es una característica inmanente de un campo fenomenológico —como sucede en el caso de la química—, una construcción teórica, incluso aunque fuese verosímil, es antieconómica: sería absurdo edificarla.

No es preciso ver en la novedad más que un aspecto relativo del conocimiento; en este sentido, el concepto está libre de toda insinuación metafísica. Ahora bien, su importancia metodológica se extiende desde los compuestos químicos a todas las formas de la Materia: coloides, cristales, células y, finalmente, organismos biológicos y sociales; y, según vamos avanzando por esta escala, la novedad se hace todavía más llamativa. Evidentemente, todos los atributos cualitativos que configuran juntos la entidad denominada elefante, por ejemplo, son nuevos con respecto a las propiedades de los elementos químicos de los que está compuesto un cuerpo de elefante. De igual modo, lo que hace una sociedad concreta no es totalmente deducible de las propiedades biológicas de cada uno de sus miembros. Podemos explicar, por ejemplo, por qué todos los asentamientos primitivos se han encontrado cerca de algún depósito de agua fresca: el hombre biológico necesita agua. Sin embargo, no podemos explicar del mismo modo por qué las sociedades humanas han sentido la necesidad de creer en algún Dios, si por razones de ostentación, de justicia, etc. Como lo admite un número creciente de científicos de la Naturaleza, la combinación *per se* aporta algo que no puede deducirse a partir de las propiedades de los diferentes componentes<sup>3</sup>. La conclusión evidente es que las propiedades de los elementos simples, ya sean atómicos o intraatómicos, no describen la Materia de forma exhaustiva. La completa descripción de la Ma-

<sup>2</sup> En «The Significance of Chemistry», *Frontiers in Science: A Survey*, edit. por E. Hutchings, Jr. (Nueva York, 1958), p. 280, Linus Pauling estimaba «que, en la actualidad, se descubren cada año aproximadamente 100.000 nuevos hechos químicos». Y eso era hace más de diez años.

<sup>3</sup> P. W. Bridgman, *The Nature of Physical Theory* (Princeton, 1936), p. 96; L. von Bertalanffy, *Problems of Life* (Nueva York, 1952), cap. ii.

teria incluye no sólo la propiedad del átomo de carbón, por ejemplo, sino también la de todas las organizaciones de las que el carbón es parte constitutiva.

De todo lo que he dicho hasta ahora sobre la novedad se sigue que no todos los fenómenos pueden descubrirse a golpe de lápiz, haciendo sobre el papel cálculos algebraicos o lógicos, como en el caso de la mecánica. Todos los que pueden deducirse de esta manera constituyen nuestra clase- $\beta$  y cabe referirse a ellos como *fenómenos racionales de primer orden*. Otros, por el contrario, no pueden conocerse hasta no haber sido previamente observados. Evidentemente, estos últimos no violan ninguna ley establecida más de lo que un cuadrado determinado viola las leyes de la geometría por el hecho de ser amarillo; sin embargo, su racionalidad es de un tipo diferente al de los fenómenos deducibles; podemos referirnos a ella como *racionalidad de segundo orden*. Es claro que pertenecen a la clase- $\alpha$ . Ahora bien, según vamos ascendiendo desde el campo físico-químico al orgánico y, especialmente, al superorgánico, la novedad adquiere una nueva dimensión que plantea un problema insospechado relativo a la división de todas las proposiciones en una clase  $\alpha$  y en otra  $\beta$ .

Para un químico, el comportamiento de un compuesto de nueva obtención puede mostrar muchas novedades, pero, una vez que se ha sintetizado ese compuesto químico, la próxima ocasión en que el químico lo prepare no se verá ya enfrentado a otra novedad a través de la combinación: a nivel físico-químico, la materia es uniforme. La mayoría de las veces, esa permanencia está ausente en el campo orgánico y superorgánico. Veamos un ejemplo evidente: en algunas sociedades humanas la novia se vende, en otras aporta una dote a la nueva familia y en otras, por último, no hay transacción matrimonial de ningún tipo; sin embargo, los elementos del siguiente nivel inferior, los hombres biológicos que forman por combinación cada una de esas sociedades son los mismos. Así pues, a partir de la misma base puede surgir una multiplicidad de nuevas formas. Para un ejemplo todavía más llamativo en el campo de la biología, campo en el que igualmente abunda el mismo fenómeno, no es preciso más que echar una ojeada al amplio espectro de formas de cuerno que se encuentran entre los antílopes<sup>4</sup>. El famoso paleontólogo francés Georges Cuvier creía, y así lo enseñaba, que se puede predecir, por ejemplo, la forma de los dientes de un animal a partir de la de sus patas. Actualmente sabemos que la ley de correlación de Cuvier está plagada de excepciones importantes. Este segundo aspecto de la novedad es mucho más importante que el primero: nos impide predecir el resultado incluso después de haber observado la misma combinación una, dos o muchas veces. Propongo que se haga refe-

<sup>4</sup> Véase la ilustración que se encuentra en G. G. Simpson, *The Meaning of Evolution* (New Haven, 1949), p. 166.

rencia a esta categoría como *racional de tercer orden*. En efecto, debido a que son reales, no pueden violar ninguna de las leyes de la materia elemental (o de la orgánica, si son superorgánicas); en consecuencia, no existe razón alguna para tacharlas de irracionales<sup>5</sup>. En cualquier caso, no se puede dejar de subrayar que esta peculiaridad separa con trazo grueso las ciencias de las estructuras vivientes de aquellas correspondientes a la materia inerte.

La consecuencia de las últimas observaciones es que decir que la Materia tiene infinitas propiedades puede no representar toda la verdad y, consiguientemente, puede inducir a error. La única verdad es que la Materia tiene infinitas *potentiae* que son tan reales como las propiedades de la materia elemental. ¿Cómo podríamos explicar en caso contrario el hecho de que exactamente la misma serie de elementos químicos que constituyen algunos compuestos inertes puedan también encontrarse reunidos en una célula viviente que muestra una propiedad, la vida, que no posee ningún compuesto inerte? En mi opinión, la observación de Bohr<sup>6</sup> de que el Principio de Complementariedad se ilustra con mayor claridad considerando cómo una célula se comporta *in vivo* y cómo su materia se comporta *in vitro* no es en absoluto adecuada. Un fotón se comporta unas veces como si fuese una onda y otras como si fuese una partícula; sin embargo, que yo sepa ningún físico ha afirmado que la partícula (o la onda) no existe ya cuando el electrón se manifiesta por sí mismo como una onda (o una partícula). Ahora bien, si no podemos completar el análisis químico de una célula viva —es decir, descubrir el comportamiento completo de su cuerpo como materia elemental— sin ocasionar en último lugar la muerte de la célula, se exige una respuesta a la cuestión ¿a dónde fue la vida? Por mi parte, no puedo pensar en ninguna otra forma científica de responderla si no es diciendo que la vida es una *potentia* permanente de la Materia y que, como tal *potentia*, se encuentra también presente en los precipitados que se observan en el tubo de ensayo. Así, Pensamiento, conciencia, el sentimiento de estar vivo, son todos *potentiae* semejantes.

Físicos y químicos pueden no desear oír hablar de *potentiae*, pero muchos de ellos estarán de acuerdo con Eddington al reconocer que el Pensamiento «es la primera y más directa cosa de nuestra experiencia; todo lo demás es inferencia remota»<sup>7</sup>. Algunos filósofos, no obstante, condenan esta postura por ser una «vieja falacia». Como ya hemos visto, el filósofo de Oxford, G. Ryle<sup>8</sup> afirma que deberían suprimirse Pensamiento y expresiones semejantes, ya que nadie ha visto un pensamiento ni siquiera asociado

<sup>5</sup> Sobre esto, más en los Capítulos VII y XI posteriores.

<sup>6</sup> Niels Bohr, *Atomic Physics and Human Knowledge* (Nueva York, 1958), pp. 7-9; también Louis de Broglie, *Physics and Microphysics* (Londres, 1955), p. 139.

<sup>7</sup> A. S. Eddington, *New Pathways in Science* (Ann Arbor, 1959), pp. 5 y 322.

<sup>8</sup> Citado en el Capítulo III, nota 90, anterior.

a materia allí donde todo el mundo puede ver materia sin pensamiento, y no es el único en esta exageración del positivismo lógico de que todo es simplemente materia. Por esta razón, como primera medida tendríamos que dejar de hablar de energía de radiación, a la que tampoco se ha visto nunca aislada por sí sola. Es difícil imaginar qué es lo que los filósofos quieren lograr con esta postura insostenible. Todo lo que podemos asegurar es que consigue que muchos estudiosos de lo orgánico y lo superorgánico distraigan su atención de los más importantes problemas y de los métodos más adecuados en estos campos. Sin embargo, aunque la suerte esté echada, estoy seguro de que incluso aquellos que comparten la postura de Ryle están de acuerdo con la réplica de M. H. Pirenne<sup>9</sup> en el sentido de que todos tienen también un pensamiento y una conciencia, y se sienten vivos.

Los estudiosos que trabajan en campos en los que está totalmente ausente el segundo aspecto de la novedad por combinación se encuentran capacitados para extrapolar esta atractiva condición más allá de sus propias esferas de actividad y, sobre esta base, para proporcionar (como algunos ya lo han hecho) un asesoramiento altamente cualificado a sus colegas de la otra orilla. Con una sonrisa iluminando su pluma, Henri Poincaré escribió que las ciencias sociales tienen «la mayoría de los métodos y los menores resultados»<sup>10</sup>. El que las ciencias sociales deban tener más métodos que las otras es una necesidad lógica: necesitan también métodos apropiados para el estudio de los fenómenos racionales de tercer orden. Desde este punto de vista, tenemos que deplorar antes que aplaudir la actual tendencia de las ciencias sociales a basarse menos en estas métodos *sui generis* y más en los importados de la físico-química o, peor aún, de la mecánica. Al igual que para cualquier estudioso de las ciencias físico-químicas, para Poincaré puede ser perfectamente natural considerar como «resultados» únicamente a las proposiciones que expresan una necesidad lógica u objetiva. Debido, una vez más, a la abrumadora frecuencia de los fenómenos racionales de tercer orden, tales proposiciones constituyen más bien la excepción en las ciencias sociales, y todos aquellos a los que conocemos sugieren que nadie puede hacer nada al respecto. En realidad, basándose en todo lo que se ha llevado a cabo en estas ciencias desde hace algún tiempo, sería más apropiado decir que han obtenido demasiados resultados (y no muy pocos) del tipo apreciado por el estudioso de la materia inerte. Así pues, un número cada vez mayor de científicos sociales, a los que Jonathan Swift hubiera descrito como «suficientemente hábiles sobre un papel», producen un «resultado

<sup>9</sup> M. H. Pirenne, «Descartes and the Body-Mind Problem in Physiology», *British Journal for the Philosophy of Science*, I (1950), p. 45.

<sup>10</sup> Henri Poincaré, *The Foundations of Science* (Lancaster, Pa., 1946), p. 365.

positivo» tras otro, día tras día. Sin embargo, solamente unos pocos de esos resultados tienen relación con los fenómenos de la realidad.

La forma simple de la novedad por combinación basta para explicar por qué incluso la química o la ingeniería preocupadas por las propiedades cualitativas de la materia en general no pueden ser extensiones teóricas de la física. Un modo más adecuado de expresarlo es decir que no hay paralelismo químico-físico; mucho menos, por tanto, puede haber un paralelismo bio-, psico-, o sociológico, pues en todos estos campos la novedad por combinación aparece con su segunda dimensión, más desconcertante. Los físicos, y en especial los químicos físicos, plenamente conscientes de los límites a los que puede llegarse a partir de las propiedades de la materia inerte, no es probable que desapruében esta conclusión. En realidad, nombres famosos en la física y en la química han denunciado en los más categóricos términos el paralelismo biológico y el psicofísico<sup>11</sup>. Frente a ello, muchos, posiblemente la mayoría, de los estudiosos de los fenómenos vitales se enfrentarían actualmente con enormes protestas a esa conclusión. Únicamente ahora y en estas circunstancias podemos encontrar a un biólogo como Max Delbrück —a quien se puede atribuir el haber echado a rodar la bola de la biología molecular— defendiendo continuamente la opinión de que de igual modo que algunas características del átomo «no son reducibles a mecánica, podemos encontrar características de la célula viviente... no reducibles a física atómica»<sup>12</sup>. Y muy recientemente, comentando la reducción de una paradoja en la biología molecular, Delbrück observó muy exactamente que la reducción se basaba en una nueva ley «que nadie hubiera extraído de la mecánica cuántica sin haberla visto primeramente en funcionamiento»<sup>13</sup>. De acuerdo con la actual orientación «académica» de la biología molecular, la postura de Delbrück (mantenida también entonces por otros que ahora niegan haberlo hecho) representa el punto de vista «romántico». Sin embargo, la misma escuela académica de pensamiento vive no solamente de la mecánica cuántica sino también de una serie de nuevos postulados a los que no se puede clasificar como proposiciones- $\beta$  de esa ciencia. Y, en último término, esta escuela ha de admitir también que «existen procesos que, aunque claramente obedecen [no violan] las leyes de la física, *nunca* pueden explicarse [por la física]»<sup>14</sup>. Aho-

<sup>11</sup> Por ejemplo, C. N. Hinshelwood, *The Structure of Physical Chemistry* (Oxford, 1951), pp. 456 y 471; Max Born, *Physics in My Generation* (Londres, 1956), p. 52; Niels Bohr, *Atomic Physics*, p. 78 y *passim*.

<sup>12</sup> Max Delbrück, «A Physicist Looks at Biology», *Transactions of the Connecticut Academy of Arts and Sciences*, XXXVIII (1949), p. 188. [En la época en que escribí esta frase de admiración hacia el punto de vista de Delbrück todavía no había sido laureado con el premio Nobel].

<sup>13</sup> Citado por G. S. Stent, «That Was the Molecular Biology That Was», *Science*, 26 de abril de 1968, p. 395, nota 11.

<sup>14</sup> Stent, p. 395. Pueden encontrarse otros ejemplos a voluntad. Simpson (*Meaning of Evolution*, pp. 124 y ss.), tras admitir explícitamente que «es simplemente ridículo sostener que no hay diferencia



ra bien, si la frase se completa como debe ser y como lo he hecho yo, la postura no difiere ni en una coma de la que he mantenido en esta sección.

Como lo atestigua la historia, casi todas las posturas epistemológicas han aportado su grano de verdad a la ciencia. La creencia en la existencia de una relación teórica entre la biología y la mecánica cuántica no constituye una excepción, como lo demuestran ampliamente los trascendentales descubrimientos relacionados con el denominado código genético. El precio (siempre tiene que haber un precio) es el abandono de otros numerosos fenómenos que exhiben propiedades vitales tan especiales que han llevado a un consumado fisiólogo (y premio Nobel) como Charles Sherrington a maravillarse y a escribir sobre ello con inimitable penetración<sup>15</sup>.

El velo que cubría un pequeño pero importante rincón de este último campo se levantó cuando H. Driesch demostró experimentalmente que, tras haber sido mutilados a propósito de forma drástica en sus primeras fases, unos embriones se desarrollaron no obstante hasta llegar a individuos normales. Ahora bien, los trozos de una copa rota no intentarán reunirse en una copa no rota, ni un solo trozo crecerá por sí mismo para convertirse en una nueva copa. Evidentemente, Driesch exageró su caso y, como resultado de ello, se expuso a la repetida acusación de haber visto en su descubrimiento la prueba de la existencia de una fuerza vital, de una entelequia real. Sin embargo, eso no hace que su descubrimiento sea menos importante. De hecho, transfirió sus resultados al principio de *equifinalidad*<sup>16</sup>. Este principio, rebautizado como principio de restitución y regulación de organismos vivos<sup>17</sup>, se ha completado posteriormente con otros conceptos relacionados más directamente con los fenómenos observados a nivel submicroscópico. Recientemente, Paul A. Weiss, quien a lo largo de la misma línea de investigación ha obtenido resultados incluso más sorprendentes que los de Driesch, reiteró la advertencia contra la esperanza de que la sintetización de una célula pudiese «dar como resultado no precisamente una construcción lógica sino una realidad físicamente demostrable»<sup>18</sup>. Sin embargo, el temple científico de nuestra época no consti-

esencial alguna entre vida y no vida», ataca el vitalismo porque todas las diferencias son inherentes «únicamente a la organización» de la vida. Si con ello quiere decir que la vida no puede explicarse sólo por las propiedades de la materia inerte, no hace más que desvirtuar verbalmente las tesis neovitalistas.

<sup>15</sup> Charles Sherrington, *Man on His Nature* (Nueva York, 1941).

<sup>16</sup> H. Driesch, *The Science and Philosophy of the Organism* (2 volúmenes, Londres, 1908), I, pp. 59-65 y 159-163.

<sup>17</sup> Bertalanffy, *Problems of Life*, pp. 59, 142 y s. y 188 y s.

<sup>18</sup> Paul A. Weiss, «The Compounding of Complex Macromolecular and Cellular Units into Tissue Fabrics», *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, XLII (1956), p. 819. Entre otros experimentos que confirman el principio de equifinalidad, Weiss informa que las células de la piel de embriones de polluelo «reunidas aleatoriamente han logrado, incluso fuera del organismo, sintetizar una pluma —una unidad de orden superior— a través de una acción colectiva armónica, como en un concierto» (p. 827). Véase también el Apéndice G en el presente volumen.

tuye una excepción frente al pasado: hay un terror intelectual sin consideración con el debido proceso legal. Así, muchos biólogos intentan evitar la vergonzosa calificación de «vitalistas» utilizando ciertos timos verbales como el que se acaba de ver.

Las primeras consideraciones de esta sección implican la expectativa de que el efecto de la «postura» académica debería ser mucho más evidente en las ciencias sociales que en la biología. Y así sucede, verdaderamente. Tanto los problemas por los que estaban interesados los economistas románticos —el mejor Marx, la escuela histórica o los institucionalistas— como sus métodos de investigación se encuentran prácticamente olvidados, a menudo tratados con gran desprecio. La novedad por combinación bajo su doble aspecto no preocupa ya al economista académico; para él, únicamente lo que puede establecerse como teoría cuenta en la vida económica. Tal como lo contempla, todo es reducible a sistemas de locomoción y el hombre, como agente del proceso económico, no se guía por ningún otro principio de presunción.

2. *Novedad e incertidumbre.* Hay varias lecciones objetivas que los estudiosos de los fenómenos vitales podrían aprender a partir de la aparición de la novedad por combinación. La más importante de ellas para el científico social se refiere a aquellas doctrinas de la sociedad humana que pueden calificarse de «químicas» debido a que reconocen abiertamente a la química como modelo y fuente de inspiración. Dado que el problema planteado por esas doctrinas es de crucial importancia para la orientación de todas las ciencias sociales, especialmente la economía, merece ser discutido en detalle. Esto se hará así en una sección especial posterior, pero, en este punto, me propongo subrayar una lección objetiva que hace referencia a la diferencia existente entre riesgo e incertidumbre.

Puesto que una descripción exhaustiva de la Materia implica tanto experimentar con un conjunto esencialmente ilimitado de combinaciones (u organizaciones) materiales como estudiar tal conjunto, no es preciso decir que el destino del conocimiento humano es ser siempre incompleto. A partir del análisis llevado a cabo en la sección anterior, el significado de «incompleto» debería quedar perfectamente claro. Sin embargo, en la controversia acerca de la diferencia existente entre riesgo e incertidumbre, el conocimiento *incompleto* se ha confundido frecuentemente con lo que puede calificarse de conocimiento *imperfecto*. La cuestión consiste en que —en la terminología adoptada aquí— *incompleto* hace referencia al conocimiento como un todo, mientras que *imperfecto* se refiere a una parte específica del conocimiento existente. Algunos ejemplos pueden ayudar a aclarar la diferencia. Nuestro conocimiento es incompleto debido, por ejemplo, a que no tenemos absolutamente ninguna idea de qué tipo de especie biológica evolucionará a partir del *homo sapiens*, o incluso de si habrá alguna evolución. Por otra parte, sabemos que (si es normal) el próximo



nacimiento será un niño o una niña, pero no podemos saber con mucha anticipación qué es lo que será, pues nuestro conocimiento sobre el sexo de los futuros individuos es imperfecto, siendo la principal causa de tal imperfección la aleatoriedad intrínseca que se encuentra implícita en la determinación del sexo. El conocimiento de las leyes pertinentes —por ejemplo, la correlación del sexo de un hijo con la edad de la madre, con el sexo de sus hermanos mayores, etc.— únicamente nos permitiría adivinar correctamente con mayor frecuencia, mas no alcanzar un conocimiento perfecto<sup>19</sup>.

El riesgo describe las situaciones en las que no se conoce el resultado exacto, pero éste no representa una novedad. La incertidumbre se aplica a aquellos casos en los que la razón por la que no podemos predecir el resultado consiste en que nunca se ha observado en el pasado el mismo acontecimiento y, por tanto, puede implicar una novedad.

Dado que en otro lugar<sup>20</sup> ya he insistido sobre la necesidad de esta distinción probablemente con mayor fuerza que los autores que primero sacaron a colación esta cuestión, pueden parecer innecesarios cualesquiera nuevos comentarios al respecto. Sin embargo, puede ser instructivo ilustrar con un problema clásico la relación existente entre novedad derivada de nuevas combinaciones y del carácter de la incertidumbre.

Siendo la notación la misma que en el Capítulo II, Sección 7, anterior, sea  $E_1, E_2, \dots, E_n$  la evidencia de que disponen los  $n$  miembros de un comité antes de reunirse en una ocasión determinada. Supongamos también que el comité no es un pseudocomité, lo que, entre otras cosas, determina la existencia de una «mejor opinión» (en todos los aspectos importantes) entre sus miembros así como la identidad completa de los mismos. En estas circunstancias, durante la discusión que antecede a la votación, parte de la evidencia inicialmente poseída por un miembro pero no por otro se combinará con la evidencia inicial del último. Al final del proceso, aumenta la evidencia poseída por todos y, por tanto, todos tendrán una nueva expectativa,  $E_k(E_k)$ . La nueva combinación tendría normalmente que producir alguna novedad: la decisión adoptada podría ser tal que nadie, ni un miembro ni un participante en la votación, hubiese pensado en ella antes de la reunión<sup>21</sup>.

<sup>19</sup> Véase el Capítulo II, Sección 7, anterior.

<sup>20</sup> «The Nature of Expectation and Uncertainty» (1958), reimpresso en *AE*.

<sup>21</sup> El hecho de que muchos (posiblemente todos) modelos del comportamiento ignoran por completo este particular efecto de grupo se explica por sí mismo: un modelo de predicción debe mantener a la novedad fuera del campo de estudio. Ahora bien, es extraordinariamente sorprendente encontrar que este punto es también ignorado por análisis de otro tipo. Un ejemplo notable es el de N. Kaldor en «The Equilibrium of the Firm», *Economic Journal*, XLIV (1934), p. 69, n.1, donde dice que «la oferta de capacidad coordinadora podría muy probablemente ampliarse disolviendo el Consejo y dejando el control al individuo más eficiente».

La cuestión se apoya en la idea original de Shackle consistente en analizar las expectativas en términos del grado de sorpresa causado por su realización, en lugar del grado de confianza en su resultado<sup>22</sup>. En un aspecto tiene la idea un mérito concreto. Mientras que la realización de cualquier acontecimiento sobre el que existe un grado de confianza *ex ante* dará lugar a un grado de sorpresa (cuanto mayor, menor es el grado de confianza), en el caso de un acontecimiento verdaderamente nuevo hay una sorpresa *ex post*, pero no una creencia *ex ante* en él. Así, al decir que todos se sorprendieron al anunciar el presidente Johnson que no pretendería ser nominado, ni aceptaría la nominación, como candidato a la presidencia en 1968, no queremos significar que la confianza *ex ante* en su decisión hubiese sido extraordinariamente pequeña: queremos decir simplemente que nadie más había pensado en ello.

La novedad por combinación, a la que me he referido en la sección anterior, no es necesariamente un acontecimiento novedoso en este sentido. Así, por ejemplo, el químico espera que un nuevo compuesto químico tenga una dureza, una solubilidad y una elasticidad determinadas, etc.; únicamente es incapaz, la mayoría de las veces, de predecir con exactitud cada una de esas numerosas cualidades. Sin embargo, los descubrimientos de importancia son también por regla general acontecimientos novedosos; en efecto, podemos estar bastante seguros de que se produjo una serie de sorpresas a continuación de la síntesis del nylon y absolutamente seguros de que cada uno de los «primeros» descubridores de la pólvora fue espantosamente sorprendido. De modo semejante, todos nosotros nos sorprenderíamos de las formas de gobierno existentes en torno al año 5000 D.C., en caso de que alguien pudiese decírnoslo ahora.

3. *Histéresis e historia*. El éxito sin parangón de la física se atribuye por regla general exclusivamente al hecho de que esa ciencia estudia solamente la materia y ésta es uniforme. Sería más apropiado decir que la física estudia solamente aquellas propiedades de la Materia que son uniformes, es decir, independientes tanto de la novedad por combinación como del Tiempo, condiciones que se encuentran estrechamente relacionadas. Si la física estudiase todas las posibles novedades por combinación de la materia elemental, incluiría no sólo la química sino también la biología, la psicología, la sociología, en una palabra, todo. Estudiaría entonces propiedades que no son independientes del Tiempo. Es cierto que la física no ha sido capaz de mantener totalmente al Tiempo fuera de su campo de estudio: la termodinámica y la astrofísica se ocupan de cambios de materia en el Tiempo. Los astrofísicos especulan con que la actual forma de la materia

<sup>22</sup> G. L. S. Shackle, *Expectation in Economics* (Cambridge, Engl., 1949); *Uncertainty in Economics and Other Reflections* (Cambridge, Engl., 1955). En lo que se refiere a una discusión de las ideas de Shackle, véase mi trabajo citado en la nota 20 anterior.

apareció por combinación a partir de una forma previa –Hylem– tan completamente diferente que nadie tiene idea de a qué se parecía.

Una definición habitual de la uniformidad de la materia dice que su comportamiento se encuentra determinado únicamente por sus *condiciones actuales*. Sin embargo, la definición no es en absoluto suficiente. En efecto, hay que añadir, en primer lugar, que ese comportamiento no depende de cuándo se localice en el Tiempo ese «actual» y, en segundo lugar, que las «condiciones actuales» han de interpretarse en sentido estricto: las que pueden establecerse «ahora» sin referencia alguna a la *historia pasada*<sup>23</sup>. Sólo estas condiciones explícitas reflejan el hecho de que a nivel elemental un átomo de hidrógeno se comporta siempre de la misma manera, con independencia de si un instante antes se encontraba reaccionando con algún otro elemento químico. Para decirlo de forma diferente, una combinación de estados temporales no da como resultado la novedad. Indudablemente, la materia se comporta a menudo de esta manera. ¿Por qué razón tendría el universo que ser igual que ahora si las gotas de agua o los granos de sal se comportasen de manera diferente de acuerdo con sus historias individuales? Y, además, si la materia fuese indestructible –como se creía que era–, sería prácticamente imposible una ciencia física.

De cualquier modo, en algunos casos hasta el comportamiento físico depende también de la historia pasada. El ejemplo más familiar es el comportamiento de un imán o, para usar la expresión técnica, la histéresis magnética. Ahora bien, la histéresis no se encuentra limitada al magnetismo: la deformación estructural y el comportamiento de muchos coloides dependen igualmente de la historia pasada. De acuerdo con una reciente idea de David Bohm, compartida también por Louis de Broglie, la indeterminación de Heisenberg puede ser el resultado de que la historia pasada de la partícula elemental no se tiene en cuenta al predecir su comportamiento<sup>24</sup>. El caso en el que todas las causas pasadas actúan de forma acumulativa en la actualidad no se encuentra, consiguientemente, limitado a los fenómenos vitales.

Existe de todos modos una diferencia importante entre la histéresis física y el factor histórico en la biología o en las ciencias sociales. Un físico puede encontrar siempre tantos trozos de hierro no magnetizado –es decir, *imanes sin historia*– como necesita para demostrar experimentalmente que los imanes con una historia idéntica se comportan de manera idéntica. Es de vital importancia observar que, si fuese imposible experimentar con ca-

<sup>23</sup> En la jerga técnica esta idea se expresa diciendo que el comportamiento de la materia está descrito por un sistema de ecuaciones diferenciales en el que el tiempo no entra explícitamente. Así pues, si  $x = f(t)$  es una solución de ese sistema, será  $x = f(t - t_0)$  para todo  $t_0$ . Véase R. B. Lindsay y H. Margenau, *Foundations of Physics* (Nueva York, 1936), p. 522.

<sup>24</sup> Véase Heisenberg, *Physics and Philosophy*, pp. 130-131. Véase también la Introducción de Broglie y el Capítulo iv en David Bohm, *Causality and Chance in Modern Physics* (Londres, 1957).

sos en los que *el nivel de historia es cero*, no podríamos llegar a una ley completa de la histéresis magnética. Sin embargo, tanto en el mundo microbiológico como en el social parece totalmente imposible llegar al nivel cero de historia, razón por la que en esos dos campos el factor histórico invita a una controversia interminable. En este contexto, hay que subrayar la observación elemental de C. S. Peirce en el sentido de que los universos no son tan comunes como los cacahuets. Como resultado de que únicamente existe una civilización occidental, la cuestión de si su desarrollo histórico sigue simplemente una trayectoria totalmente determinada por la condición inicial o si representa un proceso de histéresis no puede resolverse ni a través de un experimento efectivo ni por medio del análisis de datos observados. Por desgracia, la respuesta a ese tipo de cuestiones posee una incalculable importancia para nuestras recomendaciones políticas, especialmente para aquellas que tienen un objetivo a largo plazo, como son las políticas de desarrollo económico.

Los físicos no solamente pueden determinar la ley que relaciona el comportamiento presente de un imán con su historia sino que también pueden hacer desaparecer la historia por medio de la desmagnetización. En otras palabras, para una historia determinada,  $H$ , hay una  $H'$  tal que  $H + H' = 0$ ; además,  $H'$  es una historia muy corta. El movimiento de vaivén es tan fácil como en la física y, con frecuencia, incluso como en la química. Más allá de ese límite, la histéresis plantea problemas de dimensiones inabarcables en cuyas respuestas no hemos sido capaces ni siquiera de echar una ojeada. Como observó Delbrück, toda célula viva es «más un acontecimiento histórico que uno físico, (porque) lleva consigo las experiencias de mil millones de años de experimentación por sus antepasados. No se puede esperar explicar una cuestión tan antigua de forma tan sensata en pocas y sencillas palabras»<sup>25</sup>. ¿Es solamente este largo tiempo astronómico lo que nos impide reproducir el proceso de histéresis por el que se ha llegado al comportamiento actual de una célula? No, mucha más importancia tiene nuestra ignorancia de cómo dar el primer paso.

De acuerdo con la opinión actualmente aceptada, las primeras células vivas surgieron *por casualidad* de un mar caliente de materia inerte que tenía las mismas propiedades que tiene la materia hoy en día<sup>26</sup>. La Naturaleza puede no haber tenido otro medio de abrir la caja fuerte más que el de intentarlo, intentarlo e intentarlo aleatoriamente. Ahora que ya conoce-

<sup>25</sup> Delbrück, «A Physicist Looks at Biology», p. 177.

<sup>26</sup> Esta idea fue primeramente propuesta de modo sistemático por A. I. Oparin en *The Origin of Life* (Nueva York, 1938). Para una breve panorámica de elaboraciones posteriores, véase J. D. Bernal, *The Physical Basis of Life* (Londres, 1951). En lo que respecta a las argumentaciones desarrolladas –especialmente por Charles E. Guye– contra la idea de la vida surgida por casualidad, véase P. Lecomte du Noüy, *The Road to Reason* (Nueva York, 1948), pp. 123-128. También mi Apéndice F, en el presente volumen.

mos la combinación precisa, ¿qué es lo que nos impide abrir la caja fuerte con unos pocos giros de la mano? Porque, por citar a Francis Bacon, «si se dominan las variaciones de la Naturaleza y si la causa es evidente, será fácil llevarla artificialmente a una desviación semejante a la que alcanzó primeramente por casualidad»<sup>27</sup>. ¿Se debe todo ello a que algunas *potentiae* de la Materia que desconocemos se actualizaron como ciertas formas pre-vitales solamente en ese primitivo mar de cieno caliente? Si la respuesta es afirmativa, la explicación aceptada no es explicación alguna. ¿O bien se debe a que cuando decimos «por casualidad» queremos decir que se encontraba operando un factor no reducible a una lista de instrucciones aritmomórficas a seguir por quien deseara unir las partes cuánticas en un conjunto viviente?

Únicamente podemos intuir mas no comprender por completo los problemas planteados por el carácter reproducible de la histéresis que determinó el comportamiento de organismos más complejos, del mismo hombre o de sus diversas sociedades. ¿Es posible, por ejemplo, borrar incluso una pequeña parte de la reciente histéresis del hombre, como puede llevarlo a cabo el físico en el caso de un imán, de modo que se intentase hacerle comportarse en determinado sentido elegido por nosotros? En realidad, ¿puede crearse el hombre socialista de modo que no muestre ningún rasgo de histéresis de su pasado burgués o campesino? Por muy complicados que parezcan ser este y otros problemas similares planteados por la histéresis humana, no puede eludirlos ningún intento de describir por completo los fenómenos sociales. Verdaderamente, cuanto más intensa sea nuestra intención de aplicar el conocimiento a problemas prácticos concretos —como los que se encuentran en el desarrollo económico, por poner un ejemplo de actualidad—, más urgente será enfrentarse a esos problemas<sup>28</sup>.

Las dificultades de todo tipo que se plantean pueden ilustrarse, aunque solamente en parte, gracias al simple (posiblemente el más simple) ejemplo de la histéresis del consumo individual. El hecho de que el continuo ajuste del individuo a las cambiantes condiciones de precios y renta modifique sus gustos parece tan evidente que en el pasado los economistas lo mencionaban únicamente de pasada, si es que acaso lo mencionaban. En realidad, no hay absolutamente ninguna posición desde la que pudiese cuestionarse ese fenómeno. En 1950, intenté llevar a cabo una esquemática formalización del problema, con el objetivo principal de aclarar el desagradable tipo de cuestiones que acosan al enfoque de Pareto-Fisher tan pronto pensamos en el efecto de la histéresis<sup>29</sup>. Utilizando un sencillo

<sup>27</sup> Francis Bacon, *Novum Organum*, libro II, Sec. 29.

<sup>28</sup> Más sobre todo lo anterior en el Capítulo XI, Sección 4, posterior.

<sup>29</sup> «The Theory of Choice and the Constancy of Economic Laws» (1950), reimpresso en *AE*.

ejemplo analítico, demostré que para poder determinar el equilibrio del consumidor (para un presupuesto fijo y con precios constantes) precisamos conocer mucho más que su específica ley de histéresis. Peor aún, al estar expresada esta ley por medio de una *función estable* muy compleja, podemos escribirla sobre el papel, pero no determinarla en la práctica. Las funciones estables no pueden extrapolarse de modo adecuado, por lo que, aunque el número de observaciones sea grande, el efecto del último experimento puede conocerse únicamente tras haber observado lo que deseamos predecir. El dilema es evidente y cuán desagradable puede ser lo pone de manifiesto el caso en que también importa el orden de las observaciones. En este caso, incluso aunque se pudiese hacer que el consumidor experimentase con todas las situaciones posibles, no seríamos capaces de conocer el efecto de la ley general de la histéresis. Por todo ello, son mucho más sobresalientes las aportaciones de James Duesenberry y Franco Modigliani acerca del efecto de la histéresis sobre la tasa de ahorro.

Sin embargo, el aspecto más desagradable del problema se manifiesta en el hecho habitual de que el comportamiento sufre un impacto cualitativo —como parecía lógico— cada vez que el individuo se enfrenta a una *mercancía nueva*<sup>30</sup>. Esta es la razón por la que sería completamente erróneo creer que las innovaciones tecnológicas modifican únicamente la oferta. El impacto de una innovación tecnológica sobre el proceso económico se compone tanto de una adaptación industrial como de una reorientación del consumidor, y a menudo también de un cambio estructural en la sociedad.

4. *Física y evolución*. El análisis de las dos secciones precedentes conduce a unas pocas ideas adicionales. La primera de ellas es que la historia, de un individuo o de una sociedad, parece ser el resultado de dos factores: un proceso de histéresis y la aparición de la novedad. El que la novedad sea un elemento enteramente independiente o solamente una consecuencia del proceso de histéresis es posiblemente la mayor de las cuestiones a debatir, incluso aunque a nivel del individuo sea parcialmente manejable. Indudablemente, la invención del transmisor telefónico de carbono constituyó una novedad para todos los contemporáneos de Edison, pero ¿qué sucedió en el caso del propio Edison? ¿Fue su idea una novedad también para él o fue el resultado, parcial o total, de su propio proceso de histéresis?

Sea lo que sea, no podemos dejar de admitir que los acontecimientos novedosos, empezando por la novedad de las transformaciones químicas, han acompañado la historia del universo. Las diferentes posturas filosóficas que hablan de «el avance creativo de la Naturaleza»<sup>31</sup> no son por consiguiente tan completamente metafísicas o, peor aún, tan místicas como

<sup>30</sup> *Ibid.*

<sup>31</sup> Los representantes más destacados de esta rama de la filosofía son Henri Bergson (*Creative Evolution*, Nueva York, 1913, pp. 104 y s. y *passim*) y Alfred North Whitehead (*An Enquiry Concerning*

muchos quisieran que creyésemos. Sin embargo, necesitamos algo más que la existencia de la novedad para sustentar la idea de una Naturaleza que avanza de un acto creador a otro. Como he intentado explicar, la novedad no precisa representar más que un aspecto relativo de nuestro conocimiento; puede surgir de nosotros sin que la Naturaleza avance a lo largo de una vía jalonada por hitos novedosos. Las obras maestras de una pinacoteca no se pintaron igual que nosotros vamos de una a la siguiente. Por otra parte, la geología, la biología y la antropología exhiben todo un mundo de evidencias poniendo de manifiesto que al menos en este planeta ha existido siempre evolución: en una época, la tierra era una bola de fuego que gradualmente se fue enfriando; los dinosaurios aparecieron, desaparecieron y, sin duda alguna, no reaparecerán nunca más; el hombre se trasladó desde las cavernas hasta los rascacielos. Por más impresionante que sea toda esta evidencia, todos los esfuerzos de biólogos y científicos sociales por descubrir una ley evolutiva en sus campos fenomenológicos han demostrado ser completamente infructuosos. Ahora bien, es posible que debamos clarificar esta afirmación definiendo una ley evolutiva.

Una ley evolutiva es una proposición que describe un atributo ordinal  $E$  de un sistema (o entidad) determinado a la vez que afirma que si  $E_1 < E_2$  la observación de  $E_2$  es posterior en el Tiempo que la de  $E_1$ , y viceversa<sup>32</sup>. Es decir, el atributo  $E$  es un *índice evolutivo* del sistema en cuestión. Todavía más importante es el hecho de que la medición ordinal de cualquier  $E$  semejante puede indicar incluso un pensamiento «objetivo» (esto es, uno privado de la facultad antropomórfica de sentir el Tiempo), el sentido en la que fluye el Tiempo. O bien, para emplear la elocuente expresión introducida por Eddington, podemos decir que  $E$  constituye un «vector temporal»<sup>33</sup>. Evidentemente,  $E$  no es lo que normalmente calificaríamos de causa, o de la única causa, del cambio evolutivo. Así pues, frente a la opinión de algunos biólogos, no precisamos descubrir una única causa de la evolución para llegar a una ley evolutiva<sup>34</sup> y, de hecho, casi todas las propuestas de una ley evolutiva para el mundo biológico o para el social se han preocupado por un vector temporal, no por una única causa.

De todos los vectores temporales sugeridos hasta ahora por el mundo de la biología, la «complejidad de organización» y el «grado de control sobre el entorno» parecen disfrutar de la máxima popularidad<sup>35</sup>. Como quiera que sea,

*the Principles of Natural Knowledge*, 2ª edición, Cambridge, Ingl., 1925, pp. 63 y 98; *The Concept of Nature*, Cambridge, Ingl., 1930, p. 178; *Process and Reality: An Essay in Cosmology*, Nueva York, 1929, p. 31).

<sup>32</sup> Debo aclarar que  $E_1 < E_2$  significa que  $E_2$  sigue a  $E_1$  en el modelo ordinal de  $E$ .

<sup>33</sup> A. S. Eddington, *The Nature of the Physical World* (Nueva York, 1943), pp. 68 y s.

<sup>34</sup> Julian Huxley, *Evolution: The Modern Synthesis* (Nueva York, 1942), p. 45.

<sup>35</sup> En lo que respecta a una discusión amplia (pero no imparcial) de estos criterios, véase Huxley, *ibid.*, cap. x; también Theodosius Dobzhansky, en *Evolution, Genetics, and Man* (Nueva York, 1955),

no se precisa ser un biólogo para observar que ninguna propuesta es satisfactoria: los atributos propuestos no son ordinalmente mensurables. Habría que mencionar también la interesante, pero de nuevo muy discutible, idea de R. R. Marett de que aumentar la caridad en el más amplio sentido de la palabra constituiría el vector temporal de la sociedad humana<sup>36</sup>.

Es de nuevo la física la que proporciona el único ejemplo claro de una ley evolutiva: la Segunda Ley de la Termodinámica, llamada también Ley de la Entropía. Sin embargo, la ley ha estado rodeada, y lo sigue estando, de numerosas controversias, lo que no es totalmente sorprendente. Un breve análisis de la entropía y un examen de sólo sus más importantes problemas no puede evitar ciertos tecnicismos; en todo caso, merece la pena hacerlo, pues deja al descubierto el excepcional tipo de dificultad epistemológica que se enfrenta a una ley evolutiva incluso en las circunstancias más favorables, las de un universo sin cualidad de materia elemental. A pesar de que esas dificultades se han experimentado solamente en la época más reciente y sólo de forma consecutiva, son responsables de la agitada historia de la termodinámica.

La termodinámica surgió a partir de una Memoria elaborada en 1824 por Sadi Carnot sobre la eficiencia de las máquinas de vapor<sup>37</sup>. Un resultado de la Memoria fue que la física se vio impelida a reconocer como científico un hecho elemental conocido desde hacía mucho tiempo: el calor se mueve por sí mismo desde los cuerpos calientes hacia los fríos. Y, dado que las leyes de la mecánica no pueden explicar un movimiento unidireccional, hubo que crear una nueva rama de la física que utilizase explicaciones no mecánicas. Descubrimientos posteriores pusieron de manifiesto que todas las formas conocidas de energía se mueven también en un único sentido, de un nivel superior a otro inferior. En 1865, R. Clausius fue ya capaz de dar a las dos primeras leyes de la termodinámica su formulación clásica:

*La energía del universo permanece constante;*

*La entropía del universo se mueve en todo momento hacia un máximo.*

La historia es bastante simple si ignoramos la letra pequeña. De acuerdo con la termodinámica clásica, la energía se compone de dos cualidades: (1) *libre* o *disponible* y (2) *disipada* o *latente*. La energía libre es aquella que

pp. 370 y ss., quien afirma que todos los criterios de evolución sensibles deben corroborar la superioridad del hombre. En cualquier caso, habría que tener en cuenta la objeción formulada por J. B. S. Haldane, en *The Causes of Evolution* (Nueva York, 1932), p. 153, en el sentido de que hombre quiere así «felicitar a sí mismo».

<sup>36</sup> R. R. Marett, *Head, Heart, and Hands in Human Evolution* (Nueva York, 1935), p. 40 y *passim*, y del mismo autor «Charity and the Struggle for Existence», *Journal of the Royal Anthropological Institute*, LXIX (1939), pp. 137-149. También Haldane, en *Causes of Evolution*, p. 131, afirmó que el comportamiento altruista puede representar una ventaja darwiniana.

<sup>37</sup> La traducción completa aparece en *The Second Law of Thermodynamics*, ed. y traduc. de W. F. Magie (Nueva York, 1899).

puede transformarse en trabajo mecánico. (Inicialmente, el calor libre se definió aproximadamente como el calor en que un cuerpo caliente supera a un cuerpo frío y que podría moverse por sí solo; por ejemplo, una máquina de vapor). Al igual que el calor, la energía libre se disipa siempre por sí misma (y sin pérdida alguna) en energía latente. En consecuencia, el universo material experimenta continuamente un cambio cualitativo, en concreto, una degradación cualitativa de la energía. El resultado final es un estado en el que la energía se encuentra latente, el Calor Muerto, tal como se le denominó en la primitiva teoría termodinámica.

Por razones técnicas que no nos interesan ahora, la entropía fue definida por la fórmula<sup>38</sup>

$$(1) \quad \text{Entropía} = (\text{Energía Disipada})/(\text{Temperatura Absoluta}).$$

Sin embargo, la fórmula consagrada en la teoría es

$$(1a) \quad \Delta S = \Delta Q/T,$$

donde  $\Delta S$  es el incremento de entropía,  $\Delta Q$  es el incremento del calor transferido desde el cuerpo caliente al frío y  $T$  la temperatura absoluta a la que se lleva a cabo la transferencia de calor. Una cuestión importante, que prácticamente nunca acompaña a esta fórmula, es que los incrementos están determinados en el sentido del Tiempo, es decir, desde el momento anterior al posterior en el Tiempo. Con esta adición, la Ley de la Entropía no precisa más explicación. En todo caso, hay que subrayar que se trata estrictamente de una ley evolutiva con un vector temporal claramente definido: la entropía. Clausius parece haber pensado de manera semejante, pues acuñó «entropía» a partir de una palabra griega con significado equivalente a «evolución».

5. *Tiempo: el gran misterio.* A pesar de ser una palabra relativamente corta, Tiempo denota una complejidad extraordinaria, lo que ya se hizo evidente a partir de nuestra primitiva discusión acerca de la estructura del Tiempo. Como ya hemos visto en la Sección 4 del Capítulo III, el Tiempo no puede reconstruirse a partir del continuo aritmético de sus instantes, pero este rasgo por sí solo no basta para diferenciar el Tiempo del Espacio. La estructura del Tiempo consiste no en duraciones colindantes sino solapadas (o presentes engañosos, como se les llama con frecuencia). Además, se solapan en una estructura dialéctica, no aritmomórfica. El rasgo peculiarmente único del Tiempo es su fugaz carácter combinado con su omnipresencia. El Tiempo fluye, pero está siempre presente. Esta es la razón por la que el problema del Tiempo ha torturado las mentes de todos los grandes filósofos mucho más que su correlativo, el Espacio. Para muchos

<sup>38</sup> Sobre esto, véase J. Clerk Maxwell, *Theory of Heat* (10.<sup>a</sup> edición, Londres, 1921), pp. 189 y ss., y Max Planck, *Theory of Heat* (Londres, 1932), pp. 81 y s.

de nosotros, el Tiempo parece en verdad «mucho más misterioso que el espacio»<sup>39</sup>, y nadie ha probado todavía que estemos equivocados. Ciertamente, hay algunos que sostienen que la teoría de la relatividad de Einstein ha demostrado que ellos (Espacio y Tiempo) son de hecho uno solo<sup>40</sup>. Este tipo de argumentación ignora, no obstante, que la multiplicidad cuatri-dimensional de Einstein es «una cuestión puramente formal». Una operación hecha sobre el papel no puede probablemente abolir la diferencia cualitativa existente entre los elementos implícitos en ella<sup>41</sup>. Es elemental que ningún observador puede hacer anotaciones adecuadas si no distingue entre coordenadas temporales y espaciales. La multiplicidad cuatri-dimensional es un esquema falaz, aunque utilizable, que lleva hasta el extremo la geometrización del Tiempo y que, en palabras de Broglie, «nos oculta una parte del flujo real de las cosas»<sup>42</sup>.

El fugaz carácter del Tiempo ha inducido a más de un gran filósofo a pensar que el Tiempo es pura ilusión. Debido sin duda a su estructura aritmomórfica, la más famosa argumentación contra la realidad del Tiempo es la de John McTaggart<sup>43</sup>. Comienza señalando que «no podría haber Tiempo si nada cambiase» —una proposición difícil de negar— y se propone demostrar que el Cambio implica una contradicción lógica. «La posiciones en el Tiempo», dice McTaggart, pertenecen a una serie-*B* en la que se encuentran ordenadas por la relación dual asimétrica y transitiva «antes que». Evidentemente, esta serie no puede reflejar el cambio. Si *X* es antes que *Y*, lo sigue siendo así eternamente<sup>44</sup>. O bien, expresados en términos de lógica, la proposición «*X* es antes que *Y*» tiene un *valor verdadero* atemporal, es decir, es verdadera o falsa en el mismo sentido en el que lo son «3 es un número primo» o «5 es un número impar».

De hecho, la serie-*B* es una imagen geométrica de la eternidad, totalmente análoga a la trayectoria dibujada en el espacio por un objeto en mo-

<sup>39</sup> Eddington, *Nature of Physical World*, p. 51.

<sup>40</sup> Por ejemplo, H. Margenau, *The Nature of Physical Reality* (Nueva York, 1950), pp. 149 y ss.

<sup>41</sup> Véase P. W. Bridgman, *The Logic of Modern Physics* (Nueva York, 1928), p. 74; *Reflections of a Physicist* (2.<sup>a</sup> edición, Nueva York, 1955), p. 254. En otro lugar, *The Intelligent Individual and Society* (Nueva York, 1938), p. 28, Bridgman denuncia incluso la tesis de la fusión como «tonterías».

<sup>42</sup> Louis de Broglie, *Physique et microphysique* (París, 1947), p. 196 (la traducción es mía). También E. A. Milne, *Relativity, Gravitation and World-Structure* (Oxford, 1935), pp. 18 y s.

<sup>43</sup> John M. E. McTaggart, *The Nature of Existence* (2 vols., Cambridge, Ingl., 1927), II, capítulos xxxiii y li. El sistema filosófico de McTaggart es, posiblemente, todavía más complejo e intrincado que el de Hegel. El lector interesado en seguir la argumentación de McTaggart sobre el Tiempo puede encontrar más manejable la elaboración crítica de C. D. Broad en *Examination of McTaggart's Philosophy* (2 vols., Cambridge, Ingl., 1933-1938), II, parte I.

<sup>44</sup> Una argumentación típica, y por supuesto errónea, de McTaggart, en *Nature of Existence*, II, pp. 241-246, que implica que toda variable ordinal tiene una medida cardinal débil (en el sentido del Capítulo IV, Sección 2, anterior), justifica la forma fuerte utilizada por Broad en *Examination*, II, pp. 290 y 298: «Si *X* alguna vez precede a *Y* en una cierta cantidad (algebraica), entonces *siempre* precede a *Y* exactamente en esa cantidad». Sin embargo, no hay necesidad de asumir un quantum entre *X* e *Y*; en lugar de ello, bastaría un conjunto ordinal para la forma fuerte.

vimiento. Una vez trazada, sobre esta trayectoria hay únicamente «inmovilidades», como lo expresó Bergson<sup>45</sup>. Al igual que el de Bergson, el punto de vista de McTaggart de que los acontecimientos representados por posiciones en la serie-*B* son inmovilidades y de que, por consiguiente, no pueden proporcionar una base para el Cambio está fuera de duda. El contenido de un acontecimiento —por ejemplo, la muerte de Napoleón— es absolutamente inmutable. Esto es totalmente cierto y tendríamos que tenerlo en cuenta también para acontecimientos futuros una vez se han manifestado; así pues, es completamente inútil la objeción de que en el tiempo en que esto se ha escrito nadie sabe si «la unificación de Europa en un Estado» representa un acontecimiento.

Habría que estar también de acuerdo con la opinión de McTaggart de que la única base para el Cambio que podemos encontrar *en los acontecimientos en sí mismos* es el hecho de que todo acontecimiento que actualmente es Presente, fue Futuro y será Pasado. Con respecto a estos atributos, los acontecimientos forman otra serie, la serie-*A*, que está constituida por acontecimientos «tal como los observamos». No veo razón alguna para no aceptar también su siguiente opinión de que la serie-*A* es fundamental, mientras que la serie-*B* es una derivación secundaria de aquella. Nuestras mentes ordenan los acontecimientos en la eternidad de acuerdo con la serie-*A*; no tenemos otra forma *directa* de conocer cuál de dos elementos es anterior. Incluso un geólogo, por ejemplo, al explicar que una determinada formación es anterior a otra, dice implícitamente que cuando la primera era Presente, la segunda era Futuro (o, alternativamente, cuando la segunda era Presente, la primera era Pasado).

A partir de aquí, McTaggart afirma que la serie-*A* es espuria. Por una parte, Pasado, Presente y Futuro deben «pertenecer a cada acontecimiento», porque nada relativo a los acontecimientos puede cambiar; por otra parte, hay «determinaciones incompatibles»<sup>46</sup>. Evidentemente, podemos contestar que, frente a lo que sucede con «3 es un número primo», «*X* es presente» es verdadero en un determinado *momento* y falso en todos los demás<sup>47</sup>. Una vez más, no puedo ver nada erróneo en la lógica de McTaggart de que esta respuesta no hace más que esconder la contradicción: tenemos ahora una segunda serie-*A* (la de *momentos*) tan contradictoria como la de acontecimientos y si intentamos evitar esta nueva contradicción por el mismo procedimiento entramos en una regresión infinita. Sobre esta base —que la serie-*A* es ilusoria y que sin ella no podemos explicar el Cambio— McTaggart concluye que el pro-

<sup>45</sup> Henri Bergson, *Matter and Memory* (Londres, 1913), pp. 246 y ss.

<sup>46</sup> McTaggart, *Nature of Existence*, II, p. 20.

<sup>47</sup> Como ya hemos visto (Capítulo III, Sección 5), Bertrand Russell utiliza esta verdad temporal para reducir el Cambio a una estructura aritmomórfica.

pio Tiempo no es real. Según él, la fuente de nuestra ilusión del Tiempo es una serie-*C* atemporal relacionada con nuestra comprensión y ordenada por la relación «inclusión», relación que confundimos con «antes que»<sup>48</sup>.

La tesis de McTaggart ha sido criticada de diferentes modos. Al igual que todas las controversias sobre el carácter del Tiempo, la que rodea a esta tesis es solamente instructiva, no decisiva. Así, se ha sacado a la luz la diferencia esencial entre la cópula ordinal «es» y la cópula temporal «es ahora», o entre el Devenir Absoluto, como en «este acontecimiento devino presente», y el Devenir Cualitativo, como en «esta agua devino caliente»<sup>49</sup>. Se han puesto igualmente de manifiesto pruebas en apoyo de la tesis de San Agustín de que no puede discutirse el Tiempo sin referirse al Tiempo.

Y, sobre todo, se ha fortalecido la opinión, a la que han acabado llegando un físico eminente tras otro, de que no hay otra base para el Tiempo sino «la forma primitiva de la corriente de la conciencia»<sup>50</sup>. De hecho, las leyes temporales de cualquier ciencia exigen una distinción entre antes y después que sólo puede hacer la conciencia<sup>51</sup>. La Ley de la Entropía es un excelente ejemplo al respecto. En términos formales, la ley dice: sean  $E(T_1)$  y  $E(T_2)$  las entropías del universo en dos momentos diferentes en el Tiempo,  $T_1$  y  $T_2$ , respectivamente; si  $E(T_1) < E(T_2)$ , entonces  $T_2$  es posterior en el Tiempo que  $T_1$ , y a la inversa. Ahora bien, evidentemente, si no supiéramos todavía lo que significa «posterior», la afirmación sería tan vacua como «el ganso es el macho de la oca y la oca es la hembra del ganso». El significado exacto de la ley es que la entropía del universo aumenta *al fluir el Tiempo a través de la conciencia del observador*. El Tiempo se deriva de la corriente de la conciencia, no del cambio en la entropía, ni, en este caso, del movimiento de un reloj. En otras palabras, la relación existente entre Tiempo y cualquier «reloj de arena» es exactamente la inversa de aquella en la que generalmente tendemos a pensar. Si sabemos que la muerte de Napoleón sucedió después del asesinato de César se debe exclusivamente a que los dos acontecimientos han sido abarcados por la conciencia histórica de la humanidad, conciencia formada por la unión de la

<sup>48</sup> McTaggart, II, p. 271.

<sup>49</sup> Broad, *Examination*, II, pp. 272 y 280 y s. Broad tiene razón al decir que el Devenir Cualitativo implica el Devenir Absoluto, pero no parece tenerla al decir que el Devenir Absoluto (que se refleja en la serie-*A*) basta para explicar el Tiempo. ¿Qué podría devenir absolutamente en un universo idéntico a sí mismo? En mi opinión, el error básico en la argumentación de McTaggart consiste en que considera el Cambio únicamente en relación con acontecimientos, mientras que sólo los Objetos son susceptibles de Cambio. Un Ser deviniente tiene sentido; un Devenir deviniente, no.

<sup>50</sup> H. Weyl, *Space, Time, Matter* (Nueva York, 1950), p. 5; Milne (citado en la nota 42 anterior), p. 14; Arthur H. Compton, «Time and the Growth of Physics», en *Time and Its Mysteries*, edit. por H. Shapley (Nueva York, 1962), p. 166.

<sup>51</sup> Tampoco sobre este punto hemos sido capaces de ir más allá de las enseñanzas de Aristóteles: *Physics*, 219<sup>a</sup>, pp. 22 y ss., 223<sup>a</sup>, pp. 25 y ss.



conciencia de sucesivas generaciones<sup>52</sup>. Al dar un paso más y extrapolar en el pensamiento tal conciencia colectiva, llegamos a la noción de Eternidad, sin principio ni fin. Esta es la base del Tiempo.

Todo lo anterior no significa que se resuelvan así todos los misterios del Tiempo. Se puede estar de acuerdo con McTaggart cuando afirma que si el desayuno de esta mañana es «antes que» el almuerzo de hoy se debe a que nuestras comprensiones del desayuno están incluidas en las del almuerzo. En base a este reconocimiento, si todas las comprensiones de una persona en cada momento se escribiesen en una tarjeta distinta y se barajasen todas esas tarjetas, otra persona podría volver a disponerlas rápidamente en el orden «correcto». Así pues, no presenta gran dificultad entender cómo las escalas de Tiempo de dos personas que se comunican entre sí se empalman consistentemente en ambas direcciones. Sin embargo, la tesis de McTaggart no explica por qué en las comprensiones de cada persona, por separado, ver el relámpago es «antes que» oír el trueno, o la baja entropía es «antes que» la alta entropía. En este contexto, es muy interesante mencionar la interpretación de la irreversibilidad de la entropía sugerida por una autoridad de la termodinámica. De acuerdo con D. ter Haar, el fundamento de la irreversibilidad es «psicológico», pues se deriva del hecho de que «tenemos una memoria del pasado y podemos poseer así conocimiento de lo que sucedió en un tiempo anterior, pero no de lo que sucederá en un momento posterior»<sup>53</sup>. La Ley de la Entropía sería así también una faceta de la propiedad de inclusión de nuestra comprensión y, consiguientemente, no podría proporcionar una raíz objetiva en la Naturaleza para nuestro sentido del Tiempo.

Semejante idea repugna, no obstante, a muchos que creen en un mundo exterior independiente de si hay un observador. Consideran que se ha ido demasiado lejos en hacer a la más importante coordenada del conocimiento y de la existencia depender de la conciencia humana, mejor dicho, de la uniformidad de la conciencia para todas las personas. Tiene que haber, dicen, al menos un rasgo de la Naturaleza que iguale (si no la guía también) la conciencia de cada persona en la percepción de la dirección del Tiempo. Como ya hemos visto, Eddington afirma que el sentido objetivo del Tiempo, el vector temporal, se encuentra indicado por el inevitable incremento de la entropía, una postura opuesta a la de McTaggart, Haar y la moderna teoría de la termodinámica. Otros, representantes de la escuela realista, sostienen que ni el Tiempo ni el universo son subjetivos. Tal como lo percibe la conciencia individual, el sentido temporal corres-

<sup>52</sup> Véanse las observaciones de Bridgman, en *Reflections*, pp. 320 y s., relativas a la necesaria continuidad al observar un fenómeno físico.

<sup>53</sup> D. ter Haar, «Foundations of Statistical Mechanics», *Review of Modern Physics*, XXVII (1955), p. 292.

ponde al hecho de que «en el universo (objetivo) hay, por una parte, concatenación causal y, por la otra, sucesión unidireccional, temporal»<sup>54</sup>. Sin embargo, esta idea tiene incluso menos posibilidades de ser admitida en los grandes círculos de filósofos para los que la propia causalidad es una construcción de nuestras mentes sin raíz alguna en la realidad. Una argumentación de importancia capital en apoyo de esta tesis es que la reversibilidad del tiempo *dinámico* (del que nos vamos a ocupar seguidamente) echa por tierra inmediatamente la noción de causalidad temporal.

6. *Tiempo y «Tiempo»*. La palabra «tiempo» se emplea frecuentemente con muchos significados, algunos de los cuales pueden parecer bastante sorprendentes. Así, por ejemplo, la afirmación de que «el tiempo y los medios para lograr los fines (humanos) son limitados» sugiere que la expresión se utiliza para representar no un flujo infinito sino un caudal limitado<sup>55</sup>. La economía abunda en similares usos imprecisos de «tiempo». Un ejemplo más convincente es el uso de «adición a lo largo del tiempo» para describir la operación por la que se calcula la edad media de una población dada. Por muy sorprendente que pueda parecer, esa licencia terminológica tuvo su origen en la física, ciencia en la que tanto un momento en el Tiempo como el intervalo entre dos de tales momentos continuaba siendo indicado imprecisamente por la misma expresión, incluso después de que se hiciese imprescindible la distinción entre los dos significados. La historia de cómo se puso de manifiesto esa necesidad es altamente instructiva.

La aceptación aparentemente inocua de que la afirmación «el calor se mueve siempre por sí mismo desde los cuerpos más calientes a los más fríos» es una ley física provocó una de las mayores crisis de la física, crisis que además no está totalmente resuelta. La crisis se derivó a partir del hecho de que la mecánica no puede tener en cuenta el movimiento unidireccional del calor, ya que, de acuerdo con la mecánica, todos los movimientos deben ser reversibles. La Tierra, por ejemplo, podría perfectamente haberse movido en el sentido opuesto sobre su órbita sin contradecir por ello ninguna de las leyes de la mecánica<sup>56</sup>. Es evidente que esta peculiaridad de los fenómenos mecánicos se corresponde con el hecho de que las ecuaciones de la mecánica son invariantes con respecto al signo de la varia-

<sup>54</sup> L. Susan Stebbing, «Some Ambiguities in Discussions Concerning Time», en *Philosophy and History*, edit. por R. Klibansky y H. J. Paton (Nueva York, 1963), p. 122.

<sup>55</sup> Lionel Robbins, *An Essay on the Nature and Significance of Economic Science*, 2.ª edición, Londres, 1948), p. 12. La argumentación de que «hay sólo veinticuatro horas en el día» (*ibid.*, p. 15) aumenta la dificultad del lector para entender la postura de Robbins. El hecho de que existe un millón de micras en un metro, ¿haría abundante el espacio (terreno)?

<sup>56</sup> Es instructivo resaltar que, mucho antes de que surgiera la crisis en la física, G. W. F. Hegel, en *The Phenomenology of Mind* (2.ª edición, Nueva York, 1931), pp. 204 y s., observó que la misma explicación científica serviría para un mundo invertido.

ble  $t$ , que indica el «tiempo». Es decir, el mismo sistema de ecuaciones «predice» indiferentemente la posición que la Tierra ocupará dentro de cien años y la que tenía cien años atrás. Esta es la base sobre la que la filosofía positivista proclama que la causalidad temporal es falsa. Algunos han llevado la cuestión tan lejos como para afirmar que es igualmente justo (pero igualmente sin sentido) decir que la caída de Roma causó el descubrimiento de América como decir que lo último fue la causa de lo primero<sup>57</sup>. Naturalmente, se ignora por completo la cuestión fundamental, esto es, si los acontecimientos *históricos* están relacionados entre sí por medio de un sistema de ecuaciones invariantes con respecto al signo del tiempo. La postura anterior ha llevado a la idea de que en realidad hay dos Tiempos: un Tiempo reversible en el que tienen lugar los fenómenos mecánicos y un Tiempo irreversible relacionado con los fenómenos termodinámicos. Evidentemente, la dualidad del Tiempo es un disparate; el Tiempo se mueve siempre hacia adelante y todos los fenómenos tienen lugar en el mismo único Tiempo<sup>58</sup>.

Tras la idea de la dualidad del Tiempo se encuentra la confusión entre los conceptos que he denotado por  $T$  y  $t$ , una confusión inducida por la práctica de emplear para ambos la misma expresión, «tiempo». De hecho,  $T$  representa el Tiempo, concebido como la corriente de conciencia o, si se quiere, como una sucesión continua de «momentos», pero  $t$  representa la medición de un intervalo ( $T'$ ,  $T''$ ) por un *reloj mecánico*. O bien, para relacionar esta descripción con nuestra anterior discusión de la mensurabilidad (Sección 2 del Capítulo IV),  $T$  es una variable ordinal, en tanto que  $t$  es una variable cardinal. El hecho de que pueda construirse para  $T$  una escala cardinal débil sobre la base de  $t = \text{Mensur. } (T', T'')$  no significa que no sea necesario distinguir entre  $t$  y  $T$ , incluso aunque debamos rechazar la dualidad del Tiempo.

Es la diferencia esencial que existe entre las leyes temporales que son funciones de  $T$  y las que lo son de  $t$  lo que exige una distinción entre ambos conceptos. Si por casualidad vemos una película que muestre junglas pantanosas llenas de dinosaurios, sabemos que el acontecimiento que intenta describir la película tuvo lugar antes de la fundación de Roma, por ejemplo. La razón que se invoca en este caso es que la ley que rige tales acontecimientos —suponiendo que exista tal ley— es, al igual que la Ley de la Entropía, una función de  $T$ . Por otra parte, una película de un fenómeno puramente mecánico no ayuda en absoluto a situar el acontecimiento

<sup>57</sup> Véase, por ejemplo, W. F. G. Swann, «What Is Time?», en *Time and Its Mysteries*, pp. 135 y s.

<sup>58</sup> Véase Bridgman, *Logic of Modern Physics*, p. 79. Quizá deba explicar también que la imposibilidad de que dos observadores sincronizen sus relojes no prueba la multiplicidad del Tiempo. Como todos pueden constatar, esa imposibilidad no puede explicarse sin referir los acontecimientos de los dos sistemas a una base de Tiempo común.

en el Tiempo, porque un péndulo se mueve y una piedra cae de la misma forma, con independencia de cuándo ocurrió el acontecimiento en el Tiempo. Las leyes mecánicas son únicamente funciones de  $t$  y, por tanto, son invariables con respecto al Tiempo. En otras palabras, *los fenómenos mecánicos son Eternos, pero no eternos*.

Debido a que, entre todas las ramas de la física, únicamente en la termodinámica las leyes son funciones de  $T$ , la física no se vio obligada a la fuerza a eliminar el ambiguo uso de «tiempo». Sin embargo, es difícil de entender por qué otras ciencias en las que la situación no es la misma que en la física han ignorado por completo el problema. A la vista de esa situación, tanto mayor parece el mérito de Schumpeter al haber resaltado, en sus últimas obras, la diferencia entre el tiempo *histórico* y el *dinámico*, expresiones por las que entendía  $T$  y  $t$ , respectivamente<sup>59</sup>. Ahora bien, la raíz de la distinción no descansa en las ciencias históricas (evolutivas) sino, como ya hemos visto, en el corazón de la física, entre la mecánica y la termodinámica.

7. *Predicción temporal y tiempo de reloj*. Desde que los antiguos astrónomos lograron prever los eclipses, nuestra admiración por la precisión con la que la física —entendiendo este término en sentido estricto, excluida la termodinámica— puede predecir acontecimientos futuros ha ido aumentando sin cesar. Con todo, las razones por las que solamente la física posee ese poder siguen siendo oscuras. La explicación habitual de que el futuro está determinado exclusivamente por sus condiciones iniciales (presentes) y de que entre todas las ciencias únicamente la física ha logrado averiguar esas condiciones a través de mediciones plantea más preguntas que las respuestas que proporciona. En cualquier caso, nos lleva a una confusa controversia sobre determinismo estricto para lo que todavía no estamos preparados<sup>60</sup>.

La razón inmediata por la que las leyes temporales de la física son predictivas es el hecho de que todas ellas son funciones de  $t$ , es decir, de la medida de Tiempo como intervalo a través de un *reloj mecánico*. Lo que en esencia nos dice una de tales leyes es lo siguiente: se pone el reloj mecánico en «cero» en el momento exacto en que se tira una moneda desde lo alto de la torre de Pisa; la punta de la aguja del reloj alcanzará la señal  $t_0$  exactamente en el mismo momento en que la moneda llega al suelo. Como pone de manifiesto este ejemplo, toda ley temporal de la física pura no es más que la enunciación de un paralelismo temporal entre dos fenómenos mecánicos, uno de los cuales es un reloj mecánico, de lo que se sigue que todos los fenómenos mecánicos, incluyendo el del reloj, son paralelos en su

<sup>59</sup> Joseph A. Schumpeter, *Essays*, edit. por R. V. Clemence (Cambridge, Mass., 1951), p. 308, y, especialmente, su *History of Economic Analysis* (Nueva York, 1954), p. 965n5.

<sup>60</sup> Véase el Capítulo VII posterior.

conjunto. Consecuentemente, en principio podríamos elegir cualquiera de esos fenómenos para que sirviese de base común para la enunciación del paralelismo. En parte lo hemos hecho así.

La cuestión que deseo resaltar es que la predicción física es una relación simétrica: podemos decir perfectamente que el «cuerpo que cae» predice el «reloj», o para el caso cualquier otro fenómeno mecánico. ¿Por qué preferimos entonces un mecanismo de relojería a todos los restantes fenómenos mecánicos como referencia normalizada?

A partir de los pocos físicos que se preocuparon por analizar el problema del «reloj», sabemos que la elección está determinada por la condición de que el mecanismo concreto debe estar libre, en la medida de lo posible, de la influencia de factores no puramente físicos, lo que significa que el reloj debe ser casi Eterno o, en otras palabras, casi insensible a la marcha de la entropía. Como lo observó acertadamente Eddington, cuanto mejor es el «reloj», menos muestra el paso del Tiempo<sup>61</sup>. Esta es la razón por la que Einstein consideraba la vibración del átomo como el más adecuado mecanismo de relojería para la física<sup>62</sup>.

Podemos entender perfectamente que si la física pura debe ser un sistema cerrado necesite un reloj puramente mecánico, pero esa necesidad interna no explica también por qué asociamos el flujo del Tiempo con el movimiento de las estrellas, de la arena en un reloj de arena o de un péndulo, todos ellos relojes mecánicos. Esa asociación antecede en milenios a las modernas ideas sobre los relojes. Por otra parte, la física no ofrece prueba alguna de que la hora de reloj recién transcurrida sea igual a la que empieza en ese momento<sup>63</sup>. Los intervalos de Tiempo no pueden superponerse de forma que podamos descubrir *directamente* si son iguales; sin embargo, como lo creía Newton, tenemos la profunda sensación de que lo son, de que el Tiempo fluye de forma constante hora tras hora. Posiblemente, la razón por la que sentimos que el reloj muestra la rapidez con la que fluye el Tiempo sea la sugerida por Karl Pearson: en cada hora de reloj se contiene «la misma cantidad de conciencia»<sup>64</sup>. La sugerencia, no obstante, podría aceptarse en todo caso exclusivamente para dos intervalos infinitesimales consecutivos. Existe cierta evidencia de que las horas parecen más cortas según nos vamos haciendo más viejos, porque —como se ha sugerido— la capacidad de nuestra conciencia aumenta a una tasa decrecien-

<sup>61</sup> Eddington, *Nature of Physical World*, p. 99.

<sup>62</sup> En lo que respecta a varias observaciones sobre el problema del «reloj», véase Bridgman, *Nature of Physical Theory*, p. 73; Erwin Schrödinger, *What Is Life?* (Cambridge, Engl., 1944), pp. 84 y ss.; Weyl, *Space, Time, Matter*, pp. 7 y s.

<sup>63</sup> Karl Pearson, *The Grammar of Science* (edición de Everyman's Library, Londres, 1937), pp. 161 y s.; Henri Poincaré, *The Foundations of Science*, pp. 224 y s.

<sup>64</sup> Pearson, *Grammar of Science*, p. 159. Esta cuestión recuerda la postura de McTaggart en el sentido de que las diferencias de comprensiones son cardinalmente mensurables (nota 44 anterior).

te. En base a la evidencia actualmente disponible, esto es posiblemente todo lo que podemos decir respecto de la parecida admiración que científicos y profanos muestran hacia la predicción de acontecimientos futuros por medio de un tiempo de reloj.

Sin embargo, una y otra vez la admiración legítima se ha convertido en evaluación parcial. Así, podemos detectar a veces un intento de desaprobación en la afirmación de que la termodinámica no posee capacidad predictiva. La realidad desnuda es que la Ley de la Entropía nos dice únicamente que, por ejemplo, en una hora de reloj a partir de este momento la entropía del universo será mayor, pero no en cuanto<sup>65</sup>. Esta imperfección puede ser perfectamente la consecuencia de que insistimos en referirnos al tiempo de reloj. En los campos fenomenológicos en los que (como sucede en la termodinámica) todas las leyes temporales son únicamente funciones de  $T$ , la simple regularidad sin la cual ninguna ley puede ser estrictamente operativa en la predicción puede no existir si los fenómenos correspondientes están correlacionados con el tiempo de reloj, pero no veo razón alguna por la que debamos creer que en tales campos no puede haber una predicción exactamente del mismo carácter que a través del tiempo de reloj de la física.

En efecto, supongamos que conocemos una Cuarta Ley de la termodinámica (que es concebible que pueda descubrirse algún día). Supongamos que esa ley expresa el hecho de que determinada nueva variable de estado, por ejemplo,  $I$ , es una función de  $T$ . En este caso, podríamos tomar bien esta nueva ley o la Ley de la Entropía como «reloj termodinámico» y formular la otra ley exactamente en la misma forma predictiva en que hemos emitido antes la ley de la caída de los cuerpos: cuando el reloj termodinámico indique  $I_0$ , la entropía del sistema alcanzará simultáneamente el nivel  $E_0$ . Este ejemplo muestra que, a menos que se justifique la explicación sugerida por Pearson de la tasa constante de flujo del Tiempo, no puede haber diferencia alguna entre predicción a través del tiempo de reloj y predicción por medio de un vector temporal. (E incluso aunque pudiese

<sup>65</sup> Véase W. J. Moore, *Physical Chemistry* (2.ª edición, Englewood Cliffs, N. J., 1955), p. 23; Margenau, *Nature of Physical Reality*, pp. 210 y s.; Philipp Frank, «Foundations of Physics», *International Encyclopedia of Unified Science* (Chicago, 1955), I, parte 2, p. 449. Podría afirmarse que la Primera Ley es en todo caso predictiva por medio de tiempo de cronómetro, pero la constancia de la energía total representa un caso bastante vacío de ley de tiempo de cronómetro. Quizá debiera explicar también que la Tercera Ley, denominada habitualmente Ley de Nernst, afirma en esencia que nunca puede alcanzarse el cero de temperatura absoluta. Ahora bien, «nunca» es también una noción temporal que no necesita un reloj. Dicho sea de paso, la implicación obvia de la Ley de Nernst es que, al igual que el Tiempo, la energía es una variable cardinal débil y, por consiguiente, lo que llamamos energía en el universo podría ser un océano sin fondo del que únicamente podemos observar de modo efectivo las ondas de su superficie. Creo que la misma idea se encuentra implícita en la observación de Bridgman de que energía y entropía solamente pueden medirse si puede alcanzarse de nuevo la misma situación (*Reflections of a Physicist*, p. 331). Véase, no obstante, el Capítulo VI, nota 8, posterior.

probarse que la idea de Pearson tiene una base real, la superioridad de la predicción a través del tiempo de reloj tendría exclusivamente una justificación puramente antropomórfica). Si, pese a todo, alguien ha llegado a la opinión contraria de que la termodinámica no tiene valor predictivo alguno, se debe sin duda a que la cuestión se encuentra oscurecida por otro factor: en la termodinámica, hay *sólo una* verdadera ley temporal, la Ley de la Entropía. Ahora bien, es evidente que una sola ley es inútil para la predicción: ninguna ley puede ser su propio «reloj». La dificultad es del mismo carácter que todo lo inherente a cualquier definición implícita.

Por otra parte, no existe absolutamente ninguna razón por la que en todos los campos de la investigación los fenómenos tengan que ser paralelos a los de un reloj mecánico. Únicamente el dogma de que todos los fenómenos son en el fondo mecánicos podría suministrar tal razón, pero, como ya he subrayado en repetidas ocasiones, el dogma mecanicista ha sido abandonado hasta por la ciencias físicas. Por todo ello, deberíamos considerar como un signo de madurez la reorientación de cualquier ciencia lejos de la creencia de que todas las leyes temporales deben ser funciones del tiempo de reloj. Donde ha tenido ya lugar, tal reorientación ha producido dividendos inesperados. Así, por ejemplo, se ha descubierto que muchos fenómenos biológicos, que parecían ser extremadamente irregulares en tanto se proyectaban sobre una escala de tiempo de reloj, obedecen a reglas muy simples cuando se les compara con ciertos fenómenos biológicos que actúan y sirven de «reloj»<sup>66</sup>.

En la esperanza de que el presente libro logre uno de sus principales objetivos, el de probar que el proceso económico como un todo no es un fenómeno mecánico<sup>67</sup>, he de observar en este momento que el abandono de la fórmula de Clément Juglar relativa a los ciclos económicos ha representado un paso en la dirección correcta. En efecto, esa fórmula implica la existencia de un estrecho paralelismo entre la actividad económica y un reloj mecánico, el movimiento de las manchas solares. Por otra parte, el Barómetro Económico de Harvard, a pesar de su triste destino final, refleja un enfoque más adecuado del mismo problema, porque en un análisis elemental cualquier tipo similar de barómetro afirma una relación paralela entre varios fenómenos económicos, uno de los cuales sirve de «reloj», es decir, un reloj económico. De hecho, muchos estudios posteriores de los ciclos económicos han adoptado el mismo punto de vista. Los resultados palpables pueden no ser suficientemente impresionantes, debido a lo cual no están fuera de lugar las dudas relativas a la existencia de un *paralelismo invariante* entre los diversos aspectos de la actividad económica. Sin em-

<sup>66</sup> Véase P. Lecomte du Noüy, *Biological Time* (Nueva York, 1937), pp. 156 y ss.

<sup>67</sup> Si en este punto estoy luchando contra un espantajo, será mucho mejor para mis otras tesis que dependen de la validez de la cuestión.

bargo, la idea alternativa de que la marcha de todo el proceso económico puede describirse a través de un sistema de ecuaciones diferenciales con el tiempo de reloj como variable independiente (idea que subyace a muchos modelos macrodinámicos) está muy probablemente viciada *ab ovo*.

Es perfectamente comprensible que nos sintamos inclinados a pensar en la predicción únicamente por medio de un tiempo de reloj: ajustamos nuestra actividad diaria al reloj, porque todos los relojes, al ser sistemas mecánicos, *se predicen entre sí*. Sin embargo, la evidencia de fenómenos que no son esclavos del reloj mecánico es tan abrumadora que debemos concluir que las leyes de la mecánica no determinan todas las formas de existencia de la Naturaleza. Entre lo que de esta manera permanece indeterminado en la Naturaleza, pueden estar actuando leyes de esencia diferente sin contradecirse entre sí y, por tanto, sin ser capaz cada una de ellas por sí misma de eliminar toda la indeterminación. Que tal idea no es una mera ilusión, se pone claramente de manifiesto por la Ley de la Entropía, que hasta ahora es la única ley que sabemos con certeza que no está ligada al tiempo mecánico. En consecuencia con todo ello, no deberíamos sorprendernos de ver que la conexión entre la Ley de la Entropía y las ciencias de los fenómenos vitales (en las que los intentos de una explicación mecanicista se han enfrentado constantemente a fracasos) aumenta con fuerza día a día. Pero hay también otras razones más sustanciales para tal conexión.

## CAPÍTULO VI

### ENTROPÍA, ORDEN Y PROBABILIDAD

1. *Entropía: orden y desorden.* A fin de actuar de forma sistemática, hasta ahora he considerado únicamente aquellas lecciones que un científico social puede aprender de la termodinámica clásica, pero la historia tiene un epílogo muy importante.

Les fue muy difícil, no sólo a los físicos sino también a otros científicos, resignarse al golpe asestado por la ciencia del calor a la supremacía de la mecánica. Debido a que la única forma en que se puede actuar directamente sobre la materia es empujando o tirando, no podemos imaginar fácilmente ningún agente del universo físico que tuviese un poder diferente. Como lo puso de relieve Lord Kelvin, sobre todo, la mente humana puede comprender con claridad un fenómeno únicamente si puede representar tal fenómeno por medio de un *modelo mecánico*. No hay que sorprenderse, por tanto, de que, incluso desde que apareció en escena la termodinámica, los físicos dirigiesen sus esfuerzos a reducir los fenómenos calóricos a locomoción. El resultado de todo ello es una nueva termodinámica, más conocida por el nombre de mecánica estadística.

En primer lugar, tendríamos que comprender que en esta nueva disciplina las leyes de la termodinámica se han conservado exactamente en la misma forma en que las formuló Clausius; solamente se ha modificado de forma radical el significado de los conceptos básicos y la explicación del equilibrio termodinámico. Si se ignoran los refinamientos técnicos, el nuevo fundamento racional es relativamente simple: el calor se compone del movimiento *irregular* de partículas y el equilibrio termodinámico es el resultado de un proceso *de mezcla* (de partículas y de sus velocidades) que marcha por sí mismo. Tengo que resaltar, no obstante, una dificultad inicial que sigue constituyendo el escollo principal de la mecánica estadística: nunca se ha definido de modo apropiado la mezcla espontánea. En un intento de explicar el significado del término, se han utilizado analogías como el barajar de naipes o el batido de huevos. Por una analogía más llamativa, se ha comparado el proceso con la total devastación de una biblioteca

por una turba *desenfrenada*<sup>1</sup>. Nada se *destruye* (Primera Ley de la Termodinámica), pero todo se dispersa a los cuatro vientos.

En consecuencia, de acuerdo con la nueva interpretación, la degradación del universo es incluso más extensa que la contemplada por la termodinámica clásica: abarca no solamente la energía sino también las estructuras materiales. Como los físicos lo expresan en términos no técnicos,

*En la Naturaleza hay una tendencia constante a que el orden se convierta en desorden.*

Por tanto, el desorden aumenta continuamente: el universo tiende así al Caos, imagen mucho más impresionante que la del Calor Muerto.

Dentro de este marco teórico, es natural que la entropía tenga que volver a definirse como medición del grado de desorden<sup>2</sup>. Ahora bien, como de forma similar han subrayado varios filósofos y físicos, el desorden es un concepto muy relativo, si no totalmente inexacto: algo se encuentra en desorden sólo con respecto a algún objetivo, mejor dicho, propósito<sup>3</sup>. Un montón de libros, por ejemplo, puede estar en perfecto orden para los vendedores de una librería, pero no para el departamento de catalogación de una biblioteca. La idea de desorden surge en nuestras mentes cada vez que encontramos un orden que no satisface el propósito específico que tenemos en ese momento. Desde el punto de vista defendido en este libro, asociamos el orden aleatorio al desorden debido a que no corresponde al orden analítico que esperamos encontrar en la Naturaleza. Esta se encuentra ordenada sólo en la medida en que nuestro Entendimiento puede captar analíticamente sus formas de ser. En menor medida aún podemos ver cómo el desorden puede ser ordinalmente mensurable. La mecánica estadística evita la dificultad por medio de dos principios básicos:

- A. *El desorden de un microestado se mide habitualmente por el del correspondiente macroestado.*
- B. *El desorden de un macroestado es proporcional al número de los correspondientes microestados*<sup>4</sup>.

Un microestado es un estado cuya descripción exige que se identifique a todo individuo implicado. «El Sr. X en el salón, el Sr. y la Sra. Y en el cuarto de estar» es un ejemplo de microestado. El macroestado corresponde a una descripción inidentificada. Así, el ejemplo anterior corresponde al

<sup>1</sup> Erwin Schrödinger, *Science, Theory, and Man* (Nueva York, 1957), pp. 43 y s.

<sup>2</sup> En lo que se refiere a una discusión autorizada de esta cuestión, véase P. W. Bridgman, *The Nature of Thermodynamics* (Cambridge, Mass., 1941), pp. 166 y ss.

<sup>3</sup> Henri Bergson, *Creative Evolution* (Nueva York, 1913), pp. 220 y ss. y *passim*; Bridgman, *Nature of Thermodynamics*, p. 173; Jacques Hadamard, revisión de J. Willard Gibbs, «Elementary Principles in Statistical Mechanics», en *Bulletin of the American Mathematical Society*, XII (1906), pp. 207 y s.

<sup>4</sup> Véase H. Margenau, *The Nature of Physical Reality* (Nueva York, 1950), pp. 279 y ss.

macroestado «Un hombre en el salón, un hombre y una mujer en el cuarto de estar». Esta observación muestra que el grado de desorden calculado de acuerdo con la regla B (que no es otra cosa sino la vieja regla de Laplace) depende del modo en que los microestados se agrupan en macroestados. Un segundo factor que afecta a la propia medición es el criterio que determina si ha de tenerse o no en cuenta un microestado determinado. Por ejemplo, con respecto a la ilustración utilizada más arriba, importa saber si Concha Alonso considera que «La Sra. Y en el salón, el Sr. X y la Sra. Y en el cuarto de estar» es un microestado imposible en una sociedad bien educada.

Dado que la termodinámica estadística se ocupa exclusivamente de coordenadas mecánicas (posición y momento) de las partículas, todas las partículas se tratan como individuos sin cualidades, distinguibles únicamente por sus nombres. El concepto de macroestado, en el que no se utilizan nombres de partículas, corresponde al hecho evidente de que las propiedades físicas de una colección de partículas no dependen de qué partícula en concreto ocupe un determinado *estado*, es decir, tenga una determinada posición y un determinado momento. Cada combinación «personal» de partículas en un macroestado dado constituye un microestado. Sin embargo, el criterio por el que dos combinaciones constituyen dos microestados *diferentes* es una convención adicional que varía de uno a otro enfoque; y, como se insinuó antes, lo mismo sucede con el criterio de lo que constituye un macroestado aceptable.

En el enfoque más primitivo, pero que sigue siendo el básico, de Ludwig Boltzmann, dos combinaciones constituyen dos microestados diferentes si, y sólo si, los nombres de las partículas en cierto(s) estado(s) no son los mismos. Además, no se impone ninguna restricción al número de partículas que tengan el mismo estado. Así, por ejemplo, sean *U, X, Y, Z* cuatro partículas y *A, B, C, D, E* los posibles estados. Como se pone de manifiesto en la Tabla 1, en la estadística de Boltzmann al macroestado «dos partículas en *A*, dos partículas en *B*» corresponden seis microestados. De acuerdo con las normas establecidas antes, la medición ordinal del desorden de cualquiera de esos microestados así como del macroestado ( $N_A = N_B = 2, N_C = N_D = N_E = 0$ ) es 6. En general, si hay *m* estados y *N* partículas, la medición del desorden del macroestado ( $N_1, N_2, \dots, N_m$ ),  $\sum N_i = N$ , viene dado por la fórmula familiar del cálculo combinatorio

$$(1) \quad W = \frac{N!}{N_1! N_2! \dots N_m!}$$

Para cinco estados y cuatro partículas, el mayor desorden,  $W = 4! = 24$ , corresponde al macroestado ( $N_1 = N_2 = N_3 = N_4 = 1, N_5 = 0$ ) o a sus correlativos. El menor desorden,  $W = 1$ , corresponde al tipo ( $N_1 = 4, N_2 = N_3 = N_4 = N_5 = 0$ ).



La fórmula de Boltzmann que hizo época y que contempla la entropía como una medida del desorden es

$$(2) \quad \text{Entropía} = S = k \ln W,$$

donde  $\ln W$  es el logaritmo natural de  $W$ , y  $k = 1,38 \times 10^{-16}$  ergs por grado de temperatura es una constante física conocida como la constante de Boltzmann<sup>5</sup>.

Tabla 1

MICROESTADOS DE  $N_A = 2, N_B = 2$

Número del microestado	Partículas			
	U	X	Y	Z
1	A	A	B	B
2	A	B	A	B
3	A	B	B	A
4	B	A	A	B
5	B	A	B	A
6	B	B	A	A

Una fórmula más general abarca el caso en el que las partículas pueden ocupar varios estados con diferentes «probabilidades». Para evitar introducir el concepto de probabilidad en la presente fase, voy a adoptar un enfoque diferente, pero formalmente equivalente, suponiendo que cada estado se encuentra representado por varios «espacios» idénticos, por así decirlo. En la ilustración anterior, podemos suponer, por ejemplo, que el estado A está representado por dos «espacios»,  $A_1, A_2$ . En este caso, cada microestado de la Tabla 1 se sustituye por cuatro microestados como lo ilustra la Tabla 2<sup>6</sup>. Es fácil contemplar que, en general, si el estado  $i$ -ésimo se compone de  $s_i$  «espacios», la fórmula (1) se convierte en

$$(3) \quad W = \frac{N!}{N_1! N_2! \dots N_m!} s_1^{N_1} s_2^{N_2} \dots s_m^{N_m}.$$

<sup>5</sup> En el cálculo final,  $W$  abarca solamente aquellos microestados en los que las partículas comparten exactamente la energía total del sistema (Véase, por ejemplo, Max Planck, *Theory of Heat*, Londres, 1932, pp. 239-242). Sin embargo, este detalle técnico no tiene en absoluto que ver con el problema discutido en esta sección. En cualquier caso, deberemos tenerlo en cuenta para la discusión del principio ergódico, algunas páginas más adelante.

<sup>6</sup> Hay que subrayar que considerar a las ordenaciones de la Tabla 2 como microestados distintos está de acuerdo con la mencionada racionalidad de la estadística de Boltzmann. En lo que respecta a otra estadística, véase la nota 11, posterior.

Tabla 2

MICROESTADOS CORRESPONDIENTES AL MICROESTADO 1 DE LA TABLA 1

Microestado	Partículas			
	U	X	Y	Z
1 (1)	$A_1$	$A_1$	B	B
1 (2)	$A_1$	$A_2$	B	B
1 (3)	$A_2$	$A_1$	B	B
1 (4)	$A_2$	$A_2$	B	B

Para valores grandes de  $N$ , con la ayuda de la fórmula asintótica de Stirling, la ecuación (1) se convierte en

$$(4) \quad \ln W = N \ln N - N - \sum N_i \ln N_i + \sum N_i = - \sum N_i \ln (N_i/N).$$

Haciendo  $f_i = N_i/N$ , podemos escribir la ecuación (2) como sigue:

$$(5) \quad S = -kN H,$$

donde

$$(6) \quad H = \sum f_i \ln f_i$$

es la famosa función- $H$  usada por Boltzmann en su enfoque estadístico de la termodinámica. Evidentemente,  $-kH$  representa la entropía media por partícula. A efectos de posteriores referencias, hay que subrayar que  $H$  y  $S$  varían en sentidos opuestos.

En relación con las fórmulas algebraicas precedentes, hay varios puntos que merecen especial atención. Para empezar, dando por sentado que el desorden es ordinalmente mensurable y que las normas A y B proporcionan tal medición, cualquier función de  $W$  monótonicamente creciente puede ser válida para definir el desorden. Sin embargo, la entropía observable es una coordenada física, una variable de estado, relacionada con otras coordenadas físicas de acuerdo con la fórmula clásica mencionada en el capítulo anterior:

$$(7) \quad \Delta S = \Delta Q/T.$$

En consecuencia, cualquier definición aceptable de entropía basada en el orden debe conducir en todos los casos a los mismos valores que la fórmula (7). La cuestión que se plantea entonces es la siguiente: ¿satisface la fórmula (2) de Boltzmann esa condición específica? Curiosamente, a pesar de que esta cuestión es crucial para el valor operativo del nuevo enfoque,

no ha recibido prácticamente ninguna atención. Siempre que se ha ofrecido una justificación de la fórmula de Boltzmann, ha sido en base a razones puramente formales, como, por ejemplo, la condición de que la entropía total de dos sistemas independientes debe ser la suma de las entropías individuales; en otras palabras, que la entropía debe ser una variable subsumible<sup>7</sup>. El problema que se oculta tras esa argumentación se encuentra relacionado con la distinción entre un número cardinal débil y una entidad cardinal, distinción introducida en el Capítulo IV, Sección 2. En efecto, la única fórmula por la que la entropía se define en relación a ciertas variables de estado directamente observables es la relación diferencial (7). Todo lo que podemos decir de acuerdo con esta fórmula fundamental (y operativa) es que la entropía es una variable cardinal débil. Evidentemente, podemos elegir cualquier ejemplo como origen arbitrario de una escala cardinal débil y, alternativamente, podemos atribuir a cualquier ejemplo algún valor particular. Desde esta perspectiva, Boltzmann se encontraba perfectamente justificado cuando propuso que el valor de la entropía de un estado caótico (un estado en equilibrio termodinámico) viene dado por la ecuación (2). Sin embargo, continuar diciendo, después de todo lo que sabemos, que la ecuación (2) mide también la entropía, tal como se encuentra ésta definida por la ecuación (7), para cualquier otro estado representa un paso gratuito.

Como ya he resaltado en el capítulo anterior (nota 65), la Ley de Nernst refuerza aún más la opinión de que la entropía —considerada como coordenada física mensurable— es una variable cardinal débil, y ello porque esa ley dice que en realidad no podemos alcanzar el nivel «cero» de entropía al igual que no podemos atribuir un origen al Tiempo. La similitud no se acaba aquí. De igual modo, la suma de dos entropías del universo en dos momentos diferentes no tiene más sentido que el de la suma de dos datos cronológicos. Puede que se trate aquí del punto de vista de un purista —como lo desdeña Planck—, pero sin él no nos daríamos cuenta de la prestidigitación con la que justifica la validez general de la ecuación (2) y, de paso, transforma la entropía en una entidad cardinal<sup>8</sup>. En efecto, debemos a Planck la idea de imponer, sin más ni más, la condición subsumible de la entropía. Tenemos por tanto que preguntar si esta operación sobre el papel se encuentra relacionada con la solidez de los hechos. Nadie ha demostrado hasta ahora que lo esté; en realidad, podemos asegurar lo contrario sin ningún género de dudas. Como Khinchin lo puso claramente de manifiesto, todos los intentos de establecer la equivalencia de las ecuacio-

<sup>7</sup> Por ejemplo, Planck, *Theory of Heat*, p. 227.

<sup>8</sup> En lo que respecta a esta crítica de la perspectiva purista y a su demanda de una medida «absoluta» (cardinal) de la entropía, véase Max Planck, *The New Science* (Nueva York, 1959), pp. 132-136 y 142 y s.

nes (2) y (7) para todos los casos se fundamentan en «un conglomerado de errores lógicos y matemáticos [y] en una confusión general en la definición de las cantidades básicas»<sup>9</sup>.

Ahora bien, incluso aunque garanticemos la equivalencia para todos los casos, existe un problema todavía más formidable: ¿cómo puede deducirse la nueva formulación de la Ley de la Entropía a partir de las leyes de la mecánica que, de acuerdo con el punto de partida de Boltzmann, rigen los movimientos de las partículas? Nuevas argumentaciones se acumularon procedentes de numerosas fuentes autorizadas. En este caso, como vamos a ver ahora, el problema lógico sigue estando tan abierto como cuando estalló al principio<sup>10</sup>.

Que el enfoque de Boltzmann precisa una justificación lógica con mayor urgencia que otros problemas abiertos de la física viene demostrado por el hecho de que, con el tiempo, se descubrió que su fórmula para  $W$  no satisface todas las condiciones. Con el fin de insertar nuevos hechos en la ecuación (5), hubo que establecer dos nuevos estadísticos, el Bose-Einstein y el Fermi-Dirac<sup>11</sup>, lo que demuestra de la forma más elocuente que la doble arbitrariedad implícita en la regla B debe finalmente arruinar cualquier tentativa de establecer microestados y macroestados a través de consideraciones puramente formales<sup>12</sup>.

Aunque cada uno de los problemas que se han discutido hasta ahora pone al descubierto algún defecto de las bases sobre las que descansa la medida del desorden, son todos ellos de una simplicidad elemental. Difícilmente pueden justificar, por tanto, la confesión, ocasional pero sorpren-

<sup>9</sup> A. I. Khinchin, *Mathematical Foundations of Statistical Mechanics* (Nueva York, 1949), pp. 137-142.

<sup>10</sup> El problema comenzó su controvertida historia en las páginas del *Philosophical Magazine* a mediados de la década de 1880. Los volúmenes de *Nature* correspondientes a los años 1894 y 1895 contienen también una amplia serie de aportaciones a la controversia. Un síntoma evidente de la falta absoluta de progreso es el hecho de que un resumen muy competente de la controversia, publicado en alemán en 1912, sigue siendo tan actual que se ha traducido recientemente al inglés: Paul y Tatiana Ehrenfest, *The Conceptual Foundations of the Statistical Approach in Mechanics* (Ithaca, N. Y., 1959).

<sup>11</sup> Schrödinger, *Science, Theory, and Man*, pp. 212 y ss. También R. W. Gurney, *Introduction to Statistical Mechanics* (Nueva York, 1949), pp. 1-6 y 47-49. Utilizando nuestro ejemplo elemental, en el estadístico Bose-Einstein no se cuentan como microestados distintos las ordenaciones 1(2) y 1(3) de nuestra Tabla 2. Por su lado, en el estadístico Fermi-Dirac ningún «espacio» puede ser ocupado por más de una partícula; así pues, si para este caso se ignora el estado  $B$ , únicamente 1(2) y 1(3) son ordenaciones válidas. Para el mismo macroestado,  $W$  es máximo para el estadístico de Boltzmann y mínimo para el de Fermi-Dirac. Hay que subrayar también que J. Willard Gibbs, en *Elementary Principles in Statistical Mechanics* (Nueva York, 1960), p. 183, propone tres análogos estadísticos diferentes de la entropía. El hecho de que todas estas definiciones sean asintóticamente equivalentes no refuta la arbitrariedad parcial de las reglas por las que puede definirse la entropía del orden.

<sup>12</sup> Véase mi crítica a la doctrina de la probabilidad de Carnap, en un trabajo reimpreso en *AE*, «The Nature of Expectation and Uncertainty» (1958), Sección IV. Se encuentra más allá de toda duda que las consideraciones formales son con frecuencia fuente de inspiración fructífera. Su peligro reside en nuestra inclinación a olvidar después su carácter insustancial. Un ejemplo tópico de este peligro es la pretendida identidad entre la entropía física y «la cantidad de información» tal como se define en la informática. Véase el Apéndice B de este volumen.

dente, de que el concepto de entropía estadística «no es fácilmente comprendido ni siquiera por los físicos»<sup>13</sup>. En lo que se refiere a los puros hechos, sabemos que incluso desde su concepción la entropía estadística ha sido objeto de serias críticas y que lo sigue siendo. Aunque los riesgos a que se enfrentan las opiniones expresadas por un profano son tanto mayores en una situación como ésta, quiero sugerir que la raíz de la dificultad estriba en el paso en el que se dota a la entropía estadística de un significado adicional distinto del de un índice del desorden.

2. *Entropía y probabilidad.* Con la finalidad de aislar los problemas, vamos a dejar de lado la cuestión de si el desorden es ordinalmente mensurable. En esta situación, es evidente que no habría error alguno si se eligiese el índice de desorden calculado de acuerdo con los principios A y B, *siempre que el índice así obtenido satisfaga los hechos descritos por la Ley de la Entropía en su nueva formulación*, es decir, siempre que el índice de cualquier sistema aislado aumente con  $T$ . (Para la discusión de este problema, podemos apartar también la cuestión de si los valores de las ecuaciones (2) y (7) coinciden siempre necesariamente). El aspecto que deseo subrayar ahora es elemental: A partir del hecho de que A y B sirven también como reglas para calcular la probabilidad laplaceana, *no tiene que derivarse que el índice de desorden sea una probabilidad*<sup>14</sup>, porque, como debería ser ya evidente, el grado de desorden puede definirse por otras reglas apropiadas además de A y B. Por ejemplo, puede ser definido por la fórmula<sup>15</sup>

$$(8) \quad S^* = -k \sum N_i^2 / N^2.$$

Así pues, cada versión de la mecánica estadística adopta la postura de que el índice de desorden calculado de acuerdo con A y B representa al mismo tiempo *la probabilidad física de que ocurra el correspondiente macroestado*. Es este paso, gracias al cual la entropía adquiere un doble significado, lo que constituye el vínculo más crítico en la estructura lógica de la nueva termodinámica.

Es muy elemental que si un sistema está regido por leyes rígidas —como las de la mecánica— pasa de un microestado a otro en una sucesión que se encuentra totalmente determinada por tales leyes. Como consecuencia de ello, puede parecer paradójico que la interpretación probabilística haya encontrado sus más acérrimos defensores entre los que profesan un entu-

<sup>13</sup> D. ter Haar, «The Quantum Nature of Matter and Radiation», en *Turning Points in Physics*, R. J. Blin-Stoyle, et al. (Amsterdam, 1959), p. 37. También K. Mendelssohn, «Probability Enters Physics», en el mismo volumen, pp. 49 y s.

<sup>14</sup> Una observación anterior (Capítulo IV, Sección 6) ilustra este aspecto. A partir del hecho de que las mismas proposiciones describen tanto una estructura geométrica como otra social, no se sigue que los individuos y sus asociaciones sean puntos y líneas.

<sup>15</sup> Al igual que  $S$  de la fórmula (5),  $S^*$  es máximo para  $N_i = N/m$ ,  $i = 1, 2, \dots, m$ , y mínimo para  $N_1 = N$ . Véase el Apéndice B de este volumen.

siasmo sin límites por la supremacía de la mecánica como ley de la Naturaleza. En realidad, esta interpretación nació con Boltzmann, quien también es conocido por predicar que «la observación más superficial muestra que las leyes de la mecánica no están limitadas exclusivamente a la Naturaleza inanimada»<sup>16</sup>. Sin embargo, la paradoja desaparece si tenemos en cuenta que la probabilidad se introdujo en la termodinámica precisamente para salvar la representación mecanicista de la Naturaleza.

Lo que ha ayudado al extraño matrimonio entre la mecánica, paradigma del determinismo, y la probabilidad, expresión de un factor incontralable, es la formidable complejidad de un sistema de numerosas partículas que se mueven de acuerdo con leyes mecánicas. En una estructura de tal complejidad, puede encontrarse con facilidad un punto tras otro en los que, cada vez, podría tenerse esperanzas de que apoyasen una nueva construcción teórica. La historia de la mecánica estadística es simple: tan pronto se cuestionaba o refutaba una versión, se ofrecía en su lugar otra de un nivel todavía más complejo. Las sucesivas aportaciones de Boltzmann ilustran esta cuestión de modo tan amplio como instructivo.

En su primera contribución a la mecánica estadística —o a la teoría cinética de los gases, como prefería llamarla—, Boltzmann pulió un anterior resultado de Maxwell. Pero, a diferencia de su predecesor, Boltzmann reclamó también para tal resultado una validez más allá de toda duda. La proposición de que se trata es la siguiente:

*Si un macroestado tiene una estructura caótica, conservará esa estructura para siempre; si no tiene una estructura caótica, tenderá necesariamente a ella.*

Puesto que la entropía es máxima para el estado caótico, la proposición es equivalente a la Ley de la Entropía en su forma fuerte, esto es, no como afirmación probabilística. Dado que la función- $H$  definida por la ecuación (6) puede tomarse como medida de la desviación de un macroestado con respecto a la estructura caótica, Boltzmann formuló su resultado como la desigualdad  $dH/dt \leq 0$  y lo denominó «teorema- $H$ », expresión que iba a ser famosa<sup>17</sup>. La afirmación de Boltzmann —realmente impresionante— fue que el teorema seguido solamente por las ecuaciones hamiltonianas de movimiento estaba complementado por un postulado *estadístico* relativo a la existencia de colisiones entre las partículas del sistema. El postulado dice:

*La proporción de partículas en cualquier estado que pasa a otro estado durante un pequeño intervalo,  $\Delta t$ , es la misma para todos los estados iniciales y finales.*

<sup>16</sup> L. Boltzmann, *Populäre Schriften* (Leipzig, 1905), p. 312. La traducción es mía.

<sup>17</sup> L. Boltzmann, «Weitere Studien über Wärme Gleichgewicht unter Gasmolekülen ( $H$ -Theorem)», *Sitzungsberichte der K. Wiener Akademie*, LXVI (1872), pp. 275-370, y su *Lectures on Gas Theory* (Berkeley, 1964), pp. 50-55.

Evidentemente, esta hipótesis puede hacerse para cualquier estado inicial sin violar las leyes de la mecánica: estas nos permiten elegir las condiciones iniciales que deseamos. Ahora bien, si el álgebra utilizado para probar el teorema- $H$  ha de tener alguna importancia física, el postulado debe completarse también con el estado alcanzado al final de  $\Delta t$ . Por otra parte, al estar los movimientos de las partículas rígidamente determinados por las leyes de la mecánica, no podemos dar por sentada esa condición, y el problema reside en que, a no ser que se elija especialmente el sistema, la validez del postulado estadístico no pasará de un estado al siguiente<sup>18</sup>. Si se aceptase la opinión de que el postulado está realmente satisfecho por todos los sistemas, seguiría exigiendo una respuesta la cuestión de por qué, volviendo a  $t = -\infty$ , todos los estados iniciales serían especiales en este sentido.

La primera voz autorizada que se alzó contra el teorema- $H$  fue la de Loschmidt. Sencillamente observó que si un sistema determinado evoluciona de forma que la función- $H$  decrece de modo constante —como afirmaba Boltzmann—, al invertir las velocidades de todas las partículas en cualquiera de sus estados posteriores obtenemos un sistema para el que, de acuerdo con las leyes de la mecánica, aumenta  $H$ . «Es obvio que, de forma completamente general, en cualquier sistema todo el desarrollo de los acontecimientos debe seguir el orden inverso si se invierten repentinamente las velocidades de todos los elementos»<sup>19</sup>. La imposibilidad elemental de deducir una ley unidireccional a partir de las leyes reversibles de la mecánica entró de nuevo en el debate. Ahora bien, cuando se defienden a cualquier precio posiciones insostenibles, hay que esperar que se manipule a la lógica. Así, no hay que sorprenderse de ver que se hacía caso omiso de la cuestión fundamental en la prueba del teorema- $H$  invocada inmediatamente después contra la objeción planteada por Loschmidt por parte de los defensores de ese teorema, incluido el propio Boltzmann<sup>20</sup>. Todos ellos contraatacaron diciendo que, puesto que nada garantiza que el sistema inverso satisfaga el postulado de la colisión, la crítica de Loschmidt es inútil.

Sin embargo, al final de todo la crítica impulsó a Boltzmann a buscar una nueva interpretación de su teorema- $H$ . Fue entonces cuando estableció los tres principios que han sido aceptados desde ese momento como los artículos de fe de la mecánica estadística<sup>21</sup>. El primer principio identifi-

<sup>18</sup> Todos los aspectos anteriores sobre el teorema- $H$  pueden ilustrarse por medio de un modelo que, aunque relativamente simple, debe relegarse al Apéndice técnico C de este volumen.

<sup>19</sup> J. Loschmidt, «Über den Zustand des Wärmegleichgewichtes eines Systems von Körpern mit Rücksicht auf die Schwerkraft», *Sitzungsberichte der K. Wiener Akademie*, LXXIII (1876), p. 139 (la traducción es mía); también, Ehrenfest, *Conceptual Foundations*, pp. 14 y s.

<sup>20</sup> Véase, por ejemplo, S. H. Burbury, «Boltzmann's Minimum Function», *Nature*, LI (1894), pp. 78, y (1895), 320, y Boltzmann, *Lectures on Gas Theory*, pp. 58 y s.

<sup>21</sup> L. Boltzmann, «Über die Beziehung zwischen dem zweiten Hauptsatze der mechanischen Wärmetheorie und der Wahrscheinlichkeitsrechnung respektive den Sätzen über das Wärmegleichgewicht», *Sitzungsberichte der K. Wiener Akademie*, LXXVI (1877), pp. 373-435. Las citas que siguen son traducciones mías.

ca «la magnitud habitualmente denominada entropía con la probabilidad del correspondiente [macro]estado». El segundo proclama que todos los microestados son igualmente probables. El tercero continua diciendo que el aumento de entropía «no puede significar más que la probabilidad del estado del sistema de partículas debe aumentar constantemente: el sistema puede pasar solamente de un estado a otro más probable». El cambio producido es básico: el comportamiento de la función- $H$  no está sujeto ya a la estricta ley  $dH/dt \leq 0$  sino a las leyes generales de la probabilidad interpretadas de forma especial por ese tercer principio. Casi ninguna huella del ferviente entusiasmo de Boltzmann por la mecánica se encuentra presente ya en su admisión explícita de que el teorema- $H$  y la Ley de la Entropía son «exclusivamente teoremas de probabilidad [que] nunca pueden probarse matemáticamente a través sólo de las ecuaciones de la dinámica»<sup>22</sup>. Y creía que sobre esta base podría justificar también el postulado estadístico de su primitiva prueba del teorema- $H$  al afirmar que ese postulado significa solamente «que las leyes de la probabilidad son aplicables al descubrimiento del número de colisiones»<sup>23</sup>. Mas, cuando esta nueva posición llegó a ser también duramente atacada, Boltzmann intentó demostrar con ayuda de algunas analogías que la Ley de la Entropía se deriva simplemente del hecho de que el estado caótico es el más probable y que, de forma implícita, la curva- $H$  se compone principalmente de «picos»<sup>24</sup>. Sin embargo, esas analogías no tenían la exactitud necesaria para la cuestión ni la trataban con precisión suficiente<sup>25</sup>.

Sobre semejante base, Boltzmann afirmó que había resuelto la objeción de Loschmidt<sup>26</sup>. Admite realmente que si para cualquier sistema la función- $H$  decrece constantemente durante el intervalo temporal  $(t_0, t_1)$ ,  $H$  aumentará exactamente en el orden inverso si todas las velocidades se invierten en  $t_1$ , pero se opone a la objeción de Loschmidt afirmando que si «se invierten todas las velocidades en el tiempo  $t_0$  no se llega de ningún modo a un movimiento para el que deba crecer  $H$ ; por el contrario,  $H$  seguirá probablemente decreciendo»<sup>27</sup>. Es evidente, no obstante, que, para que eso sea cierto, la curva- $H$  debe tener un «pico» en  $t_0$ . Pero, incluso

<sup>22</sup> L. Boltzmann, «On Certain Questions of the Theory of Gases», *Nature*, LI (1895), p. 414.

<sup>23</sup> L. Boltzmann, «On the Minimum Theorem in the Theory of Gases», *Nature*, LII (1895), p. 221. Del mismo carácter, e igualmente incomprensible, es la respuesta de Borel a la objeción de Loschmidt, a saber, que la inversión de todas las velocidades es «físicamente imposible». Émile Borel, *Mécanique statistique classique* (París, 1925), pp. 59 y s.

<sup>24</sup> Boltzmann, «On Certain Questions», p. 415; véase también su «Über die sogenannte  $H$ -curve», *Mathematische Annalen*, I (1898), pp. 325-332.

<sup>25</sup> Para más detalles, véase el Apéndice D de este volumen.

<sup>26</sup> Muchos suscribieron por completo esa afirmación, por ejemplo, Ehrenfest, *Conceptual Foundations*, pp. 32-38.

<sup>27</sup> Boltzmann, *Lectures on Gas Theory*, pp. 58 y s. Sobre esta cuestión, véase el Apéndice C de este volumen.

aunque sea ese el caso, la argumentación no tiene relación alguna con la objeción de Loschmidt. Sin tener en cuenta cuán frecuentes o infrecuentes son los picos de la curva- $H$  y tomando el caso verdaderamente considerado por Boltzmann, se puede invertir todas las velocidades en cualquier  $t'$  tal que  $t_0 < t' < t_1$  y obtener un movimiento para el que  $H$  aumente. Este caso, y no otro, es pertinente para la objeción de Loschmidt.

Sobre la misma base del enfoque probabilístico, podemos ver que, al ser  $t$  un intervalo temporal determinado, hay tantos casos en los que  $H$  decrece en un intervalo  $(t^0, t^0 + t)$  como aquellos en los que  $H$  crece en un intervalo congruente  $(t^1, t^1 + t)$ . La curva- $H$  es necesariamente simétrica en este sentido específico, debido simplemente a que la noción de probabilidad física basada exclusivamente en consideraciones mecánicas es totalmente dependiente de la dirección temporal<sup>28</sup>. En otras palabras, si se exceptúan los «picos» y los «valles», hay tantos momentos en los que la entropía de un sistema aumenta como aquellos en los que disminuye. Evidentemente, este aspecto priva de casi toda importancia a la Ley de la Entropía de Boltzmann. Si, como parece, la cuestión ha pasado desapercibida, se debe probablemente a que la discusión de la curva- $H$  condujo a la impresión de que la curva debe estar compuesta necesariamente de ondas inmensamente largas. La misma idea aparece de nuevo en la respuesta de Boltzmann a otra objeción planteada más tarde por E. Zermelo<sup>29</sup>.

Zermelo invocó un famoso teorema de Poincaré que dice que todo sistema mecánico aislado en el que las posiciones y las velocidades de las partículas permanecen dentro de ciertos límites volverá a cualquier estado anterior bien exactamente (por lo tanto, *periódicamente*) o aproximadamente (por lo tanto, *cuasi periódicamente*)<sup>30</sup>. En consecuencia, afirmaba Zermelo, la función- $H$  de cualquier sistema descrito por las ecuaciones ortodoxas de la dinámica debe volver, más pronto o más tarde, a cualquier valor previo, si no exactamente, al menos aproximadamente.

En su réplica, Boltzmann sostuvo que, lejos de refutar su teorema- $H$ , la puntualización de Zermelo lo confirmaba. Tal como lo expresó, de acuerdo con su teoría, «un sistema cerrado de un número finito de moléculas, cuando se encuentra inicialmente en un estado ordenado y pasa después a un estado desordenado, por último, tras un *tiempo inconcebiblemente largo*, debe volver de nuevo al estado ordenado»<sup>31</sup>. Debería ser obvio, empero, que la argumentación es engañosa: de acuerdo con el punto de

<sup>28</sup> Véase mi artículo, «The Nature of Expectation and Uncertainty» (1958), reimpresso en *AE*, p. 251.

<sup>29</sup> E. Zermelo, «Über einen Satz der Dynamik und die mechanische Wärmetheorie», *Annalen der Physik und der Chemie*, LVII (1896), pp. 485-494; también Ehrenfest, *Conceptual Foundations*, pp. 15 y s. Aparentemente, Zermelo aceptó los contraargumentos a la objeción de Loschmidt.

<sup>30</sup> Henri Poincaré, «Sur le problème des trois corps et les équations de la dynamique», *Acta Mathematica*, XIII (1890), pp. 67-73 (especialmente).

<sup>31</sup> Boltzmann, *Lectures on Gas Theory*, p. 443. Las cursivas son mías.

vista probabilístico en base al cual se ha demostrado el teorema- $H$ , nada impide que el estado desordenado vuelva al estado ordenado tras un *tiempo sorprendentemente corto*. Una y otra vez, Boltzmann se trasladó de una base axiomática a otra de acuerdo con las necesidades del momento. En efecto, para poner de manifiesto el mucho tiempo que tarda el orden en volver a ser orden, Boltzmann supuso que un sistema mecánico debe pasar por *todos los posibles estados consistentes con su energía total* antes de regresar al mismo estado<sup>32</sup>.

La hipótesis fue utilizada ya por Maxwell, quien justificó su plausibilidad por razones estadísticas, como una consecuencia del gran número de colisiones de las partículas con la pared del recipiente<sup>33</sup>. La opinión general es que, de modo semejante, Boltzmann la consideró como una faceta del artículo principal de la fe estadística, esto es, que todos los estados microscópicos son igualmente probables. Más probablemente, creyó que la propiedad era una consecuencia de las leyes de la mecánica: en su obra recién citada, Boltzmann la pone en relación con el teorema de Poincaré, una proposición de la mecánica pura. Todos estas diversas ideas reflejan con claridad el embrollo que, desde el principio hasta la actualidad, ha rodeado a esta hipótesis vital para la interpretación probabilística de la entropía.

3. *La hipótesis ergódica y el teorema ergódico*. La propiedad anteriormente mencionada, que Maxwell y Boltzmann atribuían a todo sistema mecánico y de acuerdo con la cual todo sistema de ese tipo pasa sistemáticamente por todos los estados compatibles con su energía total, ha llegado a ser conocido como el principio *ergódico*, expresión acuñada por el propio Boltzmann. Sin embargo, «la hipótesis ergódica» parece una etiqueta mucho más segura. Durante muchos años, la hipótesis fue defendida y atacada con todo tipo de argumentaciones. En último término, se descubrió que, con excepción de unos pocos casos sin interés en el espacio unidimensional, ningún sistema mecánico puede satisfacerla. Con la moderna teoría de la medición, esa imposibilidad es ya un lugar común. La idea fundamental puede explicarse de modo intuitivo gracias a un ejemplo elemental que demostrará ser instructivo desde otros puntos de vista.

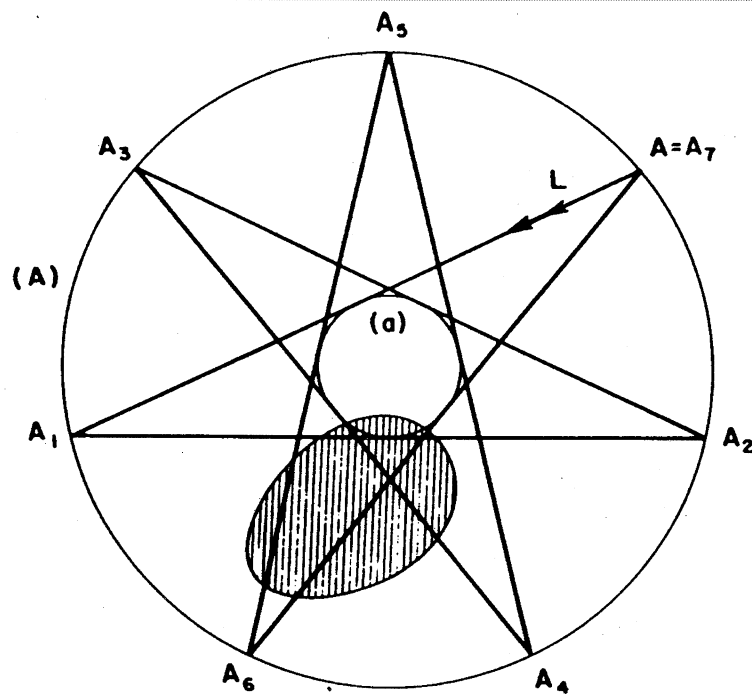
Imaginemos una única partícula moviéndose sin fricción como una bola perfectamente elástica sobre una mesa de billar horizontal, circular y también perfectamente elástica. Sea la posición inicial de la bola  $L_0$  y el vector de velocidad inicial en el sentido  $L_0A_1$  (Figuras 1 y 2). Como consecuencia de la ley de la reflexión elástica, la bola se moverá con velocidad uniforme sobre una senda  $A_1A_2A_3\dots$  tal que cualquier arco  $A_nA_{n+1}$  es igual a aquel arco  $AA_1$  que no es mayor que  $\pi$ . Indicando este último arco por  $r\pi$ ,

<sup>32</sup> L. Boltzmann, «Entgegnung auf die wärmetheoretischen Betrachtungen des Hrn. E. Zermelo», *Annalen der Physik und der Chemie*, LVII (1896), pp. 783 y s.

<sup>33</sup> J. Clerk Maxwell, *Scientific Papers* (2 volúmenes, Cambridge, Ingl., 1890), II, pp. 714 y s.

$0 < r \leq 1$ , hay que distinguir dos casos. Si  $r$  es un número *racional*, la bola describirá un polígono bastante regular (Fig. 1); por lo tanto, el sistema volverá a cualquier estado previo (lo que incluye la posición y el sentido del vector de velocidad). El movimiento del sistema es *periódico*. Si  $r$  es un número *irracional*, la senda es una línea poligonal abierta; ningún  $A_n$  coincide con  $A$  (Fig. 2). La bola no volverá nunca a la misma posición sobre el círculo ( $A$ ). Dentro del círculo, puede pasar de nuevo por el mismo punto, pero no más de una vez, por la sencilla razón de que únicamente dos cuerdas de la misma longitud pueden pasar por un punto interior. Pero incluso si la bola vuelve a una posición previa, su vector de velocidad no tiene en absoluto el mismo sentido que antes. Ahora bien, tras un tiempo suficientemente largo, el sistema volverá a cualquier estado previo lo más cerca que podamos desear<sup>34</sup>. Podemos decir que un sistema semejante es *cuasi periódico*. Ambos casos ilustran la esencia del teorema de Poincaré mencionado en la sección precedente.

Figura 1

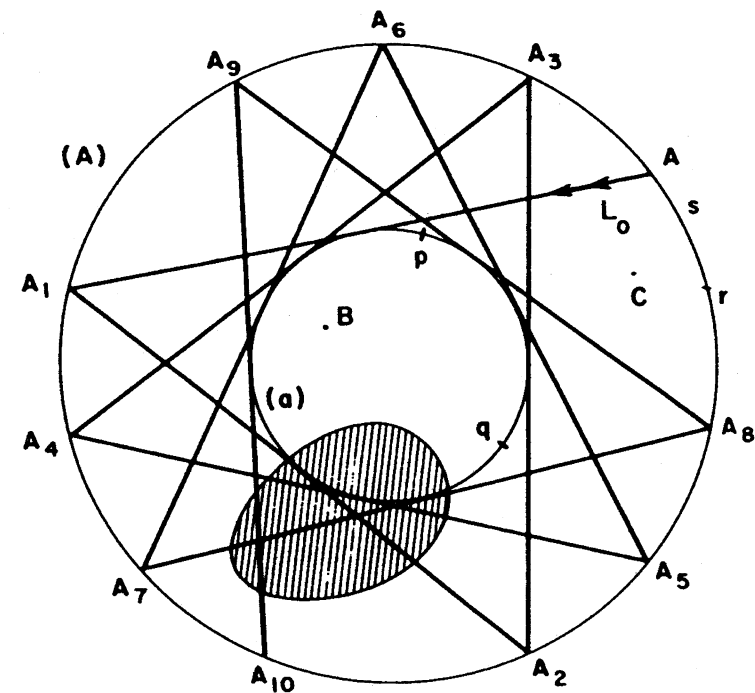


<sup>34</sup> Las proposiciones relativas al caso de la Fig. 2 son tan intuitivas que no creo necesario incluir aquí las correspondientes demostraciones. Estoy seguro de que el lector interesado no tendrá dificultad alguna para proporcionarse por sí mismo esas simples demostraciones.

Observemos ahora que el mero conocimiento de la *magnitud* de la velocidad inicial de la bola no suministra información alguna sobre el movimiento del sistema, es decir, sobre la senda  $A_1A_2A_3\dots$ . Por consiguiente, todas las sendas semejantes son consistentes con cualquier magnitud de la velocidad de la bola, así como con cualquier cantidad de la energía total del sistema. En resumen, para que la hipótesis ergódica sea cierta, todo movimiento *individual* debe pasar a través de cualquiera de los puntos del campo ( $A$ ) no solamente una vez sino infinitas veces, cada una de ellas desde una dirección distinta.

El caso de la Fig. 1 muestra sin género de duda cuán absurda es esa hipótesis, pero quizá pudiese contestarse (en el estilo actualmente dominante) que, debido a que los números racionales  $r$  forman un conjunto de medida cero en el intervalo  $(0,1)$ , no deberíamos prestar atención alguna a este caso. Sin embargo, la Fig. 2 muestra que, incluso aunque  $r$  sea irracional, el sistema no pasará a través de cualquier punto  $B$  interior al círculo ( $a$ ), aunque tal posición sea consistente con la energía total del sistema. Al elaborar argumentos *ad hoc* para enfrentarse a cualquier objeción, puede replicarse que la hipótesis ergódica se satisface en último término dentro del área comprendida entre los círculos ( $a$ ) y ( $A$ ). Ahora bien, esto es igualmente inútil. Es cierto que cualquier senda individual semejante a la de la Fig. 2 pasa todo lo cerca que deseemos de cualquier punto  $C$  interior al

Figura 2





anillo, pero, como puede observarse con facilidad a la vista de la geometría de la situación, el sentido de la velocidad en  $C$  no puede encontrarse dentro de los ángulos  $pCq$  o  $rCs$ <sup>35</sup>.

Las esperanzas despertadas por la explosión de la hipótesis ergódica resucitaron gracias a una nueva idea. Esta idea, a la que es adecuado referirse como hipótesis *cuasi ergódica*, consiste en que un sistema mecánico abandonado a sí mismo se acercará tanto como deseemos a cualquier estado consistente con su energía total. Más concretamente, el espacio escalonado en el que se representan todos los estados está dividido en volúmenes pequeños e *iguales* a los que podemos referirnos como estados *brutos*. La hipótesis dice que el sistema pasará a través de todo volumen semejante que contenga un estado consistente con la energía total dada. Ahora bien, las observaciones del párrafo anterior ponen de manifiesto que ni siquiera esa hipótesis más débil puede satisfacerse siempre. Es cierto que E. Fermi demostró que, si un sistema dinámico *general* satisface algunas condiciones analíticas relativamente simples, el sistema es cuasi ergódico. En esta ocasión, el estribillo de que habría que ignorar también los sistemas que no satisficieran totalmente las condiciones del teorema debido a que configurarían una reducida categoría animó la controversia hasta las nuevas alturas en las que ha permanecido desde entonces. No hay que asombrarse de que pasase desapercibido un elemento importante de la demostración de Fermi; se trata del hecho de que la comprobación excluye implícitamente los sistemas *especiales* en los que las partículas colisionan entre sí o con las paredes del recipiente (caso en el que la velocidad del vector varía de forma discontinua). Y me temo que la misma hipótesis oculta arroja enormes dudas sobre la pretendida importancia de muchos otros teoremas relacionados con los aspectos estadísticos de los sistemas mecánicos<sup>36</sup>.

La hipótesis cuasi ergódica siguió sin proporcionar una base operativa adecuada para la interpretación probabilística, ya que tal hipótesis por sí misma no dice nada sobre las frecuencias relativas con las que los diferentes estados se suceden en la historia de un sistema concreto. La respuesta a esa cuestión llegó únicamente en 1931 a partir de una proposición demostrada por G. D. Birkhoff, proposición conocida actualmente como teorema cuasi ergódico o, sencillamente, teorema ergódico<sup>37</sup>.

<sup>35</sup> No es preciso añadir nada más para ver la fantástica exageración de la cifra «mágica» de  $10^{10}$  años para el tiempo de retorno a la que llegó Boltzmann en el caso de la hipótesis ergódica. Véase la Sección 3 del Apéndice F de este volumen.

<sup>36</sup> Las condiciones supuestas por el teorema de Fermi se explican detalladamente en el *resumé* de la prueba elaborado por D. ter Haar, «The Foundations of Statistical Mechanics», *Reviews of Modern Physics*, XXVII (1955), pp. 328 y s. En lo que atañe a otro teorema sobre la misma cuestión, véase la nota 45 posterior.

<sup>37</sup> G. D. Birkhoff, «Proof of a Recurrence Theorem for Strongly Transitive Systems», *Proceedings of the National Academy of Science*, XVII (1931), pp. 650-655.

Para llevar a cabo una ilustración elemental, aunque penetrante, de este teorema, vamos a suponer que hay en total diez «estados» posibles, clasificados como 0, 1, 2, ..., 9. Definamos la ecuación de transformación por

$$(9) \quad T = \begin{pmatrix} 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 \\ 5, 8, 6, 1, 9, 3, 4, 0, 2, 7 \end{pmatrix},$$

en la que cada cifra de la segunda fila indica el estado que sigue al que figura inmediatamente encima de ella. En este caso, hay sólo diez «sistemas», empezando cada uno de ellos por uno de los diez «estados». Así, por ejemplo, la historia del sistema que comienza por el estado «8» viene descrita por la secuencia infinita

$$(10) \quad \Sigma (8, 2, 6, 4, 9, 7, 0, 5, 3, 1, 8, 2, 6, 4, \dots)$$

en la que la secuencia finita de los diez primeros estados se repite indefinidamente. Supongamos que  $N_1$  indica el número entero escrito con esa secuencia finita,  $N_1 = 826\dots 1$ . Alternativamente, podemos definir  $\Sigma_1$  por la secuencia de los decimales de la fracción

$$(11) \quad n_1 = N_1 / (10^{10} - 1).$$

De modo semejante, la historia del sistema que comienza por el estado «1» viene dada por los decimales de la fracción

$$(12) \quad n_2 = N_2 / (10^{10} - 1),$$

donde  $N_2 = 10N_1 - 8(10^{10} - 1)$ . De la misma forma, podemos describir la historia de todos los restantes sistemas a través de un número  $n_k$ .

Es importante poner de relieve las propiedades fundamentales de la función de transformación (9). En primer lugar, cada estado se transforma en un único estado y a la vez es el resultado de la transformación de un solo estado. Podemos decir que la ecuación (9) es una correspondencia unívoca que transforma el conjunto de *todos* los estados en sí mismo. En segundo lugar, por la misma transformación, un subconjunto de  $i$  estados diferentes se transforma en un subconjunto de exactamente  $i$  estados diferentes<sup>38</sup>. Así, por ejemplo, el subconjunto de cuatro estados (1, 3, 4, 7) se transforma en el subconjunto de cuatro estados (8, 1, 9, 0). En tercer lugar, como se demuestra fácilmente, ningún subconjunto propio del conjunto de todos los estados se transforma en sí mismo. Una transformación que satisfaga todas esas condiciones se conoce por tener la propiedad denominada indistintamente *transitividad métrica, indescomponibilidad o ergodicidad*<sup>39</sup>. El teore-

<sup>38</sup> En el caso de  $T$ , esta propiedad se deduce de la anterior, lo que ya no es cierto si el conjunto de todos los estados posibles tiene la facultad del continuo. Véase el Apéndice E de este volumen.

<sup>39</sup> Véase P. R. Halmos, *Lectures on Ergodic Theory* (Tokio, 1956), p. 25.

ma de Birkhoff dice que, dejando de lado el estado inicial, el sistema pasará en ese caso a través de cualquier estado posible y que cada estado aparecerá con la misma frecuencia relativa (en el límite). Para un sistema definido por  $T$ , ese límite es, por tanto,  $1/10$ .

Dado que a veces se pasa por alto este punto, hay que subrayar que el propio Birkhoff empleó la expresión «ergódica» para una transformación que satisface exclusivamente las dos primeras condiciones expuestas en el párrafo anterior<sup>40</sup>. La diferencia esencial se ilustra fácilmente gracias a la transformación unívoca

$$(13) \quad T^* = \begin{pmatrix} 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 \\ 9, 4, 8, 0, 2, 7, 3, 1, 5, 6 \end{pmatrix},$$

que es ergódica en el sentido de Birkhoff, pero no en sentido estricto. En efecto,  $T^*$  es *descomponible* en dos transformaciones

$$(14) \quad T' = \begin{pmatrix} 1, 2, 4, 5, 7, 8 \\ 4, 8, 2, 7, 1, 5 \end{pmatrix} \quad T'' = \begin{pmatrix} 0, 3, 6, 9 \\ 9, 0, 3, 6 \end{pmatrix}.$$

Esto significa que  $T^*$  transforma en sí mismos cada uno de los dos subconjuntos propios (1, 2, 4, 5, 7, 8) y (0, 3, 6, 9). Como resultado de esa descomposición, *un sistema que comience por un estado de uno de esos subconjuntos nunca asumirá un estado del otro subconjunto*. Es decir, la historia de un sistema que comience por el estado «1» viene descrita por los decimales de

$$(15) \quad n_1' = \frac{1}{7},$$

y la del sistema que comience por «0», por los decimales de

$$(16) \quad n_1'' = \frac{963}{9999} = \frac{107}{1111}.$$

Como consecuencia de todo ello, no podemos decir que cualquier estado aparecerá en la historia de cualquier sistema (como sucedía en el caso de  $T$ ). Sin embargo, todos los estados que *realmente* aparecen en la historia de un sistema aparecerán con la *misma* frecuencia relativa. Lo que sucede es

<sup>40</sup> G. D. Birkhoff, «Proof of the Ergodic Theorem», *Proceedings of the National Academy of Science*, XVII (1931), pp. 656-660, y, especialmente, del mismo autor «What Is the Ergodic Theorem?», *American Mathematical Monthly*, XLIX (1942), pp. 222-226.

que esa frecuencia relativa no es la misma para *todos* los estados posibles. Los seis estados (1, 2, 4, 5, 7, 8) aparecen con la misma frecuencia relativa,  $1/6$ , en la historia de cualquier sistema que comience por uno de esos estados. Los otros cuatro estados aparecerán con la misma frecuencia relativa,  $1/4$ , en cualquiera de los otros sistemas. Hay que resaltar también que, cualesquiera que sean el sistema y la transformación ( $T$  o  $T^*$ ), es aplicable el teorema de Poincaré: el sistema vuelve periódicamente a cualquier estado *previo*, lo que no significa a *cualquier estado posible*.

Existen, por tanto, dos teoremas que han de distinguirse claramente entre sí. Empezando por su transcendencia para nuestro asunto, hay que recordar una importante propiedad de una clase muy extensa de sistemas mecánicos: la transformación de un estado de semejante sistema general en el estado asumido después de un intervalo constante de tiempo es ergódica en el sentido de Birkhoff<sup>41</sup>. Por consiguiente, en la historia total de un sistema general, cualquier microestado bruto consistente con la energía total de ese sistema aparece con una frecuencia relativa definida, pero únicamente si el sistema es tal que la propia transformación es estrictamente ergódica, es decir, si no es descomponible, podemos afirmar que esa frecuencia es la misma para todos los microestados. Un ejemplo muy oportuno de la diferencia existente entre las dos situaciones lo ofrece nuestra bola de billar. Como puede verse de modo intuitivo en las Figuras 1 y 2, la bola pasará una proporción definida de tiempo en cualquier región determinada (como la sombreada en las figuras), pero esa proporción no es la misma para todos los movimientos consistentes con la energía total supuesta. Evidentemente, el sistema no es ergódico en sentido estricto<sup>42</sup>.

Como lo expresaron posteriormente Birkhoff y Koopman, el resultado es que «la *Hipótesis Cuasi Ergódica* ha sido sustituida por su versión moderna: la *Hipótesis de la Transitividad Métrica*»<sup>43</sup>; y el problema reside en que no existe ningún teorema general sobre las condiciones apropiadas para que un sistema sea métricamente transitivo (esto es, ergódico)<sup>44</sup>. No cabe duda de que Oxtoby y Ulam han elevado el problema hasta el punto en que el espacio-fase es, a escala topológica, un poliedro «tridimensional o más» y para «grupos continuos de automorfismos [transformaciones] preservadores de la medición, no necesariamente diferenciable o derivable a partir de ecuaciones diferenciales»<sup>45</sup>. Por otro lado, la afirmación de Geor-

<sup>41</sup> Esta propiedad se conoce como teorema de Liouville; a este respecto, véase Khinchin, *Mathematical Foundations* (nota 9 anterior), pp. 15 y s.

<sup>42</sup> Este punto implica ciertas cuestiones técnicas que pueden ilustrarse a través de un caso más sencillo analizado en el Apéndice E de este volumen.

<sup>43</sup> G. D. Birkhoff y B. O. Koopman, «Recent Contributions to the Ergodic Theory», *Proceedings of the National Academy of Science*, XVIII (1932), p. 282.

<sup>44</sup> Halmos, *Lectures on Ergodic Theory*, p. 96.

<sup>45</sup> J. C. Oxtoby y S. M. Ulam, «Measure-Preserving Homeomorphisms and Metrical Transitivity», *Annals of Mathematics*, XLII (1941), pp. 875 y s.

ge Gamow acerca de que «sus resultados implican que en cierto sentido *ca-si toda* transformación continua es métricamente transitiva»<sup>46</sup> refleja la habitual esperanza optimista y contrasta con las sobrias valoraciones del propio autor. Pero, aparte de lo anterior y como ya he dicho, nuestro sencillo modelo de la bola de billar nos advierte que la existencia de colisiones (un rasgo fundamental de cualquier sistema de numerosas partículas) es generalmente incompatible con una transformación continua.

4. *La antinomia de la mecánica estadística.* A partir del momento en que Boltzmann estableció un modelo duradero en este campo, las argumentaciones en defensa de la mecánica estadística han oscilado de forma subrepticia entre dos evangelios diferentes así como entre tres distintas definiciones de entropía. Las demostraciones de algunos teoremas invocan las leyes deterministas de la mecánica, en tanto que otros hacen uso de las leyes aplicables a los fenómenos aleatorios. Utilizando una metáfora de Max Born, todo el edificio teórico de la mecánica estadística se ha erigido de acuerdo con la norma jesuítica: «que tu mano derecha no sepa lo que hace la izquierda». Recordemos al respecto que primeramente la entropía se consideraba sólo una *variable física de estado* y que la Ley de la Entropía tenía únicamente la formulación de Clausius dada en el Capítulo V, Sección 4, anterior. Con Boltzmann<sup>47</sup>, la entropía se empezó a asociar al *grado de desorden* (definido anteriormente). Esta segunda definición condujo a una nueva formulación de la Ley de la Entropía, definición mencionada en la Sección 1 del presente capítulo. El paso así dado fue crucial: un concepto para el que podía obtenerse una medición definida a partir de otras variables instrumentalmente mensurables fue sustituido por otro para el que no existe medición instrumental directa o indirecta.

Ahora bien, si se acepta como plausible la idea de que el calor de un cuerpo *en cada instante* se produce por los movimientos irregulares de sus partículas, la primera definición de entropía puede transformarse fácilmente en un caso particular de la segunda. Del mismo modo, si se acepta que la Ley de la Entropía (interpretada como orden) es una oscura ley de la Naturaleza, la formulación clásica resulta ser un caso particular (¡mas no a la inversa!). Sin embargo, una vez que el concepto de movimiento se ha introducido en todas las ciencias especiales, difícilmente puede resistirse a la tentación de introducirlo también en la mecánica en su conjunto. Sólo después de haber sucumbido a esa tentación es cuando se presenta el verdadero problema: cómo deducir un oscuro hecho de la Naturaleza, la Ley de la Entropía, de los oscuros hechos expresados por las leyes de la mecánica.

La idea por la que Boltzmann luchó apasionadamente a lo largo de toda su vida es que ese problema se soluciona si se adopta una tercera defini-

<sup>46</sup> Nota del traductor en Khinchin, *Mathematical Foundations*, p. 54.

<sup>47</sup> Boltzmann, *Lectures on Gas Theory*, pp. 442 y s.

ción de entropía como «la probabilidad termodinámica» de que se produzca el correspondiente grado de desorden termodinámico. Ahora bien, como ya he subrayado, la equivalencia de esta tercera definición con las otras dos no se ha determinado a satisfacción de todos. No hay uno solo sino dos diferentes obstáculos que se oponen a esa equivalencia.

Como debiera haber quedado suficientemente claro a partir de las secciones precedentes, el primer obstáculo consiste en que, una vez que se ha acusado a la mecánica, la aleatoriedad se encuentra excluida para siempre del debate. En una descripción analítica de la Naturaleza, nada puede estar totalmente determinado por leyes rígidas y comportarse a la vez de forma que desafíe a toda descripción analítica. Es esta la antinomia de la mecánica estadística, antinomia para cuya reducción se ha derrochado imaginativamente una inmensa cantidad de energía intelectual.

En el proceso a cuyo través se pretende haber resuelto esa antinomia hay un segundo obstáculo habitualmente perdido en el laberinto de las argumentaciones probabilísticas. Así, podría definirse perfectamente «altura» como «probabilidad biológica», pero también podría definirse «probabilidad biológica» como la probabilidad de que tenga lugar determinada altura. Ahora bien, si se adoptan (como dice Boltzmann) ambas definiciones de forma conjunta, una de ellas proclama implícitamente una nueva ley de la Naturaleza<sup>48</sup>. En el caso de la termodinámica, esa ley es de hecho una tercera Ley de la Entropía, que en su forma más estricta dice:

*Los macroestados se presentan en la Naturaleza con frecuencias tales que cuanto mayor es el grado de desorden mayor es la correspondiente frecuencia.*

En relación con esta proposición, hay que poner de relieve una observación hecha por Gibbs, que su generalidad se extiende más allá de la misma termodinámica<sup>49</sup>. Tal como lo veo, la verdad es que la proposición se convierte prácticamente en un principio metafísico de la misma esencia que la idea simétrica en cuya virtud lo homogéneo es el semillero del inevitable no homogéneo. Es precisamente esta ciencia metafísica la que explica las dificultades insuperables con que se ha tropezado al justificar la nueva Ley de la Entropía, ya sea experimentalmente o analíticamente a través de la derivación de otras leyes básicas. En efecto, a diferencia de la formulación clásica, la nueva ley parece estar más allá de todo experimento. Todo lo que sus defensores han sido capaces de hacer es declarar, en

<sup>48</sup> Consciente del peligroso encanto que la «probabilidad termodinámica» de Boltzmann puede ejercer sobre nuestras mentes, Max Planck sugirió una expresión menos hipnotizadora, «ponderación termodinámica». Además, advirtió al lector que no debía confundirse estas expresiones con «probabilidad “matemática” o ponderación mecánica». Sin embargo, en último término también Planck fue víctima del sortilegio y equiparó «probabilidad termodinámica» a la verdadera probabilidad. Véase Max Planck, *Theory of Heat* (Londres, 1932), pp. 54 y s. y 222-225.

<sup>49</sup> J. Willard Gibbs, *Elementary Principles in Statistical Mechanics* (Nueva York, 1960), p. viii.

primer lugar, que la ley se deriva de la base contradictoria a la que ya estamos habituados: las leyes de la mecánica y una ley estadística que dice que para una partícula todas las posiciones, por un lado, y todas las velocidades, por otro, se producen con las mismas frecuencias. Y, en segundo lugar, dado que la verificación de esta nueva ley estadística está sujeta a la misma prohibición experimental, como último recurso sus mismos defensores reclamaban que el fundamento lógico sobre el que se basa la mecánica estadística se encuentra ratificado por el acuerdo entre sus proposiciones y los hechos observados<sup>50</sup>.

Superficialmente, la cuestión parece fuera de toda duda. Como se ha subrayado en el Capítulo I, Sección 4, anterior, el fundamento lógico de cualquier ciencia especial incluye normalmente algunas proposiciones- $\omega$  no susceptibles de ser verificadas experimentalmente de forma directa. La validez de semejante fundamento lógico se verifica indirectamente si las proposiciones- $\beta$  derivadas lógicamente a partir de ( $\omega$ ) están de acuerdo con los hechos observados. Si, por el contrario, algunos de esos hechos pueden describirse únicamente a través de proposiciones incompatibles con ( $\omega$ ), ha de ponerse en tela de juicio la validez del fundamento lógico. Ahora bien, la defensa de la mecánica estadística ignora esas consideraciones explícitas de verificación indirecta, pues la verdad es que la cadena realmente existente entre los principios básicos de la mecánica estadística y las proposiciones que supuestamente se encuentran corroboradas por hechos tiene numerosos eslabones patentemente dudosos o, lo que es peor, falsos<sup>51</sup>. Esta es una de las razones por las que el éxito reclamado por la interpretación mecánico-estadística es de hecho falso. Como afirmó Zermelo hace mucho tiempo, el «éxito aparente tiene que deberse a un falso razonamiento».

Otra razón se refiere a los hechos en sí mismos. Todo aquel que haya leído atentamente los numerosos manuales de mecánica estadística tiene que haberse dado cuenta de que brillan por la ausencia de todo informe experimental<sup>52</sup>; hasta más de un físico contempla la mecánica estadística como construcción matemática sin interés alguno desde el punto de vista de la física. Esta es también la opinión de una autoridad de las matemáticas: «la mecánica estadística es, en esencia, matemática pura»<sup>53</sup>. En esta situación, nos ha de parecer entonces mucho mayor la estatura científica de

<sup>50</sup> Por ejemplo, Haar, «Foundations» (nota 36 anterior), p. 298, y, especialmente, Khinchin, *Mathematical Foundations*, pp. 52 y s.

<sup>51</sup> A diferencia de las apuntadas en las secciones precedentes, estas lagunas se encuentran claramente puestas de manifiesto en Ehrenfest, *Conceptual Foundations*, *passim*, y en Haar, «Foundations», pp. 292-294.

<sup>52</sup> Únicamente ahora y a este respecto encontramos una mención a los intentos de verificar experimentalmente la distribución Boltzmann-Maxwell, intentos que, no obstante, son muy poco convincentes. Véase James H. Jeans, *An Introduction to the Kinetic Theory of Gases* (Cambridge, Ingl., 1940), pp. 124-130.

<sup>53</sup> Hadamard (citado en la nota 3 anterior), pp. 194 y s. La traducción es mía.

Gibbs, al leer su franca confesión de que en su propia aportación «no puede haber error en lo que se refiere a la concordancia de las hipótesis con los hechos de la Naturaleza, pues no se ha supuesto nada a ese respecto»<sup>54</sup>.

A la vista de esas circunstancias, únicamente es natural que todos los esfuerzos deban dirigirse a justificar el enfoque estadístico a través de otras consideraciones generales que no tienen nada que ver con los hechos específicos de la termodinámica. La tesis propuesta hace ya mucho tiempo (1856) por A. Krönig, en el sentido de que debemos recurrir a las probabilidades como consecuencia de nuestra innata incapacidad de determinar todas las coordenadas de un sistema complejo y de seguir su historia, constituye actualmente un estribillo habitual<sup>55</sup>: hay dos interpretaciones distintas de lo que significa esa idea.

Está, en primer lugar, la escuela boltzmanniana de pensamiento a la que podemos denominar ahora enfoque *probabilístico*. En este enfoque, las probabilidades se emplean para describir qué hará a continuación un sistema *individual*, para lo cual el límite de la frecuencia relativa de un estado en la historia de un sistema se iguala simplemente a la probabilidad de que el sistema asuma ese estado a continuación. Ahora bien, dado que todos los microestados brutos se representan por los mismos volúmenes de espacio-fase, sus medidas son las mismas, con lo que, de acuerdo con la hipótesis ergódica, todos los microestados brutos son igualmente probables<sup>56</sup>. La conclusión es que —refiriéndose a la secuencia histórica (10)— todos los «estados» de la sección anterior tienen la misma probabilidad de ocurrir, concretamente, 1/10; así pues, en todo momento hay, por ejemplo, una probabilidad de 9/10 de que el próximo estado no sea «0».

No podría plantearse objeción alguna a esa forma de razonar si «probabilidad» se interpretase en sentido subjetivo, es decir, como índice de nuestra incertidumbre mental derivada de la incapacidad de medir exactamente las condiciones iniciales o de resolver por completo las ecuaciones de movimiento. Una persona que, por una u otra razón, haya perdido la noción del tiempo puede decir perfectamente que hay una probabilidad de 1/7 de que «hoy» sea Domingo. Esta medida de su probabilidad subjetiva se justifica por el hecho de que en total hay siete días en la semana, pero evidentemente *el propio hecho no le autoriza a decir también que los días de la semana se suceden de forma aleatoria*, es decir, como si el que hoy sea Domingo o Lunes se pudiese decidir a través de un mecanismo aleatorio. De modo semejante, para las secuencias de estados (10), no tiene sentido al-

<sup>54</sup> Gibbs, *Elementary Principles*, p. x. Las cursivas son mías.

<sup>55</sup> Aunque las citas puedan parecer superfluas aquí, para una muestra autorizada de las obras contemporáneas se remite al lector a Haar, «Foundations», p. 292, y Khinchin, *Mathematical Foundations*, p. 1.

<sup>56</sup> Véase la fórmula (3) en el Apéndice E de este volumen.

guno decir que hay una probabilidad (en sentido físico) de  $1/10$  de que el próximo estado sea «7»; esta cifra aparece siempre exclusivamente después de «9». Además, si la transformación es  $T^*$ , está excluida incluso la equivalencia de la probabilidad subjetiva con el límite ergódico: para «7», ese límite es  $1/6$  en una clase de secuencias y cero en la otra, en tanto que el mismo límite para «9» es cero y  $1/4$ , respectivamente. Para hacer que sea  $1/10$  la deseada igualación de la probabilidad subjetiva, es necesario suponer arbitrariamente que las frecuencias relativas de los sistemas a los que se refieren  $T$  o  $T^*$  sean  $6/10$  y  $4/10$ , respectivamente. Todo esto puede parecer elemental, pero el hecho de que una constante física como el límite ergódico en una secuencia perfectamente determinada pueda servir, en algunos casos, como medida ordinal de la probabilidad subjetiva entendida como estado mental ha conducido recientemente a una herejía insospechada. Tal herejía consiste en igualar la entropía a «grado» de nuestra ignorancia o, lo que es lo mismo, la denominada negentropía (esto es, entropía negativa, que es la función- $H$  de Boltzmann) a la «cantidad» de nuestra información. El modo en que nuestra ignorancia (un elemento subjetivo) pueda convertirse en una coordenada de un fenómeno físico, como es el expresado por la ley de la Entropía, va más allá de la más pura fantasía, al menos más allá de mi comprensión. No puede uno sino preguntarse dónde se encuentra un límite a las tergiversaciones del teorema ergódico.

Se han establecido propiedades ergódicas de todo tipo para algunas clases especiales de números enteros, incluidos los números primos<sup>57</sup>. En todo caso, a partir de tales resultados y del hecho de que todavía no conocemos ninguna ley relativa a la presencia de números primos en la secuencia de números enteros, sería completamente absurdo concluir que se presentan de forma aleatoria<sup>58</sup>. Como ya he insistido en el Capítulo II, Sección 7, la aleatoriedad presupone regularidad, pero tal regularidad no es de la misma esencia que aquella evidente con la que se presenta «2» en la secuencia (10) que ha servido de ilustración o con la regularidad «oculta» con la que se presenta un número primo en la secuencia de números enteros. La regularidad aleatoria debe ser irregular en el sentido de que no puede describirse por una fórmula o por una regla analítica. Sin ese tipo de regularidad, el concepto de aleatoriedad sería completamente superfluo. Este es precisamente el aspecto que no comprenden o no quieren comprender los que pertenecen a la denominada escuela axiomática de la pro-

<sup>57</sup> Véase C. Benedetti, «Ricerche statistiche sui numeri primi», *Metron*, XXVI (1967), pp. 237-313, o A. G. Postnikov, *Ergodic Problems in the Theory of Congruences and of Diophantine Approximations* (Providence, R.I., 1967).

<sup>58</sup> El problema recién debatido recuerda a uno de los puntos de vista de Henri Poincaré sobre la probabilidad, discutido en el Capítulo II, Sección 7, anterior. La confusión entre un límite ergódico y la probabilidad física se vé con más claridad en la defensa de la mecánica estadística llevada a cabo por Khinchin en *Mathematical Foundations*, p. 52.

bilidad y quienes equiparan teoría de la probabilidad y teoría de la medición. Dificilmente negará nadie que la probabilidad implica una medición de cierto tipo, pero, como nos advirtió Richard von Mises, la medición como tal no es probabilidad<sup>59</sup>, y me gustaría añadir que medición más ignorancia sigue sin dar lugar a la probabilidad física. Los defensores de la termodinámica pura están empeñados (a lo que parece) en ignorar ese aspecto.

La segunda y más reciente escuela de pensamiento enuncia un punto de vista *estrictamente estadístico*: debido a que el sistema individual es tan complejo que se nos escapa, debemos estudiar lo que sucede *por término medio*. El atractivo de este proyecto, iniciado por Boltzmann y consagrado por Gibbs, se deriva del hecho de que todo lo que necesitamos para calcular una media es conocer las frecuencias relativas en el conjunto correspondiente; así, se elude por completo el concepto exacto de probabilidad (aunque la expresión «probabilidad» se utiliza en realidad por «frecuencia relativa»). Ahora bien, si el objetivo último ha de seguir siendo el mismo —en concreto, aprender algo acerca del comportamiento del sistema individual—, lo que naturalmente ha de hacerse es estudiar el conjunto compuesto por todos los microestados que tienen lugar en la historia de un sistema individual. De este modo, parecería que tendríamos que considerar un conjunto para cada uno de los diferentes sistemas, una tarea verdaderamente formidable. Sin embargo, se hace patente que no precisamos obrar de tal modo si todos los sistemas mecánicos son métricamente transitivos, pues en este caso todos los microestados brutos consistentes con una energía total determinada se presentan con la misma frecuencia en la historia de cualquier sistema que tenga esa energía total. En consecuencia, los conjuntos correspondientes a una energía total determinada son idénticos, ergo la media de todo conjunto «histórico» puede calcularse directamente (y, como es el caso, también fácilmente) a partir del conjunto «estático» en el que entra una sola vez cada macroestado bruto<sup>60</sup>.

Si nos volvemos hacia la cuestión de la transitividad métrica, todo parece estar en orden, y lo mismo sucede con la operatividad teórica sobre el papel. El conflicto proviene de otra dirección, del valor operativo de las medias calculadas en base al conjunto estático. Las medias de un conjunto

<sup>59</sup> Richard von Mises, *Probability, Statistics and Truth* (2ª edición, Londres, 1957), pp. 98-100.

<sup>60</sup> Boltzmann, en *Lectures on Gas Theory*, p. 297, denomina a tal conjunto un *Ergoden*; para Gibbs, en *Elementary Principles*, p. 115, es un conjunto microcanónico. La relación de este conjunto con todos los conjuntos históricos se ilustra de forma sencilla gracias a uno de nuestros ejemplos. Toda media perteneciente a cualquiera de los conjuntos históricos, tal como  $\Sigma_1$  de la ecuación (10), puede calcularse a partir del conjunto estático de todos los estados (1, 2, 3, ..., 9, 0). Si no se obtiene la transitividad métrica, el conjunto estático no es ya único. Dada la complejidad de un sistema mecánico, hay que esperar que nos veamos enfrentados a una infinidad de conjuntos estáticos que no podrían combinarse en un único conjunto sin suponer que tienen una específica distribución *a priori*, hipótesis totalmente arbitraria que se encuentra tras numerosas argumentaciones de la mecánica estadística.

estático son coordenadas inertes; en tales medias, desaparece el orden temporal de los acontecimientos. No pueden decirnos nada acerca del comportamiento de un sistema individual que es en sí mismo el principal objetivo de la termodinámica (o de cualquier ciencia especial de esa materia). Así, cuando Boltzmann contestó que el número de colisiones puede calcularse con ayuda de las leyes de la probabilidad, no rechazó la objeción de Loschmidt<sup>61</sup>: esas leyes únicamente nos permiten calcular el número de colisiones para un sistema «medio» y Loschmidt se refería a un sistema individual.

El resultado obvio es que el enfoque puramente estadístico es inútil en lo que se refiere al problema fundamental de descubrir cómo se comporta un sistema individual. Esta es sin duda la razón por la que todos los autores que adoptan el enfoque estadístico como punto de partida se deslizan al final hacia la interpretación probabilística y equiparan las frecuencias relativas del conjunto estático a las probabilidades que un sistema debería asignar *en todo momento* a los microestados brutos compatibles<sup>62</sup>. Por supuesto que sean diferentes que sean sus bases de partida, ambos enfoques acaban en el mismo punto: la Ley de la Entropía no dice ya lo que realmente sucede —como lo hace la termodinámica clásica— sino sólo lo que es probable que suceda. En consecuencia, no se niega la posibilidad de que el desorden se transforme en orden; ese acontecimiento tiene solamente una probabilidad muy reducida.

Pero por muy pequeña que pueda ser la probabilidad de un acontecimiento, a lo largo del Tiempo ese acontecimiento ocurrirá un número infinito de veces, porque en caso contrario el coeficiente de probabilidad perdería todo su significado físico. En consecuencia, a lo largo de la eternidad sin límites, el universo necesariamente alcanza el Caos y vuelve a surgir de sus cenizas un número infinito de veces. Boltzmann reconoció abiertamente que esa es una conclusión inevitable de la interpretación probabilística: «ya sea que retrocedamos a los estados del universo en el pasado remotamente infinito o que vayamos adelante al más distante futuro, podemos admitir como igualmente muy probable que llegaremos a una fase en la que habrán desaparecido todas las diferencias de temperatura»<sup>63</sup>.

<sup>61</sup> Véase la nota 23 anterior.

<sup>62</sup> Gibbs no constituye excepción alguna a este respecto, como puede observarse comparando varias argumentaciones de sus *Elementary Principles*, por ejemplo, pp. vii, 16 y 142. De hecho, fue él quien, ya en 1875, hizo la frecuentemente mencionada observación de que «la imposibilidad de un descenso no compensado de la entropía parece reducirse a una improbabilidad» (Citado en Boltzmann, *Lectures on Gas Theory*, p. 215). Un caso más reciente y más claro es el de John von Neumann, para quien estadística y probabilidad son intercambiables. Véase su *Mathematical Foundations of Quantum Mechanics* (Princeton, 1955), p. 207n.

<sup>63</sup> L. Boltzmann, *Wissenschaftliche Abhandlungen* (3 volúmenes, Leipzig, 1909), II, p. 121 (La traducción es mía). Los sutores que respaldan sin reservas ese punto de vista no constituyen una rara excepción: por ejemplo, P. Franck, «Foundations of Physics», *International Encyclopedia of Unified Scien-*

La idea de que los muertos se levantarán de nuevo un día de sus dispersos y pulverizados restos para vivir una vida al revés y encontrar una nueva muerte en lo que fue su anterior nacimiento es probable que parezca muy extraña (Eddington dice «totalmente retrógrada»)<sup>64</sup>. Sin embargo, los científicos están acostumbrados a que cada descubrimiento sea totalmente sorprendente. El que muchos físicos hayan puesto en tela de juicio el valor explicativo de la mecánica estadística se debe exclusivamente a que la idea de un universo que periódicamente envejece y se rejuvenece descansa sobre unos fundamentos muy inseguros.

La objeción más frecuente y, posiblemente, la más eficaz es que no hay evidencia empírica alguna que apoye la idea de que el rejuvenecimiento del universo tiene una probabilidad no nula: ningún fenómeno semejante se ha observado nunca en la *Naturaleza*, ni siquiera a escala más reducida. Y únicamente la evidencia empírica puede dotar de significado físico a una probabilidad calculada teóricamente sobre el papel<sup>65</sup>. La respuesta habitual de que todavía no hemos sido testigos del rejuvenecimiento del sistema, porque no hemos observado a la Naturaleza el tiempo suficiente, puede parecer, si no decisiva, al menos aceptable. En mi opinión, la respuesta es en todo caso falaz. Muy probablemente, se piensa que la contestación se justifica por la proposición de que, si esperamos tiempo suficiente, cualquier acontecimiento excepcional tendrá lugar con casi total certidumbre. De hecho, la justificación requiere la proposición contraria, es decir, que un acontecimiento extraordinario no pueda tener lugar a menos que esperemos durante mucho tiempo; pero, como sabemos, esta última proposición es falsa<sup>66</sup>.

Posiblemente sea todavía más importante otro fallo del entramado probabilístico. El fallo reside en que una de las relaciones sobre la que se deslizan velozmente las argumentaciones habituales es una falsificación. Admitida la equivalencia de las ecuaciones (2) y (7) de la Sección 1 anterior, ambas relaciones definen la entropía. Ahora bien, a partir de una defi-

ce (Chicago, 1955), I, pp. 452 y s., y G. N. Lewis, «The Symmetry of Time in Physics», *Science*, 6 de junio de 1930, p. 571.

<sup>64</sup> A. S. Eddington, *New Pathways in Science* (Ann Arbor, 1959), p. 59.

<sup>65</sup> La validez de esta afirmación se pone realmente de manifiesto por la necesidad de introducir la nueva estadística de Bose-Einstein y Fermi-Dirac, gracias a la cual se declaran inaceptables algunos microestados válidos en la estadística de Boltzmann. Formalmente, puede ilustrarse por medio de mi anterior ejemplo aritmético: sería absurdo atribuir un límite ergódico no nulo al microestado «9» en la secuencia decimal de 1/7 sobre el razonamiento *a priori* de que todas las cifras son igualmente probables. Este punto constituye la base de mi crítica de la doctrina de la probabilidad exclusivamente subjetivista; véase la Sección V de mi «The Nature of Expectation and Uncertainty» (1958), reimpresso en *AE*.

<sup>66</sup> En la época, 1963, en que escribí por vez primera lo anterior (publicado en *AE* en 1966), la argumentación me parecía tan lógicamente sencilla que no vi necesidad alguna de mayor explicación. Dado que, posteriormente, he descubierto que algunos filósofos de la ciencia están en desacuerdo conmigo, he presentado ahora mi argumentación con mayor detalle (Apéndice F de este volumen), de modo que sea fácil al lector ver dónde podría haber estado yo equivocado.



nición no puede hacerse inferencia alguna del comportamiento del objeto definido: la definición de velocidad evidentemente no nos autoriza a decir si la velocidad de la Tierra, por ejemplo, aumenta o disminuye. Incluso aunque admitamos el paso desde el número combinatorio  $W$  a la probabilidad, seguimos sin poder inferir de la ecuación (7) nada sobre la *tendencia* de un estado a pasar a otro estado. Es decir, a partir del hecho de que, pongamos por caso, hay más hombres con ojos oscuros que con ojos claros, podemos concluir que un hombre, ya tenga ojos oscuros o claros, tiene una mayor probabilidad de encontrarse con otro de ojos oscuros, pero sería tomarse una libertad excesiva decir además que los ojos claros de una persona tienen tendencia a volverse oscuros.

Y si aceptamos la otra opinión predominante de que la Ley de la Entropía significa únicamente que «cuanto mayor es la entropía, mayor es su probabilidad de ocurrir» (donde «entropía» significa «probabilidad termodinámica»), en vez de una ley de la Naturaleza tenemos exclusivamente una aplicación tautológica de la definición de probabilidad. El problema consiste en que el enfoque probabilístico no puede pretender haber elaborado una estructura equivalente a la de la termodinámica clásica (la única directamente comprobable), salvo haber puesto algo en lugar de la proposición básica de que  $\Delta(S) = S(T_1) - S(T_0) \geq 0$ , para  $T_0$  anterior a  $T_1$ . Creo que esto es precisamente lo que Boltzmann intentaba hacer con su primera formulación del teorema- $H$ , que  $dH/dt \leq 0$ .

Pero, como podemos ver ahora, el error de Boltzmann consistió en ignorar la diferencia existente entre Tiempo y tiempo dinámico, diferencia en la que insistí oportunamente en la sección anterior. Para proporcionar un sustituto equivalente de la proposición clásica, debería haber demostrado no que  $dH/dt \leq 0$  sino que  $dH/dT \leq 0$ . El origen del célebre embrollo que originó así es la imposibilidad lógica de derivar una proposición relativa a  $dH/dT$  a partir de un conjunto de premisas (las ecuaciones de un sistema dinámico) que implicaban solamente a  $t$ .

Aparentemente, Boltzmann estaba dispuesto a pagar cualquier precio para salvar su teorema- $H$ . Así, en su segunda formulación sustituyó temporalidad por diferencia de probabilidad. Si se recuerda la curva  $H$ , se ve que el precio pagado fue la negación del Tiempo, como reconoció Boltzmann de modo inequívoco. «Debiéramos considerar más bien la única direccionalidad del tiempo que nos ha proporcionado la experiencia como mera ilusión derivada de nuestra perspectiva especialmente limitada... los dos sentidos del tiempo son indistinguibles, al igual que en el espacio no hay arriba o abajo»<sup>67</sup>. De forma bastante incomprensible, Boltzmann no quiso rechazar también por completo el tiempo dinámico, pues añadió

<sup>67</sup> Boltzmann, *Lectures on Gas Theory*, pp. 446 y s.

que, al igual que en cualquier punto de la tierra denominamos «abajo» el sentido hacia el centro de la tierra, todo ser viviente en cualquier lugar del universo distinguirá el sentido del tiempo desde el estado menos probable hacia el más probable. Sin embargo, G. N. Lewis dijo la verdad al afirmar que «el tiempo no es una de las variables de la termodinámica pura»<sup>68</sup>; sólo que, en lugar de ensalzar así la construcción probabilística —como era su intención—, puso al descubierto su debilidad básica.

Es cierto que, incluso en la termodinámica clásica, todas las ecuaciones afectan únicamente a las variables del estado, pero lo que diferencia a la termodinámica clásica de una especie de geometría es el añadido de que el signo de  $\Delta S$  es positivo en el sentido del Tiempo. La afirmación de Lewis es un reconocimiento de que, a diferencia de la termodinámica clásica, la termodinámica pura es una especie de geometría, con lo que, evidentemente, es inútil como ciencia de los acontecimientos de la Naturaleza y haríamos mejor en aceptar el veredicto. Algunos, sin embargo, no lo admitirían, prefiriendo en su lugar suprimir cualquier forma de tiempo, ignorando así las consecuencias trascendentales que semejante postura tiene para *todas* las ciencias especiales. El diseño de esta postura fue bosquejado por Boltzmann, quien afirmó que, de hecho, hay sitios en el universo en los que los procesos se encuentran «yendo en el sentido opuesto», pero los seres que observan tales procesos seguirán contando el tiempo desde los estados menos probables a los más probables»<sup>69</sup>. La expresión resaltada debería hacer que fuésemos inmediatamente conscientes del habitual timo verbal. De igual modo que no podemos demostrar la relatividad del tiempo de reloj local sin admitir que hay un observador para el que todos los acontecimientos son en tiempo absoluto<sup>70</sup>, es imposible demostrar que el Tiempo es una ilusión antropomórfica sin admitir implícitamente que hay una dirección universal en la que se encuentran yendo realmente los procesos.

Algunas obras recientes se han esforzado por situar la idea de Boltzmann sobre una base supuestamente más clara. Tras exponer el principio de que todos los microestados (como los considerados en la Sección I anterior) son igualmente probables, esas argumentaciones llegan a decir que nuestras propias limitaciones nos incitan a distinguir dos clases, la descriptiva y la no descriptiva. Un microestado descriptivo es aquel que puede describirse brevemente, pongamos por caso, una mano de picas en el bridge. Las manos que requieren una mayor descripción (en último término, la denominación de cada carta) son no descriptivas. Se dice que la entropía aumenta «cuando una distribución *conocida* [descriptiva] pasa a ser una

<sup>68</sup> G. N. Lewis, «Symmetry of Time», p. 573.

<sup>69</sup> Boltzmann, *Lectures on Gas Theory*, pp. 447 y s. Las cursivas son mías.

<sup>70</sup> Véase el Capítulo V, nota 58, anterior.

distribución *desconocida* [no descriptiva]»<sup>71</sup>, pero semejante distribución puede ocurrir indiferentemente antes o después de la otra. Podemos ver de nuevo que la argumentación implica que las distribuciones se siguen una a otra en cierto orden; no vienen dadas de una sola vez, esparcidas irregularmente sobre una mesa plana y perfectamente homogénea, por así decirlo. En una palabra, no están fuera del Tiempo como lo están los objetos abstractos. No puede aceptarse como válida ninguna demostración de que el Tiempo es una ilusión si tal demostración no empieza con distribuciones dadas de una sola vez y que no tengan más ordenamiento lineal que el que puedan llevar consigo sus atributos estáticos cuantitativos y cualitativos. En esta situación, causa mucha más perplejidad la opinión de algunos positivistas lógicos que sostienen que la idea de Boltzmann en virtud de la cual «únicamente ciertos tramos de tiempo tienen sentidos y estos no son los mismos... representa una de las visiones más penetrantes en el problema del tiempo»<sup>72</sup>. Como afirma Lewis, puede ser que hayamos purificado la idea antropomórfica de Tiempo, pero sólo teóricamente; desde luego, no de la física y mucho menos del mundo en el que vivimos.

Cualquiera que sea el ángulo desde el que contemplemos la termodinámica estadística, descubrimos lo que era evidente desde el principio: la imposibilidad de explicar procesos unidireccionales a través de leyes indiferentes a la dirección. En la nueva termodinámica, esa imposibilidad se ha transformado en una contradicción lógica entre las dos hipótesis básicas: (1) las partículas se mueven de acuerdo con leyes rígidas y (2) los estados se siguen uno a otro en cierta forma aleatoria. Que yo sepa, ningún defensor de la mecánica estadística ha negado nunca esa contradicción. Entre las diferentes propuestas de reforma, una es altamente instructiva; consiste en adoptar una «hipótesis especial» adicional con la que negar la contradicción existente entre las hipótesis (1) y (2)<sup>73</sup>. Ahora bien, si se aceptase con agrado una hipótesis especial, sería mucho menos extravagante suponer (como hicieron algunos antiguos atomistas) que las partículas pueden desviarse libremente de su curso normal «en momentos muy indeterminados y en sitios inciertos»<sup>74</sup>, o (como dicen ahora los físicos modernos) «que un átomo estalla cuando *quiere* hacerlo»<sup>75</sup>.

<sup>71</sup> Lewis, «Symmetry of Time», pp. 572 y s. Jeans, en *An Introduction to the Kinetic Theory of Gases*, p. 270, habla de estados «más fácilmente distinguibles» y «menos fácilmente distinguibles». Las implicaciones son las mismas.

<sup>72</sup> H. Reichenbach, *The Direction of Time* (Berkeley, 1956), pp. 127 y s. Sin embargo, la observación adicional de Reichenbach de que «como en muchos otros aspectos, se ha hecho evidente la superioridad de una filosofía basada en los resultados de la ciencia [física]», a pesar de ser inaplicable en este caso, está de acuerdo con lo que actualmente pasa por ser filosofía de la ciencia.

<sup>73</sup> P. Frank, «Foundations of Physics» (citado en la nota 63 anterior), p. 452.

<sup>74</sup> Lucrecio, *De rerum natura*, II, pp. 218-220.

<sup>75</sup> F. Waismann, «The Decline and the Fall of Causality», en *Turning Points in Physics*, R. J. Blin-Stoyle et al. (Amsterdam, 1959), p. 142. Las cursivas son mías.

Es muy probable que más de un físico despache la cuestión de la consistencia lógica de la termodinámica estadística con la observación, razonable hasta cierto punto, de que todo no ha sido en vano; sabemos ahora acerca del equilibrio termodinámico más que antes de probar el enfoque estadístico e igualmente los resultados obtenidos han sido una fuente de inspiración para la mecánica cuántica (ciencia en la que probabilidad e irreversibilidad están en su elemento). Sin embargo, desde una perspectiva intelectual más amplia, la cuestión parece sumamente importante, pues se refiere a si el campo fenomenológico en que nuestro conocimiento es a la vez el más rico y el más incontrovertible afirma o niega la existencia de leyes evolutivas. Esta es la razón por la que considero necesario analizar con cierto detalle la racionalidad de la termodinámica estadística, incluso aunque a muchos estudiosos de las ciencias sociales tal análisis les pueda parecer en principio una digresión técnica.

Por último, tengo la esperanza de que el presente análisis haya puesto de manifiesto por qué la irreversibilidad del proceso entrópico no es una manifestación del azar. La postura más corriente, consistente en que el movimiento browniano irregular de partículas suspendidas en el aire o en un líquido confirma que también la entropía puede reducirse, no resiste el más somero examen; implícitamente comete el mismo tipo de error que el que condujo al derrumbamiento de la mecánica clásica. En efecto, mientras que ésta extrapola la palpable bola de billar a átomos, la termodinámica estadística extrapola el visible movimiento browniano a la transformación entrópica de la energía, por lo que no hay que sorprenderse de que muchos físicos hayan rechazado respaldar una construcción lógica que tiene defectos tan evidentes. A pesar de que llevó a cabo la primera aportación a la estadística diferente de la de Boltzmann, Einstein se opuso finalmente al enfoque probabilístico, al que consideraba como una moda semejante a las que dominan «la ropa femenina»<sup>76</sup>; pero la razón de Einstein puede haber residido en su adhesión a la causalidad total antes que en la consistencia lógica. Sea como fuere, hemos visto ya que otros han rechazado explícitamente la termodinámica estadística sólo por esta última razón. Hasta el mismo Poincaré dijo con claridad que debemos abandonar los sistemas lagrangeanos y hamiltonianos de la mecánica y buscar en otros sitios la explicación de los procesos irreversibles<sup>77</sup>; es sintomático que no sugiriese hacia dónde debíamos dirigir nuestras investigaciones. A la vista del panorama actual, podemos percibir sólo dos elementos opuestos, la locomoción reversible y la entropía irreversible, y, tal como se encuentran las cosas, está totalmente fuera de lugar negar que la Ley de la Entropía representa otra ley irreductible de la Naturaleza, al lado de la Ley de la Inercia,

<sup>76</sup> Véase Louis de Broglie, *New Perspectives in Physics* (Nueva York, 1962), pp. 154 y s.

<sup>77</sup> Henri Poincaré, *Oeuvres* (11 volúmenes, París, 1934-1956), X, p. 233.

de Newton, por ejemplo. Sostengo que la Ley de la Entropía es la forma más simple por la que se reconoce la existencia de los verdaderos acontecimientos de la Naturaleza, pero su excepcional importancia para nuestra orientación epistemológica se deriva del hecho de que el reconocimiento procede de la ciencia cuyo punto de partida es que la materia no está sujeta a Cambio.

## CAPÍTULO VII

### AZAR, CAUSA E INTENCIONALIDAD

1. *Determinismo y ley de los grandes números.* Al igual que sucede con los restantes pilares del conocimiento, la idea de que «nada sucede de forma gratuita, sino todo por una razón y por necesidad» nos llegó de los fundadores de la filosofía en la Antigua Grecia<sup>1</sup> y, como ya hemos visto no hace mucho, la crítica a esa idea se remonta igualmente a la época antigua. Durante mucho tiempo, la controversia sobre qué idea —determinismo o indeterminismo— es aplicable a la realidad progresó casi exclusivamente entre los filósofos especulativos; los logros de la ciencia hasta hace aproximadamente doscientos años no fueron lo suficientemente impresionantes como para incidir en tal controversia. Sin embargo, las afortunadas predicciones de la mecánica indujeron a científicos y filósofos a proclamar con total seguridad que la Naturaleza está regida por una causalidad total, afirmando en concreto que todo acontecimiento es el efecto de alguna causa definida que lo precede en el Tiempo. Si este dogma no llegó a ir tan lejos como para decir también que todo estuvo predestinado de una vez y para siempre en el momento de la Creación, se debió únicamente a que igualmente sostenía que el Tiempo no tiene ni principio ni fin. Esta es la razón por la que Laplace pudo contestar a Napoleón I que Dios no se encontraba mencionado en sus obras porque no precisaba tal hipótesis. Lo que importaba a la escuela laplaceana de pensamiento era la idea de que en todo momento el futuro se encuentra completamente determinado por el estado de la Naturaleza en ese solo momento y de que el pasado es totalmente deducible a partir del mismo momento<sup>2</sup>.

El enfoque probabilístico en la termodinámica significó la primera señal para que filósofos y científicos reabriesen el caso del determinismo, pe-

<sup>1</sup> Véase el Capítulo I anterior, nota 23.

<sup>2</sup> Debería añadir que, además de esa definición clásica de estricto determinismo, hay una multitud de otras, pero para el alcance de mi argumentación puede bastar la definición clásica. En lo que se refiere a las variaciones más conocidas y a sus complejidades —algunas genuinas, otras artificiales—, véase, por ejemplo, Ernest Nagel, *The Structure of Science* (Nueva York, 1961), pp. 278-293 y 316-335.

ro la cuestión no se convirtió en foco de la atención general hasta el descubrimiento de los fenómenos cuánticos que pusieron palpablemente de manifiesto que no todos los acontecimientos tienen una causa *definida*. Prácticamente todos los grandes físicos tomaron parte activa en los debates subsiguientes; no es preciso decir que las argumentaciones presentadas por ambas partes demostraron la fértil imaginación de esos eminentes participantes.

El problema que se plantea a la postura indeterminista en la física es el de tener en cuenta el hecho de que en innumerables situaciones la relación entre «causa» y «efecto» es tan notable que podemos confiar en ella una y otra vez. No intentaríamos alcanzar el conmutador de la luz si tuviésemos otra opinión acerca del efecto de la corriente eléctrica sobre un filamento de tungsteno, ni huiríamos de un barril de pólvora cuando alguien le aplica una cerilla encendida. Ahora bien, ¿por qué tendríamos que esperar que se hiciera la luz en una bombilla si los electrones saltasen en el filamento cuando quisiesen? La respuesta indeterminista es que lo que nos parece una relación causal entre la conmutación de la corriente y la emisión de luz por la bombilla es el resultado de la Ley de los Grandes Números. John von Neumann afirmó incluso que esta relación causa-efecto «no tiene verdaderamente otra *causa* que la “ley de los grandes números”», siendo la justificación de ello que «el orden causal aparente del mundo en general (es decir, para los objetos visibles a simple vista)... es completamente independiente de si las leyes de la Naturaleza que rigen los procesos elementales son o no causales»<sup>3</sup>. Evidentemente, esta argumentación implica que el problema entre determinismo e indeterminismo es completamente irrelevante. Visto más de cerca, se observa que oculta a nuestra vieja amiga —la confusión entre una secuencia ergódica y otra aleatoria— tras el hecho de que la Ley de los Grandes Números, como *proposición matemática abstracta*, es aplicable a ambas secuencias.

Sin embargo, el verdadero indeterminista adopta la postura de que no sólo importa el problema sino que tampoco existe nada en la Naturaleza excepto una aleatoriedad irreductible establecida más allá de la sombra de una duda<sup>4</sup>. Lógicamente, se ve forzado a afirmar que hay una diferencia de esencia entre la predicción de un acontecimiento individual y la de varios acontecimientos a la vez. La argumentación ultrafamiliar es que, a pesar de que no podemos predecir si el Sr. X fallecerá durante el año en curso, podemos predecir (con la ayuda de las tablas de mortalidad) que *aproximadamente* 723 de cada 10.000 hombres de la misma edad del Sr. X fallecerán a

<sup>3</sup> J. von Neumann, *Mathematical Foundations of Quantum Mechanics* (Princeton, 1955), pp. 326 y s. Las cursivas son mías.

<sup>4</sup> Véase Richard von Mises, *Probability, Statistics and Truth* (2ª edición, Londres, 1957), p. 223.

lo largo del mismo año<sup>5</sup>. Ha de observarse, no obstante, que si «aproximadamente» se deja analíticamente indefinido, la afirmación es vacua, y que si se define de modo que signifique, por ejemplo, «menos de 750 y más de 700», la pretendida distinción entre las dos predicciones se vuelve inútil. Al final del año, cada predicción se verá confirmada o refutada: no hay tercer resultado posible. Como ya he afirmado en mi oposición a Mises, la cuestión reside en que *toda predicción es aproximadamente un único acontecimiento* y sólo el acontecimiento por sí mismo puede ser simple o múltiple<sup>6</sup>. En consecuencia, la distinción entre uno y otro tipo de predicción no es perfecta desde el punto de vista de la Lógica. Hay que recordar que la Lógica exige que se trace con claridad una línea divisoria o que no se trace en absoluto<sup>7</sup>.

Existe otra razón, aún más importante, por la que el puro indeterminismo falta a la Lógica. Esa razón consiste en que, cuando se aplica a los acontecimientos aleatorios, la Ley de los Grandes Números no es una tautología matemática (como lo es en el caso de la teoría de la medición). Es imaginable que la ley puede ser refutada por los hechos, idea frecuentemente explotada por los humoristas. Los sociólogos, por ejemplo, saben que los suicidios tienen lugar en cualquier sociedad con una frecuencia tan estable como la de la desintegración de los átomos en una sustancia radioactiva. En este punto, puede imaginarse que durante el próximo año el número de suicidios en los Estados Unidos puede ser cero; ahora bien, si en realidad se da la tasa habitual de suicidios —como muy probablemente sucederá— ¿habría que decir que las personas se han confabulado para reivindicar la Ley de los Grandes Números? Precisamos otra explicación de la regularidad expresada por esa Ley y no nos la daría seguir el ejemplo de Neumann y decir que la causa de la regularidad es la propia ley. Como ya he puesto de manifiesto en el Capítulo II, Sección 7, la única solución consiste en admitir que se encuentra actuando en la Naturaleza un factor que combina dialécticamente regularidad e irregularidad en la forma expresada por la Ley de los Grandes Números. En consecuencia, cuando invocamos esa ley para fenómenos de la Naturaleza, invocamos una ley de la Naturaleza, no una tautología matemática. La aleatoriedad es una *causa* y la Ley de los Grandes Números es su efecto. De este modo, el concepto de

<sup>5</sup> Louis de Broglie, *Physics and Microphysics* (Londres, 1955), pp. 133 y s. Véase también Mises, recién citado, pp. 11, 16-18 y 45, y G. L. S. Shackle, *Expectation in Economics* (Cambridge, Engl., 1949), pp. 110-115. Curiosamente, esa postura es igualmente compartida por muchos deterministas. Por ejemplo, Max Planck, *The New Science* (Nueva York, 1959), pp. 266 y ss.

<sup>6</sup> Véase mis artículos «The Nature of Expectation and Uncertainty» (1958), reimpresso en *AE*, p. 272, y «An Epistemological Analysis of Statistics as the Science of Rational Guessing», *Acta Logica*, X (1967), pp. 61-91.

<sup>7</sup> En lo que se refiere a la cantilena habitual de que en el caso de fenómenos masivos la probabilidad de que la predicción sea cierta puede tomarse «en la práctica» como unidad, véase el Apéndice F.

causa, expulsado por la puerta trasera del indeterminismo, regresa con fuerza por la puerta delantera.

2. *Determinismo y principio de indeterminación.* Construir un puente entre la aleatoriedad y la causalidad constituye también un problema del determinismo; lo que sucede es que el determinismo ha de actuar desde la otra orilla. Por todo ello, es natural que los deterministas acojan la obra de Boltzmann como «uno de los mayores triunfos de la investigación teórica»<sup>8</sup>. A la vista de lo que he dicho en el capítulo anterior, no es preciso añadir aquí nada más acerca de la existencia imaginaria del puente a cuyo través Boltzmann pretendía haber alcanzado la aleatoriedad a partir de la causalidad. Sin embargo, hay que añadir algo más acerca de una argumentación diferente que, en ocasiones, se presenta en defensa de un determinismo total. La argumentación dice que si no podemos ver que la causalidad completa predomina también a nivel microscópico se debe únicamente a que «nuestras observaciones no son suficientemente finas y precisas»<sup>9</sup>. Manifiestamente, la argumentación se refiere al Principio de Indeterminación de Heisenberg<sup>10</sup>. El escaso apoyo que ese principio puede prestar al determinismo se anuncia por el hecho de que ha sido igualmente invocado en apoyo de la tesis opuesta, la de que el comportamiento de una partícula no está sujeto a la ley de causalidad<sup>11</sup>. Así pues, ¿qué es lo que en resumen nos enseña la indeterminación a escala de la materia elemental?

Se ha dicho con frecuencia que la lección epistemológica objetiva del principio de Heisenberg es que todo acto de observación perturba lo que se propone observar. Es cierto que durante la época de auge de la interpretación mecanicista de la Naturaleza se pensaba por regla general que la observación no afectaba al fenómeno observado y los científicos esperaban que con la mejorada precisión de nuestros instrumentos seríamos capaces de aproximarnos cuanto quisiéramos a los fenómenos *tal como realmente son*. Ahora bien, actualmente hemos llegado a ver que el efecto perturbador de la observación es un tópico. El auténtico núcleo del principio de Heisenberg es que en el caso de los fenómenos atómicos le es imposible al observador determinar de qué manera, o en qué medida, la observación perturba al fenómeno observado. A modo de ejemplo: alguien que desea determinar el número de asistentes a una sala de conferencias en un momento concreto entra en la sala, ocupa un asiento y cuenta los asientos libres que le rodean. A pesar del hecho de que al ocupar un asiento nuestro observador ha alterado la situación, puede llegar al verdadero número de

<sup>8</sup> Planck, *The New Science*, p. 270.

<sup>9</sup> *Ibid.*, p. 100. También Louis de Broglie, *Matter and Light* (Nueva York, 1939), p. 189.

<sup>10</sup> A este respecto, véase Capítulo III, Sección 4, y, especialmente, la nota 52 en esa Sección.

<sup>11</sup> Por ejemplo, John C. Slater, *Introduction to Chemical Physics* (Nueva York, 1939), pp. 11 y 39-46.

asientos libres añadiendo una unidad al número de asientos que *vio* libres, suponiendo que no hay razón alguna para llevar a cabo *otra* corrección. Ahora bien, cabe imaginar que la llegada de nuestro observador puede haber impulsado a algunos oyentes a abandonar la sala de forma apresurada y en gran número, haciéndole así imposible contarlos. En ese caso, el observador no puede determinar ya la necesaria corrección de su cuenta real de asientos libres ni determinar el tamaño del auditorio con anterioridad a su entrada en la sala. Y si ese es siempre el caso, el observador no sabrá nunca si el tamaño de un auditorio se encuentra determinado, digamos, por la edad del orador, por un factor aleatorio o por ambos. Es este el manto impenetrable (desde la perspectiva del hombre) que rodea el mundo de la física o la imagen del mundo físico, como diferentemente denominan los físicos el complejo que podemos alcanzar directa o indirectamente a través de nuestros sentidos. Planck, el descubridor de la famosa constante que lleva su nombre y que establece el límite en la desigualdad de Heisenberg, admitió que su descubrimiento destruía toda esperanza «de que los inevitables errores de observación pudiesen reducirse dentro de cualquier límite dado». Más allá del límite establecido por la constante de Planck hay «solamente duda y contingencia»<sup>12</sup>. Que más allá de ese límite exista otro mundo, el mundo real, independiente de nuestras observaciones o, más bien, de que haya alguien que lo observe, es una cuestión puramente metafísica que ha dividido a los más grandes pensadores y que no puede decidirse en la forma en que lo hizo el famoso Dr. Johnson, simplemente dando un puntapié a una piedra.

La conclusión es que el principio de Heisenberg no ofrece una base *lógica* ni para el determinismo ni para el indeterminismo. Por el contrario, su implicación filosófica es que ninguna tesis es empíricamente contrastable. Citando de nuevo a Planck, la cuestión «no puede decidirse relacionándola con cualquier teoría epistemológica o sometiénola a la contrastación de mediciones experimentales, [mucho menos] en base al razonamiento abstracto»<sup>13</sup>.

3. *Alegato de un físico en favor de la causalidad.* Ha de admitirse, no obstante, que la difícil situación real del determinismo no proviene tanto de la indeterminación de Heisenberg como de la aleatoriedad no adulterada de los fenómenos cuánticos. Como resultado de todo ello, incluso los físicos que siguen fuertemente apegados al determinismo no han sabido por regla general cómo encontrar una argumentación aceptable en su favor. Einstein, por ejemplo, se contentó con afirmar su convicción a sus amigos, como lo hizo en una carta a Max Born: «Tu crees que Dios juega a los dados y yo en leyes perfectas en un universo de cosas que existen como

<sup>12</sup> Planck, *The New Science*, p. 247.

<sup>13</sup> *Ibid.*, pp. 57, 71 y *passim*.

objetos reales, a los que intento comprender a mi modo frenéticamente especulativo»<sup>14</sup>. Planck (una destacada excepción) dedicó tres importantes ensayos a defender apasionadamente su creencia en una causalidad fundamental «que es en último término independiente de nuestros sentidos y de nuestra inteligencia [así como de nuestra existencia] y que se encuentra profundamente arraigada en ese universo de realidad en el que llega a ser imposible un examen científico directo»<sup>15</sup>.

En todo caso, es muy extraño ver a Planck defender esa tesis metafísica y admitir al mismo tiempo lo que se ha citado hace unas pocas líneas. Sin embargo, existe una razón válida para ese alegato y para el hecho de que otros muchos físicos famosos tengan aversión al determinismo. La razón es que son mucho más plenamente conscientes que otros del hecho de que los grandes descubrimientos son el producto del hábito analítico de que he hablado en el primer capítulo de la presente obra. Este punto brilla en la afirmación de Planck de que el principio de causalidad «no es correcto ni incorrecto, se trata de un principio heurístico; ... es el indicador más valioso que poseemos para encontrar un camino que atraviese la confusión de los acontecimientos y para conocer en qué dirección ha de continuar la investigación científica para llegar a resultados útiles»<sup>16</sup>. Para el científico, al igual que para la mente en proceso de despertar de un niño, el conocimiento aparece como respuesta a cierto ¿por qué?, el «por qué» de la antigua filosofía griega. De este modo, podemos comprender por qué Einstein confesó que «Debería ser muy, muy reacio a abandonar la causalidad completa»<sup>17</sup>, y por qué Kant afirmó que la noción de causalidad es una categoría *a priori*; tan importante es para la construcción del conocimiento. E igualmente la física puede estar relacionada con (o incluso necesitar) determinada metafísica del tipo correcto, al que pertenece en este caso la metafísica kantiana. Recordando una puntualización hecha en la primera parte de este libro, la ciencia no estaría donde actualmente se encuentra si hubiese adoptado una filosofía de asentimiento positivista, y, como también hemos visto en la Sección 1 anterior, ni siquiera el determinismo puede evitar por completo una causa.

<sup>14</sup> Albert Einstein: *Philosopher-Scientist*, ed. P. A. Schilpp (Evanston, Ill., 1949), p. 176. A su vez, Max Born, en una réplica igualmente aguda, defiende el postulado estadístico y, al mismo tiempo, le proporciona la más clara expresión que conozco. «Si Dios ha hecho del mundo un mecanismo perfecto, al menos ha concedido otro tanto a nuestro imperfecto intelecto, de modo que, a fin de predecir pequeñas partes de aquel, no precisamos resolver innumerables ecuaciones diferenciales sino que podemos emplear dados con razonable éxito». Todo procede de ti, ¡oh Señor!, incluso el método de Monte Carlo.

<sup>15</sup> Planck, *The New Science*, p. 261.

<sup>16</sup> *Ibid.*, p. 290. Las cursivas son mías. Por otro lado, en un diálogo informal, Planck dijo que en el friso de la puerta del templo de la ciencia está escrito «*Tenéis que tener fe*», en el principio de causalidad, naturalmente. Notas taquigráficas en Max Planck, *Where Is Science Going?* (Nueva York, 1932), p. 214.

<sup>17</sup> Max Born, *Physics in My Generation* (Londres, 1956), p. 203.

Sin embargo, ¿qué diferencia entre indeterminismo y determinismo para una ciencia viva! Si un creyente en el determinismo descubre que una de sus predicciones *individuales* no es lógica, no deja de pensar nunca en una posible causa ni de contrastar el producto de su imaginación. Para un determinista, la retirada del Mar Rojo en la Pascua, el dogma de la Inmaculada Concepción, la génesis de la vida, son todo milagros mitológicos a no ser que pueda encontrarse una explicación causal de los mismos. Para un indeterminista, se trata precisamente de posibles resultados del juego de azar y, si no se ha observado nunca un acontecimiento con una probabilidad no nula, también eso es correcto: se trata de que no hemos esperado lo suficiente. Como quiera que sea, no se puede perder; ahora bien, como hombre de ciencia, tampoco se puede ganar en ambos casos. El indeterminismo del tipo duro no tiene recurso alguno contra el veredicto de Broglie en el sentido de que con él la física corre «el peligro de permanecer atascada en interpretaciones puramente estadísticas y llegar así a ser completamente estéril»<sup>18</sup>. No tenemos más que comparar el programa de acción implícito en las ideas de Planck sobre su más grande descubrimiento —«Junto a la mayoría de los físicos, creo firmemente que la hipótesis cuántica encontrará finalmente su expresión exacta en determinadas ecuaciones que constituirán una formulación más precisa de la ley de causalidad»<sup>19</sup>— con las ideas planteadas por David Bohm en torno a los fenómenos subcuánticos, por un lado, y con el teorema «sin salida» de Neumann, por otro<sup>20</sup>. Podemos comprender así por qué Planck, tras haber reconocido que la causalidad es únicamente un principio heurístico, erradicó sus propias convicciones y proclamó sin dificultad alguna que la causalidad es «una ley todopoderosa que rige el universo»<sup>21</sup>.

4. *Causalidad y libre albedrío*. Estaríamos equivocados, no obstante, si creyésemos que podría cerrarse en este punto el caso del determinismo contra el indeterminismo. A pesar de que los científicos de la Naturaleza y los filósofos más rigurosos han intentado limitar el ámbito de esta controversia al mundo de la física, no han sido capaces de llevarlo a cabo. En efecto, problemas formidables de todo tipo les han venido afectando desde otros campos. El más célebre es el de la libertad de la voluntad humana, libertad que, con el triunfo de la imagen laplaceana mecanicista del universo, fue declarada muerta y enterrada. La justificación (que se sigue escuchando a veces) acostumbraba a ser la siguiente. Si uno cree en el libre albedrío y consecuentemente se es un entrometido, en tanto que otro es un fatalista que acepta plácidamente las cosas tal como vienen, todo es co-

<sup>18</sup> Louis de Broglie, *New Perspectives in Physics* (Nueva York, 1962), p. 106.

<sup>19</sup> Planck, *The New Science*, p. 98.

<sup>20</sup> Véase la nota 52 del Capítulo II anterior.

<sup>21</sup> Planck, *The New Science*, p. 110 y *passim*.



mo tendría que ser de acuerdo con las condiciones iniciales que predestinaban que ambos fuesen lo que son. Ni el creyente en el libre albedrío puede alterar la marcha determinista de las cosas, ni el fatalista puede ayudar a las cosas a lo largo de su senda predestinada.

Sin embargo, los descubrimientos en la física cuántica resucitaron la cuestión y condujeron a muchos físicos y algunos filósofos a admitir que la *sensación* individual de ser libre en sus acciones no se pone en duda. Afirman que no podemos negar esa sensación sin negar implícitamente que la conciencia es la mayor autoridad para entender el universo<sup>22</sup>. Comparto plenamente esta convicción, pero no debido a que, como científico social, no vea otra base a partir de la que puedan enfocarse de modo significativo las acciones humanas; mi razón (y la de muchos otros) es que puedo concebir sin base alguna la decisión acerca de si, por ejemplo, una estrella es simple o doble, a diferencia de lo que nos dice nuestra conciencia. Ni el telescopio ni la placa fotográfica por sí mismos pueden determinar esa cuestión en mayor medida en que un ordenador puede establecer el verdadero valor de  $e^{i\pi} = -1$  o incluso de  $2 + 2 = 5$ . Por esta razón, por más impresionante que sea su forma, todos los llamamientos que se hagan a la conciencia humana para negar su autoridad, mejor aún, su existencia son lógicamente equivalentes a la historia del hombre que quería eliminar la rama que lo estaba soportando.

Actualmente, los físicos de todas las creencias nos han advertido con razón que a partir del «libre» salto del electrón no podemos concluir la existencia de la libertad de la voluntad. Como lo expresó magníficamente Margenau, los fenómenos cuánticos pueden probar la «aleatoriedad de acción, pero nunca la libertad»<sup>23</sup>. Por otro lado, la presencia de fenómenos aleatorios a nivel cuántico quita mordacidad a la argumentación de que el hombre no puede desear libremente debido a que el mundo material se encuentra regido por el determinismo. Evidentemente, un universo completamente determinista y un hombre con un libre albedrío absoluto constituyen condiciones incompatibles; en un universo semejante, la respuesta a cuándo explotará un átomo de plutonio depende de si el hombre decide producirlo, incluirlo en una bomba atómica y hacerla detonar. En consecuencia, la cuestión del libre albedrío surge *si, y sólo si, insistimos en que el determinismo es el santo y seña en el mundo material*. El problema es que al afirmar que la voluntad del hombre es libre no estamos ya agobiados actualmente por «el antiguo determinismo clásico de Hobbes y Laplace»<sup>24</sup>.

<sup>22</sup> Véase Planck, pp. 59, 65 y s. y *passim*; A. S. Eddington, *New Pathways in Science* (Ann Arbor, 1959), pp. 3 y ss.

<sup>23</sup> H. Margenau, *Open Vistas* (New Haven, 1961), p. 199. Véase también Niels Bohr, *Atomic Physics and Human Knowledge* (Nueva York, 1958), p. 22; Broglie, *New Perspectives in Physics*, p. viii; Eddington *New Pathways*, pp. 74 y 86.

<sup>24</sup> H. Weyl, *The Open World* (New Haven, 1932), p. 55.

Un gran defensor del determinismo, como Eddington, va todavía más allá y afirma que la física cuántica ha aclarado por completo la cuestión: el hombre es libre de desear «*en virtud de esa Naturaleza que la física deja indeterminada e indeterminable*»<sup>25</sup>.

No debería escapárenos la quintaesencia de la argumentación: el hombre tiene libre albedrío porque *la física* no puede predecir lo que un individuo hará a continuación. Si se adopta este modo de considerar el problema, la vida para un defensor del determinismo es verdaderamente dura: le incumbe demostrar que la física puede predecir lo que cualquier individuo hará a continuación y, por lo que sabemos, eso es imposible. Lo más que puede hacer un determinista es buscar otras argumentaciones en apoyo de la tesis de que las acciones del hombre no se encuentran menos sujetas a la causalidad de lo que lo está el mundo material. La argumentación de Planck, una de las más inteligentes, puede caer fuera del interés inmediato de un estudioso de la materia, pero, en mi opinión, su valor instructivo para el investigador de los fenómenos vitales es excepcional.

Difícilmente puede discutirse el punto de partida de Planck: Libre albedrío no puede significar más que «el individuo se siente libre, y que sea así no puede de hecho conocerse más que por él mismo»<sup>26</sup>. Ahora bien, afirma que esta trama interior, el sentimiento subjetivo, refleja fundamentalmente el hecho de que *ex post* el individuo imagina que podría haber actuado de forma diferente. Lo que los psicólogos son capaces de comprobar en algunos casos debe ser cierto en general: *toda acción se deriva de un motivo definido*. Actúa aquí una causalidad completa como sucede en el caso de un rayo de luz que imaginablemente puede alcanzar al observador a lo largo de infinitas sendas pero que en realidad sigue solamente una, la senda de la llegada más rápida<sup>27</sup>. Si no podemos mostrar que no existe diferencia alguna entre ambos casos se debe exclusivamente a que «los profundos abismos del pensamiento no pueden penetrarse por el intelecto ordinario»<sup>28</sup>. Sin embargo, nada se opone a la existencia de un intelecto que se encuentre con el nuestro en la misma relación «en que el nuestro se sitúa sobre los protozoos». Un demonio con una mente semejante podría seguir «incluso el momento más fugaz del pensamiento mortal, así como la más delicada vibración de los ganglios del cerebro humano» y ver así que cualquier acto simple de la voluntad se encuentra completamente determinado por «la interacción de motivos mutuamente reforzados o contradictorios que [actúan] parcialmente en la esfera consciente y parcial-

<sup>25</sup> A. S. Eddington, *The Nature of the Physical World* (Nueva York, 1943), p. 260.

<sup>26</sup> Planck, *The New Science*, p. 287.

<sup>27</sup> *Ibid.*, p. 73.

<sup>28</sup> *Ibid.*, pp. 60 y s.

mente también en la inconsciente»<sup>29</sup>. La ilusión del libre albedrío surge del hecho de que ningún individuo es consciente de esa conexión causal; en efecto, si un individuo llegase a ser consciente de ella, dejaría de sentirse libre en ese mismo momento<sup>30</sup>. Pero esto no puede suceder: ningún ojo puede verse a sí mismo, ningún corredor puede adelantarse a sí mismo<sup>31</sup>, o, como diríamos en general, ninguna acción es reflexiva. Un individuo que a pesar de todo intentase psicoanalizarse a sí mismo entraría en una regresión infinita, porque «el conocimiento de todo motivo o de toda actividad de la voluntad es una experiencia interna de la que puede surgir un nuevo motivo», de modo que nunca alcanzará «un motivo que sea categóricamente decisivo para cualquier acción futura»<sup>32</sup>.

Para valorar la argumentación de Planck, tendríamos que subrayar primero que difiere fundamentalmente de la de Laplace. En efecto, éste no pedía a su demonio que averiguase cómo se relacionan entre sí las cosas en el universo. Por el contrario, Laplace proporcionaba al demonio todo el conocimiento teórico necesario para que llevase a cabo su tarea de grumete, por así decirlo. Por esta razón es por lo que el demonio de Laplace es un grumete fantásticamente más eficiente que cualquier humano, pero sigue siendo un grumete, no el capitán que planeó la fabulosa expedición. A diferencia del de Laplace, el demonio de Planck debe hacerse cargo de todas las tareas de la expedición científica, no sólo de medir todo lo que es mensurable a nivel atómico y más allá, sino también de formular las cuestiones adecuadas relativas a los «motivos» y, sobre todo, de descubrir las relaciones estrictamente causales existentes entre los pensamientos (efímeros o duraderos) de un ser humano, sus motivos y las vibraciones de sus ganglios (delicadas o violentas), por una parte, y las manifestaciones evidentes o reprimidas de la voluntad individual, por otra. Planck no dice a su demonio ni lo que hay que medir, ni cómo descubrir los motivos, ni, en especial, qué aspecto pueden tener las leyes que rigen el territorio al que se dirige la expedición; se aparta, por así decirlo, y espera la vuelta del demonio y que le diga, o a usted o a mí, cuáles son esas leyes. Ahora bien, ¿qué sucede si al regresar el demonio nos dice que no existen las supuestas leyes? Este es el principal fallo lógico en la refutación del libre albedrío por Planck.

<sup>29</sup> *Ibid.*, pp. 60, 107 y 111.

<sup>30</sup> *Ibid.*, pp. 215 y s. Habría que contrastar esta postura con la de Kant (resumida más adelante), por una parte, y con la de Hegel, por otra. Con su máxima «Esa verdad necesariamente es... *Libertad*» (*The Logic of Hegel*, traducción de W. Wallace, 2.<sup>a</sup> edición, Londres, 1904, p. 282), Hegel quiere decir que una mente es libre si, y sólo si, no es ya esclava de la contingencia, es decir, si no está regida por la Naturaleza sino auto-determinada (pp. 110 y 264 y s.). En la inversión materialista de Hegel llevada a cabo por Marx, la máxima se interpreta, no obstante, a la inversa: para saber, Sócrates murió «libre» porque aceptó la necesidad contingente.

<sup>31</sup> Planck, *The New Science*, pp. 62, 116 y 216. Para valorar hasta el final esta argumentación, ni siguiera Dios fue consciente de Su motivo para crear el mundo; nuestra tarea es encontrarlo.

<sup>32</sup> *Ibid.*, pp. 216 y 288.

Es igualmente instructivo resaltar que la regresión infinita que, de acuerdo con Planck, impediría todo autoexamen constituye, por el contrario, una excelente descripción de vida consciente como concatenación alternativa de motivos y acciones. Sin embargo, en la realidad tanto las acciones como la aparición de nuevos motivos tras la ejecución de una acción requieren *duración*. En efecto, sin ese requisito el hombre se vería inmerso en una regresión infinita que congelaría su vida; pero da la casualidad de que la conciencia del hombre sólo se desarrolla, a lo largo de lo que podría convertirse en una regresión infinita si la muerte no pusiese un fin arbitrario al proceso. Y, de hecho, la mejor argumentación en favor de la concatenación de motivo-acción es que cada uno de nosotros puede asegurar que actuamos sobre la base de motivos, incluso aunque generalmente tengamos dificultades para hacer una lista completa de nuestros motivos en cada ocasión. En mi opinión, la causa principal de esa dificultad es la histéresis de nuestra mente: entre el momento de la decisión de actuar y el momento en que recordamos nuestros motivos iniciales adquirimos nuevo conocimiento, pues cierto conocimiento acompaña a casi todas las acciones realizadas. Así pues, nuevos motivos emergen en nuestra conciencia. Todo esto puede contribuir a la ilusión de que podríamos haber actuado *en el pasado* de modo diferente a como realmente lo hicimos. La única cosa que constituye un enigma real para todo ego no es el *surgimiento de acciones* a partir de motivos sino la *aparición de nuevos motivos*. Si puede *desear* sus motivos libremente, el hombre es libre a pesar del hecho de que todas las acciones se derivan necesariamente de motivos. Este es, según creo, el único problema de la libertad de la voluntad.

5. *El imperativo categórico*. El sorprendente desenlace de la argumentación de Planck indica que incluso aunque pudiese haber tenido algún presentimiento acerca de esta cuestión no lo tuvo finalmente en cuenta. El desenlace consiste en que, debido al hecho de que la voluntad del hombre hacia lo que desea debe permanecer siempre más allá del alcance de la comprensión humana por muy demiúrgica que pueda llegar a ser su inteligencia, la humanidad precisa una guía vital que lo sustituya. «La ley de causalidad es la norma rectora de la ciencia; pero el imperativo categórico —es decir, el dictado del deber— es la norma rectora de la vida»<sup>33</sup>. Aunque Planck cultivó repetidamente esta idea, nunca hizo explícitos sus pensamientos. En efecto, si aceptamos su afirmación de que las acciones se derivan de motivos y éstos de acciones con una necesidad objetiva —es decir, con una necesidad que puede determinarse por otra mente distinta de la del hacedor—, ¿por qué tendría nadie que necesitar otro principio rector? No sería más que para engañarse exactamente del mismo modo en que el

<sup>33</sup> Planck, *The New Science*, p. 120; también pp. 216, 254 y 288.

niño que se encuentra en el asiento posterior imagina que está conduciendo el automóvil con el volante de su coche de juguete. Se trata aquí de la vieja postura determinista. En lugar de ello, Planck podría haber intentado invocar las enseñanzas kantianas.

Recordemos que Kant distingue entre actuar según el deber, por el deber y de acuerdo con la ley moral —distinción que no presenta dificultad alguna, pero que Planck parece haber pasado por alto—. En lo que respecta a la ley moral —el imperativo categórico—, Kant la definió basándose en el principio de que una máxima (una norma de conducta) es moral si, y sólo si, «se pudiese querer al mismo tiempo que [su] máxima se convirtiese en una ley universal»<sup>34</sup>. Una máxima que no fuese moral «se destruiría tan pronto como intentase ser una ley universal»<sup>35</sup>. La condición es análoga a aquella que deseáramos para satisfacer en concreto los principios lógicos, no para llegar a una contradicción. Ahora bien, de igual modo que no estamos seguros de que exista una lógica libre de contradicciones, tampoco sabemos si hay una máxima que no sea autodestructiva. Kant proporciona numerosos ejemplos de máximas autodestructivas, pero confiesa su incapacidad de ofrecer una de otro tipo<sup>36</sup>. La dificultad de encontrar una máxima que satisfaga el imperativo categórico se pone de manifiesto por una de las ocurrencias de Bernard Shaw: no hagas a otros lo que desearías que ellos te hiciesen a ti — los otros pueden tener otros gustos<sup>37</sup>. Los historiadores de la economía conocen únicamente demasiado bien la controversia sobre qué sistema económico satisfaría la condición de no ser autodestructivo.

Las discusiones sobre el libre albedrío confunden con frecuencia dos cuestiones distintas. Por ejemplo, Planck comienza diciendo que su tesis es que la *voluntad* humana no puede estar «sujeta a las oscilaciones del mero azar ciego»<sup>38</sup>, pero toda su argumentación se refiere a la cuestión de si *las acciones humanas se encuentran causalmente determinadas por motivos*. Si hubiese dicho que *las acciones humanas* no están determinadas por las vacilaciones del azar, su argumentación habría sido correcta, pues difícilmente nadie hubiera estado en desacuerdo con esa tesis modificada. Así, Kant prologa su discusión sobre la voluntad con numerosos ejemplos dirigidos a aclarar la idea de que el hombre actúa a partir de un motivo y a subrayar la distinción entre las grandes categorías de motivos. Pero Kant insiste también en que el problema del imperativo categórico no tiene nada que ver

<sup>34</sup> Immanuel Kant, *The Fundamental Principles of the Metaphysic of Ethics*, traducción de O. Mantey-Zorn (Nueva York, 1938), p. 17. Es importante observar que en otro lugar (p. 38) Kant tiene «una ley universal de la Naturaleza».

<sup>35</sup> *Ibid.*, p. 19.

<sup>36</sup> *Ibid.*, pp. 37 y ss., y, sobre todo, la afirmación final de la obra, p. 84.

<sup>37</sup> Igualmente, Kant no cree que la Regla de Oro satisfaga el imperativo categórico; ciertamente, sus razones son diferentes. *Ibid.*, p. 48n.

<sup>38</sup> Planck, *The New Science*, p. 59.

con «la *específica constitución de la naturaleza humana* o con las circunstancias casuales en que [el hombre] está situado»<sup>39</sup>, es decir, con los deseos, instintos e impulsos humanos. El hecho de que nuestras acciones se encuentran determinadas por nuestra voluntad no se niega por ningún filósofo que, al igual que Kant o Hegel, haya discutido el problema de la libertad de la voluntad; por el contrario, este hecho constituye su punto de partida, sin el cual no tendría sentido alguno tener preocupaciones éticas.

La única cuestión planteada por el imperativo categórico es la de si el hombre puede desear una ley para su voluntad con independencia de la causalidad física, en otras palabras, *si el hombre puede desear su voluntad*. Una voluntad autodeterminada es lo que significa la libertad o la autonomía de la voluntad<sup>40</sup>. Para el economista, la diferencia existente entre ambas cuestiones —relativa la primera a la relación entre voluntad y acciones y la segunda al poder reflexivo de la voluntad— debería recordarle la oposición equivalente en su propio campo de estudio. Dados los gustos de un individuo, sus acciones en el mercado están totalmente determinadas (como nos enseña la teoría de la utilidad). Ahora bien, como reivindican algunos economistas (incluyéndome a mí mismo), con este resultado no hemos agotado el problema del consumidor. Mayor importancia tiene, posiblemente, la cuestión de qué determina los gustos —o, mejor, las necesidades— de una persona. De este modo, el paralelismo es: ¿puede un ser humano necesitar sus propias necesidades?

Para decirlo de nuevo, el mayor misterio a que se enfrenta todo aquel que crea con Kant en un mundo de *fenómenos* completamente causal es saber si la voluntad del hombre es libre o no en el sentido que se acaba de describir. Para solucionarlo, Kant propuso dividir la esencia del hombre en dos, un hombre *fenoménico* que es parte del orden causal y uno *nouménico* (fenoménicamente incognoscible) que es libre. El primero está sujeto a la necesidad que caracteriza los fenómenos físicos; el último es libre en virtud de un «tipo de causalidad» diferente que es aplicable a la voluntad de los seres racionales<sup>41</sup>. La cuestión de si el hombre nouménico puede ser uno con el hombre fenoménico sigue esperando una respuesta: se trata del antiguo problema de Mente y Cuerpo bajo una forma diferente. Ciertamente, los indeterministas creen que tienen la solución; en efecto, afirman que la voluntad significa el poder de la mente «para alterar las probabilidades en el comportamiento atómico», lo que quiere decir que la mente actúa como un tramoso que con un leve roce de los dedos hace girar un dado

<sup>39</sup> Kant, *Fundamental Principles*, p. 61 y *passim*.

<sup>40</sup> *Ibid.*, p. 65. Véase también la nota 30 anterior.

<sup>41</sup> Para más detalles al respecto así como para las propias cautelas de Kant sobre lo que quería probar, véase Immanuel Kant, *Critique of Pure Reason* (edición de Everyman's Library, Nueva York, 1934), pp. 316-334.

ya lanzado de forma que obtenga tres seises cada vez que consigue sólo dos. Al actuar así, la mente no violaría ninguna ley física, ya que el número de seises no está determinado por una ley estrictamente causal. Sin embargo, semejante idea rocambolesca no es aceptable ni siquiera para todos los indeterministas<sup>42</sup>.

6. *Mentalidad pueblerina de la física y noción de causa.* En la actualidad, pocos son los que aprecian los intentos de los filósofos que, al igual que Kant, se niegan a discutir el problema del libre albedrío humano si no es a nivel transcendental, metafísico, sin contacto alguno con la física, la hiperfísica o la hipofísica, por decirlo con palabras del propio Kant. Sin embargo, algunos de los más grandes científicos de nuestra época reivindican la postura de Kant. Niels Bohr, por ejemplo, insiste en que la libertad de la voluntad es «una característica de vida *consciente* que se corresponde con las funciones del organismo que no solamente se sustraen a una descripción causal mecánica sino que se resisten incluso a un análisis físico llevado hasta el extremo requerido por una aplicación inequívoca de las leyes estadísticas de la mecánica atómica»<sup>43</sup>. El plan opuesto, defendido por otros físicos y filósofos que han abordado estos y similares problemas, consiste en explicar todo exclusivamente en términos de fenómenos físicos. Pero no debemos engañarnos: este plan se basa igualmente en una creencia metafísica. La única diferencia reside en que esta última creencia es adecuada para poner trabas, mejor dicho, para desorientar la imaginación del estudioso de los fenómenos vitales. El resultado es la mentalidad pueblerina de lo que ahora pasa por ser filosofía de la ciencia (a lo que ya me he referido al comienzo de los Capítulos IV y V); y esa mentalidad pueblerina es perjudicial tanto para quien trabaja en un laboratorio como para quien se entrega a construcciones teóricas. Impregna también la declaración de Planck de que «el objetivo de la investigación no se alcanza hasta haber analizado en una o más leyes *dinámicas* todos los casos de una ley estadística»<sup>44</sup>. E incluso un defensor del indeterminismo, como Eddington, se refiere solamente a la física: el indeterminismo se deriva del hecho de que la física «desde el principio se ocupa de probabilidades»<sup>45</sup>. En cualquier caso, la indicación más evidente de este temperamento mecanicista es el edicto hecho público por el matemático francés Paul Painlevé: «La idea de que se ha de conocer todo el pasado de un sistema físico a fin de predecir su futuro representa la negación de la *ciencia* por sí misma»<sup>46</sup>. Hay que subrayar que esto no es un teorema sino una definición implícita de ciencia. Creo que

<sup>42</sup> Véase Eddington, *Nature of Physical World*, pp. 311-314.

<sup>43</sup> Niels Bohr, *Atomic Physics and Human Knowledge*, p. 11. Las cursivas son mías.

<sup>44</sup> Planck, *The New Science*, p. 214. Las cursivas son mías.

<sup>45</sup> Eddington, *New Pathways*, p. 105.

<sup>46</sup> Paul Painlevé, *Les axiomes de la mécanique* (París, 1922), p. 40 (la traducción y las cursivas son mías). Como se indica en Eddington, *Nature of Physical World*, pp. 228 y s., Heisenberg dijo también

nadie negaría que, si el futuro de alguien dependiese de todo su pasado, no seríamos capaces de predecir tal futuro si el pasado comienza demasiado atrás, digamos en  $t = -\infty$ . Ahora bien, ¿por qué, a pesar de la evidencia, tendríamos que negar la existencia de fenómenos de histéresis o, si se admite su existencia, por qué deberíamos negar que forman parte del objeto de la ciencia?

Es cierto que la ciencia debería estudiar los fenómenos que pueden describirse a través de un sistema de ecuaciones diferenciales normales, e igualmente es cierto que la ciencia debería estudiar el camello, pero ¿qué sucede con el dromedario? O, como el visitante del zoológico que en el cuento se mostró sorprendido por el dromedario, ¿deberíamos decir «este animal simplemente no existe» y marchar completamente satisfechos? La paz de la mente a este precio puede ser apropiada para una cría de camello, pero no para alguien al servicio de la ciencia. Si se limita la ciencia e implícitamente todo ello es para que el hombre conozca una matriz dinámica, hay que tenerle una fe ciega al determinismo. En lo que se refiere a este tipo de determinismo —y sólo a él— quisiera unirme a Noüy cuando dice que «se trata esencialmente de una doctrina relajante para una mente privada de curiosidad»<sup>47</sup>. Y lo mismo es cierto para el polo opuesto, el indeterminismo consagrado que sostiene que todo consiste en electrones que saltan.

Las cosas del universo son las que son: unas encajan en una matriz dinámica y otras no. Si deseamos llegar a estar en contacto *analítico* mental con el universo, el interno y el externo, en un frente lo más extenso posible, debemos abandonar la mentalidad pueblerina de la física, porque la misma nos obliga a adoptar la conclusión de Planck de que hay un punto «a partir del cual la ciencia [léase la física] no puede pasar... Este punto es el ego individual». Esto significa que, como nos indica Bohr, deberíamos renunciar a cualquier idea de explicar «nuestra propia actividad consciente»<sup>48</sup>. Por supuesto que la mentalidad pueblerina de la física no ha impedido (podría afirmarse que, por el contrario, lo ha ayudado) el progreso en la bioquímica, la microbiología y la medicina, pero la cuestión sigue planteándose en los mismos términos: ¿por qué no estudiar también el dromedario y su relación con el camello? Es extraño, por todo ello, observar que Planck hace el reconocimiento anterior a la vez que sigue adelante con una investigación de la libertad de la voluntad a partir de la evidencia suministrada exclusivamente por la física. Sin embargo, en su discusión de la causalidad Planck sintió la necesidad de recurrir a pruebas exteriores a la físi-

que «la cuestión de si a partir de un conocimiento total del pasado podemos predecir el futuro no surge debido a que tal conocimiento total del pasado implica una contradicción». Puedo ver la imposibilidad real, pero no la contradicción.

<sup>47</sup> P. Lecomte du Noüy, *The Road to Reason* (Nueva York, 1948), p. 179.

<sup>48</sup> Planck, *The New Science*, pp. 114 y s.; Bohr, *Atomic Physics and Human Knowledge*, p. 11.

ca, en la medida en que inquirió qué otra cosa podían hacer el historiador o el sociólogo en caso de no buscar las causas pasadas de las condiciones actuales<sup>49</sup>. En mi opinión, las causas que buscan un científico social o un biólogo (a veces, hasta un químico) no son conceptualmente las mismas que la causa que busca un físico, que no es otra cosa sino la sublimación del empuja o tira mecánico.

La situación no es tan simple como en la física, a pesar de que «simple» no es precisamente la palabra adecuada. Creo que no es correcto transplantar el concepto físico de causa ni siquiera a la química, es decir, a toda la química. Necesitamos un significado diferente de «causa» para expresar el hecho de que, a pesar de que cada vez que combinamos hidrógeno y oxígeno en una proporción definida obtenemos agua, algunos hechos desnudos —que el agua es un líquido cuando su temperatura es de 60 grados, por ejemplo— no pueden retrotraerse a cualesquiera propiedades de los componentes. En realidad, los químicos nos dirían que, a pesar de que el agua es una sustancia ultrafamiliar, sus propiedades *conocidas* se han envuelto en más misterios que las de cualquier otro compuesto. Tampoco sería adecuado, en mi opinión, decir que debido a que las propiedades estructurales de la materia en bruto no son reducibles a las de la materia elemental se encuentran fuera del campo de la causa. Los fenómenos racionales de tercer orden, que abundan en el campo orgánico y superorgánico, complican aún más el problema de lo que entendemos por «causa»; sugieren que la misma «causa» puede tener varios «efectos». Evidentemente, sería inadecuado atribuir esa variación a un factor aleatorio.

La réplica a las observaciones anteriores es un estribillo muy familiar. Los fenómenos arriba mencionados reflejan exclusivamente el hecho de que en el momento actual ignoramos determinados factores o leyes causales en el sentido que tales términos tienen en la mecánica; cuando llegan a ser conocidos, desaparece su peculiaridad. Es evidente que la argumentación pretende que su autoridad proviene de una tendencia histórica, concretamente del hecho de que día tras día se descubren nuevos factores y nuevas leyes. Personalmente, creo que para nuestro conocimiento unas tendencias históricas tan bien definidas como las que se acaban de mencionar no son en modo alguno autoridades menos respetables que las regularidades *analíticas* observadas en la Naturaleza. De hecho, estas regularidades no son más que un caso especial, restrictivo, de la tendencia histórica. La dificultad de la argumentación «usted lo verá» procede de otra dirección. En efecto, la historia nos enseña también que con cada descubrimiento crece como una bola de nieve una multiplicidad de nuevos interrogantes. Compárese, por ejemplo, la situación de la física en la época de

<sup>49</sup> Planck, *The New Science*, p. 105.

Laplace con la actualmente existente. ¿No han aumentado los últimos descubrimientos de un tipo tras otro de partícula elemental el número de hechos para los que nos encontramos esperando una explicación «causal»? «Una adición al conocimiento», como lo observó Eddington, «se gana a costa de una adición a la ignorancia»<sup>50</sup>. Si, como acabo de sugerir, las modalidades de la Naturaleza son infinitas en número, en tal caso, incluso aunque supusiéramos que el número de interrogantes planteados con respecto al de los problemas ya resueltos desciende a lo largo del tiempo, nuestra lucha con la Naturaleza no llegaría a un final. Estoy convencido de que la mente humana nunca llegará a convertirse en una mente divina<sup>51</sup>.

Dado que en la ciencia vamos conquistando una posición tras otra, deberíamos primeramente reunir nuestras ideas y sobre esta base trazar un cuadro del mundo fenomenológico en cada etapa. Suponer que dentro de semejante censo asumido conocemos lo que en realidad hacemos y, en consecuencia, proclamar que debemos movernos exclusivamente en un sentido determinado es hacer más difícil todavía una batalla ya de por sí espinosa. Algunos pueden no estar satisfechos con el punto de vista de científicos como Bohr, Broglie o Delbrück en el sentido de que la vida no puede reducirse a sucesivos análisis físico-químicos, debido a que sus manifestaciones características se encuentran mucho más allá de cualquier experiencia que podamos conocer acerca de la materia inanimada<sup>52</sup>. La existencia de la vida debe contemplarse como postulado básico de la biología, de igual modo que la existencia de la energía lo es de la física. Mantener la opinión contraria implica que una idea o una sensación se reducen a configuraciones de átomos en el cerebro, punto de vista que nadie ha sido capaz de demostrar, pero contra el que hay varias argumentaciones sustanciales. Eddington<sup>53</sup>, por ejemplo, pregunta con gracia si tendría algún sentido decir que el cerebro fabrica azúcar cuando la idea  $7 \times 8 = 56$  pasa a su través y cierta sustancia nociva si la idea es  $7 \times 8 = 65$ . El economista que habla de la utilidad como basada en el placer y de la desutilidad como basada en el dolor tendría probablemente que preguntarse también si algún biólogo (o físico-químico) ha sido capaz de demostrar por qué el trabajo a partir de determinado punto está acompañado de una sensación desagradable y el consumo lo está de una agradable. ¿Ha hecho alguien ni siquiera la más leve sugerencia de por qué la contemplación de una obra de arte proporciona una sensación de placer a ciertas personas?

<sup>50</sup> Eddington, *Nature of Physical World*, p. 229.

<sup>51</sup> La discusión sobre la falacia relativa al proceso del límite (Apéndice A de este volumen) debe ser útil para los que puedan estar en desacuerdo con esta afirmación.

<sup>52</sup> Bohr, *Atomic Physics and Human Knowledge*, pp. 15, 21 y 76; Louis de Broglie, *Physics and Microphysics* (Londres, 1955), p. 139. En lo que se refiere a Delbrück, véase el Capítulo V, Sección 1, anterior.

<sup>53</sup> Eddington, *Nature of Physical World*, p. 345.



Hay que tener también en cuenta que los impulsos físicos de los sonidos de las palabras «five» y «cinco» producen indudablemente una matriz atómica diferente en el cerebro receptor. Sin embargo, el inglés que oye la primera y el español que percibe la segunda pensarán exactamente la misma cosa. Los hechos desnudos como estos no pueden reducirse a leyes puramente fisiológicas y mucho menos aún a otras puramente físico-químicas. Los fisiólogos son propensos a negar la existencia de la mente, de la conciencia o de la voluntad basándose en que no pueden encontrar tales cosas en su estudio intenso del cuerpo humano. Ahora bien, un consumado neurocirujano, W. Penfield, da cuenta de un llamativo experimento fisiológico: pidió a varios pacientes que se sometían a neurocirugía que no moviesen su brazo al aplicarles un electrodo al lugar adecuado de su corteza cerebral; los pacientes utilizaron invariablemente el otro brazo para sujetar al que recibía el impulso del electrodo, lo que llevó a Penfield a concluir que un brazo se movía como resultado del electrodo y el otro por la voluntad del paciente<sup>54</sup>. Este es un gran misterio de nuestros fenómenos mentales, porque si nuestros estados mentales, incluyendo la voluntad, no son reducibles a configuraciones físicas, ¿cómo podemos explicar que un motivo, que únicamente tiene existencia mental, puede conducir a acciones externas del individuo? Ya sé que el punto de vista de que todo es en último término un asunto puramente físico-químico recurre al caso de un hombre que se vuelve loco bajo el influjo de alguna droga. La cuestión que se plantea es si este ejemplo tiene solamente valor para un hombre normal, es decir, para un hombre que no ha perdido en virtud de algún accidente su cualidad humana de «racionalidad». En mi opinión (y, creo estar seguro, en la de todo físico), no podemos responder a la cuestión de cómo se comporta un átomo de radio extrapolando el comportamiento de su forma degenerada, el átomo de plomo.

El punto que deseo subrayar para concluir esta sección es que, a pesar de que somos directamente conscientes de la conexión existente entre nuestros motivos y nuestras acciones, únicamente lograríamos confundirnos a nosotros mismos si utilizáramos para esa relación (como lo hace de hecho la mayoría de nosotros) la palabra «causa» con el mismo significado que en el campo físico. Al difundir el evangelio de que la física debe constituir el fundamento de cualquier filosofía sostenible<sup>55</sup>, la mentalidad pueblerina de la física causa un daño enorme a nuestro modo de pensar. No importa que el daño haya llegado o no a través de la filosofía: no creo en algo semejante a una ciencia a filosófica, al menos en lo que se refiere a los

<sup>54</sup> Citado en Arthur Koestler, *The Ghost in the Machine* (Nueva York, 1967), p. 203. Véase también Wilder Penfield, «The Physiological Basis of the Mind», en *Control of the Mind*, eds., S. M. Farber y R. H. L. Wilson (Nueva York), pp. 3-17.

<sup>55</sup> Véase Planck, *The New Science*, p. 235.

niveles superiores de esfuerzo científico. Nos hemos deleitado por completo en vapulear la noción de causa poniendo de relieve sus imperfecciones (algunas de las cuales son ciertamente innegables) hasta convencernos a nosotros mismos de que haríamos mejor en renunciar a semejante idea vieja y esotérica, pero, si renunciamos a la mentalidad pueblerina y nos esforzamos en encontrar el modo más apropiado de entrar en contacto mental con cada uno de los campos fenomenológicos separados por nuestro análisis del Todo, encontraremos que, por el contrario, necesitamos, como pensaba Aristóteles, cuatro formas de causa. El mismo Planck es de la opinión de que, para poner estrechamente de acuerdo nuestra imagen del mundo con los hechos, debe refinarse y ampliarse también el concepto de causalidad<sup>56</sup>.

Evidentemente, todos quisiéramos poder salir adelante con una sola forma de causa. A pesar de sus repetidas decepciones, el monismo nunca dejará de fascinar nuestras mentes, pero lo cierto es que no poseemos, en palabras de Hermann Weyl, una imagen unificada de la «textura entretrejida de Materia, Vida y Espíritu»<sup>57</sup>, y que la posibilidad de llegar a ella incluso dentro de miles de años a partir de ahora (como lo espera) me parece una falsa esperanza.

La imagen que tenemos en la actualidad es que el campo de la física se encuentra dominado por las causas eficientes y por las formales. En el terreno de la química, aparece igualmente la causa material; como ya hemos visto antes, ni el oxígeno ni el hidrógeno son la causa eficiente del agua, aunque sí son su causa material. Evidentemente, sería absurdo decir que, en sus aspectos físico-químicos, la Naturaleza tiene una intencionalidad. Sin embargo, en los restantes campos nos encontramos a lo largo de un extenso frente con la causa final, ya sea que consideremos la equifinalidad de los organismos biológicos o, especialmente, al hombre y a la sociedad persiguiendo sus intencionalidades. Aclaremos a este respecto una cuestión. El motivo existe en la mente humana, por lo que es correcto que cada uno de nosotros diga «mi motivo es este y ese» o «mi motivo ha sido este y ese». Ahora bien, ¿dónde están nuestros fines, nuestras intencionalidades en el momento en que hablamos de ellas como tales, es decir, antes de que se conviertan por nuestros actos en hechos realizados? Esa es la razón por la que deberíamos decir más bien «mi intencionalidad será esta y esa» para mostrar claramente que el hombre se mueve también por su visión del futuro, por cosas que no son actuales, no sólo por el dolor que le causa retirar reflexivamente su mano del horno ardiente.

7. *Entropía y actividad intencional.* Entre las diversas ideas que rodean la antinomia existente entre la causalidad física y la libertad se encuentra la

<sup>56</sup> Max Planck, *Where Is Science Going?* (Nueva York, 1932), p. 221.

<sup>57</sup> Weyl, *The Open World*, p. 55.



de la inexorabilidad de las leyes físicas. Correctamente entendida, esa idea es que el hombre no puede vencer las leyes físicas en el sentido de impedir su actuación. La ley de la gravitación, por ejemplo, actúa incluso en el caso de una aeronave en vuelo. La Ley de la Entropía de la Termodinámica Clásica no constituye una excepción a esa regla. El calor se dispersa incluso cuando refrigeramos un almacén, pues mayor cantidad de calor se «degrada» en el resto del universo que el que «mejora» en el almacén. El resultado es que ha aumentado la energía calórica latente en el universo, tal como lo exige la ley. La refrigeración constituye solamente una excepción a la desnuda ley de que el calor no puede fluir desde el cuerpo frío al caliente, pero no a la ley propiamente dicha que afirma que el calor no puede hacerlo *por sí mismo*. Sin embargo, la formulación probabilística de la Ley de la Entropía, basada en la idea de que el calor es únicamente una manifestación del movimiento irregular de las partículas, suscitó las dudas de algunos físicos acerca del carácter inexorable de esa ley.

Este punto de vista se encuentra relacionado con una aguda fábula de J. Clerk Maxwell. Se imaginó un minúsculo demonio apostado junto a una microscópica puerta de vaivén en una pared que separa dos gases, A y B, de igual temperatura. El demonio está enseñado a abrir y cerrar la puerta «de forma que se permita solamente a las moléculas más veloces el paso de A a B, y sólo a las más lentas el paso de B a A». Evidentemente, de esta forma el demonio puede hacer el gas en B más caliente que en A, lo que significa que puede liberar la energía potencial y, por consiguiente, vencer a la Ley de la Entropía de la termodinámica estadística<sup>58</sup>.

Incluso desde que Maxwell la escribió (1871), la fábula ha sido objeto de una controversia que me parece vacía. Tomándola en su sentido literal, pone de relieve un conflicto entre el principio de que las leyes físicas son inexorables y la explicación estadística de los fenómenos termodinámicos. Desde esta perspectiva, la propia postura de Maxwell equivale a eliminar el conflicto manteniendo el principio y condenando la explicación, pero de la misma manera podría aceptarse la explicación estadística y rechazarse el principio. Esta segunda alternativa corresponde a la argumentación entusiásticamente defendida por todos los vitalistas y consistente en que un ser vivo —como lo demuestra el demonio de Maxwell— posee la facultad de vencer las leyes de la materia. Como resultado de esta última argumentación, la fábula adquirió un significado dramático. Sin embargo, al igual que en el caso de otras muchas paradojas, la de Maxwell sigue siendo un enigma intelectual; en efecto, al igual que todas las paradojas, la de Maxwell únicamente puede iluminar

<sup>58</sup> J. Clerk Maxwell, *Theory of Heat* (10.ª edición, Londres, 1921), pp. 338 y s. Sabemos por Boltzmann (*Populäre Schriften*, p. 231), que J. Loschmidt ideó la misma fábula mucho antes de Maxwell. La coincidencia demuestra el profundo significado de la cuestión.

nuestros pensamientos, pero no puede convertirse en una base adecuada para resolver el problema que plantea.

La línea principal de las argumentaciones dirigidas a resolver la paradoja se remonta a Boltzmann, quien afirmó que «si desapareciesen todas las diferencias de temperatura, tampoco podría aparecer ningún ser inteligente»<sup>59</sup>. Esa postura se ha repetido en formas diversas por Einstein, Eddington y muchos otros. L. Szilard dio un nuevo giro a esta cuestión<sup>60</sup>. Afirmó que el demonio no puede actuar sin obtener cierta información acerca de los movimientos de las partículas. Esta idea preparó el terreno para igualar entropía y deficiencia de información y condujo a una serie de ejercicios sobre las limitaciones físicas del demonio. Su argumentación principal es que, al ser un entorno en el equilibrio termodinámico un cuerpo negro, le es imposible al demonio ver las partículas. Si se le proveyera de algún dispositivo físico con el que obtener la información necesaria —una linterna, por ejemplo—, seguiría sin poder mover más energía que la consumida por el dispositivo<sup>61</sup>. Ahora bien, todos estos ejercicios no resuelven la paradoja, sino que únicamente la presuponen<sup>62</sup>; su única base es que la Ley de la Entropía impide que un dispositivo físico ejecute más trabajo que el asegurado por la energía libre que recibe. Evidentemente, si esa es la premisa, la conclusión no puede ser más que lo absurdo de la fábula.

Una argumentación más habitual, en lugar de suministrar al demonio un dispositivo físico, lo «exorciza», es decir, lo transforma en un ser inteligente de carne y hueso. Esa argumentación observa en primer lugar que un ser de tal naturaleza debe consumir cierta energía libre para poder subsistir y afirma después que, si el ser fuese capaz de mover mayor cantidad de energía, contradiría la Ley de la Entropía<sup>63</sup>. Ahora bien, esta línea de razonamiento se encuentra viciada por la misma circularidad que la del párrafo precedente, pero en todo caso posee la ventaja de traer al primer plano la implicación más importante de la fábula. En palabras de Helmholtz, se trata de la cuestión de si la transformación del desordenado movimiento de calor en energía libre «es igualmente imposible como consecuencia de las delicadas estructuras de los tejidos orgá-

<sup>59</sup> Boltzmann, *Populäre Schriften*, p. 231. La traducción es mía.

<sup>60</sup> L. Szilard, «Über die Entropieverminderung in einem thermodynamischen System bei Eingriffen intelligenter Wesen», *Zeitschrift für Physik*, LIII (1929), pp. 840-856.

<sup>61</sup> En lo que se refiere a estas argumentaciones y a las referencias básicas, véase L. Brillouin, *Science and Information Theory* (2.ª edición, Nueva York, 1962), cap. 13.

<sup>62</sup> Se subraya con frecuencia que, debido a la Indeterminación de Heisenberg, el demonio no puede en ningún caso determinar ni las posiciones ni las velocidades de la partícula, pero Eddington (*New Pathways*, p. 70) cree, no obstante, que el demonio lo conseguirá *por término medio*.

<sup>63</sup> Discusiones interesantes de esta argumentación se encuentran en P. W. Bridgman, *The Nature of Thermodynamics* (Cambridge, Mass., 1941), pp. 155 y ss. y 208 y ss., y en Norbert Wiener, *Cybernetics* (2ª edición, Nueva York, 1961), pp. 57-59.

nicos vivos»<sup>64</sup>. Más exactamente, si todo es movimiento sin rumbo (como lo sostiene la termodinámica estadística), habría que esperar que las partículas constitutivas de todo organismo se desintegrasen rápidamente en un estado caótico, de la misma manera que supuestamente lo hacen los ratones que corren sin rumbo en la metáfora de G. N. Lewis<sup>65</sup>. En efecto, la probabilidad de que un organismo vivo no se desintegre rápidamente es fantásticamente pequeña. De acuerdo con las enseñanzas de Boltzmann y de cualquier defensor del enfoque probabilístico, tal acontecimiento no debería suceder nunca. Sin embargo, el «milagro» se ha producido una y otra vez a una escala fantástica. Como lo expuso Poincaré, se debe precisamente al hecho de que, en virtud de las leyes de la física, todas las cosas tiendan a la muerte el «que la vida sea una excepción que es necesario explicar»<sup>66</sup>.

En esta línea de pensamiento es en la que Eddington afirmó que, junto a la aleatoriedad, debe existir en la Naturaleza un factor que actúe en sentido opuesto: el antiazar. «Hemos erradicado el antiazar», dijo, «del campo de nuestros problemas físicos habituales, pero no nos hemos deshecho de él»<sup>67</sup>. Con ello, puede haber dado a entender que hemos eliminado la estricta causalidad y que ahora necesitamos el antiazar para enfrentarnos al mero azar en todos los innumerables casos en los que a la regla del azar se oponen estructuras duraderas ordenadas. Claro está que otros —como Georg Hirth, por ejemplo— habían hecho ya mucho tiempo antes sugerencias similares para explicar la contradicción<sup>68</sup>. En la actualidad, prácticamente todos los pensadores consideran que «algo [un nuevo principio] ha de añadirse a las leyes de la física y de la química antes de que puedan entenderse por completo los fenómenos biológicos»<sup>69</sup>. Sugerencias como las de Hirth y Eddington tienen sólo un valor indirecto que, además, exige un

<sup>64</sup> Hermann Helmholtz, «Die Thermodynamik chemischer Vorgänge», en *Wissenschaftliche Abhandlungen* (2 vols., Leipzig, 1882-1883), II, p. 972n. La traducción es mía.

<sup>65</sup> Recordemos que G. N. Lewis, en «The Symmetry of Time in Physics», *Science*, 6 de junio de 1930, ilustra la postura de la termodinámica estadística invitándonos a imaginar varios ratones que corren sin rumbo alguno reunidos en una esquina de una caja colgada de su centro: en seguida, dice, los ratones se dispersarán de manera que la caja se mantenga en equilibrio horizontal. Me pregunto, no obstante, por qué Lewis introdujo en su metáfora un factor orgánico: ¿No hubiera sido mejor utilizar unas bolas lanzadas sin rumbo?

<sup>66</sup> Henri Poincaré, *Mathematics and Science: Last Essays* (Nueva York, 1963), p. 8.

<sup>67</sup> Eddington, *New Pathways*, p. 60.

<sup>68</sup> En su *Entropie der Keimsysteme und erbliche Entlastung* (Munich, 1900), Georg Hirth acuñó la palabra «ektropía» para designar el principio que se opone al de degradación entrópica de las estructuras vivas. La idea y la terminología de Hirth se tomaron por Felix Auerbach en *Ektropismus oder die physikalische Theorie des Lebens* (Leipzig, 1910). La argumentación de Hirth se encuentra dominada por un confuso misticismo, pero hay circunstancias atenuantes para ello: era un experto en arte. Por desgracia, Auerbach, a pesar de ser un físico bastante distinguido, no obtuvo ningún logro mejor y así la noción de ektropía no hizo historia alguna.

<sup>69</sup> Werner Heisenberg, *Physics and Philosophy* (Nueva York, 1958), pp. 102 y s.

grado de reconocimiento mucho mayor. Sin embargo, la postura alternativa —mantener que en la Naturaleza no hay más principios que los que se ponen de manifiesto en el tubo de ensayo o en la placa fotográfica— equivale a una glorificación de la falacia del desconcertado visitante del zoológico mencionado anteriormente. Ciertamente, como subrayó Wiener, «es más sencillo rechazar la cuestión planteada por el demonio de Maxwell que responderla»<sup>70</sup>.

En todo caso, el demonio de Maxwell no se quedó sin honores; en efecto, la fábula ejerció una influencia decisiva sobre la orientación de las ciencias biológicas. Para empezar, nos obligó a todos a reconocer la diferencia categórica existente entre *barajar* y *clasificar*. En la termodinámica, no nos preguntamos de dónde procede la energía para el barajar del universo, incluso aunque únicamente sepamos demasiado bien que lleva algo de trabajo batir un huevo o barajar cartas. El barajar en el universo —al igual que en las moléculas del gas que rodean al demonio— se desarrolla por sí mismo: es automático. Pero no sucede así con la clasificación: Maxwell inventó un demonio, no un dispositivo mecánico, para este trabajo. «Clasificar es la prerrogativa de la mente o del instinto», observó Eddington, y casi nadie estaría actualmente en desacuerdo con ello<sup>71</sup>.

En realidad, cuanto más profundamente han penetrado los biólogos en las transformaciones biológicas, tanto más se han admirado «del asombroso carácter específico con el que las unidades biológicas elementales eligen entre los materiales constructivos disponibles precisamente los “apropiados” y los colocan justo en los sitios adecuados»<sup>72</sup>. Con independencia de su tendencia filosófica, todos reconocen que tales procesos ordenados, que son «mucho más complejos y mucho más perfectos que cualquier dispositivo automático conocido actualmente por la tecnología», tienen únicamente lugar en estructuras vivas<sup>73</sup>. Esa peculiar actividad de los organismos vivos se encuentra representada de forma más obvia por el demonio de Maxwell que, en su entorno altamente caótico, selecciona y dirige las partículas de gas con una *intencionalidad* definida.

Evidentemente, intencionalidad es un concepto extraño a la física, pero, en base a lo que se ha dicho en la sección precedente, tal cosa no debería preocuparnos. Frente a lo que sucede en el caso de los sociólogos positivistas, los físicos han admitido uno tras otro que la intencionalidad constituye un elemento legítimo de las actividades vitales, actividades en las que la causa final está totalmente justificada, y que no lleva a ninguna

<sup>70</sup> Wiener, *Cybernetics*, p. 57.

<sup>71</sup> Eddington, *Nature of Physical World*, p. 93.

<sup>72</sup> L. von Bertalanffy, *Problems of Life* (Nueva York, 1952), p. 29.

<sup>73</sup> Ilya M. Frank, «Polymers, Automation and Phenomena of Life», *Izvestia*, 11 de septiembre de 1959. Traducción inglesa en *Soviet Highlights*, I (1959), núm. 3.

contradicción lógica si se acepta la complementariedad en lugar del monismo<sup>74</sup>. Como ya hemos visto, Eddington va mucho más allá, pues, aunque afirma que el «carácter no aleatorio del universo podría identificarse posiblemente con la intencionalidad o el diseño, [sin comprometerse con] el antiazar», no sugiere en modo alguno que el antiazar se encuentre ausente del mundo físico. «Al ser un agente *clasificador*, [el demonio de Maxwell] es la personificación del antiazar»<sup>75</sup>. De igual modo, Norbert Wiener no ve razón alguna para suponer que los demonios de Maxwell no existan de hecho escondidos, por así decirlo, tras ciertas estructuras complejas. Como lo sugieren las propiedades metaestables de las enzimas, éstas pueden actuar, no a través de separar las moléculas rápidas y lentas, «sino por medio de otros procesos equivalentes»<sup>76</sup>. Como consecuencia de todo ello, no es por tanto sorprendente que la termodinámica y la biología se hayan ido acercando cada vez más y que la entropía ocupe ahora un lugar destacado en la explicación de los procesos biológicos<sup>77</sup>.

Por desgracia, muchos estudiosos de los fenómenos vitales evitan actualmente utilizar el concepto de intencionalidad. Muy probablemente, esta tendencia refleja más que nada el temor a ser tachado de vitalista. Como resultado de ello, sólo unos pocos estudiosos se ocupan del hecho —una maravilla físico-química en sí misma— de que las estructuras vitales son por regla general capaces de alcanzar su intencionalidad individual por encima de obstáculos imprevistos de cualquier tipo o, como lo expresó atractivamente Bergson, de asegurar «la constancia del efecto, incluso aunque haya alguna vacilación en las causas»<sup>78</sup>. Debería apresurarme a decir que, al subrayar el legítimo lugar de la intencionalidad en los fenómenos vitales, no intento justificar la postura ultravitalista de que las estructuras vivas pueden vencer las leyes de la *materia elemental*. Tales leyes son inexorables. Sin embargo, esa misma argumentación deja al descubierto el problema real de la controversia vitalista; en efecto, dado que hasta una simple célula es una estructura altamente compleja, ¿cómo puede semejante estructura evitar ser arrastrada instantáneamente al desastre por la inexorable Ley de la Entropía? La respuesta de la ciencia moderna tiene un sabor decididamente económico: un organismo vivo es una *empresa permanente* que mantiene su estructura altamente ordenada absorbiendo baja entropía del entorno de modo que se compense la degradación entrópica a la que se encuentra continuamente sometido. Por muy sorprendente que pueda parecer al sentido común, la vida no se alimenta de mera materia y de mera

<sup>74</sup> Por ejemplo, Bohr, *Atomic Physics and Human Knowledge*, pp. 10, 92 y 100.

<sup>75</sup> Eddington, *Nature of Physical World*, pp. 60 y 69.

<sup>76</sup> Wiener, *Cybernetics*, p. 58.

<sup>77</sup> Esa íntima relación se explica de forma admirable y con una enorme intuición en una gran obra ya citada: Erwin Schrödinger, *What Is Life?* (Cambridge, Engl., 1944).

<sup>78</sup> Henri Bergson, *Creative Evolution* (Nueva York, 1913), pp. 225 y s. Las cursivas son mías.

energía sino —como lo expuso acertadamente Schrödinger— de baja entropía<sup>79</sup>.

Ahora bien, la clasificación no es un proceso natural, es decir, ninguna ley de la materia elemental afirma que existe en la Naturaleza una clasificación que se desarrolla por sí misma; por el contrario, sabemos que el barajar es la ley universal de la materia elemental. Por otra parte, ninguna ley prohíbe la clasificación a un nivel más elevado de organización, de donde se deriva la aparente contradicción entre las leyes físicas y la facultad distintiva de las estructuras vitales<sup>80</sup>.

Ya se trate del estudio de la bioquímica interna de un organismo vivo o de su comportamiento exterior, observamos que clasifica continuamente. A través de esta peculiar actividad es como la materia viva mantiene su propio nivel de entropía, a pesar de que el organismo *individual* sucumbe en último término a la Ley de la Entropía. En estas circunstancias, no es, por tanto, erróneo decir que la vida está caracterizada por la lucha contra la degradación entrópica de la simple materia<sup>81</sup>. Sin embargo, sería un grave error interpretar esta afirmación en el sentido de que la vida puede evitar la degradación del sistema en su conjunto, incluyendo el entorno. La entropía del sistema en su totalidad debe aumentar, con vida o sin ella.

A pesar de que la cuestión en todos sus detalles es bastante complicada, su esencia es relativamente simple si se tienen presentes unos pocos puntos. El primero es que la Ley de la Entropía se aplica solamente a un sistema aislado en su conjunto. El segundo es que un sistema aislado en equilibrio entrópico (en un estado caótico) es homogéneo *en sí mismo* y no tiene tampoco energía libre *en relación con sí mismo*. Consideremos un sistema aislado  $U$  que no está en equilibrio entrópico y sea  $U_1$  un subsistema del mismo. Nos vamos a referir al complemento de  $U_1$ , indicado por  $U_2$ , como el entorno de  $U_1$ . Sean  $S_1^n$  y  $S_2^n$  las entropías de  $U_1$  y  $U_2$  en un momento determinado  $T_n$ . Lo único que dice la Ley de la Entropía es que, si  $T_1$  es posterior a  $T_0$ , la entropía de  $U$  es mayor en  $T_1$  que en  $T_0$ :  $S_1^1 + S_2^1 > S_1^0 + S_2^0$ . En consecuencia, no se viola la ley si  $S_1^1 \leq S_1^0$ , siempre que esa reducción en la entropía de  $U_1$  sea más que compensada por un aumento en la entropía del entorno  $U_2$ , es decir, siempre que  $S_2^1 - S_2^0 > S_1^0 - S_1^1 \geq 0$ . Es cierto que la entropía del entorno no puede aumentar a menos que el entorno contenga parte de la energía libre de  $U$  en  $T_0$ , pero esta condición

<sup>79</sup> Schrödinger, *What Is Life?*, cap. vi. El germen de esta idea se remonta a Ludwig Boltzmann quien fue el primero en señalar que la energía libre es el objeto de la lucha por la vida. Véase su ensayo de 1886 «Der zweite Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie», en *Populäre Schriften*, pp. 25-50.

<sup>80</sup> Joseph Needham, «Contributions of Chemical Physiology to the Problem of Reversibility in Evolution», *Biological Reviews*, XIII (1938), pp. 248 y s.

<sup>81</sup> Bergson, *Creative Evolution*, pp. 245 y s., es famoso por haber presentado este punto de vista de modo más articulado y de forma más insistente que cualquier otro filósofo. Las muy diversas acusaciones de misticismo que se le dirigieron no son ya pertinentes, caso de haberlo sido alguna vez.

pertenece a la distribución inicial de energía libre y, en consecuencia, no está sujeta a limitación alguna. Así pues, el subsistema  $U_1$  puede mantener y hasta reducir su entropía succionando, por así decirlo, energía libre (alternativamente, baja entropía) de su entorno<sup>82</sup>. Esto es precisamente lo que hace un organismo vivo. Evidentemente, si  $U$  es un equilibrio entrópico en  $T_0$ , no podemos distinguir ya cualitativamente uno de sus subsistemas. En el caso de un estado caótico, podemos hablar únicamente de sus partes no cualitativas. El resultado de todo ello es que el propio concepto de organismo vivo es inaplicable con respecto a un universo caótico. En un sistema aislado, la vida debe desaparecer antes de que el sistema alcance un estado caótico, es decir, antes de que la entropía alcance su máximo. El que un demonio maxwelliano, introducido en un mundo semejante, pudiese realizar su tarea sigue siendo una cuestión discutible, pero en todo caso no hay duda alguna de que en un mundo cuya entropía continúa aumentando un demonio clasificador puede reducir la entropía de un subsistema. El hecho de que un demonio exorcizado, esto es, un organismo vivo, pueda sobrevivir solamente en un mundo cuya entropía aumenta ha sido ya subrayado por más de un autor<sup>83</sup>. Tengo que añadir, no obstante, que la vida, al menos en la forma en que existe en este planeta, únicamente es compatible con una entropía moderada<sup>84</sup>. En un entorno de muy baja entropía, un organismo vivo no sería capaz de resistir la avalancha de la energía libre que le afectaría por todas partes. Por otro lado, en un entorno de muy alta entropía no habría suficiente energía libre circulando como para que la clasificación tuviese éxito a corto plazo.

Me permito observar que, sin embargo, el caso no está completamente cerrado con las observaciones anteriores. Nos enfrentamos ahora a una cuestión posiblemente más difícil: ¿es mayor el aumento de la energía si se encuentra presente la vida que si no lo está?<sup>85</sup>. *Porque, si la presencia de la vida tiene importancia, la vida debe tener algún efecto sobre las leyes físicas.* Nuestro conocimiento normal del cambio en el entorno material provoca-

<sup>82</sup> En la bibliografía reciente, se ha hecho habitual referirse a  $-S$  (la entropía con signo negativo) como «negentropía» y decir que un organismo se alimenta de negentropía (Véase el Apéndice B en este volumen). Creo, no obstante, que la expresión «baja entropía» transmite más directamente el carácter cualitativo de lo que se trata.

<sup>83</sup> Por ejemplo, L. Boltzmann, «On Certain Questions of the Theory of Gases», *Nature*, LI (1895), p. 415; Paul y Tatiana Ehrenfest, *The Conceptual Foundations of the Statistical Approach in Mechanics* (Ithaca, N.Y., 1959), p. xi.

<sup>84</sup> Naturalmente, los maestros de la termodinámica estadística sostienen, junto a Boltzmann (citado en la nota 69, Capítulo VI, anterior), que, puesto que la entropía no está aumentando en todas las partes del universo, nos encontramos en un estado excepcional. Por ejemplo, Philipp Frank, «Foundations of Physics», *International Encyclopedia of Unified Science* (Chicago, 1955), II, p. 452.

<sup>85</sup> Bergson, en *Creative Evolution*, pp. 245 y s., sostiene que la vida retrasa el aumento, pero no ofrece prueba alguna en apoyo de esa opinión. La tesis del retraso se ha propuesto también posteriormente por algunos científicos de la Naturaleza. Véase A. J. Lotka, «Contribution to the Energetics of Evolution», *Proceedings of the National Academy of Sciences*, VIII (1922), pp. 147-151.

do por la biosfera parece confirmar la idea de que la vida acelera la degradación entrópica del sistema en su conjunto y, de hecho, un simple experimento de laboratorio ratifica que la evolución entrópica de un sistema aislado se altera si en un momento determinado se introduce la vida en él. Todas las estructuras vivientes funcionan con una intencionalidad: mantener intacta su entropía; satisfacen esa intencionalidad consumiendo la baja entropía del entorno y este mero hecho bastaría por sí solo para justificar la creencia de que la vida es capaz de ciertas manifestaciones físicas que no pueden derivarse de unas leyes de la materia puramente físico-químicas. Hay que recordar que la Ley de la Entropía de la termodinámica clásica deja cierta libertad a la realidad y, como resaltó hace tiempo W. Ostwald, premio Nóbel de química<sup>86</sup>, se debe a esta libertad el hecho de que un organismo vivo pueda realizar su intencionalidad vital y, tengo que añadir, que sea posible la actividad económica humana. Debería ser ya evidente otra de las razones por las que en el capítulo anterior me he concentrado en los principales defectos hábilmente ocultos en la reducción de la termodinámica a la ley de la mecánica: la termodinámica estadística niega por completo la posibilidad de cualquier actividad intencional, ya que afirma que todo está completamente determinado por las leyes de la mecánica. De acuerdo con ello, no tendría sentido alguno hablar de actividad intencional y relacionarla con determinado principio «vitalista» no deducible a partir de esas leyes. Ahora bien, sostengo que sin tal principio no hacemos más que dar la espalda a un tesoro de hechos extraordinariamente importantes. En realidad, si lo analizamos más de cerca, muchas observaciones aisladas realizadas por los físicos acerca del proceso de la vida tienden a poner de manifiesto que, aunque inconscientemente, comparten también esa creencia «vitalista».

Ese hecho tiene una explicación natural. La mente científica no puede soportar el vacío dejado después de que el concepto clásico de causa compartiese el destino de la epistemología mecanicista. La mente científica necesita algo que estimule su imaginación continuamente o, como lo expresó Planck, que apunte en el sentido de la búsqueda más fructífera. El campo de los fenómenos vitales constituye un caso muy especial en este contexto, porque, como ya hemos visto en esta sección, la vida se manifiesta a través de un proceso entrópico que, sin violar alguna ley natural, no puede derivarse por completo de esas leyes, ¡incluidas las de la termodinámica! Entre el campo físico-químico y el de la vida existe, por tanto, un abismo más profundo incluso que el que hay entre la mecánica y la termodinámica. Ninguna forma de causa que pudiera adecuarse a otros fenómenos podría

<sup>86</sup> W. Ostwald, *Vorlesungen über Naturphilosophie* (Leipzig, 1902), p. 328. Citado en A. J. Lotka, «Natural Selection as a Physical Principle», *Proceedings of the National Academy of Sciences*, VIII (1922), p. 151.

hacerlo en las ciencias de la vida. La causa final —es decir, la intencionalidad— no solamente se encuentra en su lugar adecuado en estas ciencias sino que constituye también un instrumento de análisis indispensable y extraordinariamente útil. Un biólogo o un científico social debe ser un «vitalista» y, por consiguiente, tener por costumbre la búsqueda de una intencionalidad. Está bien que un economista se declare satisfecho con la explicación de que una cosecha catastrófica se ha debido a ciertas causas eficientes provocadas por acontecimientos aleatorios; sin embargo, la ciencia a la que sirve se interesa habitualmente por problemas que implican acciones humanas y, si un economista desea analizar las acciones de los que han cultivado la tierra y plantado las semillas, no llegará a un conocimiento penetrante si se niega a estudiar las intencionalidades que los movieron. Porque la verdad que no puede eliminarse por la actual abrumadora victoria conductista es que todos nosotros —incluidos los fanáticos del conductismo— obramos con una intencionalidad.

Se cierra así ahora un círculo completo recordando que todas nuestras intencionalidades importantes —concretamente, seguir vivos y ocupar un lugar bajo el sol social— conducen a transformaciones entrópicas de nuestro universo más próximo, lo que significa que la realización de nuestras intencionalidades nos lanza a un viaje sin retorno.

## CAPÍTULO VIII

### EVOLUCIÓN FRENTE A LOCOMOCIÓN

1. *Procesos irreversibles e irrevocables.* La idea de que puede invertirse el sentido del proceso vital resulta tan completamente absurda a cualquier mente humana que no aparece ni siquiera como mito en la religión o en el folclore. La evidencia milenaria de que la vida va siempre en un único sentido puede bastar como prueba de la irreversibilidad de la vida para la mente común, pero no para la ciencia. Si la ciencia tuviese que desechar una proposición que se deriva lógicamente de su fundamento teórico únicamente por no haberse observado nunca su realización en la práctica, no existiría la mayor parte de la tecnología moderna. La imposibilidad no es, evidentemente, el santo y seña de la ciencia. En consecuencia, si uno de sus pilares es el dogma de que todos los fenómenos están regidos por leyes mecánicas, la ciencia ha de admitir que es posible la reversibilidad de la vida. Que tal reconocimiento ha de causar gran malestar intelectual se pone de manifiesto por el hecho de que, aparentemente, ningún estudioso de la escuela clásica lo realizó abiertamente. Al ofrecer pruebas (válidas de acuerdo con el código de procedimiento de la Corte científica) de que incluso en el campo físico existen procesos irreversibles, la termodinámica clásica reconcilió la postura de la ciencia con el sentido común generalmente compartido. Sin embargo, una vez que la mecánica estadística empezó a enseñar, incluso con mayor aplomo que la mecánica clásica, que todos los fenómenos son virtualmente reversibles, la reversibilidad universal se convirtió en objeto de una destacada controversia. Desde la física, esa controversia se extendió a la biología, donde el problema es mucho más crucial.

A partir de la discusión de la termodinámica estadística (Capítulo VI), podíamos esperar que la controversia fuese sumamente complicada. Por desgracia, se ha visto enredada además por el hecho de que el término «reversibilidad» se ha utilizado con diferentes significados por diferentes autores y, por tanto, se ha empleado con frecuencia con un significado distinto al de la mecánica. En ésta, se dice que un proceso es *reversible* si, y sólo si, puede seguir el mismo camino fase a fase en orden inverso. Es evidente, no obstante, que no es este el sentido en el que la expresión se utiliza, por

ejemplo, en la argumentación de Joseph Needham de que los fenómenos biológicos son reversibles porque las micelas proteínicas «están continuamente deshaciéndose y haciéndose de nuevo»<sup>1</sup>. Ciertamente, el proceso de ese ejemplo es irreversible de acuerdo con la terminología de la mecánica.

Una fuente de esta confusión es que sólo dos expresiones, reversible e irreversible, se utilizan habitualmente para tratar una situación que en realidad es tricotómica, pues los aspectos importantes de un proceso requieren la división en dos categorías de los fenómenos no reversibles —para emplear la forma rigurosa de la negación lógica.

La primera categoría de «no-reversibilidad» se compone de todos los procesos que, aunque no reversibles, pueden volver a cualquier fase previamente alcanzada. Inmediatamente se nos viene a la mente el flujo de vehículos en una glorieta, pero el proceso de un árbol en crecimiento y perdiendo sus hojas cada año parece un ejemplo más instructivo. Procesos como los descritos son no reversibles, pero no irrevocables; podríamos referirnos a ellos simplemente como *irreversibles*. Sin duda alguna, al decir «la historia se repite a sí misma», se concibe la historia como proceso irreversible en este sentido estricto.

La segunda categoría de «no reversibilidad» consiste en procesos que no pueden pasar por un estado determinado más que una sola vez. Evidentemente, semejante proceso es no reversible, pero *irrevocable* describe mejor su propiedad distintiva. La degradación entrópica del universo tal como la concibió la termodinámica clásica es un proceso irrevocable: una vez transformada en energía latente, la energía libre no puede recuperarse jamás.

Otra fuente de confusión en lo que se refiere a la reversibilidad se encuentra en el propio concepto de proceso. Por muy raro que parezca, el proceso del universo en su totalidad es un concepto mucho más transparente que el de un simple microorganismo. La mera idea de un proceso parcial implica necesariamente ciertos cortes en el Todo, lo que, como ya hemos visto, plantea problemas inextricables. Ahora bien, en último término no deberíamos perder de vista dónde pretendemos que se hagan las costuras. Tiene una tremenda importancia que el proceso del ejemplo de Needham incluya la vida de una sola micela proteínica o un número ilimitado de ellas. Y ello porque, en el primer caso, hay buenas razones para considerar el proceso irrevocable; sin embargo, el segundo proceso es inquestionablemente irreversible<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Joseph Needham, «Contributions of Chemical Physiology to the Problem of Reversibility in Evolution», *Biological Review*, XIII (1938), p. 225.

<sup>2</sup> La argumentación de la que es representativo el artículo de Needham se refiere claramente al último proceso. Su defecto es evidente: a partir del hecho de que ese proceso no es irrevocable, concluye que es reversible.

2. *Evolución, irrevocabilidad y vector temporal*. Como consecuencia de que la ciencia empezó a hablar de evolución primeramente en relación con los fenómenos biológicos, entendemos en general por evolución «la historia de un sistema que experimenta cambios irreversibles»<sup>3</sup> (en realidad, la palabra adecuada debería ser «irrevocables»). La existencia de leyes evolutivas en la Naturaleza depende así de que haya fenómenos irrevocables: la existencia de simples fenómenos irreversibles —en sentido estricto— no es suficiente. Con todo, es todavía mayor la negación de las leyes evolutivas por parte de la reversibilidad universal proclamada por la mecánica estadística. Por todo ello, más de un científico se vio impulsado a afirmar que la evolución es apariencia: un fenómeno puede parecer evolutivo o no, dependiendo del ángulo desde el que lo contemplemos o de la amplitud de nuestros conocimientos.

Un ejemplo arquetípico de esta postura relativista es la argumentación de Karl Pearson de que a un observador que viajase fuera de la Tierra a una velocidad mayor que la de la luz los acontecimientos de nuestro planeta se le aparecerían en orden inverso al que habrían tenido lugar realmente *aquí*<sup>4</sup>. El hecho de que, desde que Pearson escribió lo anterior, hayamos aprendido que no puede superarse la velocidad de la luz no destruye lo esencial de esa argumentación. Lo fundamental es que la evolución es apariencia porque ninguna película puede proyectarse de dos formas, «hacia adelante» y «hacia atrás». Si eso es todo lo que pensaba, Pearson no intentaba privar al Tiempo de ningún orden, cualquiera que fuese éste, sino que únicamente ponía en tela de juicio la existencia de un vector temporal objetivo. Para ver claramente la diferencia, hay que tener en cuenta que la argumentación de Pearson no niega sino que implica que los acontecimientos tienen la misma estructura que los puntos situados sobre una línea recta indefinida, por lo que, en consecuencia, se encuentran sujetos exclusivamente a la relación triádica de lo intermediario: dados tres acontecimientos, uno está necesariamente entre los otros dos. En este caso, si se corta una película cinematográfica de la Naturaleza en sus diferentes fotogramas y se mezclan éstos, un espíritu imaginario que conociese todas las leyes *objetivas* de la Naturaleza, pero que estuviese libre de la ilusión unidireccional del Tiempo, sería capaz de reconstruir exactamente toda la película. La postura de Pearson equivale a afirmar que ese espíritu insistirá en que no hay absolutamente nada en la Naturaleza que pueda determinar en qué sentido ha de proyectarse; por consiguiente, si pensamos que a pesar de todo un sentido es la verdadera repre-

<sup>3</sup> Alfred J. Lotka, *Elements of Physical Biology* (Baltimore, 1925), p. 24.

<sup>4</sup> Karl Pearson, *The Grammar of Science* (edición de Everyman's Library, Londres, 1937), pp. 343 y s.



sentación de la Naturaleza, estamos superponiendo nuestra ilusión a la Naturaleza objetiva.

Para emplear una imagen plástica, podemos decir que Pearson contempló la realidad como un sendero infinito de acontecimientos fuera de nuestro Tiempo antropomórfico, lo que significa que nuestra percepción del Tiempo se deriva del hecho de que, por alguna razón desconocida, todos nosotros paseamos por el camino en el *mismo* sentido. Para esta postura, el problema de la evolución continúa existiendo, pero en un sentido diferente. Una ley evolucionista de acuerdo con esta interpretación tendrá que situar un acontecimiento entre otros dos acontecimientos. Debería proporcionarnos un criterio para situar el surgimiento de los mamíferos, por ejemplo, entre la llegada del hombre y la aparición del primer pez. Únicamente dejará de tener significado la noción de un acontecimiento como efecto de una causa en *el pasado*. En lugar de ello, podríamos perfectamente decir que todo acontecimiento es el resultado de dos acontecimientos-causas, pues precisaríamos así dos acontecimientos para localizar su posición en el Tiempo espacializado. La Naturaleza estaría situada fuera del Tiempo y las palabras reversible o irreversible perderían todo su significado objetivo en conexión con él. Hasta la propia dualidad del Tiempo dejaría de tener sentido.

Una perspectiva diferente de la dualidad del Tiempo es que la flecha del tiempo existe siempre en la Naturaleza, sólo que su punta se invierte periódicamente. La Naturaleza iría en ciclos de A a Z y de nuevo de Z a A. Ambas formas de proyectar la película representarían el modo de ser objetivo de las cosas. Esta visión del Tiempo forma parte de la postura mecanicista y, como ya hemos visto, fue defendida por Boltzmann en relación con su interpretación de los fenómenos termodinámicos<sup>5</sup>. Sin embargo, como lo subrayó Eddington cáusticamente, los que se aferran a esa idea «completamente retrógrada» del Tiempo cíclico deberían enseñar no sólo evolución sino también «anti-evolución»<sup>6</sup> o las leyes de un universo en el que la vida empezaría en la muerte y finalizaría en el nacimiento. Evidentemente, la completa negación del Tiempo tal como lo propone G. N. Lewis<sup>7</sup> (consecuencia inevitable de la introducción de la probabilidad en la termodinámica) tiene una coartada perfecta en este contexto. De acuerdo con ese punto de vista, ni tan sólo un demiurgo podría reconstruir la película a partir de fotogramas inconexos. La realidad no es ni siquiera un sendero de acontecimientos situados fuera del Tiempo antropomórfico. Los acontecimientos forman una dispersión no lineal en la que aparecen con frecuencias diversas. El Tiempo antropomórfico es como un paseo a través

<sup>5</sup> L. Boltzmann, *Lectures on Gas Theory* (Berkeley, 1964), p. 446.

<sup>6</sup> A. S. Eddington, *New Pathways in Science* (Ann Arbor, 1959), pp. 53-59.

<sup>7</sup> Capítulo VI, Sección 4, anterior.

de un bosque, durante el cual el caminante, naturalmente, encuentra más a menudo los árboles que son más frecuentes en el bosque, pero nada impide que se tope constantemente con algunos que tienen una frecuencia fantásticamente pequeña.

El único mérito auténtico de la termodinámica clásica es el de clarificar perfectamente el problema del Tiempo en relación con la Naturaleza. Una fundamentación del Tiempo en la Naturaleza exige lo siguiente: (1) dados dos estados del universo,  $S_1$  y  $S_2$ , tendría que haber un atributo general que indicase qué estado es posterior al otro, y (2) el orden temporal así establecido debe ser el mismo que el determinado por una conciencia humana, individual o colectiva, que se supone contemporánea tanto de  $S_1$  como de  $S_2$ . Así pues, es elemental que, puesto que la corriente de conciencia se mueve sólo «hacia adelante», el atributo correspondiente debe reflejar un proceso irrevocable. La postura alternativa de que no hay nada en la Naturaleza que sea análogo al avance de la conciencia en el Tiempo —que el modo de ser de la Naturaleza es una masa desorganizada de acontecimientos—, caso de mantenerse estrictamente, negaría la mayor parte de lo que denominamos ciencia. La ciencia puede ser un producto muy imperfecto del esfuerzo humano por aprehender la Naturaleza a través de su mente, pero la negación del Tiempo la convertiría en una fantasía sin valor operativo alguno en el laboratorio o en cualquier otra parte. Por el hecho de encontrarse con un esquimal de cincuenta años de edad en un país glacial aislado, un científico no debería concluir ya que ese país no había sufrido ningún cataclismo en los últimos cincuenta años.

En realidad, sin la flecha del tiempo hasta el concepto de reversibilidad mecánica pierde su significado, por lo que, consecuentemente, han de volverse las tornas. Corresponde a la parte que afirma que la evolución es un aspecto relativo demostrar cómo, si no existe un proceso irrevocable en la Naturaleza, puede extraerse algún sentido de las leyes temporales ordinarias. Volviendo a la analogía de la película, una de un fenómeno puramente mecánico —por ejemplo, el acto de botar y rebotar una pelota *perfectamente elástica*— puede proyectarse en ambos sentidos sin que nadie note la diferencia. Sin embargo, un biólogo será inmediatamente consciente del error si una película de una colonia de micelas proteínicas se proyecta a la inversa, y todo el mundo se dará cuenta del error si se proyecta a la inversa la película de una planta que germina desde la semilla, crece y al final muere. Ahora bien, no es ésta toda la diferencia. Si los fotogramas de cada película están separados y barajados, únicamente en el último caso podemos reordenarlos *exactamente* en el mismo orden original. Esa reorganización es posible sólo porque la vida de un organismo por sí solo es un proceso irrevocable. En lo que se refiere a los otros dos procesos mencionados, el primero es reversible y el segundo irreversible.

Hay que hacer ahora dos importantes observaciones. En primer lugar, si la película de las micelas es irreversible se debe a que el proceso filmado consiste en una serie de procesos irrevocables solapados, las vidas de las diferentes micelas. En segundo lugar, si la primera de las dos películas tiene entre sus antecedentes un proceso irrevocable —por ejemplo, el de una planta específica—, puede reordenarse también inmediatamente sus distintos fotogramas exactamente en el mismo orden original. La cuestión es que sólo en relación con un proceso irrevocable adquieren reversibilidad e irreversibilidad un significado definido.

3. *De la parte al todo.* Un extraño podría sorprenderse de ver que el debate relativo al problema de la termodinámica clásica frente a la termodinámica estadística se desarrolla en torno a la predicción que cada teoría hace acerca del destino del universo. El ya iniciado sabe que la razón estriba en que no existe diferencia alguna entre las fórmulas finales de las dos teorías. Los físicos trabajan igualmente bien con ambas, de acuerdo con sus distintas preferencias individuales: la bibliografía abarca a las dos. Sin embargo, dado que una prueba de fuego de toda predicción relativa al destino del universo está bien lejos de nuestro alcance, las opiniones acerca de cuál de las dos teorías es más verosímil se han visto influenciadas principalmente por el atractivo intelectual subjetivo de cada predicción. Ahora bien, ni la imagen de un universo que corre irrevocablemente hacia un Calor Muerto ni la de un universo carente de orden temporal parece particularmente atractiva. Sin duda alguna, es tan difícil admitir que los Dioses no podrían crear más que una Existencia finita como el hecho de que, como Einstein dijo en una ocasión, no hacen más que jugar a los dados continuamente<sup>8</sup>.

La extrapolación de leyes es el auténtico alma de la cosmología. Sin embargo, la extrapolación de la Ley de la Entropía —clásica o estadística— a escala cósmica es especialmente vulnerable, ya que muy probablemente el error así cometido es de carácter cuantitativo. Bridgman, partidario del enfoque clásico, expuso algunas razones para poner en tela de juicio la aplicación cósmica de la Ley de la Entropía. Además, admitió —lo mismo que lo hizo Boltzmann, el fundador de la mecánica estadística— que en algunos sectores del universo y durante algunos períodos de tiempo la entropía puede reducirse perfectamente<sup>9</sup>. Posiblemente sea aún más interesante una idea de Margenau; planteó la cuestión de si incluso la Ley de Conservación se aplica al universo en su conjunto: «Si se produce la creación de

<sup>8</sup> Véase la nota 14 del capítulo anterior.

<sup>9</sup> P. W. Bridgman, *The Nature of Thermodynamics* (Cambridge, Mass., 1941), pp. 148 y ss.; Bridgman, *Reflections of a Physicist* (2.ª edición, Nueva York, 1955), pp. 263 y ss. En lo que se refiere a Boltzmann, véase la nota 69 en el Capítulo VI anterior.

energía-materia... todas nuestras especulaciones [acerca del destino del universo] están fuera de lugar»<sup>10</sup>.

Todas estas ideas parecen ahora proféticas, porque coinciden con la hipótesis recientemente considerada —mencionada en el Capítulo III, Sección 1— de que la materia se crea y se destruye continuamente. A partir de esta hipótesis, surge un universo que ni se descompone irrevocablemente ni está desprovisto de orden temporal. Se trata de un universo compuesto de una congregación de *mundos individuales*, todos ellos con vida astronómicamente larga, pero finita, que nacen y mueren a una tasa media constante. El universo es así un estado eternamente constante que, al igual que cualquier población estacionaria, no evoluciona<sup>11</sup>. No sólo su energía total sino también su entropía total ha de permanecer constante, o casi constante. Ahora bien, no hay que confundir esta nueva concepción cosmológica con la imagen especulativa que Boltzmann tenía de un universo en eterno equilibrio térmico, es decir, con una entropía constante<sup>12</sup>, pues, de acuerdo con Boltzmann, la constancia de la entropía del universo se deriva del hecho de que el aumento en la entropía en algunas partes del mismo, como en la que hemos de vivir, se encuentra exactamente compensado por la reducción de la entropía en las demás partes; en estas últimas, el calor fluye de los cuerpos más fríos a los más calientes. Sin embargo, la cuadrilla avanza y en nuestra parte del universo la entropía podría empezar a reducirse en cualquier momento. En realidad, debe hacerlo así en algún momento futuro<sup>13</sup>. En virtud de la opinión basada en la hipótesis de la creación y destrucción de la materia, se crea continuamente ipso facto baja entropía y se destruye alta entropía<sup>14</sup>. A través de este proceso es como se

<sup>10</sup> H. Margenau, *The Nature of Physical Reality* (Nueva York, 1950), p. 283.

<sup>11</sup> Esta hipótesis cosmológica fue primeramente sugerida por H. Bondi y T. Gold, en Inglaterra, y por A. Vorontzov-Velyaminov, en la URSS, y posteriormente defendida por Fred Hoyle. Véase F. Hoyle, *The Nature of the Universe* (Nueva York, 1950) y *Astronomy* (Nueva York, 1962); H. Bondi, *The Universe at Large* (Garden City, N.Y., 1960). Una discusión altamente fascinante de esta hipótesis (completada con la aniquilación de la materia) se encuentra en Reginald O. Kapp, *Towards a Unified Cosmology* (Nueva York, 1960). En lo que respecta a una defensa de la hipótesis más antigua, propuesta por Abbot G. E. Lemaître, véase G. Gamow, *The Creation of the Universe* (Nueva York, 1952), en especial pp. 25-28. De acuerdo con Lemaître, el universo actual fue creado hace unos quince mil millones de años por una «Gran Explosión» («Big Bang») a partir de un núcleo muy pequeño en el que se concentraba toda la energía-materia con una densidad más allá de toda imaginación.

<sup>12</sup> L. Boltzmann, «On Certain Questions of the Theory of Gases», *Nature*, LI (1895), p. 415.

<sup>13</sup> En este contexto, es instructivo mencionar una opinión más concreta defendida por el químico sueco, Svante Arrhenius: el universo es un estado estacionario porque «la entropía aumenta en los astros, pero se reduce en las nebulosas». Véase H. Poincaré, *Leçons sur les hypothèses cosmogoniques* (París, 1911), p. 252, donde se valoran esta y otras antiguas especulaciones cosmológicas.

<sup>14</sup> Para despachar una idea probablemente desconcertante, quiero apresurarme a añadir que, de acuerdo con los cálculos de W. H. McCrea, en «The Steady-State Theory of the Expanding Universe», *Endeavour*, IX (1950), p. 8, el estado estacionario exige que se cree simplemente un átomo de hidró-

mantiene constante la entropía del universo. Ahora bien, la entropía *existente* no se reduce nunca en ninguna parte del universo. Así, por ejemplo, nuestro sistema solar tiende indudablemente hacia el Calor Muerto y, en último término, hacia la destrucción. Puede ser que otro sistema solar ocupe su puesto, pero no en virtud de un movimiento pendular de la entropía.

En este contexto, en caso de proceder de algún sitio un vector temporal debe venir de algún componente individual, con lo que volvemos a uno de los más viejos principios. Lo que es eterno no puede evolucionar (cambiar); la evolución constituye un rasgo específico de lo que nace y muere. En otras palabras, la evolución es el proceso que liga el nacimiento y la muerte: es la vida en el más amplio sentido de la expresión; da fe del hecho de que hasta el universo en su conjunto debe tener una vida efímera entre Creación y Calor Muerto si ha de ser una entidad evolutiva tal como lo describe la Ley de la Entropía clásica.

El principio obvio de que la muerte es temporalmente posterior al nacimiento en el *mismo* individuo —sea éste una galaxia, una especie biológica o una célula microscópica— no basta, sin embargo, para establecer una cronología completa, incluso aunque pasemos por alto algunas cuestiones problemáticas como la de que nacimiento y muerte puedan reconocerse funcionalmente como acontecimientos puntuales. Para llevar a cabo una cronología completa, precisamos un vector temporal continuo por lo menos de una categoría de individuos cuyas vidas se solapan sin interrupción alguna<sup>15</sup>. En caso de poder encontrar un vector temporal semejante, el panorama cósmico es tan simple como nuestra película de las micelas proteínicas: el proceso del universo en su totalidad es unidireccional, es decir, irreversible, ya que el de sus diferentes miembros es irrevocable.

4. *Evolución: un laberinto dialéctico*. Por muy paradójico que pueda parecer, la evolución del microorganismo más sencillo plantea problemas más formidables que el universo en su conjunto. El Todo no necesita límites que lo separen de su Otro, pues no hay otro Todo, y, dado que no hay Otro, no necesitamos preguntar qué identidad está hecha para el Todo. Como ya hemos visto antes, el hecho de cortar el Todo crea dificultades interminables.

Para empezar, a través de cualquier límite que podamos trazar en el espacio, el tiempo o la sociedad, existe cierto movimiento de trasvase entre los dos campos así separados. Por lo tanto, tenemos tres procesos parciales

geno por galón de espacio una vez cada 500.000.000 años! Evidentemente, un fenómeno semejante no puede ser captado por ningún instrumento imaginable, y mucho menos a simple vista.

<sup>15</sup> Habría que relacionar esta condición con la forma en que se configura la conciencia histórica, como ya se explicó antes en el Capítulo V, Sección 5.

en lugar de dos, contrariedad a la que se ha dedicado poca atención. La práctica más generalizada consiste en ignorar por completo los procesos que inicialmente se pretendía separar y en reducir el cuadro en su conjunto al movimiento a través de los límites. Este complejo de flujos, como lo he denominado (Capítulo IV, Sección 4), pone evidentemente las frutas frescas junto a las podridas<sup>16</sup>.

Las observaciones anteriores se ven confirmadas por el hecho de que el sistema *aislado* se ha convertido en último término en la única referencia de todas las proposiciones de la física teórica. Evidentemente, esta forma de sortear las dificultades de un proceso parcial fue posible gracias exclusivamente a que el universo físico puede reproducirse en miniatura y con cierta aproximación satisfactoria dentro del laboratorio. Otras disciplinas no son tan afortunadas. En efecto, los biólogos han experimentado también con procesos aislados que contienen determinados organismos junto a una parte del entorno, pero la gran diferencia reside en que semejante proceso aislado se encuentra lejos de ser una simulación en miniatura del proceso real.

La experimentación con sistemas aislados en la biología ha ratificado —caso de que fuese necesaria tal ratificación— que la evolución de la biosfera implica necesariamente la evolución del entorno. Hablar de evolución biológica o social en un entorno no evolutivo es un contrasentido; *ceteris paribus* —ingrediente indispensable de toda ley física— es veneno para cualquier ciencia relacionada con fenómenos evolutivos. Los cambios evolutivos no pueden contemplarse si no es en un sistema aislado o, al menos, casi aislado. Es posible que en algunos campos pueda carecer de rigor científico experimentar con totalidades pues, como afirma Popper, no podemos así imputar efectos a causas individuales<sup>17</sup>. Sin embargo, esto no es aplicable a la evolución que es inseparable del Todo. Hay que tener presente el hecho de que el único caso en el que seríamos capaces de formular una ley evolutiva es el del universo en su conjunto.

Todos los esfuerzos por descubrir un vector temporal en la vida (evolución) de un organismo simple o de una especie considerados aisladamente han demostrado ser vanos. Más allá de los intrincados aspectos cualitativos de tales vidas, la biología únicamente ha encontrado un principio dualista: crecimiento y decadencia, o anabolismo y catabolismo. Claro está que tanto el anabolismo como el catabolismo se componen de procesos físico-químicos, pero el dualismo procede de que ambas fases no están regidas por la

<sup>16</sup> Véase más sobre todo esto en el Capítulo IX posterior.

<sup>17</sup> Karl R. Popper, *The Poverty of Historicism* (Boston, 1957), p. 89. La idea es que uno no puede descubrir quién bebe nuestro whisky —si nuestro mayordomo o nuestro gato— si nuestro experimento incluye a ambos.

misma categoría de leyes<sup>18</sup> y, aunque sabemos que durante el crecimiento el anabolismo supera al catabolismo y que lo contrario sucede durante la decadencia, no existe una explicación puramente físico-química de la inversión<sup>19</sup>. Como lo ha subrayado Medawar recientemente, hasta la muerte es un misterio físico-químico<sup>20</sup>. Por todo ello, la intuición humana en toda época y lugar parece tener razón al sentir que la muerte es más misteriosa que la vida; es probable que esto sea así debido a que el hombre es consciente de la muerte, pero ninguna conciencia —autoridad última del conocimiento— puede atestiguar qué es la muerte.

De acuerdo con la explicación que se bosquejó en la última sección del capítulo anterior (y que actualmente parece estar generalmente aceptada) un organismo *puede* mantenerse a sí mismo en un estado estacionario clasificando y absorbiendo baja entropía del entorno sin violar ninguna ley físico-química. En esa situación, ¿por qué tendría que envejecer entonces un organismo y finalmente morir? Podemos entender por qué puede fenecer una especie: el entorno puede ya no serle favorable. Ahora bien, esta explicación no es aplicable a un único organismo que vive en un entorno que puede seguir proporcionando una abundante cantidad de baja entropía del tipo adecuado. Explicar el fenómeno de la muerte declarando simplemente, como lo hizo Auerbach<sup>21</sup>, que la *entropía* debe salir siempre victoriosa en su lucha con la *ektropía* implica transformar por completo verbalmente una pregunta en una explicación. Además, incluso aunque se crea, el principio se encuentra refutado por el caso de los protozoos que parecen ser capaces de frustrar la victoria de la entropía; en efecto, un protozoo se perpetúa a sí mismo eternamente (esto es, siempre que no se le separe de su entorno adecuado) a través de una mera división asexual en dos. De igual modo, un gen se perpetúa a sí mismo de forma no adulterada en tanto no se vea afectado por un factor mutante. Y, por último, habría que no intentar eludir en absoluto el problema de la muerte afirmando que una ameba, en su calidad de individuo, muere al dividirse y que de ese modo nacen dos nuevos individuos<sup>22</sup>.

<sup>18</sup> La quema de azúcar en una estructura biológica es, sin duda alguna, un proceso físico-químico; con todo, sólo puede tener lugar en una estructura semejante sin quemar la totalidad de la estructura al mismo tiempo. Además, algunos procesos bioquímicos van en el sentido «erróneo» de la reacción. Véase H. F. Blum, *Time's Arrow and Evolution* (Princeton, 1951), pp. 33 y *passim*; L. von Bertalanffy, *Problems of Life* (Nueva York, 1952), pp. 13 y s. Acerca de todo esto, véase también el Apéndice G de este volumen.

<sup>19</sup> Bertalanffy, *Problems of Life*, pp. 136 y s.

<sup>20</sup> P. B. Medawar, *The Uniqueness of the Individual* (Nueva York, 1958), caps. i-ii.

<sup>21</sup> Felix Auerbach, *Die Grundbegriffe der modernen Naturlehre* (3ª edición, Leipzig, 1910), p. 149.

<sup>22</sup> Como afirma G. G. Simpson en *The Meaning of Evolution* (New Haven, 1949), p. 192n. De igual modo, podríamos decir que, incluso en la reproducción sexual, la madre no es tras el parto el mismo individuo que antes.

Una vez que hemos reconocido que un organismo es un estado entrópico estacionario, no puede darse por sentado ni el envejecimiento ni la muerte. Por otra parte, la cuestión no implica la muerte accidental como consecuencia de un ataque físico, químico o biológico. Las gafas —la analogía empleada por Medawar— «mueren» por accidente físico. El problema que se plantea es si tanto las gafas como los organismos vivos son igualmente propensos a la muerte natural, una muerte que ocurriría inevitablemente incluso en ausencia de cualquier accidente. Junto a la mayor parte de los biólogos que ha tratado este problema, Medawar opina que todas las muertes son en el fondo accidentales. Potencialmente, todos los organismos son inmortales, pero añade un detalle altamente interesante que describe lo que verdaderamente es el envejecimiento: es más probable que el mismo accidente cause la muerte de un organismo envejecido que la de uno joven<sup>23</sup>. La explicación es que todo accidente que no ocasiona la muerte del organismo deja en él huellas que aumentan su vulnerabilidad en el próximo accidente. Se puede sobrevivir a un ataque al corazón, posiblemente a dos o tres, pero muy difícilmente a una veintena. Cada fruncimiento de ceño añade nuevas arrugas invisibles y profundiza las antiguas, a la vez que disminuye la eficiencia de las funciones de la piel. Envejecer consiste en aumentar y profundizar las «arrugas», al igual que el organismo se encuentra continuamente expuesto a accidentes. Podríamos decir así que el azar socava gradualmente el anti-azar hasta que por último predomina sobre éste en la muerte del organismo<sup>24</sup>. Envejecer no es otra cosa sino el efecto acumulativo de las causas que actúan en el Tiempo; en otras palabras, es un proceso de histéresis. Así, podemos unirnos a los filósofos dialécticos de la secta Jain diciendo que «el hombre empieza a morir en el momento de nacer». Sea lo que sea lo que hagamos, la explicación del envejecimiento presupone la existencia de un Tiempo objetivo en su esencia unidireccional; de otro modo, la muerte precedería o seguiría al nacimiento, indistintamente.

Como cabía esperar, la entropía entra en el cuadro, pero no como vector temporal: se reduce durante el crecimiento y aumenta durante la decadencia. En consecuencia, incluso aunque fuésemos capaces de determinar el nivel entrópico de un organismo, seguiríamos sin poder decir cuál de los dos estados es anterior. Tendríamos que conocer, por tanto, si la entropía

<sup>23</sup> No ha de confundirse esta proposición con la verdad evidente de que, *incluso sin envejecimiento*, la probabilidad en el momento del nacimiento de que un organismo alcance la edad  $x$  se reduce con  $x$ .

<sup>24</sup> Una y otra vez, una explicación engendra nuevas preguntas. Muy probablemente, quienes participan de la opinión de Medawar dirían que si la ley anterior no se aplica a la ameba es porque ésta se deshace de todas las cicatrices gracias a un renacimiento sexual antes de que aquellas se conviertan en excesivamente siniestras. Sin embargo, actualmente el problema consiste en encontrar una razón para la excepción, caso de existir alguna; reconocer el hecho desnudo no sería suficiente.

se encuentra aumentando o reduciéndose en cada situación, pero tal conocimiento presupone ya un vector temporal.

El número de fenómenos bioquímicos expresados a través de fórmulas numéricas crece continuamente, pero ninguna de esas fórmulas ofrece una base adecuada para un vector temporal biológico<sup>25</sup>. Sin duda alguna, esta es la razón por la que ninguna descripción de un organismo individual o colectivo puede ser completa y significativa siempre que esos resultados cuantitativos no se encuentren, primero, relacionados con la corriente de conciencia y, segundo, consolidados en un solo cuadro en virtud de una inmensa dosis cualitativa, y ello porque si la biología, y aún más una ciencia social, excomulgase los conceptos dialécticos, ello equivaldría a una parálisis voluntaria.

5. *La evolución no es una idea mística.* El análisis anterior pretendía únicamente localizar con exactitud las dificultades epistemológicas del concepto de evolución y su reflejo sobre el estudio del proceso evolutivo; no hay nada más lejos de mí que sugerir con todo ello que la evolución es un concepto místico. A fin de aclarar toda esta cuestión, me voy a permitir volver a la imagen del universo como población estacionaria de mundos individuales evolutivos, imagen que, creo, es intelectualmente mucho más satisfactoria que sus posibles alternativas.

Indudablemente, esta imagen no nos obliga ya a creer en la novedad absoluta, porque en un estado estacionario no puede suceder nada fundamentalmente nuevo: en esencia, la misma historia se repite una y otra vez por cada mundo efímero. En un universo como ese, existe en todo caso evolución, pero en un sentido diferente al que la expresión tiene para el biólogo. El principio de la biología es que únicamente puede evolucionar un agregado de individuos similares aunque no idénticos, es decir, una especie; un individuo no evoluciona nunca, sólo empieza a existir, vive y muere. En el sentido propuesto aquí, la evolución se refleja en la vida de *cualquier* parte individual del universo, ya sea una galaxia, una especie o una lombriz microscópica; es el proceso que vincula un nacimiento con la muerte en cada uno de los innumerables casos de generación y destrucción que suceden continuamente en la Naturaleza. Si una analogía pudiese ayudar a clarificar todo esto, el universo en marcha constante podría semejar a una glorieta amplia pero aislada que, aunque en su conjunto permanece idéntica a sí misma, alberga suficiente ajetreo y bullicio como para deslumbrar al intelecto humano. En el caso de un universo que no evoluciona, no hemos de suponer ya que las leyes de la Naturaleza cambian a lo largo del Tiempo, aplicándose unas sola-

<sup>25</sup> En lo que se refiere a un análisis muy instructivo —por necesidad, bastante técnico— de este problema, véase Blum, *Time's Arrow and Evolution*.

mente antes de que el Hylem<sup>26</sup> se convierta en materia y otras únicamente después. El conocimiento completo no constituye ya el privilegio exclusivo de una mente divina capaz de percibir en el Hylem protogaláctico el lejano surgimiento del hombre, mejor dicho, del superhombre. Un demonio que tuviese sólo una mente *ordinaria* desprovista de toda clarividencia, pero que perdurase durante millones de eones y pudiese moverse de una a otra galaxia, sería capaz de adquirir un conocimiento completo de todo proceso efímero, de la misma manera que un biólogo puede llegar a una descripción de la vida típica de una nueva variedad de bacterias tras haber observado gran número de ellas desde el nacimiento a la muerte. En ambos casos, se aplicaría el principio «lo que es válido por término medio para uno es válido para todos»; pero, si el número de las leyes de la Naturaleza es infinito (como sostengo), ni siquiera nuestro demonio imaginario podría llevar a cabo la supertarea de aprenderlas todas en un período de tiempo finito, aunque amplísimo. Tendríamos que recurrir a una mente divina.

Ahora bien, posiblemente las propiedades excepcionales de que hemos dotado a nuestro demonio violan otras (desconocidas) leyes de la Naturaleza, con lo que su existencia está limitada a nuestras operaciones teóricas sobre el papel. Como quiera que sea, ni siquiera las expectativas más optimistas justifican la esperanza de que la humanidad podría finalmente satisfacer las condiciones excepcionales con que hemos dotado a nuestro demonio. Con una vida que no equivale más que a un destello de una galaxia y limitada a una mota del espacio, la humanidad se encuentra en la misma situación que una crisálida destinada a no ver jamás una oruga arrastrándose o una mariposa volando. La diferencia, no obstante, es que la mente humana quiere saber qué hay más allá de la crisálida que es la humanidad, qué sucedió en el pasado y, en especial, qué sucederá en el futuro. La grandeza de la mente humana consiste en que desea saber: «quien no puede detenerse ya a maravillarse y se encuentra absorto en su propio sobrecogimiento» —como lo expresó admirablemente Einstein— «es como si estuviese muerto»<sup>27</sup>. La debilidad de la mente humana es la adoración de la mente divina, con la íntima esperanza de poder llegar a ser casi tan clarividente y, por tanto, extender su conocimiento más allá de lo que su propia condición le permite observar repetidamente.

Así pues, es comprensible que los fenómenos que el hombre puede observar repetidamente ejerzan semejante fascinación irresistible para nuestra

<sup>26</sup> Hilo, materia, se deriva del griego ἕλη, que significaba «materia, substancia y, en especial, la materia primordial del universo». En la teoría de la «Gran Explosión» («Big Bang»), Hylem (acusativo del latín tardío hyle) es la materia primordial del universo y se supone originalmente compuesta de neutrones a elevadas temperatura y densidad (N. del T.).

<sup>27</sup> Citado en *The Great Design*, ed. F. Mason (Nueva York, 1936), p. 237.



mentes, mientras que la idea de un acontecimiento único causa malestar intelectual y se ve acusada con frecuencia de ser totalmente absurda. Igualmente comprensible es la peculiar atracción que, con «la tenacidad del pecado original» (como lo expresó Bridgman), la mente científica ha sentido durante muchos años por todas las variantes de los dogmas mecanicistas<sup>28</sup>: se consuela en la creencia de que en la Naturaleza no hay otra categoría de fenómenos que aquellos que mejor conocemos; y, evidentemente, si el cambio consistiese exclusivamente en locomoción, la evolución sería una noción mística sin sitio alguno en el conocimiento científico. Sin embargo, como ya hemos visto a lo largo de algunas de las páginas anteriores, es mucho más místico creer que todo lo que sucede a nuestro alrededor o dentro de nosotros está contenido en la vieja canción infantil:

Oh, the brave old Duke of York,  
He had ten thousand men;  
He marched them up to the top of the hill,  
And he marched them down again.  
And when they were up, they were up,  
And when they were down, they were down,  
And when they were only half-way up,  
They were neither up nor down<sup>29</sup>.

Si la evolución de grandes organizaciones y, en especial, de nuestra propia especie parece algo semejante a un misterio, se debe sólo a dos razones: en primer lugar, no todos los fenómenos de la Naturaleza siguen el modelo de la canción y, en segundo lugar, la condición de la humanidad es tal que únicamente podemos observar la Naturaleza una vez, o, más exactamente, sólo en parte. Esta es la única razón fundamental por la cual evolución es «el Problema de los Problemas», como lo denomina G. G. Simpson, y por la que los hombres no pueden esperar comprenderla más que muy imperfectamente. Incluso planteada de esta forma modesta (como debería ser), la labor no deja de ser titánica. No hay que sorprenderse por tanto de que el hombre la haya abordado a través de una variedad de instrumentos diferentes de los utilizados para el estudio de los fenómenos que puede observar una y otra vez. Ya sea en la biología o en la sociología, los estudiosos de la evolución han buscado generalmente las tendencias históricas. Hay que reconocer que la existencia de tendencias históricas plantea

<sup>28</sup> P. W. Bridgman, *The Logic of Modern Physics* (Nueva York, 1928), p. 47.

<sup>29</sup> *The Oxford Dictionary of Nursery Rhymes* (Oxford, 1951), p. 442. Mi fuente inicial es A. S. Edington, *The Nature of the Physical World* (Nueva York, 1943), p. 70. (Oh, el bravo viejo Duque de York, / Tenía diez mil hombres; / Los hizo marchar a la cima de la colina, / Y los hizo marchar de nuevo hasta abajo. / Y cuando estaban arriba, estaban arriba, / Y cuando estaban abajo, estaban abajo, / Y cuando sólo estaban a medio camino de arriba, / No estaban ni arriba ni abajo.)

algunos problemas complicados, razón por la que los positivistas lógicos las rechazan no del todo justamente; sin embargo, recordando un punto tratado anteriormente, la regularidad atribuida a los fenómenos no evolutivos (que pasa por ser la indiscutible piedra angular de la ciencia objetiva) comparte la misma base epistemológica con todas las tendencias históricas. ¿Existe alguna razón de peso para alzar la tendencia histórica *horizontal* sobre un pedestal tan elevado, a la vez que se rehusa conceder a otras tal reconocimiento? No conozco ninguna y, por mi parte, no puedo imaginar ninguna. Además, la discriminación es lógicamente contraproducente, porque, una vez que aceptamos la validez de las tendencias horizontales, debemos extenderla a cualquier tendencia lineal: la tendencia de la pendiente de una tendencia lineal es una tendencia horizontal; después, hemos de aceptar como válida cualquier tendencia representada por una parábola de segundo grado, pues su pendiente tiene una tendencia lineal. La lógica de este algoritmo nos obliga a aceptar todas las tendencias que estén representadas por una función *analítica*.

Es una conjetura muy verosímil que la mayoría de los adversarios de las tendencias históricas reconocerían en último término la existencia de tendencias analíticas, pero no de las no analíticas. En apoyo de semejante postura pueden llegar a invocar incluso la propiedad característica de una función analítica, consistente en que tal función puede estar totalmente determinada en base al conocimiento de sus valores a lo largo de un intervalo finito *aunque pequeño*. En consecuencia, podrían decir, la tendencia analítica tiene existencia objetiva gracias a que puede determinarse por completo observando los correspondientes fenómenos durante sólo un segundo (imaginablemente). Se trata, claro está, de una postura objetiva, pero, como sucede habitualmente en el caso de tales afirmaciones impecables, existe un escollo, una cuestión que debería perturbar a todo alertado estudioso de la estadística: ¿cómo puede estarse seguro de que la tendencia de un fenómeno en evolución es totalmente analítica? O, para citar una cuestión secundaria, ¿tenemos en verdad alguna razón para suponer *ex ante* que hay una categoría de fenómenos evolutivos que siguen una tendencia analítica? Existe una evidente afinidad entre la propiedad de las funciones analíticas y el famoso principio de Georges Cuvier de que un animal concreto se encuentra construido de tal modo que podemos reconstruirle a partir del conocimiento de una sola vértebra. Ahora bien, Cuvier había estudiado miles de animales *completos* antes de llegar a ese principio y de utilizarlo. A diferencia de Cuvier, disponemos sólo de observaciones escasas y fragmentarias de entidades en evolución, tanto en la biología como en las ciencias sociales. Además, actualmente los biólogos saben que el principio no es tan perfecto como pensaba Cuvier; en efecto, los astrónomos siguen luchando contra la evolución física de una sola nebulosa. Tras los innumerales fracasos en la predicción de fenómenos evolutivos (algunos tan sim-



ples como la evolución de la población de los distintos países o del valor del dinero) a través de fórmulas analíticas, la conclusión más sensata es aceptar el postulado de que las leyes evolutivas no son reducibles a expresiones analíticas.

La Naturaleza puede ser tal que todas sus leyes evolutivas sean leyes del Cambio, una para cada tipo de fenómenos, y expresadas como mera sucesión de cualidades (algunas mensurables, otras no), tal como se pone de manifiesto, por ejemplo, en la forma en que un biólogo describe el patrón de vida de un insecto. La difícil situación en que se encuentra un biólogo incapaz de reducir ese patrón a una cadena de leyes causales ordinarias del tipo utilizado por el físico refleja, creo, la situación habitual existente en la Naturaleza, antes que una excepción. Hay mucho que decir en favor de la cuestión (plantada en el capítulo anterior) de que nuestra incapacidad de descubrir una causa eficiente para todas las cosas no demuestra que la Naturaleza sea anárquica, sino que eso sugiere que no está regida por leyes analíticas en todos los sentidos. El resultado se encuentra materializado en la fundada conclusión de Simpson de que «evolución es algo ni totalmente ordenado ni totalmente desordenado»<sup>30</sup>. Además, aparte de toda su consumada argumentación, se destaca un punto con total claridad: la evolución es desordenada como consecuencia de que, entre las repetidas ocasiones en las que «A sigue a B», es real sólo para una categoría de individuos. En semejante situación, lo más que podemos hacer es concentrar nuestros esfuerzos en descubrir tendencias históricas a pesar de la dificultad y de la incertidumbre de la tarea. La clave de la Ley de la Existencia puede estar ligada a un número de decimales infinitamente numerosos y de carácter complejo. Todos los medios son válidos en la medida en que ofrezcan una esperanza razonable de que pueden permitirnos descubrir los valores de al menos algunos decimales de ese número maravilloso, pero la creencia en que las leyes de la locomoción por sí solas nos llevarán a descubrir todos los decimales es inútil e insensata.

Por último, hay algunos que han visto en el problema de la evolución una paradoja irreducible de regresión infinita. Afirman que el estudio de la evolución de la sociedad humana incluye el estudio del propio estudio<sup>31</sup>. No cabe la menor duda de que existe una contradicción en todo estudio sobre la propia evolución, pero, en ausencia de novedad absoluta, el concepto de evolución no implica paradoja alguna, como puede observarse fácilmente a partir del hecho de que cualquier ser humano puede aprender mucho sobre su propia vida observando a otros seres humanos durante diversas fases del mismo patrón de vida. La difícil situación en que se halla

<sup>30</sup> Simpson, *Meaning of Evolution*, p. 185.

<sup>31</sup> Así, por ejemplo, Popper, *Poverty of Historicism*, p. 80 y *passim*.

toda ciencia evolutiva se deriva del hecho de que la humanidad no tiene acceso a observar otras «humanidades», de las que en la Naturaleza debe haber gran número en todas las épocas si el universo es una empresa en marcha constante sujeta a leyes Intemporales<sup>32</sup>.

<sup>32</sup> En la época en que se escribió originalmente este capítulo como parte de *AE* (en 1963), Fred Hoyle no había renunciado a la hipótesis cosmológica de un universo en estado estacionario. A pesar de su renuncia —que en forma definida apareció solamente en su «Recent Developments in Cosmology», *Nature*, CCVIII (octubre 1965), p. 113—, no he considerado necesario alterar la argumentación de esta sección. Mis razones para ello son diversas. En primer lugar, mi punto de partida principal de que en el universo hay evolución en mi propio sentido y de que esa evolución no es reducible a locomoción es independiente de que el universo se encuentre en un estado estacionario o de que sea un Todo en expansión originado por una «Gran Explosión», o de que sea un sistema cerrado que oscila entre una «Gran Explosión» y un «Fsss repentino». En segundo lugar, sólo en la hipótesis de una única «Gran Explosión» mi demonio imaginario no sería capaz de descubrir las leyes evolutivas ya desveladas y la evolución seguiría siendo para él un «misterio», al igual que lo es para los humanos; pero esta hipótesis no casa bien con la noción einsteiniana de universo finito. Así pues, la única hipótesis que compete con la del estado estacionario es la de que el universo es un sistema oscilante. Ahora bien, de acuerdo con todo lo que conocen los físicos, las oscilaciones deben amortiguarse, por lo que el universo tendría que llegar en último término a descansar «en un estado estático intermedio», como actualmente sostiene Hoyle («Recent Developments in Cosmology»). En tercer lugar, un rápido examen de H. Poincaré, *Leçons sur les hypothèses cosmogoniques*, debería convencer a todo el mundo de que las hipótesis cosmológicas son propensas a estar muy poco tiempo de moda (Véase también las observaciones pesimistas en Fred Hoyle, *Galaxies, Nuclei, and Quasars*, Nueva York, 1965, p. 24). La hipótesis de un universo que no evoluciona pasó por otras rachas de moda en el pasado, cuando se vio apoyada por otros argumentos (podemos recordar la hipótesis de Arrhenius mencionada anteriormente). Aventura la opinión de que es nuestra hipótesis cosmológica la que seguramente oscila y de que debemos volver de nuevo a la de un universo en estado estacionario. Hay una poderosa razón para ello: como ya he observado antes, la hipótesis de un estado estacionario es intelectualmente la más satisfactoria de todas [Un reciente artículo panorámico, del que he tenido noticia sólo después de haber dado a la imprenta estas páginas, sugiere que la situación es en general tal como la había previsto. Véase G. de Vaucouleurs, «The Case for a Hierarchical Cosmology», *Science*, 27 de febrero de 1970, pp. 1.203-1.213].

## CAPÍTULO IX

### LA REPRESENTACIÓN ANALÍTICA DEL PROCESO Y LA ECONOMÍA DE LA PRODUCCIÓN

1. *El proceso parcial y sus límites.* De vez en cuando, el uso de un término se difunde por la literatura científica con una rapidez asombrosa, pero sin un certificado de nacimiento válido, es decir, sin haber sido definido de una manera precisa. En realidad, cuanto más rápida es la difusión, mayor es la confianza de cada uno en que el significado del término está perfectamente claro y ha sido bien comprendido por todos. Uno de los ejemplos más palmarios de este estado de cosas lo proporciona la expresión «proceso». Hay que admitir, no obstante, que proceso es un concepto especialmente desconcertante, pues proceso es Cambio o no es nada en absoluto y, como hemos visto en el Capítulo III, las complicadas cuestiones que rodean la idea de Cambio han dividido a los filósofos en escuelas opuestas de pensamiento, sustentando una de ellas que sólo existe el Ser y la otra que sólo existe el Devenir. Sin embargo, la ciencia no puede seguir ninguna de esas enseñanzas como tampoco puede seguir la síntesis dialéctica de ambas en el principio de Hegel de que «el Ser es el Devenir». La ciencia únicamente puede comprender la denominada filosofía vulgar, según la cual existe tanto el Ser como el Devenir, pues por su propia esencia ha de distinguir entre objeto y acontecimiento. En otras palabras, la ciencia debe intentar continuar siendo analítica en todo momento, incluso aunque, como ya he argumentado anteriormente, no pueda tener siempre éxito en ello. El resultado final es que la ciencia debe tener una idea clara de cómo representar un proceso *analíticamente*. No hacerlo así antes de que empiece el juego puede convertirse en fuente de importantes errores. Podemos recordar que en la física la oposición entre partícula y onda en los fenómenos cuánticos obligó a los físicos a ser más cuidadosos al interpretar procesos observados. En las ciencias sociales —especialmente en la economía, donde las argumentaciones teóricas sobre el papel tienen por regla general sólo un remoto contacto con los datos reales— «proceso» es un

término del que se ha abusado en exceso: se emplea para indicar casi todo lo que uno desea. Sirva de testimonio la variedad de fórmulas matemáticas por las que se representa un elemento básico de la teoría económica como es el proceso de producción. Sirva igualmente de testimonio la falta de preocupación, prácticamente total, por lo que los símbolos de esas fórmulas representan en términos reales<sup>1</sup>.

Al enfocar el problema de cómo describir analíticamente un proceso, deberíamos subrayar que hemos de continuar con la dialéctica del Cambio al menos en un punto: el Cambio no puede concebirse más que como relación entre una cosa y «su otro» (para utilizar la acertada terminología de Hegel). Lo explicaremos: al contemplar un árbol como un proceso, lo enfrentamos en nuestro pensamiento a todo lo que no sea ese árbol, incluso aunque no podamos ser en todo momento totalmente conscientes de esa oposición. Únicamente para la totalidad absoluta —el universo entero en su eternidad— el Cambio no tiene significado alguno; nada corresponde a «su otro». Existe ciertamente Cambio dentro de semejante totalidad, pero para descubrirlo hay que meterse dentro, por así decirlo. Más exactamente, hemos de dividir la totalidad en partes, en procesos parciales. La noción de proceso parcial implica necesariamente algunos cortes realizados en el Todo sin costuras con el que Anaxágoras identificó la realidad<sup>2</sup>. Es en este punto donde empiezan a apreciarse las espinas dialécticas de la idea de proceso parcial, aun cuando no queramos ahondar demasiado en la dialéctica. Casi nadie negaría que un organismo vivo es un proceso parcial; la mayoría lo dejaría en eso. Sin embargo, como nos recuerda Bohr, es casi imposible decir en cada uno de los casos si un átomo concreto de la totalidad pertenece al organismo en cuestión o a «su otro»<sup>3</sup>. Por su lado, también los economistas deberían ser conscientes de la dificultad que representa decidir si un camión alquilado por la compañía A a la compañía B y que circula por una autopista cargado con bienes para la compañía C forma parte de la actividad de A, de B, o de C. O bien, por citar un caso aún más complicado: un obrero a sueldo en un sistema capitalista, ¿es en esencia propiedad del capitalista, como afirmó Marx? Nos enfrentamos aquí a la misma cuestión que opone las nociones dialécticas (en mi propia mente) a las aritmomórficas. El análisis no puede aceptar la existencia de una penumbra entre un proceso individual y «su otro», porque, en caso de hacerlo, ha de colocarlo como otro proceso parcial y entonces termina con tres procesos parciales en lugar de dos. Nos veríamos arrastrados así a una regresión infinita.

<sup>1</sup> Este embrollo, juntamente con sus falacias simbióticas, se expone en mi trabajo «Chamberlin's New Economics and the Unit of Production», cap. ii, en *Monopolistic Competition Theory: Studies in Impact*, ed. R. E. Kuenne (Nueva York, 1967), pp. 38-44.

<sup>2</sup> Véase el Capítulo III, nota 28.

<sup>3</sup> Niels Bohr, *Atomic Physics and Human Knowledge* (Nueva York, 1958), p. 10.

Una conclusión evidente de las observaciones precedentes es la de que, en este caso como en otros, el análisis debe continuar con algunas simplificaciones heroicas e ignorar por completo sus consecuencias. El primero de tales pasos es el de asumir que la realidad puede dividirse en dos rebanadas —una que representa el proceso parcial determinado por el interés de actualidad, y la segunda su entorno (como podríamos decir)— separadas por un límite analítico consistente en un vacío aritmomórfico. De este modo, todo lo que sucede en la realidad en cualquier momento es parte bien del proceso en cuestión o de su entorno. En consecuencia, el primer elemento que ha de incluir necesariamente la imagen analítica de un proceso es el límite analítico. *Sin límite analítico no hay proceso analítico*. Merece la pena resaltar este punto pues a menudo podemos descubrirnos en el acto de hablar sobre un proceso sin tener la más ligera idea de dónde habría que trazar su límite. En tales ocasiones, estamos simplemente abusando del término «proceso».

Debido precisamente a que el Todo no tiene costuras, determinar dónde se puede trazar el límite *analítico* de un proceso parcial —en suma, de un proceso— no es un problema sencillo. Por el contrario, según Platón, en la realidad no existen ni siquiera juntas que puedan guiar nuestro trabajo de talla<sup>4</sup>. Se pueden hacer cortes en la realidad donde le guste a cada uno, pero eso no significa que todo límite cortado por mero capricho determine un proceso que tenga algún significado para la ciencia. El análisis ha compartimentado ya el estudio de la realidad en campos especiales, cada uno de ellos con su propia *intencionalidad*. De este modo, toda ciencia especial traza límites de procesos allí donde conviene a su intencionalidad especial. Sin un conocimiento íntimo del campo fenomenológico de la química, por ejemplo, no se sabría dónde trazar un límite compatible. En otras palabras, un proceso analítico pertinente no puede estar divorciado de la intencionalidad y, por consiguiente, es en sí mismo una noción primaria, es decir, una noción que puede aclararse por la discusión y los ejemplos, pero que nunca puede reducirse a otras nociones por medio de una definición formal.

Si consideramos además la esencia del límite de un proceso, un punto ha de atraer nuestra atención: un límite semejante tiene que consistir necesariamente en dos componentes analíticos distintos. Un componente enfrenta el proceso a su «entorno» en cualquier punto del tiempo; a falta de un término mejor, podemos denominar a este componente la *frontera* del proceso. Sin embargo, tendríamos que ser cuidadosos en no dejar que este término nos induzca erróneamente a creer que la frontera de un proceso es geográfica, es decir, espacial. En sí mismo, el pensamiento es un proceso

<sup>4</sup> Véase el Capítulo III, nota 29.

parcial, pero apenas si podría decirse que se encuentra encerrado en un espacio definido. Lo mismo es cierto en el caso de numerosos procesos sociológicos o políticos, y tampoco deberíamos perder de vista otra dificultad: el proceso puede ser tal que altere su propia frontera. Ahora bien, esta dificultad no es insuperable siempre que concedamos al analista la facultad de percibir que un roble y la bellota de la que nació pertenecen al mismo proceso; y no es posible que pudiéramos negarle esta facultad sin negar toda articulación al conocimiento en general.

El límite debe contener también un componente temporal, la *duración* del proceso. Hemos de especificar los momentos en los que comienza y termina el proceso analítico que tenemos en mente. A la vista del hecho de que es en pro de la ciencia por lo que la Naturaleza está dividida en procesos parciales, el componente temporal de semejante proceso debe ser necesariamente un intervalo temporal finito. Ha de comenzar en cierto  $t_0 > -\infty$  y terminar en cierto  $t_1 < +\infty$ , y ello porque, si  $t_0 = -\infty$ , no sabríamos todo lo que ha entrado en el proceso y, si  $t_1 = +\infty$ , todo lo que hace. La extrapolación puede ser adecuada en algunos casos especiales, pero para andar sobre terreno firme hemos de partir de una duración finita. Por la misma razón, el caso de  $t_0 = t_1$  debería quedar también excluido de la categoría de procesos analíticos propiamente dichos. Recordando la máxima de Whitehead, un proceso sin duración, un acontecimiento en un instante de tiempo como hecho primario de la Naturaleza, no tiene sentido alguno. Al igual que el proceso eterno, el proceso puntual es una abstracción analítica de segundo orden y, por tanto, solamente puede alcanzarse por aproximación.

Un proceso implica, sobre todo, algún suceso. Nuestro próximo problema consiste en cómo representar analíticamente ese suceso. Ahora bien, antes de abordar esta nueva tarea, es necesario hacer dos observaciones.

La primera es que, al decidir identificar un proceso por sus límites, hemos renunciado implícitamente a toda idea de describir lo que sucede dentro de esos límites, es decir, dentro del proceso. Si deseásemos aprender algo acerca de lo que sucede dentro, tendríamos que trazar *otro* límite transversal al proceso y dividirlo así en *dos* procesos a estudiar por separado. Esos procesos no podían haber formado parte de nuestra imagen analítica antes de haberse trazado el nuevo límite, como consecuencia del sencillo principio de que «sin límite, no hay proceso». A la inversa, si por la razón que sea precisamos enfocar nuestra atención únicamente en el proceso obtenido subsumiendo dos procesos en uno, debemos eliminar de la imagen analítica el límite que los separa y *también todo lo relacionado con ello*. Si apuntásemos a una descripción completa de todo lo que sucede dentro de un proceso, nos veríamos llevados a una regresión infinita cuya resolución pone al descubierto el vicio inherente a todo plan para representar la realidad por medio de un marco analítico. En efecto, no se puede

poner fin a la división de la Naturaleza por un límite analítico tras otro. El límite de este algoritmo es una matriz abstracta en la que cada proceso está reducido a un instante puntual del espacio-tiempo. Todos los procesos parciales desaparecerían así de nuestro ambicioso retrato de la realidad. En otras palabras, tras haber partido desde la posición de que hay tanto Ser como Devenir, el análisis se encuentra finalmente encajado en una matriz en la que no existen ya ni el Ser ni el Devenir. Debido a esta paradoja del análisis, podemos estar seguros de que la física, cuyo objetivo es llegar cada vez más dentro de la materia, se aferrará siempre a la idea de que la materia está formada por partículas atómicas, esto es, indivisibles aunque tengan tamaño.

La segunda observación es que, al decir que la duración del proceso *comienza* en  $t_0$  y *termina* en  $t_1$ , hemos de tomar las palabras resaltadas en su más estricto sentido. Para  $t < t_0$  o  $t > t_1$  el proceso *analítico* no tiene existencia. No quiero decir con esto que fuera de la duración que hemos elegido para un proceso analítico sea inexistente la parte correspondiente de realidad; lo que quiero decir es que debemos hacer abstracción de lo que puede haber sucedido en la realidad antes de  $t_0$  y de lo que sucederá después de  $t_1$ . Debería quedar clara la operación mental correspondiente: un proceso analítico debería ser considerado en sí mismo como un guión entre una *tabula rasa* y otra.

2. *Las coordenadas analíticas de un proceso parcial.* Dado que el análisis ha de renunciar a la idea de incluir en la descripción de un proceso lo que sucede dentro o fuera de él, el problema de describir lo que sucede en conexión con un proceso se reduce a registrar únicamente lo que cruza los límites. Por comodidad, podemos denominar *entrada (input)* a todo elemento que cruza los límites desde el entorno hacia el proceso y *salida (output)* a todo elemento que los cruza en sentido opuesto<sup>5</sup>.

Llegados aquí, el análisis ha de dar algunos pasos heroicos adicionales apuntando todos ellos a dar por supuesta la ausencia de cualidad dialéctica. Cualidades discretamente diferenciadas se admiten todavía en la imagen en la medida en que su número sea finito y cada una cardinalmente mensurable. Si designamos por  $C_1, C_2, \dots, C_m$  a los elementos que pueden cruzar los límites de un proceso dado, la descripción analítica es *completa* si para *cada*  $C_i$  hemos determinado dos funciones no decrecientes  $F_i(t)$  y  $G_i(t)$ , mostrando la primera la entrada acumulativa y la segunda la salida acumulativa de  $C_i$  hasta el momento  $t$ . Naturalmente, estas funciones deben estar definidas para toda la duración del proceso que puede estar siempre representado por un intervalo temporal cerrado, tal como  $[0, T]$ .

<sup>5</sup> En el contexto anterior, los términos tienen un significado preciso, hecho que contrasta con la práctica habitual en la economía donde se usan tan libremente que los vemos aplicados tanto al capital como al trabajo.

La cuestión de si este modelo analítico es operativo fuera de las operaciones sobre el papel no puede decidirse sin un examen de la esencia de los elementos que se encuentran habitualmente en los procesos reales. Semejante examen revela que existen siempre numerosos elementos para los cuales bien  $F_i(t)$  bien  $G_i(t)$  es idénticamente cero en toda la duración del proceso. La energía solar es un ejemplo típico de un elemento que es sólo una entrada para cualquier proceso terrestre. Por su parte, los diversos materiales abarcados corrientemente por el término «desecho» son ejemplos evidentes de elementos que son solamente salidas. En todos esos casos, podemos simplificar la imagen analítica representando cada elemento por una única coordenada, en concreto por

$$(1) \quad E_i(t) = G_i(t) - F_i(t).$$

Para un elemento de salida,  $E_i(t) = G_i(t) \geq 0$ ; para un elemento de entrada,  $E_i(t) = -F_i(t) \leq 0$ . El signo de  $E_i(t)$  basta para decir cuál es realmente el caso.

Una segunda categoría de elementos se encuentra caracterizada por la tierra ricardiana, es decir, por la tierra contemplada exclusivamente en sus «poderes originales e indestructibles». Si nos remitimos al caso sencillo de un proceso consistente en cultivar cereal a partir de semillas en un acre de tierra, las coordenadas de la tierra ricardiana son

$$(2) \quad \begin{aligned} F_\alpha(t) &= 1 \quad \text{para } 0 \leq t \leq T; \\ G_\alpha(t) &= 0 \quad \text{para } 0 \leq t < T, \quad G_\alpha(T) = 1. \end{aligned}$$

En el mismo ejemplo, encontramos que el cereal pertenece también a esta categoría ambivalente. Como semilla, el cereal es una entrada; como cosecha, es una salida. Así pues, suponiendo que un saco de cereal se utiliza como semilla y que la cosecha es de diez sacos, tenemos

$$(3) \quad \begin{aligned} F_\beta(t) &= 0 \quad \text{para } 0 \leq t < t', \quad F_\beta(t) = 1 \quad \text{para } t' \leq t \leq T; \\ G_\beta(t) &= 0 \quad \text{para } 0 \leq t < T, \quad G_\beta(T) = 10; \end{aligned}$$

donde  $t'$  es el tiempo en que se efectúa la siembra<sup>6</sup>. Se pueden citar numerosos casos de la misma especie. Un ejemplo particular que utilizaré con frecuencia más adelante nos lo suministran los martillos que se emplean para martillar martillos adicionales. Con la ayuda de algunos refinamientos analíticos, podemos representar también cada elemento de esta categoría por una única coordenada,  $E(t)$ . Sin embargo, por razones que se pondrán de manifiesto en la Sección 4, más adelante, es preferible atenerse a la representación más directa, tal como la (2) y la (3).

<sup>6</sup> Al ser procesos, la siembra y la cosecha tienen sus correspondientes duraciones. Sin embargo, la simplificación implícita en las ecuaciones (3) no tiene efecto sobre el punto discutido aquí.

Una tercera (y última) categoría de elementos, ilustrada por obreros y herramientas, plantea un problema especial. Un obrero es un hombre *descansado* cuando entra en el proceso, pero sale un hombre *cansado*. Una herramienta puede ser *nueva* cuando entra en el proceso, pero está *usada* cuando sale de él. En vista de la condición analítica de diferenciación discreta entre los elementos  $C_i$ , el «mismo» obrero debe dividirse en dos entidades diferentes, una de las cuales representa al obrero cuando está descansado y la otra cuando está cansado. En apariencia, puede parecer que este punto es únicamente de orden práctico, pero, de hecho, es un síntoma palpable de la dificultad de separar la noción correcta de proceso de la de cambio cualitativo, dificultad sobre la que he insistido en el Capítulo III. Según vemos, la eliminación del cambio cualitativo nos obliga a excluir de nuestra imagen analítica de proceso una noción tan básica como la de identidad. No es preciso añadir que, desde el punto de vista formal, nada va contra la representación de un obrero descansado (o de una herramienta nueva) por un  $C_k$  y del mismo obrero cuando está cansado (o de la misma herramienta cuando está usada) por un diferente  $C_j$ . Es decir, el «mismo» obrero puede estar representado por una coordenada de entrada y por una de salida:

$$(4) \quad \begin{aligned} E_k(t) &= 0 \quad \text{para } 0 \leq t < t', & E_k(t) &= -1 \quad \text{para } t' \leq t \leq T; \\ E_j(t) &= 0 \quad \text{para } 0 \leq t < t'', & E_j(t) &= 1 \quad \text{para } t'' \leq t \leq T; \end{aligned}$$

donde  $t'$  y  $t''$ ,  $t' < t''$ , son los momentos en los que el obrero entra al proceso y sale del mismo, respectivamente. Así pues, los obreros descansados y cansados y las herramientas nuevas y usadas pueden incluirse en la misma categoría que las otras entradas y salidas ordinarias, tales como la energía solar, los desechos, las materias primas, etc.

De este modo, la descripción analítica de un proceso es completa. Podemos asociarla a un punto en un espacio abstracto de funciones y escribirla simbólicamente de la manera siguiente:

$$(5) \quad [E_i(t); F_\alpha(t), G_\alpha(t)].$$

En esta expresión, el subíndice  $i$  comprende a todos los elementos que son solamente entradas o sólo salidas y el subíndice  $\alpha$  a los que son entradas y salidas. Y un punto que no podemos menos que hacer notar: la representación (5) enfoca permanentemente el hecho de que todo proceso tiene una duración  $T$ <sup>7</sup>. Como alternativa, la misma representación puede hacerse de

<sup>7</sup> En el caso de un proceso productivo, podemos usar en su lugar el conveniente término de Marx «tiempo de producción». Karl Marx, *Capital* (3 volúmenes, Chicago, 1932-33), II, pp. 272 y s.

forma menos abstracta como una serie de gráficos, representando cada uno de ellos una de las funciones que intervienen en (5)<sup>8</sup>.

Una imagen analítica en la que el mismo obrero (o la misma herramienta) se divide en dos elementos complicaría sin duda lo indecible el asunto. La razón de que estas complicaciones no han desbaratado los restantes modelos analíticos actualmente utilizados en las ciencias de la Naturaleza o en las sociales es la de que el cambio cualitativo ha quedado descartado *ab initio* mediante varios artificios<sup>9</sup>. Así, por ejemplo, el químico traza generalmente los límites de un proceso químico de tal modo que la estructura material —digamos, el tubo de ensayo— dentro de la que tiene lugar una reacción no aparece en la lista como elemento del proceso. Tal vez esté justificado que haga abstracción del tubo de ensayo, pues las reacciones químicas pueden darse también en el espacio *abierto*, pero hasta un químico mencionaría el uso de un catalizador (cuando fuera necesario), incluso aunque un catalizador, como la tierra ricardiana, no resulta transformado por el proceso. Por otra parte, un ingeniero químico no puede perder de vista, sin incurrir en grave penalización, el hecho de que una cuba de teñir se deteriora con el uso. Del mismo modo, debiéramos esperar que un economista dejase sitio en su representación analítica de un proceso productivo para este importante factor económico, el del desgaste. Esto lo hace, a veces, explícitamente, pero al hacerlo así recurre a valorar la depreciación en términos monetarios de acuerdo con una de las reglas convencionales establecidas por los contables. La solución no sólo es arbitraria sino también lógicamente tortuosa: presupone que los precios y el tipo de interés, que de hecho se hallan influenciados por la producción, son independientes de ella.

Un examen de los modelos básicos de producción (en términos reales) revela, no obstante, que ninguno de ellos incluye entre sus coordenadas al obrero cansado o a la herramienta usada. Además de las complicaciones formales ya mencionadas, hay otras razones que ordenan al economista que evite la inclusión de esos elementos en sus representaciones analíticas de un proceso. El economista está interesado de principio a fin en *mercancías*. Es decir, ningún economista trazaría hoy en día los límites de un proceso de tal modo que el vidrio fundido, por ejemplo, tuviese que ser un elemento de salida o de entrada. Sin duda alguna, el vidrio fundido es un

<sup>8</sup> A este respecto, véase la Fig. 1 de mi artículo «Process in Farming vs. Process in Manufacturing: A Problem of Balanced Development», en *Economic Problems of Agriculture in Industrial Societies*, Actas de una Conferencia celebrada por la International Economic Association, en Roma (1965), eds. Ugo Papi y Charles Nunn (Nueva York, 1969), pp. 497-528.

<sup>9</sup> Una notable excepción, a la que me habré de referir más de una vez, es el análisis marxiano de la participación de los obreros en el proceso productivo, análisis que ocupa un lugar preeminente en el primer volumen del *Capital* y que, pese a sus defectos, es claramente superior a cualquier otro que haya podido encontrar en la literatura.

factor indispensable en la producción de artículos de cristal; no se trata de algo que podría tirarse: en cierto sentido, tiene valor económico. Ahora bien, de acuerdo con la tecnología actual no es una mercancía. La noción de mercancía refleja no sólo la individualidad dialéctica de necesidades humanas sino también (y especialmente) el hecho de que la producción bajo cualquier estado de las artes se lleva a cabo a través de procesos bastante bien individualizados. En consecuencia, en todo momento el espectro de las mercancías se encuentra determinado por la tecnología dominante. Hasta hace poco, el pan semicocido o el cemento ya mezclado no eran mercancías más de lo que lo es hoy el vidrio fundido. Sin embargo, en todo momento los límites de los procesos por los que se interesa el economista se trazan allí donde puede observarse la circulación de mercancías, es decir, allí donde pasan de una unidad de producción a otra o de una unidad de producción a una de consumo.

Aun cuando no existe una regla rápida y general para determinar lo que es y lo que no es una mercancía, de ningún modo podría decirse que los obreros cansados y las herramientas usadas son mercancías. Es cierto que son *salidas* en todo proceso, pero el fin de la producción económica no es producir obreros cansados y equipo desgastado. De igual modo, con pocas excepciones —las más llamativas son los automóviles usados y las viviendas usadas—, ningún equipo usado tiene un mercado en el sentido propio del término y, por tanto, no tiene «precio de mercado». Además, la inclusión de obreros cansados y herramientas usadas entre los productos de la industria nos invitaría a atribuir un coste de producción a mercancías tan peculiares; evidentemente, la sugerencia no tiene sentido alguno. La economía no puede abandonar su fetichismo de la mercancía de igual modo que la física no puede renunciar a su fetichismo de las partículas elementales ni la química al de las moléculas.

La conclusión es que, al menos a los fines del microanálisis, la representación de un proceso económico en la forma a la que nos han llevado las consideraciones de esta sección es extraordinariamente torpe, por no decir más. La cuestión que se nos plantea es la de si existe algún otro modo de describir analíticamente un proceso, un modo que sea, al mismo tiempo, manejable y adecuado en el sentido de que no deje fuera ningún factor esencial. Y el desgaste, esta obra de la Ley de la Entropía, es un factor semejante.

3. *Stocks y flujos*. Los modelos analíticos habitualmente usados en economía para representar un proceso productivo se dividen en dos grandes categorías, estando cada una de ellas relacionada con una perspectiva completamente distinta. Aunque opuestos entre sí, los dos puntos de vista fueron codo a codo en la economía mucho antes de la era de los modelos temáticos. Uno de los puntos de vista, que comenzó a estar muy en boga con el advenimiento del sistema estático de entradas-salidas (input-output)



de Leontief, es el de que un proceso se encuentra completamente descrito a través de sus coordenadas de flujo, explícitamente por «la tasa de flujo por unidad de tiempo de cada una de las  $N$  mercancías afectadas»<sup>10</sup>. Presumiblemente, las tasas de flujo se determinan en los límites que identifican el proceso (a pesar de que la idea de un límite nunca se menciona en las obras de referencia). El complejo que caracteriza este enfoque —y que se pone de manifiesto en las argumentaciones y aplicaciones de los modelos de flujo— es que el proceso se contempla como un asunto continuamente en marcha que es enfocado por el observador en cualquier momento que le plazca, *pero sólo desde fuera*. Es decir, se supone que durante su período de servicio el observador registra únicamente los flujos que cruzan la frontera de tal proceso en marcha. Lo que estaba ya dentro del proceso cuando entró en escena y lo que quedó dentro al salir de la escena no le importan. En su forma estricta, un modelo de flujo no empieza ni termina con una *tabula rasa*.

El otro tipo de representación analítica de un proceso refleja el punto de vista diametralmente opuesto: una representación completa de un proceso consiste en dos instantáneas, por así decirlo, una en el momento en que el observador entra en escena, la otra cuando sale de ella. O, para decirlo de manera distinta, el observador levanta dos censos, uno al comienzo de su período de observación y otro al final. No presta atención a ninguna otra cosa *que cruce la frontera* en cualquier momento. De acuerdo con este punto de vista, un proceso está analíticamente representado por una matriz de dos filas

$$(6) \quad \begin{bmatrix} A'_1, A'_2, \dots, A'_n \\ A''_1, A''_2, \dots, A''_n \end{bmatrix}$$

donde los vectores ( $A'$ ) y ( $A''$ ) representan los stocks de *mercancías* dentro de los límites en dos instantes de tiempo  $t' < t''$ , respectivamente<sup>11</sup>.

Una cuestión que planteé hace algunos años debería estar suficientemente clara a partir de las observaciones precedentes: cada uno de los dos

<sup>10</sup> T. C. Koopmans, «Analysis of Production as an Efficient Combination of Activities», en *Activity Analysis of Production and Allocation*, ed. T. C. Koopmans (Nueva York, 1951), p. 36 (las cursivas son mías). Como se insinuó antes, esta concepción de un proceso había sido defendida ya en círculos no matemáticos; por ejemplo, G. Stigler, *The Theory of Competitive Price* (Nueva York, 1942), p. 109. El hecho de que la misma concepción constituye el pilar analítico del sistema de entradas-salidas (input-output) de Leontief se hace evidente a partir de las afirmaciones que salpicaron su principal aportación, W. W. Leontief, *The Structure of the American Economy: 1919-1939* (2.ª edición, Nueva York, 1951), especialmente pp. 12 y s. y 27.

<sup>11</sup> John von Neumann, «A Model of General Economic Equilibrium», *Review of Economic Studies*, XIII (1945), p. 2. Para una muestra de las numerosas obras en las que se ha defendido la concepción de proceso-stock, véase A. L. Bowley, *The Mathematical Groundwork of Economics* (Oxford, 1924), pp. 28 y s.; J. R. Hicks, *The Theory of Wages* (Londres, 1932), p. 237; Paul A. Samuelson, *Foundations of Economic Analysis* (Cambridge, Mass., 1948), p. 57.

tipos de modelo cuenta sólo una parte diferente de la totalidad de la historia<sup>12</sup>. A título de ejemplo incisivo, consideremos el caso en el que ( $A'$ ) = ( $A''$ ). A no ser que la frontera del proceso incluya el universo entero —alternativamente, a no ser que sepamos que estamos tratando con un sistema aislado—, nos es imposible decir si (6) representa un estado estacionario (en el que sucede algo) o un conglomerado congelado (en el que no sucede nada). Volviendo a los modelos de flujo, tomemos el caso de dos procesos que tengan exactamente las mismas coordenadas de flujo. En esta situación, no tenemos manera de saber si son idénticos o si uno es más eficiente (en algún sentido específico) que el otro. Al haberse supuesto que el observador enfoca el proceso desde fuera cuando el proceso se encuentra en marcha, la representación de flujo de un proceso agrícola no debería incluir la tierra ricardiana<sup>13</sup>, y tampoco quedarían incluidas en tal modelo las herramientas ya en uso, si se sigue estrictamente la lógica de ese modelo. En caso de que, por pura casualidad, el observador fuese además meticuloso, podría a lo sumo registrar la tasa de salida de desechos, pero ningún constructor de modelos parece todavía haber sido meticuloso hasta tal extremo.

La oposición entre los dos tipos de modelos trae a la memoria la famosa antinomia entre flujo y stock, porque, si ambos modelos de flujo y stock ofrecen una adecuada representación de un proceso —tal como cada uno de ellos pretende por sí solo—, la antinomia entre flujo y stock sería ficticia. Ahora bien, da la casualidad de que los dos modelos no son equivalentes ni contradictorios. Podemos, pues, vernos tentados a concluir que, al fin y al cabo, los conceptos de flujo y stock no son estrictamente antinómicos. La antinomia es, no obstante, tan irreducible como suele ser.

Ningún economista avisado haría en la actualidad la misma afirmación que la que le sirvió a Adam Smith para abrir su obra magna: «El trabajo *anual* de cada nación es el *fondo* que originalmente le suministra todo lo necesario y conveniente para la vida»<sup>14</sup>. Gran parte de eso es cierto una vez que hemos sido repetidamente instruidos en no confundir lo que fluye con lo que permanece quieto<sup>15</sup>. La máxima frecuentemente citada sobre es-

<sup>12</sup> Véase mi artículo «The Aggregate Linear Production Function and Its Applications to von Neumann's Economic Model», en *Activity Analysis of Production and Allocation*, ed. Koopmans, pp. 100 y s.

<sup>13</sup> Sin embargo, véase la nota 30 posterior.

<sup>14</sup> Adam Smith, *The Wealth of Nations*, ed. E. Cannan (2 volúmenes, 5.ª edición, Londres, 1930), I, p. 1 (las cursivas son mías). Sin embargo, el colmo de la sorpresa es que Léon Walras —aspirante a matemático en su juventud— asocia renta a stock. Véase sus *Elements of Pure Economics* (Homewood, Ill., 1954), pp. 212 y s. La misma idea encuentra eco en J. A. Schumpeter, *The Theory of Economic Development* (Cambridge, Mass., 1934), p. 46: «los depósitos que llamamos renta».

<sup>15</sup> Puede recordarse que S. Newcomb, en sus *Principles of Political Economy* (Nueva York, 1886), p. 316 y *passim*, fue el primero en llamar la atención de los economistas sobre el error de la rudimentaria doctrina del Fondo de Salarios que confundió —como lo hizo Adam Smith— un flujo anual con un fondo.

ta cuestión es de Irving Fisher: «El stock se refiere a un *momento* en el tiempo, el flujo a un *intervalo* temporal»<sup>16</sup>.

Como todos los principios lacónicamente formulados, se ha difundido tan rápidamente que, en la práctica, todas las mentes se han sentido satisfechas sin mirar en las ideas subyacentes. Así pues, fue muy fácil para la moderna ola de formalismo enterrar la antinomia bajo una fórmula común que ahora se difunde con una facilidad todavía mayor. Es posible que la fórmula no pudiese restaurar un concepto tan fundamental como el de stock. Este continuó siendo concebido como entidad desprovista de cualidad —por así decirlo— que existe como quantum en un «lugar» definido y que tiene una medida cardinal en cualquier instante durante el intervalo temporal considerado. Sin embargo, el flujo llegó a ser definido simplemente como la diferencia entre dos momentos de un stock en dos momentos distintos de tiempo. La idea se materializa en la fórmula tautológica

$$(7) \quad \Delta S = S(t_1) - S(t_0),$$

donde  $S(t_0)$  y  $S(t_1)$  son las medidas del stock correlativo en los instantes  $t_0 < t_1$ . Sin duda alguna, este enfoque oculta la antinomia. La diferencia entre dos quanta de trigo, por ejemplo, es también un quantum de trigo, ya sea que los dos quanta se refieran al mismo almacén en dos instantes diferentes o a dos almacenes en el mismo instante. Debido a este lugar común, tenemos tendencia a cometer el error de confundir stock con flujo. De acuerdo con la fórmula (7), tanto una renta a lo largo de cualquier período como un saldo bancario se componen de dólares imposibles de distinguir entre sí. ¿Por qué tendríamos que tratar entonces a la renta y a la riqueza como dos esencias distintas?

Una respuesta —a la que recurrió el propio Fisher— es que lo que en último término se opone al stock no es  $\Delta S$  sino  $\Delta S/(t_1 - t_0)$ , es decir, la *tasa* de flujo<sup>17</sup>. Evidentemente, una tasa de flujo no es de la misma esencia que un stock, pero la relación entre esta diferencia y la antigua antinomia es exclusivamente superficial. Es decir, una tasa de flujo instantáneo se refiere también a un momento en el tiempo. Al conducir un vehículo, puedo leer en el salpicadero tanto la velocidad del coche como los kilómetros recorridos desde que salí de casa en un momento determinado, pero, si no sabemos qué es lo que significa realmente la velocidad, es posible que le diga al policía que me para por ir conduciendo a cien kilómetros por hora en el centro de la ciudad, «Agente, no es posible que sea así, pues no he recorri-

<sup>16</sup> Irving Fisher, «What Is Capital?», *Economic Journal*, VI (1896), p. 514. La advertencia aparece repetidamente en la mayor parte de las obras posteriores de Fisher hasta su *The Nature of Capital and Income* (Nueva York, 1919), cap. iv.

<sup>17</sup> Fisher, «What Is Capital?», pp. 514 y s.

do cien kilómetros desde que salí de casa». Ciertamente, puedo evitar cometer tal error si mi atención se ve atraída por el hecho de que  $\Delta S$  e  $\Delta S/\Delta t$  no tienen la misma dimensión. De acuerdo con esta línea de pensamiento, la única razón que se opone a confundir la tasa mensual de renta con un saldo mensual bancario es el principio general de que los conceptos de diferentes dimensiones se han de mantener separados en nuestras mentes y en nuestras operaciones. El resultado es que en el caso particular que se está discutiendo el papel del tiempo se convierte en accidental. La máxima de Fisher no vendría a significar nada más que otras innumerables reglas de la misma forma, como, por ejemplo, la regla de que «la altura está relacionada con un *punto* en el espacio, la pendiente con un *intervalo* de espacio». La respuesta mencionada al comienzo del párrafo no entiende en absoluto que la antinomia entre flujo y stock no implica únicamente la diferencia entre la dimensionalidad de la tasa de flujo y del stock.

Aun cuando muchos modelos económicos actuales utilizan la fórmula (7) de forma maquinal para pasar de coordenadas de stock a flujo y viceversa, no dan ocasión al lector a darse cuenta de la antinomia que intrigó a Fisher y a muchos otros cuidadosos analistas. En realidad, esta antinomia se halla implícita aunque inconfundiblemente negada por la argumentación de que el modelo de stock es el más completo de los dos, porque las coordenadas de flujo pueden deducirse por medio de la fórmula (7) a partir de datos de stock, pero los stocks pueden determinarse a partir de flujos sólo más allá de una constante arbitraria (o sólo si los stocks se conocen en un momento determinado). Debería preferirse, concluye la argumentación, el modelo de stock al otro<sup>18</sup>.

El consejo oculta la falacia, manifiesta en un modelo tras otro, de que el levantador de un censo debe salir exactamente con la misma lista de elementos que el oficial de aduanas que registra exclusivamente lo que cruza la frontera. En otras palabras, la lista de los elementos  $C_i$  debe ser idénticamente la misma en las representaciones de stocks y en las de flujo del mismo proceso<sup>19</sup>. Esta es la consecuencia natural de determinar la cuestión del

<sup>18</sup> Entre los autores que podría citar en apoyo de la opinión expresada en este párrafo se encuentran autoridades como John Hicks, por ejemplo. En su reciente *Capital and Growth* (Nueva York, 1965), p. 85, nos dice explícitamente que «No necesitamos distinguir entre stocks y flujos; porque stocks y flujos entran en la determinación del equilibrio exactamente en la misma forma». En este volumen, al igual que en el anterior *Value and Capital* (Oxford, 1939), Hicks adopta la idea expresada por la fórmula (7), al derivar los flujos de las coordenadas de stock a través de las que prefiere representar un proceso.

<sup>19</sup> Podría citarse aquí el caso del sistema dinámico de Leontief en el que las listas de entradas-salidas corrientes y de capital son idénticas. Véase W. Leontief *et al.*, *Studies in the Structure of the American Economy* (Nueva York, 1953), pp. 55-58. Ciertamente, en un modelo formal podría usarse la misma lista para las rúbricas de flujo y de stock y hacer cero algunas de las coordenadas en las aplicaciones concretas del modelo, pero es probable que tal procedimiento oculte a la vista un aspecto muy importante del proceso. Véase la Sección 9 posterior.

flujo por medio de la expresión (7), pues, si se acepta esa ecuación como la única definición de flujo, no podemos evitar la conclusión de que allí donde exista un flujo tiene que haber un stock, y a la inversa. Evidentemente, si un lado de una fórmula definitoria tiene un significado, también debe tenerlo el otro. Unos pocos contra-ejemplos sencillos bastarán para demostrar que entre las listas de los elementos de flujo y de stock del mismo proceso no existe ni siquiera una relación de inclusión: normalmente las listas se superponen. Un censo debe incluir el territorio de un país, sus carreteras, sus embalses, sus fábricas, etc., etc. (rúbricas que nunca se encuentran en una estadística de importación-exportación). Por otra parte, muchas viviendas privadas hacen uso de un flujo de electricidad; sin embargo, el que levanta un censo puede no encontrar en él un stock de electricidad. Pero incluso en el caso de que tomemos una rúbrica como «caucho en bruto» —que es una coordenada tanto de stock como de flujo de los Estados Unidos, donde es considerada como un proceso parcial—, nos encontraremos con que las coordenadas de stock y las de flujo no satisfacen generalmente la expresión (7).

El quid de la cuestión que se está sometiendo a discusión es que *un flujo no representa necesariamente un aumento o una reducción en un stock de la misma substancia*. El vidrio fundido que fluye a las máquinas laminadoras no reduce el stock de vidrio fundido en el horno. En el análisis final, hace disminuir los stocks de arena, carbón, etc., es decir, los stocks de otras substancias en la Naturaleza. El flujo de alimentos consumidos por la humanidad desde su origen no ha procedido de un stock existente en el momento de la Creación. Ahora bien, para aplicar una analogía que hiciese esta cuestión tan clara como el cristal, está el hecho de que el Tiempo fluye siempre, pero nunca existe como un stock.

La postura de que la fórmula (7) tiene perfectamente en cuenta la noción de flujo, debido a que todo flujo procede de un stock y va a parar a otro stock, puede hacerse remontar a la falacia epistemológica que he tratado de combatir en algunos de los capítulos anteriores. La falacia es que el Cambio se compone de locomoción y de nada más. Como resultado de ello, la complicada noción de flujo, que está íntimamente ligada al cambio cualitativo, queda reducida al movimiento de una rebanada de realidad a otra. Indudablemente, hay casos en los que la fórmula (7) expresa directamente la relación que existe entre *dos* stocks y *un* flujo. Aun así, para el abrumador número de los casos pertinentes, la verdadera conexión se da entre *un* stock y *un* flujo. A modo de sencilla ilustración, consideremos el flujo de vidrio fundido que se vierte desde el horno a las máquinas laminadoras. Podemos simplemente imaginar el stock de vidrio fundido que se hubiese acumulado durante cierto intervalo si no hubiese sido transformado casi instantáneamente en una lámina de cristal. O podemos imaginarnos el stock de trigo que se hubiese acumulado hasta ahora si, por ejem-

plo, todo el trigo producido desde 1900 no se hubiese consumido escalonadamente con cada cosecha.

La moraleja de estas ilustraciones es sencilla: *un flujo es un stock extendido a lo largo de un intervalo temporal*. El stock al que se refiere esta definición puede tener exclusivamente una existencia analítica —como en el caso de los últimos ejemplos— o una existencia real, en cuyo caso corresponde a  $\Delta S$  de la fórmula (7). Creo que la definición es bastante más incisiva que la máxima de Fisher.

El que un flujo proceda de un stock o vaya a parar a otro, o el que tenga el carácter de un acontecimiento, puede representarse analíticamente por una coordenada tal como  $E(t)$  de la relación (1) en la Sección 2 anterior, *definida a lo largo de un intervalo temporal apropiado*<sup>20</sup>. A menudo podemos sentirnos satisfechos con una descripción menos definida y decir simplemente que un flujo de diez toneladas de vidrio fundido *se produjo* durante cinco horas. En este caso, la representación analítica es el par  $(S, T)$ , donde  $S$  es un stock y  $T$  es un espacio de tiempo. La mención explícita del stock correspondiente y de la duración es indispensable, y, de hecho, esto se hace en toda tabla estadística de datos de producción, por ejemplo. Sucede únicamente que el componente temporal está separado de  $S$  e incluido en el título de la tabla, que puede decir «Producción *anual* de la industria del acero». Ahora bien, los datos en el cuerpo de la tabla son stocks, tal como se dijo antes. Decir *únicamente* que la tasa de flujo fue por término medio de dos toneladas por hora, es decir, sustituir el par  $(S, T)$  por una única coordenada  $S/T$ , no constituye una descripción completa del flujo, ni siquiera en la forma simplificada.

4. *Fondos y servicios*. La cuestión principal de la sección anterior —la de que un flujo no procede necesariamente de un stock real o va a parar a él— se encuentra relacionada con el sencillo hecho de que los productos son *creados*. Si los límites de un proceso que produce automóviles, por ejemplo, se encuentran apropiadamente trazados, no encontraremos ningún stock del que fluya el producto. En sentido contrario, los límites de un proceso pueden trazarse de tal modo que muchos flujos de entrada se *reduzcan a la nada* en el instante en que entran en el proceso; en la jerga económica, se consumen. Las entradas que caen dentro de esta categoría se caracterizan por un rasgo interesante. En efecto, aun cuando al hacer las cuentas finales vemos que para completar un proceso se requiere una cantidad determinada de tal entrada, esa cantidad no se necesita de una sola

<sup>20</sup> Evidentemente, la esencia de  $E(t)$  es en todos los casos la de un stock. En ocasiones,  $E(t)$  no puede determinarse más que a través de una medida instrumental de la tasa instantánea de flujo,  $e(t) = E(t)$ . En este caso, no debemos perder de vista el hecho de que un flujo se compone siempre de alguna sustancia en el sentido amplio del término, pues, de otra forma, podríamos encontrarnos hablando de un stock de voltaje, en caso de leer el instrumento erróneo.

vez sino solamente como flujo distribuido a lo largo del tiempo de cierta manera específica. Piénsese, por ejemplo, en la cantidad de energía solar o en la cantidad de lluvia necesarias para completar un proceso de cultivo de cereal. De igual modo, tampoco un pintor necesita comprar de una sola vez toda la pintura precisa para un trabajo; si no se hallasen presentes limitaciones materiales derivadas de unidades discontinuas, podríamos imaginarnosle adquiriendo un flujo continuo de pintura.

Lo que acabamos de decir acerca de la energía solar, la lluvia y la pintura no es aplicable a todas las entradas; estas otras entradas se caracterizan por dos rasgos correlacionados. En primer lugar, no se consumen en el proceso; en vez de ello, salen del proceso, aun cuando con algunas cicatrices. La escalera de mano de un pintor constituye una buena ilustración de ello, pero el ejemplo más convincente de esta categoría es la tierra ricardiana que sale exactamente en la misma cantidad y calidad. Muchas de las entradas de esta categoría existen solamente en algunas unidades físicas indivisibles y se hallan tipificadas por toda herramienta que dura más que el proceso en el que participa, así como por un obrero. Sin embargo, en todos estos casos, hablamos de tierra, de herramientas y de obreros como si estuvieran siendo *usados* en el proceso y no *consumidos* por el mismo; y estamos en lo cierto al hacer esta distinción.

La cuestión no es nueva. La manera como ha sido frecuentemente presentada es que la distinción surge del hecho de que algunas cosas pueden ser consumidas inmediatamente, mientras que otras son duraderas porque su consumo exige duración<sup>21</sup>. Tal como se esperaba, las argumentaciones positivistas han atacado esta postura sobre la base de que ningún acontecimiento carece de duración y de que no puede trazarse una línea clara que separe los factores de producción duraderos de los no duraderos<sup>22</sup>. Sin embargo, lo defectuoso de la postura reside en que reclama –tal como puede verse en la bibliografía– que cualquier objeto puede ser clasificado como duradero o no duradero con independencia del proceso en el constituye una entrada. El defecto es similar al de la dicotomía general de las mercancías en bienes de consumo y de producción. El análisis puede hacer abstracción de una penumbra dialéctica, pero no de si la penumbra tiene lugar para cubrir casi la totalidad del espectro del discurso.

Las entradas pueden clasificarse en no duraderas y duraderas de una manera que satisfaga los requisitos del análisis si adoptamos un criterio relativo. Con respecto a un proceso *dado*, una entrada únicamente se usa (pero no se consume) si puede ponerse en relación con un elemento de sa-

<sup>21</sup> Por ejemplo, Léon Walras, *Elements of Pure Economics*, p. 212.

<sup>22</sup> Una y otra vez, sale a la superficie la empalagosa inconsistencia del dogma positivista. Hay que recordar que en otras ocasiones el mismo dogma no encuentra errónea la idea de un acontecimiento en un instante de tiempo. Véase Capítulo III, Secciones 4 y 5, anterior.

lida por razón de identidad de sustancia –como la semilla de trébol en el cultivo de semillas de trébol– o de identidad de objeto –como la escalera de mano del pintor. Si no es ese el caso, la entrada se consume en el proceso. La clasificación es, evidentemente, dialéctica, pues en la parafernalia positivista no hallamos herramienta alguna para reconocer la identidad. Unas cuantas ilustraciones extremas pueden ser adecuadas para obtener una aclaración adicional. Un cohete espacial se clasificaría actualmente como entrada consumible; ahora bien, en la tecnología del mañana podría convertirse en una entrada duradera usada sucesivamente en varios vuelos espaciales. De igual modo, podríamos concebir procesos sin otra entrada no duradera que no fuese el mero espacio y cierta forma bruta de energía-materia (la evolución del universo desde la Gran Explosión hasta el momento actual, por ejemplo). Una expedición totalmente trágica al Sahara es otro ejemplo. Por último, hay que resaltar que el proceso económico de la humanidad desde su inicio hasta hoy no tiene ninguna entrada duradera de esencia humana o técnica y solamente pocas de otro carácter. En el caso de tales procesos, la anterior clasificación de entradas en consumibles y duraderas, a pesar de seguir siendo aplicable, podría no ser pertinente, ya que esos procesos plantean ciertos problemas que han de tratarse de manera distinta. Así pues, vamos a hacer abstracción de ellos por el momento y nos vamos a concentrar en el abrumador número de procesos para los que la distinción es en extremo clarificadora.

En lo que se refiere a una entrada duradera –una máquina, por ejemplo–, los economistas dicen no sólo que puede *usarse* en un proceso productivo sino también que puede *desacumularse*. Hablan también de *acumulación* de capital cuando se construye una nueva fábrica. Ahora bien, habría que hacer notar que en esas expresiones los significados de «acumulación» y «desacumulación» difieren profundamente de cuando se dice que un flujo se acumula en un stock o que un stock se desacumula en un flujo. En los últimos casos, «acumulación» y «desacumulación» representan ciertas operaciones mecánicas relacionadas con la locomoción. Como la diferencia así tamizada es de primordial importancia analítica, el uso ambiguo ha servido de caldo de cultivo de controversia inútil y de fuente de graves errores, uno de los cuales va a ser objeto ahora de nuestra atención.

No cabe duda alguna de que la desacumulación de una máquina no es una extensión mecánica temporal de la máquina, tal como sucede en el caso del stock de provisiones de un explorador, por ejemplo. Cuando «desacumulamos» una máquina, no la descomponemos en piezas y usamos éstas una tras otra como entradas hasta que se hayan consumido todas las partes. En lugar de ello, la máquina se usa una y otra vez en una secuencia temporal de tareas hasta que se convierte en un desecho y ha de ser tirada. Una máquina es un stock material, sin duda alguna, pero no en el sentido que tiene la palabra en «un stock de carbón». Si insistimos en conservar la

palabra, podemos decir que una máquina es un stock de servicios (usos), pero una manera más refinada (y, por consiguiente, más segura) de describir una máquina consiste en decir que es un *fondo de servicios*.

Habría que resaltar cuidadosamente la diferencia existente entre el concepto de stock y el de fondo, no fuese que los duros hechos de la vida económica se distorsionasen a costa de todos. Si el recuento muestra que una caja contiene veinte caramelos, podemos hacer felices a veinte chicos ahora o mañana, o a algunos hoy y a otros mañana, etc. Pero si un ingeniero nos dice que la habitación de un hotel durará probablemente mil días más, no podemos hacer felices *ahora* a mil turistas sin habitación; únicamente podemos hacer feliz a uno hoy, a un segundo mañana, y así sucesivamente, hasta que la habitación se derrumbe. Tomemos también el caso de una bombilla eléctrica que dura quinientas horas; no podemos utilizarla *ahora* para alumbrar quinientas habitaciones durante una hora. El uso de un fondo (es decir, su «desacumulación») exige una duración que, además, está determinada dentro de límites muy estrechos por la estructura física del fondo. Podemos variarla sólo un poco, a lo más. Si se desea «desacumular» un par de zapatos, no hay más que un camino: andar hasta que se desgasten por completo<sup>23</sup>. Frente a esto, cabe la posibilidad de que la desacumulación de un stock pudiese tener lugar en un solo instante, si así lo deseamos. Y, para poner los puntos sobre todas las *ies* significativas, observemos que la «acumulación» de un fondo difiere también de la acumulación de un stock. Una máquina no se crea por la acumulación de los servicios que proporciona como fondo: no se obtiene almacenando esos servicios uno tras otro de la misma manera que se almacenan en el sótano las provisiones para el invierno. Los servicios no pueden acumularse como los dólares en una cuenta de ahorro o como los sellos en una colección. Solamente pueden usarse o desperdiciarse.

No es preciso decir nada más para demostrar que el uso del término «flujo» en relación con los servicios de un fondo es inadecuado si se define el «flujo» como stock extendido a lo largo del tiempo. De hecho, la expresión generalmente utilizada de «el flujo de servicios» tiende a hacer borrosas —a veces, así ha sido— las importantes diferencias existentes entre dos mecanismos, aquellos a cuyo través se determinan los precios de los servicios y los precios de los objetos materiales, respectivamente. La trampa inevitable de este ambiguo uso de «flujo» es que, como resultado de que

<sup>23</sup> Evidentemente, se pueden vender los zapatos, pero tal cosa significaría la desacumulación de los zapatos como stock, no su desacumulación como fondo de servicios. Además, vender los zapatos implica un comprador que presumiblemente está interesado en usarlos por sí mismo. El hecho elemental de que los fondos no pueden desacumularse a no ser por el uso a lo largo de una duración claramente determinada explica no sólo los males económicos de la recesión sino también las limitaciones estructurales de muchas economías latinoamericanas. Véase mi artículo «O Estrangulamento: Inflação Estrutural e o Crescimento Econômico», *Revista Brasileira de Economia*, XXII (marzo de 1968), pp. 5-14.

un flujo puede almacenarse, encontramos perfectamente normal razonar que los servicios están «incorporados» al producto<sup>24</sup>. Únicamente los materiales que fluyen a un proceso productivo pueden incorporarse al producto. Los servicios de la aguja de un sastre, por ejemplo, posiblemente no puedan incorporarse a un abrigo y, si se encuentra la aguja propiamente dicha incorporada al abrigo, se trata con seguridad de un lamentable accidente. El hecho de que en determinadas circunstancias el valor de los servicios pasa al valor del producto ha de explicarse de manera distinta a la de considerar simplemente una máquina como stock de servicios que se traspasan, uno tras otro, al producto.

La diferencia entre flujo y servicio es tan fundamental que incluso separa las dimensionalidades de los dos conceptos. Por esta sola razón, los físicos no habrían tolerado mucho tiempo la confusión. La cuantía de un flujo se expresa en unidades apropiadas a las sustancias (en el sentido amplio de la palabra), digamos libras, cuartos de galón, pies, etc. Por otra parte, la tasa de flujo tiene una dimensionalidad mixta, (sustancia)/(tiempo). La situación es totalmente la contraria en el caso de los servicios; en efecto, la cuantía de los servicios tiene una dimensionalidad mixta en la que el tiempo entra como factor, (sustancia) x (tiempo). Si una fábrica utiliza un centenar de obreros en una jornada laboral (ocho horas), el total de servicios empleado es de ochocientos *hombres x hora*. Si, por analogía con la tasa de flujo, quisiéramos determinar la tasa de servicio para la misma situación, utilizando el álgebra sencilla la respuesta es que esta tasa es de un centenar de *hombres*, en un período. La tasa de servicios es simplemente el tamaño del fondo que proporciona el servicio y, consecuentemente, se expresa en unidades elementales en las que no interviene el factor tiempo. Una tasa con respecto al tiempo que es independiente del tiempo es, sin duda alguna, una curiosidad. Resultaba así aún más necesario resaltar que existe y demostrar la razón por la que existe.

5. *Un modelo de flujo-fondo*. Tal como lo manifiesta el nivel numérico, la disposición actual de la economía consiste en saltar directamente a tratar de resolver únicamente los «grandes» problemas, de crecimiento o de desarrollo. Pero, especialmente entre la clase de tropa, no todos los economistas que escriben sobre desarrollo o que se dedican a la planificación parecen prestar atención a una lección objetiva elemental de la mecánica, la de que no puede hablarse de movimiento acelerado como no sea en el sentido de pasar de un movimiento *uniforme* o otro del mismo tipo; y ello, porque, al igual que en el caso del movimiento acelerado, el crecimiento no puede concebirse más que como paso de un estado estacionario a otro. El estudio del crecimiento debe comenzar con el estudio del estado estaciona-

<sup>24</sup> Por ejemplo, A. C. Pigou, *The Economics of Stationary States* (Londres, 1935), pp. 20 y 117.



rio y ha de desarrollarse a partir de esta base si se quiere que sea una empresa científica bien programada<sup>25</sup>. La opinión —expresada bastante a menudo, si bien es cierto que sotto voce antes que de forma solemne— de que el concepto de estado estacionario constituye únicamente un engorro de libro de texto es, por consiguiente, inútil. En realidad, es cierto lo contrario: generalmente, los autores no prestan suficiente atención a la clarificación del concepto<sup>26</sup>. Un complemento del mismo punto de vista equivocado es el de que el concepto de estado estacionario es, además, objetivamente irrelevante, lo que refleja tanto un conocimiento superficial de los hechos como una mala interpretación de lo que significa en la ciencia «objetivamente relevante». Hasta un ingeniero industrial en ejercicio, que se interesase solamente por los hechos tal como son, no diría que el movimiento uniforme es objetivamente irrelevante para él. Y, así como hay movimientos reales que son *casi* uniformes y, por lo tanto, pueden tratarse como si lo fuesen, igualmente en la historia de la humanidad encontramos caso tras caso de estados económicos casi estacionarios. Desde los albores de la evolución económica del hombre hasta hoy en día, únicamente el actual paréntesis constituye una excepción a la regla de que la sociedad humana ha avanzado a una velocidad tan lenta que el cambio se hace visible sólo desde la perspectiva de siglos o, incluso, de milenios. A un nivel inferior, ¿qué es una fábrica que funciona normalmente si no un estado cuasi estacionario o una empresa en marcha continua, si se prefiere?

La cualidad de ser estacionario puede definirse de varias maneras equivalentes. La dirección desde la que Karl Marx enfocó el problema parece adaptarse mejor a la finalidad de este capítulo<sup>27</sup>. Un sistema es estacionario si todo lo que hace puede repetirse idénticamente una y otra vez. Por consiguiente, el «estado estacionario» y la «reproducción simple» de Marx son términos perfectamente sinónimos. Ahora bien, para que un proceso parcial sea capaz de repetirse después de su conclusión, es obligatorio que los factores de fondo implicados en él no salgan degradados. De acuerdo con lo que ya hemos visto en este ensayo, esta condición lleva a un punto muerto.

Sin embargo, el punto muerto puede resolverse y la solución procede directamente de la literatura económica de más antigua solera. Se trata de la idea del equipo de capital *mantenido como fondo constante por el mismo proceso en el que participa*<sup>28</sup>. Interpretada estrictamente, esta idea es una fic-

<sup>25</sup> En lo que respecta a un magnífico ejemplo de este procedimiento, se invita al lector a ver en la Parte III de Leontief, *Structure of the American Economy*.

<sup>26</sup> Una notable excepción que constituye una categoría por sí misma es el magistral análisis de Pigou en su *Economics of Stationary States*, actualmente casi relegado al olvido.

<sup>27</sup> Véase Marx, *Capital*, I, pp. 619 y s.

<sup>28</sup> La razón aducida por Marx (*Capital*, I, pp. 221 y s.) para su elección del término «capital constante» para indicar los medios materiales de producción es que el valor de esos medios pasa inalterado

ción. Un proceso en el que algo permaneciese indefinidamente fuera de la influencia de la Ley de la Entropía es realmente absurdo, pero los méritos de la ficción están fuera de toda duda. Al igual que la noción de movimiento uniforme (es decir, un movimiento sin fricción entrópica), la de un proceso que mantiene su equipo constante no está tan alejada de la realidad como podría parecer a primera vista. No tenemos más que mirar a nuestro alrededor en cualquier fábrica u hogar para convencernos de que, normalmente, los esfuerzos se dirigen continuamente a mantener en buenas condiciones de funcionamiento todos los elementos del equipo. En efecto, no podemos dejar de hacer constar que «mantener constante el capital» no implica que un elemento del capital sea un monolito indestructible; lo único que significa es que la eficiencia *específica* de cada elemento de capital se mantiene constante. No importa que una máquina parezca vieja, esté arañada, abollada, pasada de moda, etc., mientras sea tan eficiente como cuando era nueva. En lugares que no pueden alcanzar todavía los aviones a reacción, vemos cientos de aviones DC-3, algunos de ellos con más de veinte años, haciendo ahora su trabajo tan bien como cuando eran nuevos y volaban entre las metrópolis del mundo. Se plantea, evidentemente, una dificultad en la idea de que el capital se mantiene constante, pero tal dificultad pertenece a consideraciones analíticas, no a las objetivas.

Para mantener una pala en buen estado de funcionamiento, un proceso de cultivo agrícola necesita, entre otras cosas, una lima. Al ser ahora un elemento necesario del proceso, la lima debe ser mantenida también en buen estado y, por tanto, exige a su vez otra herramienta (por ejemplo, un cepillo de alambre); esta herramienta exige otra, y así sucesivamente. Nos vemos arrastrados así a una regresión que podría no tener fin hasta que incluyamos en el proceso en cuestión una parte muy grande de la totalidad del sector productivo de la economía. Y no es eso todo. Dado que los obreros son fondos, deben ser mantenidos también en «buenas condiciones de funcionamiento». Así pues, el proceso inicial ha de ampliarse hasta que se incluya en él tanto el proceso doméstico de casi todos los obreros como prácticamente toda línea de producción en el universo. Esta conclusión es un ejemplo deslumbrante de las maneras en que la realidad sin costuras se resiste a ser dividida en partes aritmomórficas. Si insistimos en relacionar un proceso con alguna entidad duradera, alguna forma de Ser, nos vemos obligados a volver al Todo. Un punto de vista tan amplio puede tener sus ventajas en otros aspectos —como veremos en su debido momento—, pero nos impide ocuparnos de microprocesos como, por ejemplo, una planta industrial o incluso toda una industria. Se precisa algún tipo de

al valor del producto. Era natural en él que resaltase de esa manera el principio fundamental de la teoría del valor-trabajo, pero su análisis del diagrama de la reproducción simple (*ibid.*, II, pp. 459 y s.) sugiere con claridad que tenía en mente básicamente la idea mencionada en el texto.



compromiso para salvar la dificultad; consiste en admitir que el mantenimiento puede conseguirse en parte también a través de servicios aportados desde fuera y pasando por alto el desgaste diario del obrero (que, de hecho, siempre se restablece fuera, en su hogar). Los dividendos de este compromiso se pagan en forma de una imagen más clara de las implicaciones prácticas de un proceso productivo.

Los factores de producción pueden dividirse ahora en dos categorías: los elementos fondo, que representan los *agentes* del proceso, y los elementos flujo, a los que los agentes *utilizan* o sobre los que *actúan*. Cada elemento de flujo continúa estando representado por una única coordenada  $E_i(t)$ , tal como se definió en la Sección 2 anterior, pero, a la vista del hecho de que un elemento fondo entra al proceso y lo abandona con su eficiencia intacta, su representación analítica puede simplificarse en gran medida. En concreto, podemos representar la participación de un fondo  $C_\alpha$  por una por una sola función  $S_\alpha(t)$  que muestra la cantidad de servicios de  $C_\alpha$  hasta el momento  $t$ ,  $0 \leq t \leq T$ <sup>29</sup>. Seguimos necesitando recurrir a un punto en un espacio abstracto para la representación analítica del proceso, pero esta representación es mucho más sencilla que la (5) de la Sección 2:

$$(8) \quad [E_i(t); S_\alpha(t)].$$

Resultados formales como el que se acaba de alcanzar tienden a tamizar resultados y puntos que, sin embargo, han de ser tenidos continuamente en cuenta para no convertirnos en hacedores de símbolos. Lo más importante de todo es recordar que la cuestión de si un factor se clasifica como elemento de fondo o de flujo en la representación analítica de un proceso real depende de la duración de tal proceso. Así pues, si el proceso en el que se utiliza un automóvil es relativamente corto, puede mantenerse la eficiencia del automóvil reemplazando de vez en cuando las bujías o las cubiertas, por ejemplo. Si es más largo, tal vez tengamos que reemplazar el motor, el chasis o la carrocería. Los elementos de flujo no serán los mismos en los dos casos. Es posible que un automóvil pueda mantenerse perennemente a través de flujos de todos sus elementos constitutivos. A largo plazo, el automóvil tendrá solamente el nombre en común con el inicial, pero este hecho no tiene por qué molestar al analista: el proceso necesita los ser-

<sup>29</sup> Alternativamente,  $C_\alpha$  puede representarse por una función  $U_\alpha(t)$  que muestre qué cantidad del fondo está participando en el proceso en  $t$ , con la convención de que un fondo está *dentro* en el instante en que entra en el proceso y *fuera* en el instante en que lo abandona. Esta convención es el aspecto simétrico del hecho de que una entrada en un proceso parcial es una salida del entorno, y viceversa. El gráfico de  $U_\alpha(t)$  parece la línea del horizonte de una ciudad y tiene la ventaja de enfocar los períodos cuando  $C_\alpha$  es ocioso, es decir, cuando no lo necesita el proceso. Véase la Fig. 1 en mi trabajo «Process in Farming vs. Process in Manufacturing» (citado en la nota 8 anterior).

vicios de un automóvil de un tipo definido, no los de un automóvil específico identificado por un número de serie. En realidad, el coste es una razón por la que los automóviles y otros elementos del equipamiento no se mantienen perennemente sino que se desechan de vez en cuando. Ahora bien, incluso aunque el coste no constituyese un impedimento, la obsolescencia daría por último aproximadamente el mismo resultado. Por consiguiente, la novedad es la causa principal por la que a largo plazo se desechan y se reemplazan un automóvil, una máquina, un puente o una autopista. No cabe duda de que a muy, muy largo plazo la obra de la Ley de la Entropía es la que impide que algo dure eternamente. No deberían ignorarse, por tanto, las limitaciones del modelo de flujo-fondo como representación analítica de procesos reales, y tampoco deberían menospreciarse los méritos del modelo para arrojar un raudal del luz sobre muchas cuestiones analíticas.

Otro punto importante a tener en cuenta es que la división de los factores entre elementos de flujo y de fondo no significa que la misma partida no pueda aparecer como flujo a la vez que como fondo. Recordemos una ilustración de la Sección 2, el proceso en el que los martillos se utilizan para martillar martillos. Debería ser patente que en este caso la partida «martillo» es un flujo de salida —y que como tal debe representarse en (8) por un  $E_i(t)$ — y también un fondo —que debe representarse por un  $S_\alpha(t)$ . Sin embargo, a menudo se ha pasado por alto este punto y no se trata de algo que no tenga importancia. Un ejemplo lo proporcionan las dificultades analíticas en las que se vio metido Marx por no distinguir en su diagrama de la reproducción simple entre los martillos-fondo y los martillos-flujo. El problema tiene muchas facetas instructivas y volveré de nuevo a ocuparme de él (Sección 14 posterior).

6. *Nuevas reflexiones sobre el modelo de flujo-fondo.* La expresión general (8) puede hacerse más eficaz haciendo entrar en ella las amplias categorías dentro de las que pueden clasificarse los elementos de flujo y de fondo de acuerdo con su esencia específica o papel en el proceso. Como fondos podemos tomar nuestro ejemplo de la división clásica de los factores de producción y distinguir entre ellos la tierra ricardiana ( $L$ ), el capital propiamente dicho ( $K$ ) y la fuerza de trabajo ( $H$ ). Entre los elementos de flujo, podemos distinguir en primer lugar las entradas de los denominados recursos naturales ( $R$ ) —la energía solar, la lluvia, los productos químicos «naturales» en el aire y en la tierra, el carbón en los yacimientos, etc.—. En segundo lugar, están los flujos corrientes de entrada ( $I$ ) de los materiales que son transformados normalmente en productos y que proceden de otros procesos productivos —la madera en una fábrica de muebles, el carbón de coque en una fundición, etc.—. En tercer lugar, se encuentran los flujos de entradas necesarios para mantener intacto el equipo de capital, ( $M$ ) —el aceite lubricante, la pintura, las piezas de repuesto, etc.—. En cuarto lugar,

se tiene el flujo de salida de productos ( $Q$ ). Y, por último, está el flujo de salidas de desechos ( $W$ ). De acuerdo con las correspondientes notaciones, la expresión (8) puede sustituirse por

$$(9) \quad \begin{bmatrix} T \\ 0 \end{bmatrix} R(t), \begin{bmatrix} T \\ 0 \end{bmatrix} I(t), \begin{bmatrix} T \\ 0 \end{bmatrix} M(t), \begin{bmatrix} T \\ 0 \end{bmatrix} Q(t), \begin{bmatrix} T \\ 0 \end{bmatrix} W(t); \begin{bmatrix} T \\ 0 \end{bmatrix} L(t), \begin{bmatrix} T \\ 0 \end{bmatrix} K(t), \begin{bmatrix} T \\ 0 \end{bmatrix} H(t).$$

Los factores naturales de producción han ofrecido siempre una materia de desacuerdo para los economistas. La razón por la que mi clasificación difiere de la de la Escuela Clásica, que incluye todos esos factores bajo la expresión de «tierra», debería ser evidente ahora. Se podría objetar, no obstante, que, a la vista de que he asociado el concepto de fondo con el de agente, es incoherente colocar la tierra ricardiana —un elemento inerte— en la categoría de fondo. Sin embargo, estoy dispuesto a asumir que la tierra ricardiana es un agente en el verdadero sentido de la expresión. Del mismo modo que una red captura peces aun en el caso de que se la deje por sí sola en el mar, la tierra ricardiana recoge lluvia y, sobre todo, radiación solar; además, es la única red que puede hacerlo. Si nuestro planeta tuviese un radio doble del que tiene, podríamos captar el cuádruple de esta energía sumamente vital para la existencia del hombre. En general, la escasez de tierra es una consecuencia de ese papel; el de proporcionar mero espacio es secundario. Cabe imaginar que podríamos conseguir más espacio de tierra construyendo unos acres sobre otros, pero únicamente los que quedasen encima de todos serían acres verdes.

Podría también considerarse la objeción de que la inclusión de la tierra ricardiana y la energía solar entre los factores de producción constituye una doble contabilización. El hecho de que la lluvia y la energía solar fluyen por sí solas y, por consiguiente, son «dones gratuitos de la Naturaleza» constituye un leitmotiv habitual en las principales doctrinas del valor económico. Esto no es motivo, sin embargo, para omitir los factores naturales de nuestro informe científico de un proceso. La cuestión de lo que tiene y de lo que no tiene valor no debe prejuizarse —como lo ha sido por regla general— por medio de una representación recortada de un proceso en términos *reales*<sup>30</sup>. Una deslumbrante ilustración del peligro que implica simplificar esta representación la proporciona de nuevo Marx. Es de Marx, creo, de quien hemos heredado la herejía de que, si el flujo de manteni-

<sup>30</sup> Entre los autores de los principales modelos de producción, Koopmans («Analysis of Production», pp. 37-39) es posiblemente la única excepción en la medida en que incluye el flujo de recursos de la Naturaleza y el flujo de servicios de la tierra entre las coordenadas de un proceso productivo. Al ignorar todos los factores de la Naturaleza, la tendencia general sigue el modelo de los sistemas estático y dinámico de entradas-salidas de Leontief. Esto es tanto más extraño cuanto que esos sistemas están ideados como instrumentos de planificación *material* de la producción antes que como fundamentos abstractos de un análisis del valor.

miento de un puente, por ejemplo, está incluido como factor en la representación de un proceso que utilice el puente, entonces la inclusión del puente propiamente dicho constituye una doble contabilización que sirve al interés de los explotadores capitalistas. Tan ansioso se mostró Marx de evitar la más ligera sugerencia de la idea de que los servicios del capital propiamente dicho podían contribuir al valor del producto algo más que al valor del flujo de mantenimiento, que evitó concienzudamente toda referencia a servicios incluso en el caso del peón. En vez de eso, empleó expresiones tan veladas como la del trabajo realizado por una máquina o la actividad vital del obrero<sup>31</sup>.

A la luz de nuestro modelo de flujo-fondo, la hazaña de Marx puede verse en detalle y ser igualmente admirada. Está fuera de duda que Marx comenzó viendo al obrero como un fondo<sup>32</sup>. La fuerza de trabajo —uno de los más útiles términos introducidos por Marx— significa «el conjunto de las facultades mentales y físicas existentes en un ser humano que *ejercita* siempre que produce un valor de uso de cualquier tipo»<sup>33</sup>. De manera sencillamente incontrovertible, la misma idea se expresa por Engels: «La fuerza de trabajo existe en forma de un obrero vivo que *requiere* una cantidad definida de medios de subsistencia para su existencia y para el mantenimiento de su familia»<sup>34</sup>. Deberíamos observar que Marx no dijo en la mencionada frase que el obrero *consume* sus facultades en la producción; ni tampoco dijo Engels que los servicios de la fuerza de trabajo son, en cierto sentido preciso, *equivalentes* al flujo de mantenimiento requerido por el obrero. Sin embargo, Marx, al llegar al punto central de su argumentación, introduce repentinamente la equivalencia al reducir la participación del obrero en el proceso productivo a una «cantidad definida de músculos, nervios, cerebro, etc. humanos (que) se desgasta» durante el trabajo<sup>35</sup>. Con esta equivalencia, Marx ocultó simplemente el hecho evidente de que el obrero participa en el proceso productivo con todo su stock de músculos, nervios, cerebro, etc. La Naturaleza es tal que ningún instructor puede cumplir con su obligación enviando a clase solamente aquella parte de su energía nerviosa o muscular que consume habitualmente durante una conferencia. Y la razón de la imposibilidad es elemental. Para enseñar, un ins-

<sup>31</sup> Por ejemplo, Marx, *Capital*, I, p. 589, y su «Wage, Labor and Capital» en K. Marx y F. Engels, *Selected Works* (2 volúmenes, Moscú, 1958), I, p. 82. En *A Contribution to the Critique of Political Economy* (Chicago, 1904), p. 34, Marx utilizó el término «servicio» afirmando que la cuestión en el caso del valor de cambio «no es el del servicio que presta sino el del servicio que se ha prestado en su producción», sólo para hacer seguir esta observación por una expresión desdeñosa para J. B. Say y F. Bastiat. Evidentemente, la observación le delata.

<sup>32</sup> Véase Marx, *Capital*, I, pp. 189 y s. y, especialmente, 622.

<sup>33</sup> *Ibid.*, p. 186. Las cursivas son mías.

<sup>34</sup> Engels, «Marx's Capital», en *Selected Works*, I, p. 464. Las cursivas son mías. Véase también Marx, *Capital*, I, p. 189.

<sup>35</sup> Marx, *Capital*, I, p. 190.

tractor ha de estar presente en la clase con toda su fuerza de trabajo, es decir, con el conjunto de todas sus «facultades mentales y físicas». Un servicio no debe confundirse con una desacumulación parcial del stock de energía de una persona, ni siquiera aunque ésta insista en considerar únicamente los factores materiales de un proceso económico. Si fuese cierto que se puede cruzar un río en el flujo de mantenimiento de un puente o conducir un flujo de mantenimiento de un automóvil en el flujo de mantenimiento de una autopista, no habría prácticamente ningún problema financiero en saturar el mundo con todas las instalaciones posibles para cruzar ríos y para la automoción. El desarrollo económico propiamente dicho podría llevarse a efecto en cualquier lugar casi de forma instantánea. Estas son las implicaciones perfectamente ocultas de la doctrina de Marx en las que el principal agente del proceso económico —el ser humano— es degradado a un mero stock de energía con el único fin de que a los medios materiales de producción se les pueda negar también la calidad de agente.

7. *La función de producción.* A lo largo de la discusión anterior acerca de cómo puede representarse un proceso analíticamente, debería haber ido germinando una pregunta. Se trata de lo siguiente: ¿por qué un proceso productivo se representa en la economía neoclásica por un vector ordinario (en el que cada coordenada es un número) si, como he afirmado, cada coordenada en la representación analítica de un proceso es una función del tiempo? Las observaciones con las que se inició este capítulo contienen la única explicación de la discrepancia: los economistas, más que otros científicos, han tratado el concepto de proceso de una manera displicente. El tono lo dio P. H. Wicksteed cuando trató de mejorar el tratamiento walrasiano de la producción introduciendo el concepto general de función de producción: «*Al ser el producto una función de los factores de producción, tenemos  $P = f(a, b, c, \dots)$* »<sup>36</sup>. Innumerables otros tras él han dado y siguen dando el mismo paso rápido desde «función», entendida en su sentido más amplio, a la «función punto» de las matemáticas. Además, la presentación de Wicksteed nos deja completamente a oscuras sobre lo que significa proceso y sobre por qué un proceso está representado por un vector ordinario ( $P, a, b, c, \dots$ ). La situación empeoró incluso después de que los insípidos términos de entrada y salida se difundiesen por la literatura económica. En el mejor de los casos, las obras modernas comparan la descripción de un proceso con la receta de un libro de cocina, lo que en sí mismo es un buen punto de partida, pero la continuación es más bien una regresión. De acuerdo con su libro de cocina —leemos—, un productor de

<sup>36</sup> Philip H. Wicksteed, *The Co-ordination of the Laws of Distribution* (Londres, 1894), p. 4. Reimpreso como Núm. 12 de los Scarce Tracts in Economic and Political Science.

hierro sabe que si «mezcla tal cantidad de mineral, tal cantidad de cal, tal cantidad de carbón de coque y tal cantidad de calor durante tantas horas, (obtendrá así) tanto hierro»<sup>37</sup>. A lo que nos invitan de este modo es a leer únicamente la lista de ingredientes, que en los libros de cocina suele ir impresa encima de la receta propiamente dicha, y a ignorar el resto. Evidentemente, al quedar reducida la receta a «tanto de esto» y «tanto de aquello», la descripción del proceso queda igualmente reducida a una lista de cantidades.

Una vez que se ha llegado a este resultado, aun cuando sea subrepticamente, el concepto de función de producción no se enfrenta a dificultad alguna. Tal como lo ve Samuelson<sup>38</sup>, la función de producción es un catálogo de todas las recetas encontradas en el libro de cocina del estado de las artes predominante para obtener un producto *determinado* a partir de factores *determinados*. Y, como cada receta nos dice ahora únicamente que podemos obtener la cantidad  $z$  de producto usando las cantidades  $x, y, \dots$  de éste y aquel factor, el propio catálogo se reduce a una función punto.

$$(10) \quad z = f(x, y, \dots).$$

Citando de nuevo a Boulding, «una función básica de transformación de una empresa es su *función de producción*, que muestra qué cantidades de entradas (factores) pueden transformarse en qué cantidades de salidas (producto)»<sup>39</sup>. En esta breve frase se encuentra inmersa casi toda noción inductora a error que rodea el concepto de proceso en la literatura económica.

Sin embargo, la idea de Boulding de que la descripción de un proceso es una receta es, como ya he dicho, una idea muy afortunada. Tomémosla nuevamente como punto de partida. En primer lugar, deberíamos clarificar nuestros pensamientos en un punto. Se puede hablar vagamente de una receta para hacer mesas, por ejemplo, pero existen muchísimas de tales recetas. Las mesas se hacen en los talleres donde fabrican muebles; también se hacen en pequeña o gran escala en plantas industriales. A veces, se hacen de madera previamente preparada y de paneles de madera, mientras que otras veces se hacen de madera en bruto y otras de árboles sin desbastar. Cualquiera que sea el caso, propongo considerar la receta que describe el proceso parcial en virtud del cual una mesa considerada en sí misma es producida en cada sistema específico de producción<sup>40</sup>. Me voy a referir a

<sup>37</sup> Kenneth E. Boulding, *Economic Analysis* (3ª edición, Nueva York, 1955), pp. 585 y s.

<sup>38</sup> Samuelson, *Foundations*, p. 57.

<sup>39</sup> Boulding, *Economic Analysis*, p. 585.

<sup>40</sup> En el caso de productos tales como «gasolina» o «acero», el proceso elemental puede estar asociado a una molécula o, mejor aún, a un «lote» apropiadamente elegido para satisfacer las condiciones concretas en cada caso. Incluso en el caso del pan, podemos asociar el proceso elemental a un lote de barras, estando determinado el número de barras por la capacidad del horno, por ejemplo.

tal proceso parcial como *proceso elemental*, sobre la base de que todo sistema de producción, cualquiera que sea su tipo, es un sistema de procesos elementales. En el taller de un fabricante de muebles, el proceso elemental por el que se produce un mueble se desarrolla nítidamente ante nuestros ojos. Pero, incluso en un sistema más complejo, puede aislarse si se siguen las reglas esbozadas anteriormente para el trazado de los límites para efectuar el registro de las coordenadas analíticas de un proceso parcial. La cuestión es que el concepto de proceso elemental se encuentra perfectamente definido en todo sistema de producción. De hecho, no debería ser difícil reconstruirlo mediante un atento examen de todas las órdenes emitidas por el director de producción.

No es preciso añadir más ahora a lo que se ha dicho en varias secciones anteriores para ver que precisamente el proceso descrito por una receta de cocina no puede representarse completamente por un vector ordinario. Únicamente una expresión como la (9) puede representarlo por completo. Así pues, un catálogo de todas las recetas *posibles y no derrochadoras* consiste en un conjunto de puntos en un espacio abstracto, como opuesto al espacio euclidiano. El conjunto puede considerarse como una variedad dentro del espacio abstracto y, por consiguiente, representado por una relación de la forma

$$(11) \quad Q_0^T(t) = \mathcal{F} \left[ R_0^T(t), I_0^T(t), M_0^T(t), W_0^T(t); L_0^T(t), K_0^T(t), H_0^T(t) \right],$$

que en jerga matemática se denomina un *funcional*<sup>41</sup>. Esta es una relación entre *un conjunto de funciones y una función*. Por consiguiente, la expresión (11) es un eco lejano de la función de producción neoclásica (10), que es una función punto, es decir, una relación entre *un conjunto de números y un número*. Sin embargo, existe una conexión entre la expresión (11) y la (10). Ponerla en claro y hacerla explícita es nuestra próxima tarea.

8. *La economía de la producción*. Todos los procesos elementales tienen en común una faceta importante. En relación con cualquier proceso elemental dado, muchos de los factores de fondo que intervienen en él deben permanecer inactivos durante gran parte del tiempo de producción. Es preciso recalcar que esta inactividad no es el resultado de nuestro propio defecto o deseo; es una consecuencia inevitable de las condiciones materiales del proceso propiamente dicho. Una contemplación superficial de un fabricante de muebles en el momento de trabajar debería bastar para con-

<sup>41</sup> El hecho de que el funcional no exista para cada punto  $R, I, \dots, H$  puede ignorarse en este momento. Ahora bien, deberíamos tener en cuenta que, dado que el funcional representa un proceso elemental, tenemos  $Q(t) = 0$  para  $0 \leq t < T$  y  $Q(T) = 1$ , significando esta unidad la unidad de producto vinculada al proceso elemental.

vencernos de la validez general de esta verdad. La sierra, la garlopa, la lijadora, etc. nunca se utilizan simultáneamente en la producción de una mesa considerada en sí misma. Cada herramienta se utiliza por turno; entre tanto, permanece inactiva. Si hubiese obreros especializados —por ejemplo, uno especializado en el manejo de la sierra, otro en la aplicación de barniz, etc.—, también ellos permanecerían inactivos por turno en relación con cada proceso elemental. Además, todas las herramientas y todos los obreros permanecen inactivos (en el mismo sentido) durante el tiempo en que se deja secar la mesa barnizada. Durante esta fase, la Naturaleza es el socio silencioso del hombre, operando sus fuerzas a través de algunos elementos de flujo incluidos en ( $R$ ). Una entrada de flujo de oxígeno del aire oxida el barniz, mientras que el disolvente del barniz se evapora como un flujo de salida. Todos estos hechos son aun más evidentes en un proceso agrícola, pero forman parte de todo proceso elemental, bien sea en la industria manufacturera, en la minería, en la construcción o en el transporte.

Otra observación importante es que, si el flujo de demanda es tal que únicamente se demanda una mesa durante un intervalo igual al tiempo de producción o mayor que éste, la producción de mesas ha de llevarse a cabo a través de procesos parciales dispuestos *en serie*, es decir, de tal manera que ningún proceso coincida temporalmente con otro. Esto es lo que sucedía en cualquier taller de artesanía en épocas antiguas y sucede actualmente en el caso de canales, puentes, grandes buques, etc. Las nuevas plantas suelen también producirse en serie. La cuestión a tener en cuenta es que una baja intensidad de demanda impone a la mayoría de los elementos fondo largos períodos de inactividad. El factor humano puede encontrar empleo sólo cambiándose periódicamente a otras líneas de producción —lo mismo que hacen miles de campesinos al buscar empleo en las ciudades durante los períodos de inactividad agraria—. Ahora bien, este empleo estacional también echa mano de la existencia de alguna demanda; además, no todos los procesos parciales incluyen períodos de inactividad suficientemente largos para hacer que el cambio pueda ser operativo. Podemos comprender ya la razón por la que, mientras la demanda de muchos bienes manufacturados permaneció a un nivel muy bajo, la especialización de las herramientas y en particular del trabajo fue antieconómica. Así, por ejemplo, el artesano de la Edad Media tenía que saber cómo realizar todas las tareas exigidas por el proceso elemental de su oficio, pues, en caso contrario, hubiera tenido que permanecer inactivo una parte del tiempo y compartir con otros los ingresos correspondientes al trabajo. En tales condiciones, la especialización era *antieconómica*.

El caso en el que se demanda más de una mesa durante un intervalo igual a la duración del proceso elemental lleva a dos alternativas.

En primer lugar, la producción puede llevarse a cabo por el número apropiado,  $n$ , de procesos elementales dispuestos *en paralelo*, es decir, ini-

ciados al mismo tiempo y repetidos una vez que se han completado. En muchos casos, el sistema resultante es un caso típico de procesos que se suman externamente<sup>42</sup>. Para describirlo, no necesitamos más que multiplicar por  $n$  cada coordenada del proceso elemental de que se trate. La correspondiente función de producción se deduce entonces fácilmente de la (11):

$$(12) \quad [nQ(t)]_0^T = \mathcal{F} \{ [nR(t)]_0^T, \dots, [nW(t)]_0^T; [nL(t)]_0^T, \dots \}.$$

La cuestión que es preciso recalcar es que la disposición en paralelo ofrece poca o ninguna ganancia económica. Se necesitan ahora muchas clases de factores fondo en una cantidad  $n$  veces mayor que en el proceso elemental. Además, la inactividad de cada uno de esos factores fondo está ampliada *ipso facto* en  $n$ . Las únicas excepciones son los factores fondo que —como un gran horno de panificación, por ejemplo— pueden contener varios procesos elementales simultáneamente. Pero, aun cuando la capacidad de tal factor fondo fuese más plenamente utilizada, su período de inactividad seguiría siendo el mismo.

La segunda alternativa consiste en colocar el número apropiado de procesos *en línea*. En este sistema, el tiempo de producción se divide en intervalos iguales y un proceso elemental (o un grupo de tales procesos) se inicia en cada punto divisorio. Utilizando un lenguaje más familiar, los procesos elementales están uniformemente escalonados en el tiempo. No hay necesidad de proceder aquí a la prueba matemática —que, de hecho, es muy sencilla— de la siguiente proposición:

*Si el número de los procesos elementales es suficientemente grande y todos los períodos durante los cuales cada factor fondo presta servicio son conmensurables con el tiempo de producción, existe entonces un número mínimo de procesos elementales que pueden ser puestos en línea, de modo que cada factor fondo esté empleado continuamente<sup>43</sup>.*

En términos sencillos, la proposición dice que, si la demanda de un producto es suficientemente grande, la producción puede disponerse de tal forma que ningún factor fondo empleado en ella esté nunca inactivo. Evi-

<sup>42</sup> A este respecto, véase el Capítulo IV, Sección 5.

<sup>43</sup> En lo que se refiere a una ilustración gráfica de esta proposición, véase la Figura 2 de mi artículo «Process in Farming vs. Process in Manufacturing», citado en la nota 8 anterior. Sin embargo, dado que la cuestión está relacionada con algunos aspectos de tamaño, es preciso hacerla más explícita. El número de procesos elementales que ha de iniciarse en cada punto divisorio es el mínimo común múltiplo de los números de tales procesos que pueden contenerse al mismo tiempo en cada unidad de los diversos fondos. Los intervalos entre dos grupos consecutivos es  $T/d$ , donde  $d$  es el máximo común divisor de  $T$  y de los intervalos durante los que se necesitan los distintos tipos de fondos en un proceso elemental.

dentamente, esta disposición representa el sistema fabril en el que cada herramienta y cada obrero pasan de un proceso elemental al siguiente tan pronto como han ejecutado sus servicios en el primero. Por consiguiente, ninguna herramienta y ningún obrero permanecen inactivos durante el tiempo en el que discurre el proceso de la totalidad de la fábrica.

9. *El sistema fabril y su función de producción.* Para llegar a la representación analítica del proceso consistente en un sistema fabril, simplemente tenemos que seguir nuestra regla básica de comenzar con una *tabula rasa* y acabar con otra y observar la distinción entre los elementos de flujo y los de fondo. La duración del proceso que ha de describirse puede elegirse arbitrariamente: una vez ordenado, un sistema fabril es un estado sostenido en el que todos los fondos se mantienen en buenas condiciones de funcionamiento en todo momento. Sin embargo, para simplificar el andamiaje de notaciones, adoptaré la hipótesis perenne de continuidad, esto es, supondré que un grupo de procesos elementales se inicia en cada instante de tiempo y, en caso necesario, todos los elementos de flujo son entidades continuas. En este caso, es evidente que las coordenadas de flujo son funciones lineales homogéneas de  $t$ :

$$(13) \quad R(t) = rt, \quad I(t) = it, \quad M(t) = mt, \quad Q(t) = qt, \quad W(t) = wt.$$

Lo mismo es cierto en lo que se refiere a las coordenadas de fondo, pero, para hacer más refinada nuestra representación, necesitamos distinguir dos nuevas categorías de fondos de capital. La primera incluye los almacenes de mercancías, esto es, las existencias en sentido estricto, que están relacionados con algunos (corrientemente, con todos) de los elementos flujo incluidos en  $I$ ,  $M$ ,  $Q$  y  $W$ . El papel real de esos almacenes es el de amortiguar las fluctuaciones irregulares en el número de percances en el proceso productivo y en el ritmo de ventas. Hay que tener a mano cierto número de fusibles de modo que incluso en el caso de que varios fusibles se fundan al mismo tiempo pueda reemplazárselos sin demora. Cierta cantidad de cada producto debe almacenarse también a fin de atender cualquier concentración casual de pedidos<sup>44</sup>. Vamos a indicar esta categoría, genéricamente, por  $S$ .

La segunda nueva categoría de fondos de capital corresponde al término familiar de «bienes en proceso», pero «bienes» es aquí un nombre evidentemente poco apropiado: el vidrio fundido, las pieles semicurtidas, los aparatos de radio semicableados, por ejemplo, difícilmente pueden encajar en el término. En cualquier caso, es cierto que en todo momento existe dentro del sistema fabril un *fondo-proceso*,  $C$ , en el que se refleja la totali-

<sup>44</sup> Es evidente, por tanto, que no se tienen en cuenta las existencias especulativas, ya que deberían encontrarse en una descripción puramente material del proceso productivo.

dad de la transformación de las entradas de material en productos finales. El tiempo de producción de un avión, por ejemplo, puede ser de varios meses o incluso de un par de años. Pero en el fondo-proceso de una fábrica que produzca semejante avión debe existir en todo momento al menos un «avión» en cada una de las fases de su transformación. Si tomamos una fotografía de cada fase sucesiva en el mismo carrete de fotos y proyectamos después el carrete como si se tratase de una película, veremos realmente una película —una película que muestra cómo se hace un avión a base de planchas metálicas, piezas de motor, cables, etc—. La totalidad del cambio cualitativo —un Devenir— queda así congelada, por así decirlo, en un Ser atemporal, el fondo-proceso. Este hecho explica por qué he elegido este término.

Observemos igualmente que sin el *fondo-proceso* ninguna fábrica está completa. El papel del fondo-proceso es fundamental. Puede compararse con el agua en la tubería vertical de una bomba de mano; a no ser que el agua llene la tubería, la bomba no está cebada; hemos de accionar la bomba durante algún tiempo antes de obtener agua. Si, por el contrario, la bomba está cebada, el agua comienza a fluir en el momento en que accionamos la manivela. De igual modo, en una fábrica las salidas incluidas en  $Q$  y  $W$  comienzan a fluir hacia fuera en el momento en que la fábrica abre por la mañana, y las entradas  $R$ ,  $I$ ,  $M$ , empiezan a fluir hacia dentro. Esto es posible únicamente porque, a la hora de cerrar, una fábrica se deja en una situación ya cebada, con su  $C$  intacto. Recordemos que el mantenimiento continuo de herramientas y edificios exige algunas hipótesis especiales. Frente a ello, el fondo-proceso se mantiene por la misma manera en la que los procesos elementales están dispuestos en un sistema fabril<sup>45</sup>.

Contemplando una fábrica desde fuera, tal como lo hace el complejo de flujos, no hay duda de que solamente se verían las coordenadas de flujo (13). Por otra parte, se podría perfectamente decir que la producción es instantánea, es decir, que un grupo de materiales de entrada se transforma instantáneamente en un grupo de productos. Lo que sucede en realidad es bastante semejante a lo que ocurre cuando presionamos el extremo de una barra perfectamente inelástica: el otro extremo se mueve al instante. En el caso de una fábrica, el fondo-proceso desempeña el papel de tal barra. Es muy probable que esta propiedad peculiar de un sistema fabril sea lo que ha llevado a algunos economistas a afirmar que, dado que la producción es instantánea, los salarios se pagan siempre del producto, nunca del capital, con lo que no tendría base alguna la doctrina del capital fijo. No cabe

<sup>45</sup> Un sistema fabril es parecido a una caja de música que comienza a tocar en el momento en que se abre y deja de hacerlo en el momento en que se cierra. Evidentemente, si permanece inactiva durante un largo período de tiempo, cualquier fábrica necesitaría cierto trabajo adicional para eliminar los daños causados por la Ley de la Entropía.

duda que, una vez que una fábrica se ha construido y montado, nada queda ya por esperar, pero construir y montar una fábrica requiere tiempo. Solamente para montar una fábrica de aviones, por ejemplo, tendremos que esperar varios meses.

Al ser las coordenadas de fondo de un sistema fabril

$$(14) \quad L(t) = Lt, \quad K(t) = Kt, \quad S(t) = St, \quad C(t) = Ct, \quad H(t) = Ht,$$

su representación analítica está ahora completa y, de acuerdo con lo que se ha dicho anteriormente, la función de producción de un proceso fabril —el catálogo de todos los procesos fabriles por los que pueden obtenerse los *mismos* productos a partir de los *mismos* factores— es un funcional que comprende todas las funciones enumeradas en (13) y (14):

$$(15) \quad \binom{T}{q_t} = G\left[\binom{T}{rt}, \dots, \binom{T}{wt}; \binom{T}{Lt}, \dots, \binom{T}{Ht}\right].$$

A diferencia de los funcionales (11) y (12), en los que  $T$  es una coordenada física determinada por la esencia del proceso elemental, en este último funcional  $T$  es un parámetro que varía libremente. La consecuencia de este hecho es que la relación expresada por la (15) se reduce a una relación únicamente entre los coeficientes de  $t$  en las funciones (13) y (14). En otras palabras, en este caso el funcional *degenera* en una función punto ordinaria, concretamente en

$$(16) \quad q = F(r, i, m, w, L, K, S, C, H).$$

Como alternativa, el mismo funcional puede sustituirse por una función punto entre las cantidades de flujos y servicios a lo largo de un intervalo de tiempo arbitrario  $t$ . Pero en esta función,  $t$  ha de aparecer como variable explícita:

$$(17) \quad qt = \phi(rt, \dots, wt, Lt, \dots, Ht, t).$$

No deberíamos dejar de observar que, a diferencia de la función  $F$  de (16),  $\phi$  es una función homogénea de primer grado con respecto a *todas* sus variables, es decir, incluida  $t$ <sup>46</sup>. Obviamente, tenemos la identidad

$$\phi \equiv tF.$$

Podemos ver ahora la idea que, posiblemente, puede haber guiado a los economistas neoclásicos, quienes, tanto en el pasado como ahora, representan todo proceso productivo por la fórmula huertera (10), de la que

<sup>46</sup> Esta homogeneidad expresa el hecho trivial de que los flujos y los servicios de cualquier fábrica durante, por ejemplo, ocho horas son ocho veces mayores que durante una hora. Evidentemente, esto no tiene en absoluto relación alguna con el hecho de que sea un tamaño óptimo de la unidad de producción o no. Véase también la nota 48 posterior.



únicamente nos dicen que la variable dependiente representa las «salidas» y todos los demás símbolos, las «entradas». Así pues, no tiene nada de extraño que los economistas se tomasen libertades con la interpretación de estos términos —algunos definiendo la función de producción como relación entre la cantidad de producto y las cantidades de entradas, otros como relación entre la salida de productos por unidad de tiempo y la entrada de factores por unidad de tiempo. Algunos han adoptado incluso las dos definiciones dentro de la misma obra. Tal como lo demuestra claramente el análisis desarrollado en las secciones precedentes, una vez que la función de producción se define como catálogo de recetas, su fórmula no puede decretarse a nuestro antojo —por muy razonable que éste parezca en apariencia—<sup>47</sup>. La función de producción es siempre un funcional, ya sea el (11), el (12) o el (15), de acuerdo con el sistema de que se trate.

El que en el caso de una fábrica debiéramos de preferir (16) al pseudo funcional (15) es perfectamente natural. Sin embargo, (16) parece la oveja negra en medio del rebaño de otros funcionales: a diferencia de ellos, no comprende el elemento tiempo. En el proceso de pasar del funcional degenerado a la función punto (16), hemos dejado deslizar el elemento tiempo a través de nuestros dedos analíticos. Como resultado de ello, la función de producción (16) no nos dice lo que el correspondiente sistema *hace* sino sólo lo que *puede hacer*. Las variables comprendidas en ella consisten exclusivamente en las tasas de los factores de flujo y en los tamaños de los factores de fondo. Describen el proceso de la misma manera en que la inscripción «40 vatios, 110 voltios» en una bombilla eléctrica o «Licenciado en Ingeniería Química» en un diploma describen la bombilla o el ingeniero. Ninguna descripción nos informa de cuánto tiempo estuvo encendida ayer la bombilla o de cuántas horas trabajó el ingeniero la semana pasada. De igual modo, la fórmula (16) puede decirnos que un hombre con un tractor de 100 hp que consume tres galones de gasolina y un cuarto de galón de aceite por hora puede labrar dos acres por hora.

Queda dentro de lo razonable, por tanto, que lo que una fábrica es capaz de hacer es exclusivamente una función de su estructura puramente técnica. El problema es que una persona competente debería ser capaz de determinar a partir del programa de una fábrica lo que ésta puede hacer y también lo que se precisa para ello. Por consiguiente, la función de producción (16) puede descomponerse en varios elementos que en conjunto constituyen una imagen más fiel del proceso fabril. Los dos primeros elementos son

$$(18) \quad q^* = G(L, K), \quad H^* = H(L, K),$$

<sup>47</sup> Para más detalles al respecto, algunos aparentemente tan sorprendentes que fueron reputados al momento de falsos cuando los presenté por vez primera, véase mis artículos citados en las notas 1 y 8 anteriores.

donde  $q^*$  representa la máxima tasa de flujo de producto de que la fábrica es capaz si se la trata adecuadamente con  $H^*$ . Sin embargo, al ser el factor humano tan variable como lo es en realidad,  $q^*$  constituye más bien un límite inalcanzable. Para tener en cuenta que la tasa real de flujo de producto depende tanto de la calidad como de la cantidad de personal empleado, tenemos que sustituir la expresión (18) por

$$(19) \quad q = f(L, K, H) \leq q^*.$$

Sin embargo, esta relación no debería confundirse con la forma corrientemente utilizada en obras teóricas y aplicadas. Tal como se define en la ecuación (19), si  $q < q^*$ ,  $q$  no necesita decrecer (y generalmente no lo hace) si  $L$  y  $K$  decrecen mientras se mantiene constante  $H$ .

Los otros factores de fondo,  $S$  y  $C$ , vienen también determinados por los mismos fondos básicos,  $L, K, H$ . Por consiguiente, tenemos

$$(20) \quad S = S(L, K, H), \quad C = C(L, K, H).$$

Queda por analizar las relaciones que ligan los otros elementos de flujo. El caso del flujo de mantenimiento resulta fácil de determinar. Su tasa debe ser función del capital que ha de mantenerse y del fondo de trabajo. Además, en virtud de la Ley de Conservación de la materia y la energía, ha de ser igual a la tasa de flujo de los desechos por desgaste,  $w_1$ . Nos vemos así obligados a escribir

$$(21) \quad m = m(K, H), \quad w_1 = m.$$

Estas relaciones atienden también al hecho de que el capital propiamente dicho puede utilizarse más o menos intensivamente en virtud de la cuantía de la mano de obra empleada.

De acuerdo con la misma Ley de Conservación de la materia y la energía, debe existir en cada caso alguna relación entre los otros flujos de entrada y de salida:

$$(22) \quad qt = g(rt, it, w_2 t),$$

donde  $w_2$  indica la tasa de flujo de los desechos que proceden únicamente de la transformación. Como la expresión (22) debe ser cierta para cualquier valor positivo de  $t$ , la función  $g$  debe ser homogénea de primer grado. Este resultado puede alcanzarse también siguiendo una argumentación familiar: doblense las cantidades de madera, de material de impregnación y de desechos, y la cantidad de traviesas de ferrocarril será necesariamente también doble<sup>48</sup>. Sin embargo, para duplicar  $q$  necesitamos otra fábrica, es

<sup>48</sup> Puede ser oportuno resaltar que esta argumentación no implica que no exista un tamaño óptimo de una fábrica, aun cuando los que han razonado contra la existencia del tamaño óptimo pueden haber estado influidos por ella. La falta de tamaño óptimo exige que las funciones de la expresión (18)

decir, otra combinación de fondos  $(L, K, H)$ . Con esta nueva combinación, la cantidad de desechos puede que no resulte duplicada (y así sucede, por lo general). Este es precisamente un significado de la afirmación de que una receta técnica es más eficiente que otra: el valor de  $w_2$  es más pequeño para la receta más eficiente. Así pues, nos vemos llevados a escribir

$$(23) \quad w_2 = w_2(L, K, H).$$

La relación (22) se convierte entonces en

$$(24) \quad q = g[r, i, w_2(L, K, H)].$$

En resumen, el catálogo de todos los sistemas fabriles que producen los mismos productos con los mismos factores (de flujo o de fondo) está constituido no por una sola sino por siete funciones básicas, indicadas en esta sección por (19), (20), (21), (23) y (24). Por consiguiente, se dan varias restricciones definidas inherentes a la estructura de la producción a través del sistema fabril. Las características técnicas propias de cada proceso pueden introducir relaciones vinculantes adicionales entre factores. Podemos recurrir a los ejemplos habituales del oro en la producción de anillos de boda y de un tractor que necesite solamente un conductor. Ahora bien, dejando aparte estos casos especiales, no debemos saltar a la conclusión de que los factores incluidos en cualquiera de las funciones punto que representan el catálogo de las recetas fabriles para un producto determinado sean sustituibles en el sentido supuesto por la teoría de producción habitual. Hay que recordar que en esas funciones punto  $K$  representa genéricamente equipos de capital de diversas calidades, mientras que  $K_i$  significa una cierta cantidad de capital de «calidad  $i$ ». Otro tanto puede aplicarse a  $L$  y a  $H$ . Además, no se trata necesariamente de un proceso que corresponda exactamente a toda posible combinación  $(L, K, H)$ . Un proceso más intensivo en capital requiere normalmente un tipo distinto de capital, por lo que, si consideramos un proceso determinado, puede que no haya ningún proceso que corresponda a la sustitución de más  $K_i$  por una reducción de  $H_j$ . La sustitución significa más bien que  $K_c$  y  $L_d$  se emplean en lugar de  $K_a$  y  $L_c$ . Y si este es el caso, la sustitución no puede representarse en términos de dos coordenadas —representando una de ellas el «capital» y la otra el «trabajo»— como se hace en el mapa familiar de isocuantas. Los economistas clásicos, después de haber censurado a Marx por su idea de que todo trabajo concreto es una forma solidificada de trabajo abstracto general, volvieron a su propio taller para superarle en este mismo aspecto al suponer que el capital concreto es, también, capital abstracto solidificado.

sean homogéneas de primer grado. Véase el Capítulo IV, Sección 4, anterior, y mi artículo «Chamberlin's New Economics and the Unit of Production», citado en la nota 1 anterior.

Como símil en extremo abstracto, la forma normal de la función de producción neoclásica —como función de  $K$ , la medida cardinal del «capital» homogéneo, y de  $H$ , la medida cardinal del «trabajo» homogéneo— no es completamente inútil, pero, en agudo contraste con la función de optimidad (donde la capacidad de sustitución es un resultado de la ponderación subjetiva del individuo), el valor de la forma normal de la función de producción como imagen representativa de la realidad es cero. Así pues, es absurdo aferrarse a ella en las aplicaciones prácticas —como sucede en los innumerables intentos de deducirla a partir de datos estadísticos de corte transversal—. En estos datos, los  $K_i$  no son todos cualitativamente idénticos y, por consiguiente, carecen de una medida común. Por la misma razón, no tiene sentido hablar de la elasticidad de sustitución entre capital homogéneo y trabajo homogéneo. Igualmente, la productividad marginal aparece como una expresión vacía. Es cierto que el capital y el trabajo pueden hacerse homogéneos, pero únicamente si se les mide en términos de dinero. Todo esto demuestra que los teoremas que adornan la teoría de la fijación de precios marginales son esencialmente adornos analíticos. De hecho, para explicar la adaptación de la producción a los precios, ya sea en el caso de una fábrica o de cualquier otra disposición de procesos elementales, no necesitamos la existencia ni de una capacidad de sustitución neoclásica ni de una productividad marginal física. Tal adaptación está garantizada, con independencia del número y de la esencia de las restricciones que pueda contener una función de producción<sup>49</sup>. El coste es el único elemento que cuenta en este problema, y en el coste todas las diferencias cualitativas entre factores se desvanecen para formar una entidad homogénea, el dinero. El único papel que la función de producción (tal como se ha desarrollado antes) desempeña en este caso particular es el de permitirnos saber qué factores, y en qué cuantías, entran en el coste de cualquier proceso fabril posible. Tal como he argumentado en otro lugar, «la idea» de E. H. Chamberlin «de analizar el problema de la escala óptima con ayuda de un diagrama de una familia de curvas de costes medios parece bastante más prometedora que el hacer uso de la función de producción y sus isocuantas —por más respetable que pueda ser el último enfoque—»<sup>50</sup>.

10. *La producción y el factor temporal.* Ya he subrayado el hecho de que la relación básica (19) no nos dice lo que hace una fábrica. Para describir lo que una fábrica hizo ayer o lo que hace todos los días, necesitamos una coordenada adicional, no incluida en la expresión (19). Esta coordenada es el tiempo durante el cual la fábrica trabaja cada día. Podemos denominar este intervalo de tiempo la jornada laboral de la fábrica e indicarlo por  $\delta$ .

<sup>49</sup> A este respecto, véase mi artículo reimpresso como Ensayo 7 en *AE*.

<sup>50</sup> Véase mi artículo «Measure, Quality, and Optimum Scale», en *Essays on Econometrics and Planning Presented to Professor P. C. Mahalanobis* (Oxford, 1964), p. 255.

Si se toma como unidad de tiempo el día natural, entonces  $\delta \leq 1$ . La producción diaria de una fábrica,  $Q = \delta q$ , se deduce directamente de la (19):

$$(25) \quad Q = \delta f(L, K, H).$$

Esta fórmula es de nuevo un eco lejano de la función de producción neoclásica (10), que no contiene el factor tiempo como variable explícita. Puedo prever que esta afirmación será puesta en tela de juicio sobre la base de que en la fórmula neoclásica los símbolos representan *cantidades* de flujos y de servicios y, por consiguiente, se ignora el factor temporal. Es cierto que muchos economistas han proclamado por motivos intuitivos que la función de producción es una relación entre cantidades<sup>51</sup>, pero su intuición no les ha permitido percibir una cuestión que resulta tan patente gracias al análisis de la sección precedente. La relación entre la cantidad de producto y las cantidades de flujos y servicios debe incluir el tiempo como variable explícita —como sucede en la (17)—. La conclusión es que cualquiera que sea la postura que consideremos —que los símbolos en la expresión (10) representan tasas de flujos y servicios o que representan cantidades de flujos y servicios— la forma neoclásica de representar la función de producción ignora el factor tiempo.

Esto constituye una lamentable, aunque comprensible, regresión del análisis marxiano del proceso de producción, en el que el factor tiempo —ya sea como el tiempo de producción de lo que he denominado proceso elemental o como el día de trabajo del obrero— ocupa un lugar bastante destacado<sup>52</sup>. Marx buscó todo elemento analítico que pudiese evolucionar históricamente. La escuela neoclásica, por el contrario, planeó ignorar la marcha de la historia. En efecto, la excusa más favorable para la omisión de la jornada laboral en la fórmula destinada a describir lo que hacen las fábricas es que los economistas clásicos consideran  $\delta$  como una coordenada social dada. Al ser un coeficiente determinado,  $\delta$  no tiene que aparecer explícitamente en una fórmula general, al igual que sucede con los restantes coeficientes físicos.

Esta excusa no altera el hecho de que las consecuencias de la omisión de la jornada laboral de la fábrica en el aparato analítico normal son más complicadas de lo que a uno le gustaría pensar. Algunas resultan agravadas por otra deficiencia del mismo aparato —la confusión de la (19) con la (18)—. Esta confusión equivale a otra omisión, la de descuidar la intensidad de la utilización de la capacidad productiva, que se mide bien por  $q/q^*$  o por  $H/H^*$ . Ambas omisiones vician gravemente los estudios en los

<sup>51</sup> Véase la nota 39 anterior.

<sup>52</sup> Véase Marx, *Capital*, vol. I, cap. x. Por cierto que la fórmula (25) presta apoyo a uno de los principios más queridos de Marx, en concreto que el tiempo de trabajo, aunque no tiene valor en sí mismo, es una medida de valor. *Ibid.*, pp. 45 y 588.

que la argumentación implica la relación capital-producto o la capital-trabajo y que han sido muy popularizados por algunas de las más altas autoridades económicas, así como por instituciones como el National Bureau of Economic Research.

A la luz del análisis precedente, es evidente que una definición objetiva de la intensidad del capital en un proceso fabril debe estar basada en las relaciones (18). Por consiguiente,  $K/q^*$  —alternativamente,  $K/Q^*$ , donde  $Q^*$  corresponde a  $q^*$  y  $\delta = 1$ — y  $K/H^*$  constituyen las únicas medidas objetivas de la intensidad del capital. Esta cuestión merece ser subrayada atentamente: la intensidad del capital es esencialmente una coordenada del plan básico de la fábrica, no de lo que puede hacer ocasionalmente una fábrica. Sería un grave error medir la intensidad del capital por la relación  $K/Q = K(\delta q)$ : la producción diaria (o la anual),  $Q$ , varía tanto en función de  $\delta$  como de la intensidad de la utilización de la capacidad productiva. Lo mismo es aplicable a la relación capital-trabajo medida por  $K/N$ , donde  $N$  es el número *medio* de empleados (o de obreros en la producción) a lo largo del año:  $N$  varía tanto con la intensidad de la utilización de la capacidad productiva como con el número de turnos. Evidentemente, si *ceteris paribus* una fábrica pasa de utilizar un turno a emplear dos turnos del mismo tamaño,  $K/N$  se reduciría a la mitad, incluso aunque la intensidad de capital del proceso no hubiese cambiado. Así pues, las relaciones  $K/Q$  y  $K/N$  se encuentran afectadas por la jornada laboral de la fábrica, por el número de turnos y por la intensidad de la utilización de la capacidad productiva. A su vez, estas coordenadas fluctúan de acuerdo con las perspectivas momentáneas de negocio en la correspondiente línea de actividad. La moraleja es que toda comparación de las relaciones  $K/Q$  o  $K/N$ , ya sea entre un año y otro para la misma industria o entre dos industrias para el mismo año, no refleja necesariamente un cambio en la intensidad del capital. Esto es especialmente cierto en las comparaciones interindustriales.

Sin embargo, que yo sepa, todos los estudios que se ocupan de la intensidad del capital utilizan esas últimas medidas de relaciones capital-producto y capital-trabajo, e incluso, aun cuando se encuentra alguna mención ocasional a cierta posible razón para la no comparabilidad de tales medidas, no conozco ningún autor que insista en todas las implicaciones del problema de medir la intensidad del capital. Lo curioso es que, si alguien hubiese visto que las medidas correctas son  $K/q^*$  y  $K/H^*$ , no hubiera sido capaz de llegar a una estimación estadística de tales relaciones. La razón estriba en que ni siquiera los organismos estadísticos más sofisticados incluyen en sus censos de productos manufacturados los datos necesarios para deducir esas últimas relaciones de los datos ordinarios sobre producción, capital y empleo. Nada más normal para un departamento de estadística que orientar su recogida de datos

de acuerdo con el inventario del instrumental del científico social analítico<sup>53</sup>.

Ahora bien, las consecuencias del hecho de que los elementos mencionados en los párrafos precedentes se hayan omitido de los instrumentos analíticos del economista neoclásico no se limitan a cuestiones puramente académicas. La omisión de la duración de la jornada laboral,  $\delta$ , es responsable, creo yo, del extraño hecho de que ningún experto neoclásico en planificación parece darse cuenta de que, como fue correctamente afirmado por Marx y confirmado por la relación (25), uno de los «secretos» por los que las economías avanzadas han conseguido su espectacular desarrollo económico es una larga jornada laboral<sup>54</sup>. Aun cuando sea una palanca económica que puede usarse directamente y sin demora, la duración de la jornada laboral no es una coordenada en ningún modelo neoclásico de desarrollo económico que pueda encontrarse en la bibliografía general y, probablemente, en ninguna otra. Considerando nuestros objetivos patentemente proclamados de ayudar a las economías subdesarrolladas no sólo a hacer progresos sino a hacer *rápidos* progresos, el régimen legal de una jornada de ocho horas en tales economías (incluso en aquellas en las que el exceso de población da lugar a un ocio no deseado) es una incongruencia patente, por no decir un anacronismo planificado.

Si nos encontrásemos en una situación en la que hubiese suficiente mano de obra para mantener en funcionamiento todas las fábricas durante todo el día con cuatro, seis o incluso doce turnos, no habría objeción económica alguna (además del coste de cambiar de turno) para tener una jornada laboral de seis horas, de cuatro horas o de dos horas. Pero, ¿qué economía subdesarrollada, mejor dicho, qué economía en general se encuentra en esta situación? Tal como hemos llegado a darnos cuenta por fin<sup>55</sup>, la escasez básica en las economías subdesarrolladas es la de capital en sus dos formas: *maquinaria y trabajo cualificado*. Ambas van juntas simplemente porque el trabajo cualificado es un conjunto de trabajo y cualificación y porque la cualificación está íntimamente relacionada con el capital:

<sup>53</sup> Un excelente ejemplo lo proporciona el impacto extraordinario que el sistema de Leontief tuvo sobre la recogida de datos estadísticos propios de las transacciones interindustriales.

<sup>54</sup> No necesitamos depender solamente de la relación efectuada por F. Engels en su *The Condition of the Working Class in England in 1844* (Londres, 1892). De acuerdo con W. S. Woytinsky and Associates, *Employment and Wages in the United States* (Nueva York, 1953), p. 98, en los Estados Unidos todavía en 1850 la semana laboral media era de setenta horas. El primer intento de limitar el trabajo de los niños de menos de doce años a una jornada de diez horas se llevó a cabo únicamente en 1842 por la Commonwealth of Massachusetts. La jornada de diez horas no llegó a ser una norma generalizada para los restantes obreros hasta 1860. Véase Philip S. Foner, *History of the Labor Movement in the United States* (4 vols., Nueva York, 1947), I, p. 218, y G. Gunton, *Wealth and Progress* (Nueva York, 1887), pp. 250 y s.

<sup>55</sup> Por ejemplo, Theodore W. Schultz, *The Economic Value of Education* (Nueva York, 1963).

se necesita tiempo para adquirirla<sup>56</sup>. En general, la escasez de trabajo cualificado en las economías subdesarrolladas es tan aguda que a más de una fábrica no podría hacérsela trabajar durante todo un día. En este caso, la inactividad de los factores inertes no sería inherente a la misma esencia física del proceso en sí mismo —como en el caso de un proceso elemental— sino a la escasez de sus compañeros humanos en el trabajo. Establecer el mismo límite legal a la jornada laboral que en las economías avanzadas —donde, gracias a la abundancia de capital, el ocio no tiene valor económico— equivale a decretar una cantidad innecesariamente elevada de inactividad y una reducción en la renta potencial del país. Por la misma razón, toda fábrica construida en un país subdesarrollado sumada a cualquier otra que elabore el mismo producto y que funcione con sólo uno o dos turnos de ocho horas cada uno es un derroche de recursos. Si existe ya, por ejemplo, una fábrica de calzado que trabaja con un único turno, no tiene sentido económico construir otra fábrica de calzado que funcione también con un solo turno. Ambos turnos pueden hacer la misma producción (prácticamente) con la vieja fábrica y el capital adicional puede invertirse en otra línea en apoyo de un mayor crecimiento.

«El Desarrollo Económico Lleva Tiempo» constituiría un lema muy apropiado para colocar encima de la entrada de cualquier organismo de planificación económica, de modo que se recordase continuamente a los transeúntes la verdad desnuda, por más decepcionante que fuese. Pero dentro de cada oficina la inscripción debería decir «No haga que ese tiempo sea más largo en virtud de una inactividad innecesaria», porque esta última da como resultado un derroche de tiempo. Estoy convencido de que todos los planes económicos contienen, en mayor o menor grado, inactividad inconscientemente planeada. No es de extrañar, por tanto, que sintamos o incluso reconozcamos ocasionalmente que muchos de los planes de desarrollo económico no han sido suficientemente acelerados. Tal vez podría haberse evitado todo esto si al planificar el desarrollo económico tuviésemos en cuenta la lección económica objetiva del sistema fabril.

11. *La fábrica: sus ventajas y limitaciones*. Una fábrica es un objeto tan familiar en el mundo industrializado en el que se ha criado la mayoría de los economistas que parecemos haber perdido de vista dos hechos importantes.

El primero es que el sistema fabril es uno de los más grandes inventos económicos en la historia de la humanidad, únicamente comparable a la invención del dinero, pero igualmente de origen anónimo. La palabra «eco-

<sup>56</sup> De una manera extraña, esta última cuestión ha sido ignorada durante mucho tiempo por aquellos que se oponían a la idea de que en muchos países el exceso de población es una realidad que exige un tratamiento económico diferente del prescrito por la economía neoclásica. Véase mi artículo «Economic Theory and Agrarian Economics» (1960), reimpresso en *AE*, pp. 372-374.

nómico» debería ir efectivamente subrayada, porque las ventajas del sistema fabril son independientes de la tecnología y se encuentran también por encima de ella. Se nos puede decir que el sistema fabril fue una creación de la revolución industrial, es decir, de la masa de innovaciones tecnológicas del siglo XVIII y posteriores. En mi opinión, la relación causal es la inversa: el sistema fabril, que ya había empezado a practicarse en los antiguos talleres artesanos como consecuencia de una demanda en aumento, fue uno de los factores principales que espolearon las innovaciones tecnológicas.

Como lo atestiguan ampliamente las secciones precedentes, el sistema fabril es superior a todas las restantes disposiciones de los procesos elementales, no porque aumente la potencia de una herramienta o el dominio del hombre sobre las fuerzas de la Naturaleza sino debido a que elimina la inactividad de los factores de fondo que es inherente a toda receta. Y la ganancia consiste en aprovecharse de todo lo que pueda ser tecnología: la tela podría producirse por un sistema fabril utilizando la técnica de los egipcios en la época de los faraones. El que podamos aprovecharnos de esta ganancia depende, no de la tecnología disponible, sino del nivel de la demanda del producto de que se trate. Es decir, si las *Reinas (Queens)* transoceánicas<sup>57</sup> no se producen de acuerdo con un sistema fabril, esto es, en línea, es únicamente porque no se demandan con la suficiente rapidez con respecto al tiempo de producción. Por extraño que parezca, si la tecnología en la construcción naval siguiese siendo la de hace cien años, podríamos construir *Queens* en línea, siempre que su demanda siguiese siendo la actual. En algunos casos, por tanto, el progreso tecnológico puede actuar contra el sistema fabril si la demanda no aumenta a la par que aquel.

El resultado es que la íntima relación que indudablemente existe entre el sistema fabril y el progreso tecnológico implica fundamentalmente la acción de la demanda. Del mismo modo que una baja intensidad de la demanda hace que resulte antieconómica toda especialización, un aumento de la demanda prepara el terreno para una nueva especialización. Esta cuestión se demuestra fácilmente observando que, si una tarea específica de un agente en un proceso elemental se divide en varias tareas distintas, el número de procesos elementales necesarios para una disposición en línea sin inactividad aumenta por regla general (y con bastante rapidez). Por consiguiente, el flujo de salida debe aumentar también. Si el flujo de demanda no aumenta en la misma proporción, la especialización tendría como único resultado una inactividad costosa<sup>58</sup>.

<sup>57</sup> Se refiere a los antiguos trasatlánticos británicos, como, por ejemplo, el *Queen Mary* o el *Queen Elizabeth*. N. T.

<sup>58</sup> Como todos sabemos, Adam Smith fue el primero que afirmó que «la división del trabajo está limitada por la extensión del mercado». *The Wealth of Nations* (ed. Cannan), I, p. 19. Sin embargo, el análisis del sistema fabril realizado en la Sección 9 y especialmente el teorema de la nota 43 anterior establece esta proposición sobre una base clara y la extiende también a la especialización del equipo capital.

El papel de la demanda como estimulante de la innovación tecnológica puede verse incluso en aquellos casos en los que, por una u otra razón, los procesos elementales han de disponerse en paralelo. Es decir, a medida que aumenta la demanda de pan en una pequeña colectividad, la industria panificadora puede considerar económica la sustitución de los hornos utilizados diariamente en paralelo por un horno mayor, en lugar de añadir más hornos del mismo tamaño. En realidad, el progreso tecnológico ha consistido siempre en una mezcla de especialización y concentración de varias herramientas en una unidad de mayor capacidad, pero más eficiente. En ambos casos, el resultado ha sido un aumento del tamaño de la unidad de producción. Los límites que no puede sobrepasar este tamaño se encuentran determinados por las leyes de la materia, tal como hemos visto en el Capítulo IV, Sección 4, pero lo que estimula el aumento es únicamente una demanda creciente<sup>59</sup>.

El segundo hecho que perdemos de vista a menudo es que el sistema fabril no puede aplicarse a todo lo que el hombre necesita o quiere producir. Hemos visto ya que un obstáculo es una baja demanda de algunas mercancías. Otra razón, más sutil, está relacionada con el hecho de que normalmente *producimos no sólo mercancías sino también procesos*. Solamente en una economía estacionaria la producción está limitada a las mercancías; dado que en tal economía todo proceso existente se mantiene a sí mismo, no es preciso producir ninguno. Ahora bien, en un mundo cambiante hemos de producir también nuevos procesos, además de los ya existentes o en lugar de los que se han quedado obsoletos; y es evidente que es imposible producir todos esos procesos por medio de sistemas fabriles. Al menos la fábrica que produce un nuevo tipo de fábrica debe ser producida de nuevo, es decir, no por una fábrica ya existente. Una tercera razón, la más importante de todas para el mundo real, tiene sus raíces en las condiciones de la vida humana en este planeta.

12. *La fábrica y la explotación agrícola*. Para poder disponer los procesos elementales en línea ininterrumpidamente, es necesario que seamos capaces de iniciar un proceso elemental en cualquier momento del Tiempo que queramos. En gran número de casos, podemos hacerlo así. Por ejemplo, quien tiene una afición tiene libertad para iniciar su proyecto de hacer una mesa a las tres en punto de la madrugada, un lunes o un viernes, en diciembre o en agosto. Sin esa libertad, la producción de muebles, automóviles, carbón de coque, etc. no podría llevarse a cabo ininterrumpida-

<sup>59</sup> Debido a esta relación entre demanda y recetas tecnológicas, me parece ofensiva la opinión, compartida por muchos de mis colegas economistas, de que para el teórico de la economía las funciones de producción constituyen datos dados «tomados de disciplinas como la ingeniería y la química industrial». Stigler, *Theory of Competitive Price*, pp. 109 y s. Véase también Pigou, *Economics of Stationary States*, p. 142; Samuelson, *Foundations*, p. 57; J. R. Hicks, *Theory of Wages*, p. 237.

mente durante todo el día y a lo largo de todo el año en los sistemas fabriles. A diferencia de ello, a no ser que se utilice un invernadero bien equipado, no se puede iniciar un proceso elemental de cultivo de cereal cuando a uno se le antoje. Con excepción de unos cuantos lugares en torno al ecuador, para cada región del globo terráqueo existe únicamente un período del año relativamente corto en el que puede sembrarse el grano en los campos, si se quiere obtener una cosecha de cereal. Este período se encuentra determinado en cada lugar por las condiciones climáticas locales. Estas, a su vez, están determinadas por la posición de nuestro planeta y por su rotación con respecto al sol, así como por la distribución geográfica de tierra y agua en la superficie del globo terráqueo. Tan vital es la dependencia de la vida terrestre respecto de la energía recibida del sol que el ritmo cíclico con el que esta energía alcanza cada región de la tierra se ha ido incorporando gradualmente a través de la selección natural al patrón reproductivo de casi todas las especies, vegetales o animales. Así, los corderos nacen en primavera, los pollos salen del cascarón a principios de primavera, los terneros nacen en el otoño y hasta un pescado como el rodaballo no merece la pena comerse a no ser que se pesque en abril o mayo. De igual modo, en la agricultura tampoco puede iniciarse un proceso elemental excepto durante un período específico dictado por la Naturaleza.

Estos hechos son lugares comunes. Sin embargo, el tenor general entre los economistas ha sido negar toda diferencia sustancial entre las estructuras de las actividades productivas agrícolas e industriales. En la literatura socialista del pasado, este hecho se reflejaba con toda evidencia en la pretensión de que bajo el socialismo las explotaciones agrícolas atrasadas se reemplazarían por «fábricas al aire libre». En la literatura neoclásica, la función de producción (10) se utiliza sin tener en cuenta si el problema en cuestión se refiere a la actividad agrícola o a la industrial<sup>60</sup>. Sin embargo, los procesos elementales en la producción agrícola no pueden disponerse en línea de forma ininterrumpida. Es cierto que, si consideramos una planta de cereal como una unidad de producción, los procesos elementales se disponen en línea a medida que se llevan a cabo el arado y el sembrado. La dificultad reside en que esta línea no puede continuar indefinidamente: existe un momento después del cual ninguna semilla sembrada madurará adecuadamente en una planta. A fin de que todos los campos de cereal en una región climática se cultiven en su debido momento, los agricultores tienen que laborar sus campos *en paralelo*. Dado el corto espacio de tiempo durante el que se ara, se siembra, se escarda o se cosecha el terreno de una sola explotación agrícola, puede describirse con bastante seguridad el

<sup>60</sup> En realidad, en ningún otro campo económico como en el de la economía agraria existen tantos estudios limitados a ajustar simplemente una función de producción —por regla general, el eterno tipo Cobb-Douglas— a algún producto específico en una región determinada.

sistema productivo de cada explotación agrícola particular dando por supuesto que todos los procesos elementales se inician al mismo tiempo. Con esta simplificación práctica, la función de producción de un sistema agrícola es el funcional *no degenerado* (12) de la Sección 8 anterior<sup>61</sup>.

De nuevo, la diferencia existente entre esta función de producción y la de la fábrica —la función punto (16) ó (17)— no es una mera sutileza académica; por el contrario, nos enseña algunas cuestiones económicas importantes. Hace mucho tiempo, Adam Smith afirmó que «la mejora de las potencias productivas del trabajo [en la agricultura] no siempre sigue el mismo ritmo que su mejora en las manufacturas»<sup>62</sup>. La proposición condujo a la controversia sobre la diferencia de rendimientos en la agricultura y en la industria y, de ese modo, dejó de ser tenida en cuenta en el moderno pensamiento económico. Sin embargo, el análisis precedente revela una de las razones más profundamente arraigadas por las que la proposición es cierta incluso en una forma más potente. Una de las razones por las que el progreso tecnológico ha avanzado, con mucho, a un ritmo menor en la agricultura es que los procesos agrícolas elementales no pueden disponerse en línea<sup>63</sup>. Curiosamente, la asociación de actividad agrícola con una cantidad apreciable de paro laboral es un hecho aceptado incluso por los que ponen en tela de juicio la proposición de Adam Smith. Pero nuestro análisis no solamente demuestra por qué es inevitable esta asociación sino que saca también a la superficie algunos aspectos interesantes de la misma.

Existe una diferencia importante entre el paro agrícola y el industrial. Un obrero industrial inactivo se halla en libertad de coger un trabajo y permanecer en él. Un agricultor, incluso cuando está inactivo, sigue ligado a su trabajo. Si acepta en otra parte un trabajo fijo, crea una vacante en la explotación agrícola. Únicamente en caso de un exceso de población hay aldeanos desempleados en el estricto sentido de la expresión, pero la *inactividad inherente* se encuentra presente allí donde la producción agrícola es un sistema de procesos en paralelo, exista o no exceso de población.

Eliminar el paro propiamente dicho es una tarea difícil, mas no intrínseca. Sin embargo, si uno se para a pensar en ello en detalle, eliminar la inactividad agrícola es un problema casi insoluble, porque, si tratásemos

<sup>61</sup> Para terminar, podría añadir que hay otras actividades además de la agricultura que están sujetas al ritmo del clima: viene inmediatamente a la mente el caso de la hostelería en áreas turísticas, o el de la construcción; igualmente, mucho de lo que puede decirse sobre el coste de producción en la agricultura se aplica *mutatis mutandis* a esas actividades. Así pues, si por casualidad llega a Oslo y no encuentra habitación de su agrado, no reproche a los noruegos no haber construido más o mayores hoteles para los turistas; tales hoteles estarían inactivos durante diez meses al año, así de corta es allí la estación turística. Únicamente un millonario puede permitirse el derroche de tener una villa en la Riviera francesa que ocupa sólo unos pocos días al año, si es que llega a hacerlo.

<sup>62</sup> *The Wealth of Nations*, I, p. 8.

<sup>63</sup> Una razón todavía más importante para esta diferencia se discutirá en el Capítulo X, Sección 3, posterior.



de encontrar diferentes actividades agrícolas que, caso de ser empalmadas, eliminasen por completo la inactividad del agricultor y de sus aperos, descubriríamos un obstáculo insuperable. La Naturaleza, como socio silencioso del hombre, no solamente le dicta a éste cuándo ha de iniciar un proceso agrícola sino que también le prohíbe detener el proceso antes de que se haya completado. En la industria podemos interrumpir e iniciar de nuevo casi cualquier proceso cuando nos plazca, mas no sucede así en la agricultura. Por esta razón, intentar encontrar procesos agrícolas que encajasen exactamente en los períodos de inactividad de otro es una empresa imposible. Después de todo, los Agrarios «románticos» tenían sus pies en la tierra cuando insistían en el papel beneficioso de la *industria* casera como actividad complementaria en las economías agrícolas subdesarrolladas. Pero, incluso con industrias caseras que se empalmasen perfectamente con los períodos de inactividad del capital humano empleado en actividades agrícolas, el capital propiamente dicho seguiría estando inactivo durante grandes intervalos temporales. La conclusión puede ser sorprendente, pero es inevitable. La dificultad de la agricultura como actividad económica reside en la *supercapitalización*. No es preciso añadir nada más para ver que esta dificultad constituye la clave para una política económica racional en cualquier economía agrícola subdesarrollada<sup>64</sup>.

Dos excepciones a la regla de que la función de producción de un sistema agrícola es un funcional tal como el (12) ayudarán a sacar a la superficie otras importantes diferencias entre la economía de la explotación agrícola y la de la fábrica.

Tomemos el caso de una Isla de Bali en la que, como consecuencia de que el clima es prácticamente uniforme durante todo el año, se pueden ver todas las actividades (arado, siembra, escardado, cosecha) ejecutadas al mismo tiempo en diversos campos. En un lugar como ese, ciertamente, nada se opone a que una fábrica al aire libre cultive arroz a través de procesos elementales dispuestos en línea. El número adecuado de búfalos, arados, hoces, mayales y de aldeanos que los manejan podría remover la totalidad de la tierra de una aldea, arando, sembrando, escardando, etc., sin interrupción alguna, es decir, sin que ningún agente —tierra, capital y trabajo— estuviese inactivo en ningún momento. En este caso, las ventajas del sistema fabril pueden determinarse fácilmente con precisión. En primer lugar, los aldeanos comerían cada día el arroz sembrado ese mismo día, por así decirlo, porque, como recordamos, en un sistema fabril la producción es instantánea. No existiría ya necesidad alguna de que la colectividad soportase la carga específica de los créditos para el capital circulante agrícola

<sup>64</sup> En tales economías, la supercapitalización se encuentra frecuentemente agravada por una distribución de la tierra que hace que el tamaño de muchas explotaciones sea menor que el óptimo. Véase mi artículo «Economic Theory and Agrarian Economics», reimpresso en *AE*, p. 394.

que constituyen en todas partes el principal quebradero de cabeza de los agricultores. La supercapitalización de que acabo de hablar aparecerá ahora como exceso patente de capital utilizable en otras actividades, pues, como trataríamos de poner en práctica el sistema fabril, nos quedaría un residuo de utensilios superfluos (y de hombres superfluos), incluso si las más viejas unidades de producción fuesen de tamaño óptimo.

La magnitud del impacto de la conversión de explotación agrícola a fábrica sobre el coste de producción puede verse con claridad meridiana con ayuda de la segunda excepción. La excepción es el sistema gracias al cual se producen actualmente los pollos en los Estados Unidos, prácticamente en todas las explotaciones agrícolas. Empleando la incubadora, los pollos no se producen ya en paralelo como en el antiguo sistema dictado por la Naturaleza. Una «cosecha» de pollos está lista para el mercado prácticamente todos los días del año, ya sea en agosto o en diciembre. La «granja avícola» se ha convertido así en una expresión errónea: la situación exige que se sustituya por una «fábrica avícola». Como resultado del nuevo sistema, una libra de pollo se vende en Estados Unidos a un precio inferior al de una libra de cualquier otra clase de carne, mientras que en el resto del mundo, donde continúa imperando el antiguo sistema, el pollo sigue siendo «comida de domingos». La famosa «guerra del pollo» del pasado año no habría surgido si la diferencia entre el sistema de granja y el fabril en la producción de pollos no hubiese sido tan grande como para cubrir los costes de transporte y el coste diferencial del trabajo entre Estados Unidos y Europa.

13. *Flujos y análisis internos*. La descomposición analítica de un proceso parcial en coordenadas de flujo y de fondo se refiere a una incongruencia ligada a la tabla input-output de Leontief. De hecho, la incongruencia se remonta a Karl Marx —el primer usuario de dicha tabla—. Gracias a la contribución de Leontief, la tabla input-output no necesita ya de ninguna introducción: actualmente es uno de los artículos más populares del oficio de los economistas. Sin embargo, la cuestión que deseo hacer resaltar exige que la relación entre la tabla input-output y las ideas desarrolladas en este capítulo se aclare lo más posible.

Una sencilla ilustración servirá a estos efectos mucho mejor que la estructura general corrientemente utilizada en los estudios del sistema input-output de Leontief. Así pues, sea  $E$  una economía estacionaria rodeada por su entorno natural  $N$  y compuesta de tres sectores productivos  $P_1$ ,  $P_2$  y  $P_3$  y de un sector consuntivo  $P_4$ . Para permanecer dentro de la lógica del propio sistema de Leontief, supongamos que cada proceso productivo  $P_i$  produce solamente una mercancía  $C_i$  y que existe solamente una calidad de recursos de la Naturaleza  $R$ , de desechos  $W$  y de fuerza de trabajo  $H$ . Por la misma razón, cada proceso estará representado por sus flujos y servicios a lo largo de un año. Al ser las notaciones las mismas que en las secciones precedentes, esto significa que las coordenadas son ahora  $R(T=1)$  y  $H(T=1)$ , por

ejemplo, en vez de  $R(t)$  y  $H(t)$ , es decir, cantidades en lugar de funciones<sup>65</sup>. Si, por motivos de claridad, utilizamos un asterisco para indicar que una notación corresponde al flujo o servicio anual, la representación analítica de los cinco procesos en los que hemos descompuesto la realidad total es la expuesta en la Tabla 3<sup>66</sup>.

Tabla 3

ECONOMÍA E REPRESENTADA EN FORMA DE PROCESO

	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$N$	$P_4$
<i>Coordenadas de flujo</i>					
$C_1$	$x_1^*$	$-x_2^*$	$-x_{13}^*$	*	$-x_{14}^*$
$C_2$	$-x_{21}^*$	$x_2^*$	$-x_{23}^*$	*	$-x_{24}^*$
$C_3$	$-x_{31}^*$	$-x_{32}^*$	$x_3^*$	*	$-x_{34}^*$
$R$	$-r_1^*$	$-r_2^*$	$r_3$	$r^*$	$-r_4^*$
$W$	$w_1^*$	$w_2^*$	$w_3$	$-w^*$	$w_4^*$
<i>Coordenadas de fondo</i>					
$C_1$	$X_{11}^*$	$X_{12}^*$	$X_{13}^*$	*	$X_{14}^*$
$C_2$	$X_{21}^*$	$X_{22}^*$	$X_{23}^*$	*	$X_{24}^*$
$C_3$	$X_{31}^*$	$X_{32}^*$	$X_{33}^*$	*	$X_{34}^*$
$C$	$C_1^*$	$C_2^*$	$C_3^*$	*	*
$L$	$L_1^*$	$L_2^*$	$L_3^*$	*	$L_4^*$
$H$	$H_1^*$	$H_2^*$	$H_3^*$	*	$H^*$

Esta tabla implica una clave algebraica. Debido a la verdad tautológica de que todo flujo de salida de un proceso es un flujo de entrada de algún otro proceso o procesos, y viceversa, cada fila de la matriz de flujos debe sumar cero. Así, por ejemplo, hemos de tener  $x_1^* = x_{12}^* + x_{13}^* + x_{14}^*$ . En consecuencia, podemos borrar los elementos  $x_1^*$ ,  $x_2^*$ ,  $x_3^*$ ,  $r^*$ ,  $-w^*$  sin renunciar a ninguna información. Sin embargo, para facilitar la lectura de la tabla po-

<sup>65</sup> A efectos de los fines específicos deseados por Leontief para su sistema input-output, no importa el hecho de que en esta representación simplificada se ignore el ritmo estacional de algunos procesos.

<sup>66</sup> Por el momento, no hay necesidad de separar cada  $x_{ik}^*$  en una entrada corriente y en un flujo de mantenimiento o cada  $X_{ik}^*$  en los servicios de un almacén y en un fondo de equipamiento. Tampoco necesitamos preocuparnos por los *stocks* de  $R$  y  $W$  en la Naturaleza, excepto para destacar que, como consecuencia de la Ley de la Entropía, han decrecido o aumentado a lo largo del año más que  $r^*$  y  $w^*$ .

demos escribirlos en una columna adicional; y, si además, cambiamos el signo de las otras coordenadas de flujo, simplemente hemos transformado la matriz de flujos de nuestra tabla en la forma input-output que se indica en la Tabla 4<sup>67</sup>.

Tabla 4

TABLA INPUT-OUTPUT DE FLUJOS DE LA ECONOMÍA E

	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$N$	$P_4$	Totales
$C_1$	*	$x_{12}^*$	$x_{13}^*$	*	$x_{14}^*$	$x_1^*$
$C_2$	$x_{21}^*$	*	$x_{23}^*$	*	$x_{24}^*$	$x_2^*$
$C_3$	$x_{31}^*$	$x_{32}^*$	*	*	$x_{34}^*$	$x_3^*$
$R$	$r_1^*$	$r_2^*$	$r_3$	*	$-r_4^*$	$r^*$
$W$	$-w_1^*$	$-w_2^*$	$-w_3^*$	*	$-w_4^*$	$-w^*$

Dos puntos evidentes habrán de recalcarse ahora. El primero es que una tabla input-output es solamente una forma modificada (de acuerdo con algunas reglas definidas) de la correspondiente matriz de flujos de la representación del proceso. Por consiguiente, la matriz de flujos y la tabla input-output son dos formas completamente equivalentes; dada una de esas formas, podemos deducir la otra fácilmente. El segundo punto es que, debido a las reglas particulares de la mezcla, algunos recuadros de toda tabla input-output han de estar siempre vacíos. Esto sucede con los cuatro primeros recuadros diagonales de la Tabla 4<sup>68</sup>.

Muchos autores creen que, no obstante, se alcanza un mayor grado de generalidad si llenamos esos recuadros con algunos elementos<sup>69</sup>. La dificultad de esta postura reside en la cuestión de qué es lo que precisamente corresponde a esos elementos de la diagonal en la realidad. Que yo sepa, na-

<sup>67</sup> Leontief incluye en la tabla input-output el «flujo» de servicios del trabajo que considera como el «output» del sector de consumo. Véase Leontief, *The Structure of the American Economy: 1919-1939*, pp. 41 y s. y *passim*; Leontief et al., *Studies in the Structure of the American Economy*, pp. 23 y 55. Prefiero atenerme a la diferencia fundamental entre flujo (como sustancia que cruza unos límites) y servicio (como acción realizada por un elemento de fondo dentro de los límites). También en la Tabla 3,  $H^*$  de la columna  $P_4$  representa la actividad consuntiva del total de la población de  $E$ , lo que considero que es la representación analítica correcta de ese proceso.

<sup>68</sup> Esos recuadros diagonales corresponden a coordenadas de *producto*.

<sup>69</sup> Por ejemplo, O. Eckstein, «The Input-Output System: Its Nature and Its Uses», en *Economic Activity Analysis*, ed. O. Morgenstern (Nueva York, 1954), pp. 45 y ss; M. A. Woodbury, «Properties of Leontief-Type Input-Output Matrices», en el mismo volumen, pp. 341 y ss.

die ha propuesto la tesis de que una tabla input-output constituye una concepción totalmente nueva de cómo puede representarse analíticamente un proceso. Al ser esto así, la cuestión candente es la de qué sitio tendríamos que asignar a los elementos de la diagonal de una tabla input-output cuando la reordenamos en la matriz flujo de la forma de proceso. Si sumamos esos elementos a los totales marginales y consideramos esa suma como el flujo de producto del correspondiente proceso, no hacemos sino admitir que no seguimos las reglas de reordenación al pie de la letra. Subsiste el hecho de que nadie parece haber pensado en el problema planteado por los elementos de la diagonal con respecto a la equivalencia de las dos formas. Las escasas justificaciones que se ofrecen a una tabla input-output en la que los recuadros de la diagonal no estén necesariamente vacíos han enfocado el problema desde cierta línea lateral.

La cuestión surgió en relación con la consolidación. Debido a que el problema que nos ocupa no siempre requiere que todos los procesos productivos se distingan explícitamente en el marco analítico, el economista consolida a menudo varios procesos en uno solo. Por sí misma, esta operación no plantea dificultad alguna. Lo único que tenemos que hacer para consolidar  $P_1$  y  $P_2$  en  $P_0$  es eliminar de nuestro cuadro analítico los límites que los separan. El efecto en la Tabla 3 es evidente: las columnas  $P_1$  y  $P_2$  se suman horizontalmente en una nueva columna  $P_0$  que sustituye a las otras<sup>70</sup>. Sin embargo, esto introduce un matiz disonante: el proceso consolidado  $P_0$  tiene *dos* productos,  $C_1$  y  $C_2$ <sup>71</sup>, razón por la que los economistas no se paran generalmente aquí; preferimos emparejar cada proceso con un solo producto. En cierto sentido, parece natural que, si hemos consolidado varios procesos en una industria «metalúrgica», debiéramos agregar también sus productos en un producto «metalúrgico»<sup>72</sup>. Este es el motivo por el que, en economía, «consolidación» significa *consolidación* de procesos y *agregación* de los correspondientes productos.

<sup>70</sup> Esta regla suena como la regla ultrafamiliar de la suma de vectores. Sin embargo, contiene algo más. Así, por ejemplo, las coordenadas de flujo  $x_{11}^*$  y  $-x_{12}^*$  deben sustituirse por la suma  $x_{10}^* = x_{11}^* - x_{12}^*$ , ya que, como hemos subrayado antes, la suma de la correspondiente fila debe ser cero. La razón por la cual las coordenadas de fondo  $X_{11}^*$  y  $X_{12}^*$  deben reemplazarse también por su suma  $X_{10}^* = X_{11}^* + X_{12}^*$  es, no obstante, diferente: cuando se eliminan unos límites que separan dos procesos, evidentemente se unen las acciones de los correspondientes factores de fondo.

<sup>71</sup> En cualquier caso, la matriz de flujos de la nueva representación puede transformarse en una tabla input-output. Lo único que sucede es que esta tabla tiene una columna menos que la Tabla 4. Este punto ofrece una clarificación adicional de la relación existente entre una tabla input-output y la representación en forma de proceso.

<sup>72</sup> Como ya he dicho, la consolidación de  $P_1$  y  $P_2$  es una operación sencilla, libre de toda dificultad. Lo contrario es cierto en el caso de la agregación de varios quantos en un solo quantum. Pero este problema, el más intrincado de todos en el análisis económico y especialmente en las aplicaciones del sistema input-output, puede obviarse sin dificultad por la presente argumentación.

Tabla 5

FORMA CONSOLIDADA DE LA TABLA 3

	$P_0$	$P_3$	$N$	$P_4$
<i>Coordenadas de flujo</i>				
$C_1$	$x_0^*$ ( $x_1^* + x_2^* - x_{12}^* - x_{21}^*$ )	$-x_{03}^*$ ( $-x_{13}^* - x_{23}^*$ )	*	$-x_{04}^*$ ( $-x_{14}^* - x_{24}^*$ )
$C_3$	$-x_{30}^*$ ( $-x_{31}^* - x_{32}^*$ )	$-x_3^*$	*	$-x_{34}^*$
$R$	$-r_0^*$ ( $-r_1^* - r_2^*$ )	$r_3^*$	$r^*$	$r_4^*$
$W$	$w_0^*$	$w_3^*$	$-w^*$	$w_4^*$
<i>Coordenadas de fondo</i>				
$C_0$	$X_{00}^*$ ( $X_{11}^* + X_{12}^* + X_{21}^* + X_{22}^*$ )	$X_{03}^*$ ( $X_{13}^* + X_{23}^*$ )	*	$X_{04}^*$ ( $X_{14}^* + X_{24}^*$ )
$C_3$	$X_{30}^*$	$X_{33}^*$	*	$X_{34}^*$
$C$	$C_0^*$ ( $C_1^* + C_2^*$ )	$C_3^*$	*	*
$L$	$L_0^*$ ( $L_1^* + L_2^*$ )	$L_3^*$	*	$L_4^*$
$H$	$H_0^*$ ( $H_1^* + H_2^*$ )	$H_3^*$	*	$H^*$

Si designamos por  $C_0$  el producto agregado de  $C_1$  y  $C_2$ , el efecto de la consolidación (en el sentido expuesto antes) de  $P_1$  y  $P_2$  se indica en la Tabla 5. La regla es sencilla: sumamos las columnas  $P_1$  y  $P_2$  —tal como ya se ha explicado— y también las filas  $C_1$  y  $C_2$ , tanto en las matrices de flujo como en las de fondo de la Tabla 3. Una cuestión patente, pero crucial, es que la consolidación no puede destruir la clave algebraica de la matriz de flujos: cada fila sigue sumando cero. Por consiguiente, podemos transformar la matriz de flujos de la Tabla 5 en una tabla input-output siguiendo las mismas reglas de mezcla que en el caso anterior. El resultado, indicado en la Tabla 6, pone perfectamente en claro por qué, incluso tras la consolidación, deben seguir estando vacíos los recuadros de la diagonal propiamente dicha en una tabla input-output. Esto confirma la regla esbozada por Leontief para la consolidación de una tabla input-output: tras la suma de las correspondientes columnas y filas, ha de suprimirse el elemento dia-

gonal resultante (si no es cero) y modificarse en consecuencia el total de la fila<sup>73</sup>.

Tabla 6

FORMA CONSOLIDADA CORRECTA DE LA TABLA 4

	$P_0$	$P_3$	$N$	$P_4$	Totales
$C_0$	*	$x_{03}^*$	*	$x_{04}^*$	$x_0^*$
$C_3$	$x_{30}^*$	*	*	$x_{34}^*$	$x_3^*$
$R$	$r_0^*$	$r_3^*$	*	$r_4^*$	$r^*$
$W$	$-w_0^*$	$-w_3^*$	*	$w_4^*$	$-w^*$

Tabla 7

FORMA CONSOLIDADA INCORRECTA DE LA TABLA 4

	$P_0$	$P_3$	$N$	$P_4$	Totales
$C_0$	$x_{12}^* + x_{21}^*$	$x_{03}^*$	*	$x_{04}^*$	$x_1^* + x_2^*$
$C_3$	$x_{30}^*$	*	*	$x_{34}^*$	$x_3^*$
$R$	$r_0^*$	$r_3^*$	*	$r_4^*$	$r^*$
$W$	$-w_0^*$	$-w_3^*$	*	$w_4^*$	$-w^*$

Sin embargo, algunos economistas no consideran en absoluto adecuada esta regla y simplemente suman las columnas y filas pertinentes sin suprimir el elemento diagonal, con lo que obtienen la Tabla 7 en lugar de la Tabla 6. Es posible que este punto de vista sea un débil eco de la regla de la suma de vectores que, como ya hemos visto, funciona perfectamente en el caso de una representación de la forma de proceso, pero, si esto es así, el punto de vista pasa por alto el hecho esencial de que una tabla input-output es una disposición mezclada de la otra. Aparentemente, sólo se ha ofrecido una razón explícita en apoyo del mantenimiento de los elementos de la diagonal tras la consolidación, concretamente que el álgebra funciona

<sup>73</sup> Leontief, *The Structure*, pp. 15 y s. y 189. Curiosamente, el propio Leontief violó esta regla. Véase nota 77 posterior.

mejor si no se suprimen<sup>74</sup>. Sobre esto, no puede haber duda alguna: en el álgebra, los términos pueden eliminarse entre sí, pero nunca quedan exactamente suprimidos. Además, si todos los flujos se miden en términos monetarios (como sucede con frecuencia en los trabajos aplicados), no tiene que modificarse el total de la tabla input-output. Ahora bien, el obstáculo consiste en que el álgebra que funciona espléndidamente en una matriz modificada es susceptible de ser ella misma álgebra mezclada en relación con la matriz básica, no modificada.

Decir únicamente que «no existe dificultad alguna relacionada con la definición de  $[x_1^* + x_2^*]$  ni necesidad de eliminar rúbricas del tipo  $[x_{12}^* + x_{21}^*]$ »<sup>75</sup> no es suficiente para justificar la forma de la Tabla 7. Necesitamos saber qué corresponde en la realidad a la rúbrica  $x_{12}^* + x_{21}^*$  cuando concebimos la totalidad de la economía subdividida solamente en los procesos enumerados en la tabla input-output consolidada. Las estructuras analíticas no deberían superponerse en una maraña confusa. Hay que explicar que  $x_1^* + x_2^*$  representa, en efecto, la salida de producto combinado de  $P_1$  y  $P_2$ , pero sólo en una estructura que incluya estos procesos de forma explícita. Si están consolidados en un único proceso  $P_0$ , no queda sitio alguno en la imagen resultante, excepto para la salida de producto de ese proceso, es decir, para  $x_0^* = x_1^* + x_2^* - x_{12}^* - x_{21}^*$ , tal como lo muestran las Tablas 5 y 6.

La cuestión parece tan sencilla que únicamente puede uno extrañarse de cómo fue posible que se dejase de lado. Recuerdo que la antigua Liga de Naciones solía publicar los datos del comercio exterior de todos los países del mundo en forma de una tabla input-output idéntica en todos los aspectos a la que más tarde hizo famosa Leontief<sup>76</sup>. Evidentemente, todos los recuadros de la diagonal estaban vacíos. Si hubiese aparecido una cifra en el recuadro correspondiente a las exportaciones de Italia a Italia, ¡todo el mundo hubiera estado seguro de que se trataba de un error tipográfico! Y pensemos en una tabla estadística consolidada semejante que mostrase las exportaciones entre los continentes del mundo. ¿No tendríamos que considerar un error tipográfico que apareciese una cifra en el recuadro de la diagonal para las exportaciones de Europa a Europa? La cuestión es que, al consolidar la tabla de países en continentes, han de suprimirse las exportaciones entre los países europeos. Es claro que tal tabla consolidada no puede incluir las exportaciones europeas «internas», del mismo modo que las exportaciones de Estados Unidos no pueden incluir el comercio entre los diferentes Estados federados.

<sup>74</sup> R. Dorfman, P. A. Samuelson y R. M. Solow, *Linear Programming and Economic Analysis* (Nueva York, 1958), caps. ix y x.

<sup>75</sup> *Ibid.*, p. 240. Las expresiones entre corchetes son mis oportunas sustituciones.

<sup>76</sup> Véase, por ejemplo, *Memorandum on Balance of Payments and Foreign Trade Balances, 1910-1923*, Liga de Naciones (2 vols., Ginebra, 1924), I, pp. 70 y ss.

Como quiera que sea, uno se siente fuertemente tentado a afirmar que deberíamos colocar en el recuadro de la diagonal Europa-a-Europa las exportaciones internas europeas y que, de modo semejante, deberíamos considerar el elemento de la diagonal  $x_{12}^* + x_{21}^*$  de la Tabla 7 como representativo del *flujo interno* del proceso consolidado  $P_0$ . Tan grande es esta tentación que hasta Leontief, poco después de insistir en la supresión de los elementos de la diagonal, incluyó uno de tales elementos en una de sus tablas para representar un flujo interno, «los pagos de empresas a empresas»<sup>77</sup>. Sin embargo, de acuerdo con el punto de vista analítico de un proceso, los flujos son los elementos que están especialmente asociados al cruce de unos límites. Por consiguiente, una vez que hemos eliminado de nuestra imagen analítica los límites entre los países europeos o el límite entre  $P_1$  y  $P_2$ , deben desaparecer también los flujos asociados a ellos. Analíticamente, por tanto, el término «flujo interno» es claramente una discrepancia, pero el uso del concepto —con éste o con cualquier otro nombre— está tan difundido que sería pertinente una comprobación directa de la incongruencia analítica que lleva consigo.

Tabla 8

TABLA INPUT-OUTPUT DE UN CANAL SUBDIVIDIDO

De/A	N	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	...	P <sub>n-1</sub>	P <sub>n</sub>	Totales
N	w <sub>0</sub>	w	*	...	*	*	w <sub>0</sub> + w
P <sub>1</sub>	*	w <sub>1</sub>	w	...	*	*	w <sub>1</sub> + w
P <sub>2</sub>	*	*	w <sub>2</sub>	...	*	*	w <sub>2</sub> + w
...	...	...	...	...	...	...	...
P <sub>n-1</sub>	*	*	*	...	w <sub>n-1</sub>	w	w <sub>n-1</sub> + w
P <sub>n</sub>	w	*	*	...	*	w <sub>n</sub>	w <sub>n</sub> + w

Imaginemos un canal  $P$  a cuyo través fluye agua a una velocidad constante y descompongámoslo en  $n$  canales parciales por medio de límites analíticos trazados sin plan alguno. Indiquemos por  $P_1, P_2, \dots, P_n$  los canales parciales y por  $N$  el entorno. La tabla input-output del sistema viene dada por la Tabla 8. Intencionadamente no se adopta ninguna hipótesis relativa a los valores de las coordenadas  $w_i$ . Si ahora consolidamos de nue-

<sup>77</sup> Leontief, *The Structure*, p. 18.

vo los  $P_i$  en  $P$  y no suprimimos los elementos de la diagonal, obtenemos la Tabla 9 y, como podemos hacer  $n$  tan grande como deseemos y el valor de  $w$  es independiente del número de subcanales, se deduce que el flujo interno de  $P$ —es decir,  $\sum_i^n w_i + (n-1)w$ — puede superar cualquier valor que deseemos. Así pues, el flujo interno sería infinito. Es evidente que la misma absurda conclusión se obtiene para cualquier otro proceso.

Otra justificación para la inclusión de los elementos de la diagonal recurre a la distinción habitual entre flujo de salida *bruto* y *neto*. De acuerdo con este punto de vista, el elemento de la diagonal  $x_{12}^* + x_{21}^*$  de la Tabla 7 se supone que representa la diferencia entre el flujo bruto de salida de  $P_0$ ,  $j_0^* = x_1^* + x_2^*$ , y el flujo neto de salida,  $x_0^* = x_{03}^* + x_{04}^*$ . En términos explícitos, ese elemento de la diagonal representa la parte del flujo de  $C_0$  que es utilizado por el propio  $P_0$ <sup>78</sup>. Así pues, esta interpretación nos lleva de nuevo a la misma situación, la de que un elemento de la diagonal representa un flujo interno.

Tabla 9

FORMA CONSOLIDADA DE LA TABLA 8

De/A	N	P	Totales
N	w <sub>0</sub>	w	w <sub>0</sub> + w
P	w	$\sum_i^n w_i + (n-1)w$	$\sum_i^n w_i + nw$

Evidentemente, *dentro* de todo proceso hay algo que está sucediendo en todo momento, algo que fluye en el amplio sentido de la palabra. Dentro de una fábrica que produce vidrio a partir de arena, por ejemplo, hay un «flujo» continuo de arena, de vidrio fundido, de vidrio laminado, etc.; sin embargo, tal como hemos visto, este flujo interno es una categoría de fondo y, por lo tanto, está representado en la imagen analítica de la fábrica por el fondo-proceso  $C$ , no por una coordenada de flujo. Hay también un «flujo» de semilla de trébol en el proceso a cuyo través se produce semilla de trébol, o uno de martillos en el proceso de producir martillos. Estos, igualmente, son fondos que deben representarse por una coordenada de fondo como la  $X_{11}^*$  de la Tabla 3<sup>79</sup>. Posiblemente, al insistir —tal como lo

<sup>78</sup> Este punto de vista aparece en Leontief, *The Structure*, Tablas 5, 6 y 24 (edición de bolsillo), donde varios recuadros de la diagonal están rellenos de datos. Véase también las tablas en su «The Structure of Development», *Scientific American*, Septiembre de 1963, pp. 148-166.

<sup>79</sup> Considero necesario continuar y observar que la semilla de trébol utilizada para producir forraje de trébol es, por el contrario, un elemento de flujo, no de fondo. Si la diferencia puede parecer poco

hace el complejo de flujo— en la inclusión de flujos internos en una tabla input-output, buscamos involuntariamente hacer sitio para tales factores de fondo en una estructura que parece tan conveniente, pero que normalmente incluye solamente flujos puros. Es decir, intentamos pasar de contrabando fondos en una estructura de flujos. Al final, nos encontramos sumando o restando coordenadas de flujo y de fondo que, como vimos en la Sección 4, son elementos heterogéneos. Por desgracia, a pesar de todo, el álgebra seguirá funcionando bien la mayor parte del tiempo, ingeniosa coincidencia que no debería creerse a pie juntillas. El álgebra no puede darnos ninguna señal de peligro sobre tales cuestiones. Esta es la razón por la que el daño hecho por pasar de contrabando fondos en la categoría de los flujos no es probable que se manifieste en la superficie, pero, por debajo de la piel del álgebra, las cosas pueden estar considerablemente desvirtuadas.

La ilustración más convincente la proporciona el intento de Marx de explicar el sistema de fijación de precios en el sistema capitalista a través de su doctrina del valor trabajo. El elemento crucial de su argumentación es el diagrama «simple» a cuyo través representó analíticamente el proceso económico y que, en el fondo, es una tabla input-output. Sostengo que la fuente del conocido predicamento de Marx es el flujo interno con el que representó los martillos utilizados para martillar martillos, por usar de nuevo mi metáfora. Ahora bien, desde el momento en que Marx se entregó por completo a la idea de que la economía debe ser una ciencia *dialéctica* (en sentido estricto), estuvo dispuesto a no distinguir entre flujo y fondo y, por tanto, a sustituir un flujo interno por un fondo analítico. En un enfoque estrictamente dialéctico de toda tensión, Ser es Devenir. Sin embargo, para su diagrama de la reproducción simple Marx volvió al análisis y, en este punto, mezcló la dialéctica con el análisis, hecho del que, aparentemente, no fue consciente. La lección objetiva de las dificultades a que se enfrentó es clara: si uno decide hacer de la dialéctica su compañero intelectual, hay que ser igualmente cuidadoso para no mezclar la dialéctica con el análisis. Los severos preceptos del análisis no pueden soslayarse ni desobedecerse.

14. *El diagrama marxiano de la reproducción simple frente a un modelo de flujo-fondo.* Como podemos recordar, en el diagrama analítico de Marx la economía está dividida en dos sectores productivos,  $P_1$  y  $P_2$ , que elaboran bienes de capital y bienes de consumo, respectivamente, y en dos sec-

clara, se debe indudablemente a nuestro fetichismo monetario —un fetichismo pernicioso—, consistente en pensar en toda variable económica preferentemente en términos monetarios. Sin embargo, el enigma tendría que desaparecer si observamos que, para repetir el proceso de cultivar forraje de trébol, un agricultor tiene que cambiar algo de forraje por semilla, es decir, debe pasar por otro proceso: el mercado de semilla y forraje.

Tabla 10

TABLA INPUT-OUTPUT DEL DIAGRAMA DE REPRODUCCIÓN DE MARX

	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$	Totales
$G_1$	$c_1$	$c_2 = v_1 + s_1$	*	*	$w_1 = c_1 + v_1 + s_1$
$G_2$	*	*	$v_1 + v_2$	$s_1 + s_2$	$w_2 = c_2 + v_2 + s_2$
$H$	$v_1$	$v_2$	*	*	$v_1 + v_2$

tores de consumo,  $P_3$  y  $P_4$ , de los obreros y los capitalistas<sup>80</sup>. Las notaciones utilizadas en la Tabla 10 son las ya familiares:  $v_1$  y  $s_1$  representan el *flujo* de bienes de consumo que se imputan a los obreros y a los capitalistas relacionados con el sector  $P_1$ . El término  $c_2$  corresponde al *flujo* de mantenimiento de  $G_1$  necesario para mantener constante el capital de  $P_2$ ; y  $c_1$ , el punto problemático, corresponde al *flujo interno* de bienes de capital en  $P_1$ , es decir, al flujo de bienes de capital consumidos en la producción de bienes de capital. Todos los términos están expresados en términos de valor trabajo<sup>81</sup>. Si todavía se necesita exponer la heterogeneidad de los términos que componen  $w_1$ , puede citarse la cacofonía de Sweezy al explicar que el valor total se obtiene sumando «el capital constante ocupado [en la producción con] la renta del capitalista [y] la renta del obrero»<sup>82</sup>. Marx supuso también que el capital total del capitalista se compone solamente de capital constante y capital variable. Evidentemente, en un proceso *industrial* continuado tanto los salarios como los flujos corrientes de entrada y mantenimiento se pagan a partir del simultáneo flujo de producto. Así pues, no hay necesidad de suponer que el capitalista posee también capital circulante, a no ser que deseemos hacer el diagrama más realista e incluir en él un fondo de reserva de dinero para tener en cuenta las fluctuaciones irregulares en las operaciones (Sección 9); pero, tal fondo no tiene que mantener ne-

<sup>80</sup> Puede merecer la pena resaltar aquí que la práctica habitual de meter a todos los hogares en el mismo saco analítico constituye una lamentable regresión del análisis marxiano que, al separar los hogares de los capitalistas de los de los obreros, mantuvo la dimensión social en el centro del análisis económico. Así, la economía se ha distanciado de la economía política para convertirse casi por completo en una ciencia de la gestión.

<sup>81</sup> Marx, *Capital*, II, pp. 458-460, y Paul Sweezy, *The Theory of Capitalist Development* (Nueva York, 1942), pp. 75-79 [Hay traducción española: *Teoría del desarrollo capitalista*, México/Buenos Aires: Fondo de Cultura Económica, 4ª edición, 1964]. He incluido la fila  $H$  en la Tabla 10 porque, al igual que Leontief, Marx trataba los servicios del trabajo como una categoría de flujo (a pesar de que, como he resaltado antes, eludió continuamente el término servicio).

<sup>82</sup> Sweezy, *Theory*, pp. 76 y s.



cesariamente la misma relación con todas las categorías de pagos. Sin embargo, hay una forma de dar cierto sentido analítico al diagrama de Marx, forma que se ha sugerido con fuerza por las innumerables elaboraciones contenidas en el *Capital*. Muy probablemente, el proceso que Marx tenía en mente al establecer su diagrama era un proceso agrícola, no uno industrial, pues no deberíamos olvidar que tomó prestado su diagrama de François Quesnay, quien, con su famoso *Tableau économique*, trató de describir la economía de la producción agrícola<sup>83</sup>. En esta alternativa,  $c_1$  es análogo al grano utilizado como semilla al comienzo del proceso y  $w_1$  es la salida bruta de grano al final del proceso. El diagrama representaría así un sistema de procesos elementales dispuestos *en serie* y en los que no hay ningún fondo duradero, mientras que el sistema industrial que Marx quería analizar es un sistema *en línea* en el que el capital es un fondo auto-sostenible en todo momento. Pero debemos continuar.

Son perfectamente conocidos los dogmas básicos de Marx: (1) la competencia provoca la igualdad de valores y precios, en el sentido de que cantidades de igual valor se venden por iguales importes de dinero; (2) a los obreros se les paga su valor, es decir, su nivel de subsistencia, con independencia del número de horas que los capitalistas puedan obligarles a trabajar cada día<sup>84</sup>; (3) la competencia iguala también en todos los sectores la tasa de explotación del trabajo

$$(26) \quad s_1/v_1 = s_2/v_2.$$

Sobre esta base, Marx aseguró ser capaz de explicar el mecanismo de fijación de precios en virtud del cual se igualan las tasas de ganancia de todos los sectores en el *sistema capitalista*, pero, como descubrió al final, si la relación (26) es cierta, la igualdad de las tasas de ganancia,

$$(27) \quad s_1/(c_1 + v_1) = s_2/(c_2 + v_2),$$

no puede darse, a no ser que la composición orgánica del capital sea la misma en ambos sectores, es decir, a no ser que

$$(28) \quad v_1/c_1 = v_2/c_2.$$

Esta relación expresa de hecho una ley tecnológica general que posiblemente no pueda aceptarse<sup>85</sup>. Como resultado de ello, Marx se vio obligado a admitir que los precios no pueden reflejar valores y propuso una regla

<sup>83</sup> Véase K. Marx y F. Engels, *Correspondence, 1846-1895* (Nueva York, 1935), pp. 153-156. Como ya he subrayado en mi obra «Economic Theory and Agrarian Economics», reimpressa en *AE*, p. 384, incluso la ley marxiana de la plusvalía-relación (26) posterior-refleja el sistema del diezmo en la agricultura.

<sup>84</sup> Implícito en esos dos dogmas se encuentra el principio, mencionado en la Sección 6 anterior, de que el valor del servicio de fondo se tiene completamente en cuenta por el flujo de mantenimiento de ese fondo.

<sup>85</sup> El propio Marx la denunció en *Capital*, vol. III, cap. viii. Véase también Sweezy, *Theory*, pp. 69 y s.

para determinar «los precios de producción» correspondientes al diagrama dado. La norma consiste en redistribuir la plusvalía total,  $s = s_1 + s_2$ , entre los dos sectores de tal modo que consiga la igualdad de las tasas de ganancia. Sin embargo, Marx no ofreció ninguna explicación económica de por qué y cómo se obtendrían los precios de producción. Otro tanto puede decirse de los numerosos salvadores de nuestro días que han tratado de hacer desaparecer el punto muerto analítico por medio de reinterpretaciones rocambolescas y, a menudo, de álgebra muy complicada<sup>86</sup>. Pero girar en círculos es inevitable en tanto nos aferremos al complejo de flujo de Marx. Abandonemos, por tanto, este complejo y veamos qué es lo que podemos hacer si, en su lugar, usamos nuestro modelo de flujo-fondo para investigar la argumentación de Marx sobre el valor.

La Tabla 11 representa en forma de proceso la misma estructura que Marx tenía en mente. Supone que la jornada laboral,  $\delta$ , es la misma en ambos sectores, que la clase obrera recibe únicamente su nivel diario de subsistencia,  $V$ , y que las escalas de producción se ajustan de modo que el flujo de producto de  $P_1$  sea exactamente suficiente para el mantenimiento del fondo de capital  $K_2$  de  $P_2$ . Las restantes notaciones se explican por sí solas:  $K_1$  es el fondo de capital de  $P_1$ , y  $n_1$ ,  $n_2$  son el número de obreros homogéneos empleados en los dos sectores,  $n = n_1 + n_2$ . Podemos elegir siempre la unidad de  $G_2$  de modo que  $\delta x_2$  sea igual al tiempo total de trabajo  $\delta n$ , en cuyo caso el valor trabajo de esa unidad es la unidad. Esta convención da como resultado  $x_2 = n$ . Quedan solamente dos incógnitas por determinar:  $\delta_0$ , la duración de la jornada laboral «normal» (el trabajo necesario, en la terminología de Marx), y  $p_0$ , el *valor* de  $G_1$ . Para no apartarse de la línea de razonamiento de Marx, tenemos que calcular  $p_0$  en ausencia de toda explotación del trabajo.

Si no hay explotación (con lo que, según Marx, debemos querer significar que  $s_1 = s_2 = 0$ ), a partir de la última fila de flujo de la Tabla 11 obtenemos la jornada laboral normal,

$$(29) \quad \delta_0 = nv/x_2 = v,$$

donde  $v = V/n$  es el salario diario del obrero. Si  $\delta^*$  es el número máximo de horas que un obrero puede trabajar diariamente sin dañar su existencia biológica, la última relación muestra que la viabilidad del sistema representado por la Tabla 11 exige que  $\delta^* - v \geq 0$ . El hecho de que el trabajo sea productivo, en el sentido de que en algunas circunstancias puede producir más que su nivel de subsistencia, nos invita a asumir que  $\delta_0 < \delta^*$  y, por consiguiente,

$$(30) \quad \delta - v > 0$$

<sup>86</sup> Que yo sepa, todas estas soluciones se refieren únicamente al diagrama de flujos. En lo que respecta a la norma de Marx, véase *Capital*, vol. III, cap. ix, y Sweezy, *Theory*, pp. 107-115. Una de las soluciones alternativas altamente elogiadas, la de L. von Borkiewicz, se presenta en Sweezy, pp. 115-125.

Tabla 11

UNA ECONOMÍA CON DOS SECTORES

	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$
<i>Coordenadas de flujo</i>				
$G_1$	$\delta x_1$	$-\delta x_1$	*	*
$G_2$	*	$\delta x_2$	$-V$	$-(s_1 + s_2)$
<i>Coordenadas de fondo</i>				
$G_1$	$\delta K_1$	$\delta K_2$	*	*
$H$	$\delta n_1$	$\delta n_2$	*	*

para todo  $\delta$ ,  $\delta_0 < \delta < \delta^*$ . La igualdad entre precio y coste (sin participación alguna para los servicios del capital) da para cada sector

$$(31) \quad \delta_0 x_1 p_0 = n_1 v, \quad \delta_0 x_2 = \delta_0 x_1 p_0 + n_2 v.$$

Por medio de la (29), a partir de la primera de esas condiciones obtenemos

$$(32) \quad p_0 = n_1 / x_1,$$

un valor que satisface también la segunda condición, ya que  $x_2 = n$ .

A continuación, supongamos —también con Marx— que los capitalistas pueden imponer una jornada laboral  $\delta$ ,  $\delta_0 < \delta \leq \delta^*$ , y seguir pagando a los obreros los mismos salarios *diarios*<sup>87</sup>. En este caso, a partir de las ecuaciones de costes (con el precio de  $G_1$  fijado a  $p_0$ ) obtenemos

$$(33) \quad s_1^0 = n_1(\delta - \delta_0), \quad s_2^0 = n_2(\delta - \delta_0).$$

Así pues, *por obrero*, la tasa de explotación es la misma,  $(\delta - \delta_0)$ , en ambos sectores, con lo que queda demostrada la ley de la plusvalía (26) de Marx. Sin embargo, al ser las tasas de ganancia en los dos sectores  $r_1^0 = n_1(\delta - \delta_0) / p_0 K_1$  y  $r_2^0 = n_2(\delta - \delta_0) / p_0 K_2$ , no pueden, de nuevo, ser iguales a

<sup>87</sup> La idea de que la *tasa salarial* debería fijarse de forma que permitiese al obrero sólo su mantenimiento diario con la jornada laboral «regular» era muy antigua en la época de Marx: «porque si se concede el doble, sólo trabaja la mitad de lo que lo hubiera hecho y de lo que lo haría de otro modo; lo que constituye para lo Público una pérdida del fruto de mucho trabajo». *The Economic Writings of Sir William Petty*, ed. C. H. Hull (2 volúmenes, Cambridge, Engl., 1899), I, p. 87 (las cursivas son mías). Esta idea, que se encuentra también en las obras de François Quesnay, implica una elasticidad de la oferta de horas de trabajo igual a la unidad y, a todas luces, difiere de la propia explicación de Marx. Respecto de lo que puede llevar a los obreros, de aquella época y posteriores, a tener semejante modelo de oferta, véase mi artículo «Economic Theory and Agrarian Economics» (1960), reimpresso en *AE*, p. 383.

no ser que los factores de fondo se combinen en la misma proporción en ambos departamentos, es decir, a no ser que

$$(34) \quad n_1 / K_1 = n_2 / K_2,$$

que es equivalente a la expresión (28)\* de Marx.

Habría que introducir ahora en nuestro análisis abstracto un elemento objetivo. Los bienes de capital se producen de la misma manera que las especies biológicas. De vez en cuando, una «especie» de bienes de capital evoluciona a partir de otra de tales especies. Es decir, las nuevas especies de capital se producen a través de mutaciones. El primer martillo de piedra se produjo sólo por el trabajo con algunos materiales suministrados por el entorno; el primer martillo de bronce se produjo por el trabajo ayudado por un número considerable de martillos de piedra. Sin embargo, en una economía estacionaria puede no haber mutación: los martillos (o las máquinas) se reproducen por el mismo tipo de martillos (o de máquinas). Ahora bien, el papel del capital es no sólo ahorrar trabajo sino también aumentar la magra energía física del hombre. Así pues, es razonable que *en conjunto* se necesiten más máquinas por hombre para hacer máquinas que para usar estas últimas máquinas en la producción de bienes de consumo. Sostengo que este hecho es bastante obvio y que dentro de una economía estacionaria de dos sectores constituye posiblemente un juicio sintético *a priori*<sup>88</sup>. Esto significa que

$$(35) \quad n_1 / K_1 < n_2 / K_2$$

es en realidad el único caso. Por consiguiente, siempre es  $r_1^0 < r_2^0$ . En consecuencia, en tanto que los bienes de capital se vendan a su valor  $p_0$ , los propietarios de los medios de producción desplazarán con toda seguridad su capital de  $P_1$  a  $P_2$ . Como resultado de todo ello, la aminorada producción de  $P_1$  no será ya suficiente para mantener constante el fondo de capital incrementado de  $P_2$ . En última instancia, *se irá reduciendo la totalidad del fondo de capital constante de la economía*<sup>89</sup>.

<sup>88</sup> Una cuestión totalmente diferente es que la misma afirmación sea cierta para *cualquier* industria de bienes de capital comparada con *cualquier* industria de bienes de consumo, y para resolverla necesitamos una estimación precisa de todo  $K/H^*$  (en nuestro caso,  $K/n$ ). Ahora bien, por las razones explicadas en la Sección 10 anterior, los mejores censos de manufacturas disponibles no nos proporcionan los datos necesarios, como tampoco la clasificación habitual de las industrias es apropiada para este fin específico. Si las diecinueve industrias manufactureras básicas (de la clasificación de Estados Unidos) se ordenan de acuerdo con las siguientes relaciones capital-trabajo —capital fijo por obrero, capital invertido por obrero productivo, caballos por obrero y capital fijo por dólar de sueldos y salarios— los órdenes resultantes no muestran un paralelismo estricto. Cualquiera que sea el significado que pueda tener, he de añadir que las industrias de confección, textiles, muebles y editoriales se encuentran normalmente al final de toda ordenación. Únicamente la industria alimenticia tiende a estar ligeramente por encima de la mediana.

<sup>89</sup> Como consecuencia de la expresión (35), cualquier desplazamiento de capital de  $P_1$  a  $P_2$  exige un aumento del empleo, por lo que podría parecer que tendría que haber también un aumento del to-

Pero antes de que esto pueda suceder, los capitalistas del sector  $P_2$  competirán evidentemente por mantener el crecientemente escaso flujo de  $G_1$ . La competencia —que, como recordamos, es una condición fundamental en la argumentación de Marx— ha de acarrear necesariamente un aumento del precio de los bienes de capital. Este incremento puede hacer que acabe la fuga de capital de  $P_1$  a  $P_2$  e, ipso facto, la contracción gradual del fondo de capital de la economía. Para verificar esta conclusión en términos algebraicos, sea  $P$  el precio monetario de  $G_1$  al cual no habría incentivo alguno para desplazar medios de producción de un sector a otro. Es obvio que este precio debe dar lugar a la igualdad de las dos tasas de ganancia,  $s_1/pK_1 = s_2/pK_2$ . Tras llevar a cabo algunas manipulaciones algebraicas, esa condición da como resultado

$$(36) \quad p = p_0 + \frac{(\delta - \delta_0)(n_2K_1 - n_1K_2)}{\delta x_1(K_1 + K_2)}$$

En vista de las ecuaciones (30) y (35), esta fórmula demuestra que, mientras todo lo demás continúa vendiéndose a su valor trabajo (en sentido marxiano), los bienes de capital deben venderse a un valor superior al del trabajo<sup>90</sup>. La única excepción es el caso en que  $\delta = \delta_0$ , que lleva consigo  $p = p_0$  y  $s_1 = s_2 = 0$ . Pero en este caso los capitalistas se comerían de todos modos su capital<sup>91</sup>. Naturalmente que, si  $\delta > \delta_0$  y se invierte la desigualdad (35), los bienes de capital deberían venderse a *menos* de su valor. Si tuvieran que venderse a  $p_0$ , todo el capital se desplazaría hacia las industrias de bienes de producción y la economía dejaría de funcionar debido a que las máquinas se utilizarían únicamente para hacer máquinas. El hecho de que este mundo invertido, en el que las industrias de bienes de consumo son más intensivas en capital que las otras, puede existir solamente sobre el papel agudiza la conclusión general de esta sección.

tal de gastos de personal. Sin embargo, si interpretamos analíticamente la hipótesis marxiana del ejército de reserva juntamente con la idea de que la clase obrera recibe exactamente su nivel de subsistencia, la tasa salarial no es un dato; en lugar de ello, está condicionada por la constante  $V$ , históricamente determinada, y por la cuantía del empleo,  $v = V/n$ . Véase mi artículo «Mathematical Proofs of the Breakdown of Capitalism», reimpresso en *AE*, p. 400.

<sup>90</sup> Debido a que  $px_1$  representa una transferencia monetaria del sector  $P_1$  al  $P_2$ , habría que esperar que la plusvalía total  $s = s_1 + s_2$  siguiese siendo la misma para cualquier valor de  $p$ , hecho que puede comprobarse fácilmente por medio del álgebra. Igualmente, mi solución, frente a la de Bortkiewicz, no exige que se vuelva a valorar el importe de los salarios, por lo que está mucho más en el espíritu de la solución de Marx.

<sup>91</sup> A fin de evitar un posible malentendido, he de hacer notar que esta afirmación no contradice la proposición de que una tasa cero de interés es compatible con cualquier tendencia de la acumulación de capital. En el modelo considerado aquí, la clase obrera no puede ahorrar, pues solamente recibe su nivel de subsistencia. (De nuevo, esto no excluye que cada uno de los miembros de la clase obrera pueda ahorrar para la vejez a interés cero dentro de esa clase). La cuestión reside en que, en esa situación, un derecho sobre los medios de producción no encontraría posiblemente comprador entre los perceptores de ingresos: su valor de mercado sería cero, menor que el de un trozo de papel.

Es innecesario insistir en que dentro de un esquema de reproducción simple en el que el fondo de capital es un dato no podemos considerar la cuestión de cómo y por qué se ha acumulado capital. El único problema que podemos considerar es cómo puede mantenerse ese fondo. Si los medios de producción no son propiedad de algunos individuos, es tautológico que la totalidad del flujo productivo de bienes de consumo debe asignarse a los obreros (siempre que no exista otra reclamación institucional sobre él). En este caso, la jornada laboral normal está determinada por las preferencias del conjunto de la población entre ocio y renta real a la tasa técnica predominante  $v/x_2$ . En su calidad de precio de cuenta,  $G_1$  debe calcularse en  $p_0$ . El sistema puede entonces seguir reproduciéndose indefinidamente. Si, por el contrario, los medios de producción son propiedad de algunos individuos que, como hemos visto, únicamente pueden transformarlos en un flujo de bienes de consumo, el mantenimiento del fondo de capital exige que la jornada laboral tenga que ser más larga que la jornada laboral normal; en otro caso, los propietarios se comerían su capital (otra posibilidad es que los otros reclamantes institucionales pasasen hambre). Una condición adicional para la reproducción del sistema es que la parte del flujo de bienes de consumo que se asigna a los propietarios debe ser proporcional al valor del capital invertido en cada línea de producción. A su vez, esta condición introduce algunos hechos tecnológicos concluyentes, en concreto, que en el sector en el que se reproducen los bienes de capital participan en una mayor proporción respecto del trabajo que en el sector en el que se producen los bienes de consumo<sup>92</sup>. Esta es la razón suprema por la que los bienes de capital han de venderse a un precio superior a su valor trabajo establecido de acuerdo con la lógica propia de Marx.

15. *Mercancías, procesos y crecimiento.* Hasta ahora únicamente hemos considerado la representación analítica de procesos continuados, es decir, de procesos que se *reproducen*. No hemos tocado la cuestión de cómo puede llegar a existir un proceso semejante. Si nos preocupásemos de sistemas mecánicos continuados que implicasen solamente locomoción, podríamos despachar esta cuestión bien asumiendo —como hizo Aristóteles— un Primer Motor que los puso en movimiento al comienzo del Tiempo o bien simplemente reconociendo su existencia —como hizo Newton— en virtud de la Ley de la Inercia (Primera Ley de Newton). Sin embargo, en la economía no podemos soslayar la cuestión de esta manera: En efecto, los procesos económicos, incluso los continuados, se ponen en movimiento y se

<sup>92</sup> Evidentemente, una economía estacionaria sin propiedad del capital podría funcionar indefinidamente, incluso en un mundo al revés. Sin embargo, surge una dificultad insospechada si en lugar de un estado estacionario consideramos un sistema dinámico: ¡el mundo «normal» es dinámicamente inestable y el mundo «invertido» estable! En lo que se refiere a un análisis de cada caso según que  $n_1K_2 - n_2K_1$  sea mayor, igual o menor que 0, véase mi trabajo «Relaxation Phenomena in Linear Dynamic Models» (1951), reimpresso en *AE*, pp. 310 y s.

mantienen así por el hombre; más exactamente, *los procesos económicos se producen del mismo modo que las mercancías*. Piénsese en una fábrica. ¿No es una fábrica textil, por ejemplo, justamente el «producto» de la actividad económica como lo es una pieza de tela? Desde que la evolución económica de la humanidad alcanzó la fase en la que el hombre utilizaba mercancías para producir mercancías, la producción de más mercancías ha tenido que ir precedida por la producción de procesos adicionales. Por otra parte, producir un proceso adicional implica el uso de algunas mercancías ya disponibles. Desde una perspectiva realista, la *inversión* es la producción de procesos adicionales y el *ahorro* es la asignación de mercancías ya disponibles a esa producción.

No es preciso decir que ninguna de las representaciones analíticas consideradas en las secciones precedentes ofrece espacio para este importante aspecto de la actividad económica humana: la producción de procesos. Esas representaciones describen los procesos reproductivos ya producidos, pero el hecho sobre el que deseo llamar la atención del lector es que, al menos entre lo que puede buscarse en la literatura económica, todos los modelos dinámicos (incluidos los que se ocupan del *crecimiento*) tienen en cuenta la producción de mercancías, mas no la de procesos. La omisión no tiene nada de inconsecuente, ya sea para la comprensión teórica del proceso económico o para la importancia de esos modelos como guías para la planificación económica. Por un lado, la omisión es responsable de la característica casi explosiva que se encuentra incrustada en todos los modelos habituales de economía dinámica, tal como lo voy a indicar dentro de poco.

Pero hay otra razón por la que —pese a la literatura de la dinámica económica— un modelo dinámico resulta inútil para arrojar luz sobre el problema de cómo ocurre el crecimiento, lo que incluye el problema de cómo el propio crecimiento puede crecer más rápidamente<sup>93</sup>. Del mismo modo que un modelo estacionario implica por sí mismo un Primer Motor a menos infinito en la escala temporal, un modelo dinámico supone implícitamente un Primer Planificador que pone el sistema en crecimiento en el origen del Tiempo. Una analogía procedente de la mecánica permitirá enfocar con claridad la cuestión, tal como la veo. Supongamos que una bola se mueve (sin fricción) sobre una mesa horizontal en virtud de la Ley de la Inercia, es decir, con un movimiento lineal uniforme. De acuerdo con la misma ley, este sistema no puede cambiar *por sí solo* su forma reproductiva de moverse. Únicamente una fuerza *externa* —por ejemplo, la fuerza de la gravedad que entra en juego tan pronto como la bola llega al borde de la mesa— puede provocar que su movimiento se haga acelerado. A diferencia

<sup>93</sup> Tal como J. R. Hicks, en «A "Value and Capital" Growth Model», *Review of Economic Studies*, XXVI (1959), p. 173, acusaba a los modelos dinámicos, estos permiten únicamente la selección del punto de partida en una senda de crecimiento previamente seleccionada.

de ello, un sistema económico continuado tiene *dentro de sí* el poder de moverse más deprisa, en una palabra, de crecer. Una segunda diferencia (mucho más importante) es la siguiente: la bola no tiene que moverse más lentamente durante un rato para adquirir una mayor velocidad bajo la influencia de la fuerza de la gravedad. Por el contrario, al igual que en el caso de un saltador, un proceso económico continuado tiene que retroceder cierta distancia para poder efectuar el salto. Y lo que quiero apuntar es que en un modelo dinámico esta regresión se remonta a menos infinito en la escala temporal.

Para ilustrar con detalle las observaciones precedentes, voy a referirme al sistema dinámico que, en mi opinión, es el más explícitamente esbozado de todos, el sistema de Leontief. La sencillez de su estructura impedirá también que cuestiones sin importancia confundan la argumentación. Por idéntica razón, deseo considerar el caso más sencillo, concretamente, el de un sistema compuesto por dos procesos productivos  $P_1$  y  $P_2$  que producen las mercancías  $C_1$  y  $C_2$ , respectivamente. Con las notaciones de la Tabla 3 (Sección 13), la hipótesis característica de todos los sistemas de Leontief (estáticos o dinámicos) es que para todo proceso que pueda producir  $C_1$ , los coeficientes de entrada

$$(37) \quad a_{ki} = x_{ki}^* / x_i^* \quad B_{ki} = X_{ki}^* / x_i^*$$

son constantes<sup>94</sup>. Para hacer esta hipótesis más explícita, podemos escribir

$$(38) \quad \begin{aligned} x_1^* &= x_1 \delta_1 a_{11}, & x_{21}^* &= x_1 \delta_1 a_{21}, & x_2^* &= x_2 \delta_2 a_{22}, & x_{12}^* &= x_2 \delta_2 a_{12}, \\ X_{11}^* &= x_1 \delta_1 B_{11}, & X_{21}^* &= x_1 \delta_1 B_{21}, & X_{12}^* &= x_2 \delta_2 B_{12}, & X_{22}^* &= x_2 \delta_2 B_{22}, \end{aligned}$$

donde  $\delta_i$  es la jornada laboral de  $P_i$  y  $x_i$  es un número puro que mide la *escala* de  $P_i$  en relación con el correspondiente proceso de escala unitaria. Los procesos de escala unitaria son:

$$(39) \quad \begin{aligned} P_1^0 &(a_{11}=1, -a_{21}; B_{11}, B_{21}), \\ P_2^0 &(-a_{12}, a_{22}=1; B_{12}, B_{22}). \end{aligned}$$

$P_1^0$ , por ejemplo, describe el proceso *capaz* de producir una tasa de flujo de una unidad de  $C_1$  por unidad de tiempo<sup>95</sup>. Por consiguiente,  $a_{ik}$  es una *tasa*

<sup>94</sup> Leontief, *Studies in the Structure of the American Economy*, pp. 18 y 56. En su sistema dinámico, Leontief deja fuera hasta la entrada de trabajo. La razón para ello es, posiblemente, la misma que me ha llevado a escribir las relaciones básicas de la función de producción en la forma de la expresión (18) en la Sección 9 anterior.

<sup>95</sup> Como debería ser evidente a partir de ahora, objeto la opinión de Leontief (*The Structure*, p. 211, *Studies*, p. 12) de que el análisis estático o el análisis a corto plazo pueden no tener en cuenta en absoluto las coordenadas de fondo  $B_{ik}$ . Es cierto que a corto plazo se supone que los fondos existentes siguen siendo fijos. Ahora bien, si se asume la constancia de los coeficientes (37), las variaciones a cor-

de flujo y  $B_{ik}$  un fondo. Desde el momento en que los  $\delta_i$  no aparecen explícitamente en la presentación de Leontief, podemos asumir que, al igual que todos los economistas neoclásicos, dio por supuesto que tienen el mismo e invariable valor<sup>96</sup>. Para la argumentación que viene a continuación, no importa que adoptemos la misma postura y que, además, supongamos que  $\delta_1 = \delta_2 = 1$ .

Dada la escala  $x_i$ , la tasa de flujo del producto neto  $(y_1, y_2)$  que el sistema es capaz de producir viene determinada por el conocido sistema de relaciones<sup>97</sup>

$$(40) \quad a_{11}x_1 - a_{12}x_2 = y_1, \quad -a_{21}x_1 + a_{22}x_2 = y_2,$$

que está sujeto a la condición indispensable

$$(41) \quad a = a_{11}a_{22} - a_{12}a_{21} > 0.$$

Supongamos ahora que planeamos incrementar las tasas de flujo del producto neto

$$(42) \quad \Delta y_1 \geq 0, \quad \Delta y_2 \geq 0, \quad \Delta y_1 + \Delta y_2 > 0.$$

Estos incrementos exigen los incrementos  $\Delta x_1$  y  $\Delta x_2$  en las escalas de  $P_1$  y  $P_2$ . Vienen determinados por el sistema

$$(43) \quad a_{11}\Delta x_1 - a_{12}\Delta x_2 = \Delta y_1, \quad -a_{21}\Delta x_1 + a_{22}\Delta x_2 = \Delta y_2.$$

A su vez, estos últimos incrementos exigen algunos incrementos en los fondos existentes  $B_1 = x_1B_{11} + x_2B_{12}$ ,  $B_2 = x_1B_{21} + x_2B_{22}$ , a saber,

$$(44) \quad \Delta B_1 = B_{11}\Delta x_1 + B_{12}\Delta x_2, \quad \Delta B_2 = B_{21}\Delta x_1 + B_{22}\Delta x_2.$$

Para acumular estos fondos adicionales, una parte del flujo de producto neto debe acumularse (en vez de consumirse) a lo largo de cierto período  $\Delta t$ . Así pues, durante este período la tasa de flujo de producto neto disponible para el consumo es

to plazo únicamente pueden proceder de un cambio en los  $\delta_i$  o en la capacidad utilizada (lo que equivale a un cambio en los  $x_i$ ). Por consiguiente, es importante saber que cada  $P_i$  puede dar lugar a una utilización total y continua de la capacidad existente (que está determinada por los fondos existentes, no por los coeficientes de flujo observados,  $a_{ik}$ ). Esta capacidad máxima no puede superarse por mucha fuerza de trabajo que desplacemos a  $P_i$ , lo que constituye una cuestión generalmente ignorada en las aplicaciones prácticas del sistema estático de Leontief.

<sup>96</sup> En un sitio, *The Structure of the American Economy*, p. 160, Leontief sí alude a la posibilidad de que varíe la jornada laboral, pero solamente de una industria a otra. Tengo que mencionar también que en la descomposición (38)  $a_{ik}$  no es una coordenada atemporal, pero sí lo es  $B_{ik}$ . Evidentemente, las  $a_{ik}$  son numéricamente iguales a una coordenada atemporal, en concreto, a «las cantidades físicas de  $[C_i]$  absorbidas por la industria  $[P_k]$  por unidad de su propio producto», como Leontief lo ha expresado en *The Structure*, pp. 188 y s., y *Studies*, p. 18.

<sup>97</sup> En esas relaciones,  $a_{11} = 1$ ,  $a_{22} = 1$ . Como consecuencia de que  $a_{11}$  y  $a_{22}$  son coeficientes dimensionales (no números puros), los he incluido explícitamente con el fin de poder comprobar de un vistazo la homogeneidad dimensional de estas y subsiguientes relaciones.

$$(45) \quad z_1 = y_1 - \frac{\Delta B_1}{\Delta t}, \quad z_2 = y_2 - \frac{\Delta B_2}{\Delta t}.$$

Si eliminamos  $\Delta x_1$  y  $\Delta x_2$  de las expresiones (43) y (44), las últimas relaciones se convierten en

$$(46) \quad z_1 = y_1 - \frac{a_{22}B_{11} + a_{21}B_{12}}{a} \left( \frac{\Delta y_1}{\Delta t} \right) - \frac{a_{11}B_{12} + a_{12}B_{11}}{a} \left( \frac{\Delta y_2}{\Delta t} \right),$$

$$z_2 = y_2 - \frac{a_{22}B_{21} + a_{21}B_{22}}{a} \left( \frac{\Delta y_1}{\Delta t} \right) - \frac{a_{11}B_{22} + a_{12}B_{21}}{a} \left( \frac{\Delta y_2}{\Delta t} \right),$$

o, en forma resumida,

$$(47) \quad z_1 = y_1 - M_{11} \left( \frac{\Delta y_1}{\Delta t} \right) - M_{12} \left( \frac{\Delta y_2}{\Delta t} \right),$$

$$z_2 = y_2 - M_{21} \left( \frac{\Delta y_1}{\Delta t} \right) - M_{22} \left( \frac{\Delta y_2}{\Delta t} \right).$$

Este sistema demuestra, en primer lugar, que, una vez que hemos elegido  $\Delta y_1$ ,  $\Delta y_2$ , existe un límite inferior para  $\Delta t$ , es decir, para la rapidez con que podemos alcanzar el nivel elegido  $y_1^i = y_1 + \Delta y_1$ ,  $y_2^i = y_2 + \Delta y_2$ . A la inversa, si se elige  $\Delta t$ , existe un límite superior para  $\Delta y_1$  y  $\Delta y_2$ . En segundo lugar, la expresión (47) demuestra que por muy pequeños que se hayan elegido  $\Delta y_1$  y  $\Delta y_2$  y por muy grande que lo haya sido  $\Delta t$ , el sistema debe caer a un nivel inferior de consumo antes de subir a un nivel más elevado. Como es obvio, podemos reducir esa caída usando los fondos adicionales a medida que se van acumulando, pero no podemos evitarla.

Así pues, consideremos una sucesión de períodos  $\Delta t$  y supongamos que los fondos ahorrados durante cada período se invierten al final del mismo. Para cada período, se obtiene un sistema análogo a

$$(48) \quad z_1^i = y_1^i - M_{11} \left( \frac{\Delta y_1^i}{\Delta t} \right) - M_{12} \left( \frac{\Delta y_2^i}{\Delta t} \right),$$

$$z_2^i = y_2^i - M_{21} \left( \frac{\Delta y_1^i}{\Delta t} \right) - M_{22} \left( \frac{\Delta y_2^i}{\Delta t} \right),$$

donde  $y_k^{i+1} = y_k^i + \Delta y_k^i$ ,  $y_k^0 = y_k$ . Los sistemas (48) nos permiten determinar paso a paso las secuencias  $[y_k^i]$  a partir de secuencias apropiadamente elegidas

$[z_k^i]$ , y viceversa. De esta forma, queda aclarada la imagen de cómo un proceso continuado puede convertirse en un proceso creciente.

Si tomamos límites eligiendo un  $\Delta t$  cada vez más pequeño, la expresión (48) se convierte en

$$(49) \quad \begin{aligned} z_1(t) &= y_1(t) - M_{11}\dot{y}_1(t) - M_{12}\dot{y}_2(t) \\ z_2(t) &= y_2(t) - M_{21}\dot{y}_1(t) - M_{22}\dot{y}_2(t), \end{aligned}$$

donde el punto indica la derivada con respecto a  $t$ <sup>98</sup>. En este caso, podemos determinar también las funciones  $z_k(t)$  si están dadas  $y_1(t)$  e  $y_2(t)$ ; esto es suficientemente sencillo. Sin embargo, la aplicación principal de la (49) o de cualquier otro sistema dinámico se refiere al caso en el que elegimos arbitrariamente los  $z_k$  y usamos el sistema para determinar los  $y_k$ <sup>99</sup>. El cálculo nos dice que, dados los  $z_k$ , las soluciones generales de la (49) implican dos constantes arbitrarias. Como nos aconseja Leontief, esas constantes pueden determinarse a partir de las condiciones iniciales  $y_1(0) = y_1^0$  e  $y_2(0) = y_2^0$ . Este consejo es totalmente correcto siempre que en el origen elegido,  $t = 0$ , el proceso real fuese ya un acelerado, es decir, un proceso dinámico. En el caso de que el proceso venga del pasado en calidad de estacionario, existen ciertas restricciones para la elección de los  $z_k$ , de las que la más importante es  $z_k(0) < y_k(0)$ , para tener en cuenta la «caída» a la que me he referido antes<sup>100</sup>.

Tal como debe haber quedado claro en virtud del análisis precedente, los modelos dinámicos llevan consigo una hipótesis específica a la que prácticamente no se ha prestado atención. La hipótesis es que, tan pronto como se han ahorrado los fondos necesarios, el nivel del producto neto salta *instantáneamente* a  $(y_1 + \Delta y, y_2 + \Delta y_2)$ . Como resultado, el producto neto empieza a aumentar en el preciso momento en que se reduce el antiguo nivel de consumo. Este es el rasgo casi explosivo de los modelos dinámicos a los que me he referido anteriormente. En efecto, si esta hipótesis fuera

<sup>98</sup> La forma normal estándar utilizada por Leontief (*Studies*, pp. 56 y s.) puede deducirse de la expresión (49) si  $y_1$  e  $y_2$  se sustituyen por sus valores dados por la (40). Mi preferencia por la (49) se basa en que compara directamente el producto neto con el nivel de consumo.

<sup>99</sup> *Ibid.*, pp. 57-60.

<sup>100</sup> Los sistemas dinámicos como los de la expresión (49) ocultan sorpresas desagradables. Esta es la razón por la que ni siquiera la condición que se acaba de mencionar es ya suficiente para sostener el crecimiento de forma continuada. La cuestión se ilustra sencillamente por medio de un sistema que lleve consigo únicamente una mercancía, caso en el que la (49) se reduce a  $z(t) = y - My$  o a  $z(t) = y - \dot{y}$  si se elige  $M$  como unidad de tiempo. La solución que transforma un sistema continuado  $y$  en uno creciente es

$$y(t) = y^0 e^{-t} + \int_0^t e^{-t'} z(t') dt'$$

para  $t \geq 0$ . La condición necesaria y suficiente para que  $y$  fuese siempre creciente es que  $y(t) \geq z(t)$ . Hay que observar también que, a diferencia del movimiento de la bola de nuestro ejemplo anterior,  $y(t)$  no puede tener el mismo valor para  $t = 0$  que la velocidad del sistema anterior hasta ese punto.

cierta en el mundo real, podríamos provocar un fantástico crecimiento de cualquier economía simplemente con decretar, por ejemplo, un día a la semana durante el cual ninguna mercancía podría fluir al sector de consumo (manteniendo todo lo demás como estaba). La razón por la que no podemos lograr esa hazaña consiste en que un incremento en el flujo de producto exige que se creen primero algunos *procesos* adicionales. De igual modo, como hemos visto en la Sección 9 anterior, un proceso puede empezar produciendo un flujo de producto sólo después de cebarse, es decir, sólo después de completarse su fondo de proceso  $C$ . Y tanto construir un proceso a partir de mercancías como cebarlo requiere cierto tiempo adicional además del necesario para la acumulación de los fondos  $\Delta B_1$  y  $\Delta B_2$ . En concreto, una vez que se han acumulado los fondos adicionales  $B_{11}\Delta x_1$  y  $B_{21}\Delta x_1$ , durante el intervalo  $\Delta t$ , debemos esperar un intervalo de tiempo adicional  $\tau_1$  antes de que quede disponible el flujo de producto adicional de  $P_1$ . Y, una cuestión que merece subrayarse,  $\tau_1$  abarca el tiempo necesario para construir y cebar el nuevo proceso, del mismo modo que los ahorros necesarios  $B_{11}\Delta x_1$ ,  $B_{21}\Delta x_1$  deben incluir no sólo el equipamiento ordinario de ese proceso sino también su fondo de proceso  $C_1$ . La consecuencia de todo ello es que en la cadena de sistemas (48) ya no podemos escribir  $y_k^{i+1} = y_k^i + \Delta y_k^i$ . Y esto no es todo. La acumulación de stocks puede contemplarse como locomoción, que está en marcha continuamente a lo largo del tiempo, pero la construcción de un proceso es un acontecimiento que no puede reducirse a un punto en el tiempo. Por consiguiente, aunque nada se opone a hacer que  $\Delta t$  tienda a cero en el sistema modificado (48), embrollaría por completo las cosas que también hiciésemos tender a cero  $\tau_1$  y  $\tau_2$ . Así pues, esos retrasos han de aparecer de forma explícita en el nuevo sistema, lo que se expresa mejor en términos de  $x_1(t)$  y  $x_2(t)$ :

$$(50) \quad \begin{aligned} z_1(t) &= a_{11}x_1(t) - a_{12}x_2(t) - B_{11}\dot{x}_1(t - \tau_1) - B_{12}\dot{x}_2(t - \tau_2), \\ z_2(t) &= -a_{21}x_1(t) + a_{22}x_2(t) - B_{21}\dot{x}_1(t - \tau_1) - B_{22}\dot{x}_2(t - \tau_2). \end{aligned}$$

Se elimina así el rasgo casi explosivo del sistema dinámico de Leontief (49) como *herramienta de planificación*. En concreto, si aplicamos la expresión (50) para cambiar un proceso económico continuado en un proceso creciente o para incrementar el crecimiento de un sistema ya creciente, la solución será tal que ningún incremento en la salida de  $P_1$  o de  $P_2$  aparecerá antes de que haya transcurrido cierto intervalo de tiempo (el más pequeño de  $\tau_1$  y  $\tau_2$ ) tras el comienzo del nuevo ahorro<sup>101</sup>.

<sup>101</sup> Las ventajas analíticas de los sistemas desfasados con respecto a los puramente dinámicos se han subrayado de forma repetida en la literatura científica: por ejemplo, Leontief, *Studies*, pp. 82 y s.; J. D. Sargan, «The Instability of the Leontief Dynamic Model», *Econometrica* XXVI (1958), pp. 381-392. Sin embargo, el hecho de que sus soluciones no posean la sencillez analítica de los sistemas puramente



Pero incluso en un proceso *creciente* no es necesario que haya que esperar para obtener el crecimiento. Existe un retraso entre la acumulación y el producto incrementado, porque cada proceso adicional es también el producto de un proceso elemental y porque la terminación de un proceso elemental requiere tiempo, el tiempo de producción. La razón para el retraso es, por tanto, la misma que hemos constatado que interviene en el caso de la producción en pequeños talleres, concretamente, una baja tasa de demanda<sup>102</sup>. Sin embargo, con el desarrollo económico una economía puede alcanzar el punto en el que resulte ventajosa la construcción de un sistema  $\Pi_1$  que produzca *en línea* los procesos  $P_1$  y  $P_2$ , del mismo modo que una fábrica produce mercancías en línea. Una vez construido el proceso  $\Pi_1$ , la economía puede producir los procesos  $P_1$  y  $P_2$  *sin espera alguna*. Lo que es cierto para una fábrica que produce mercancías «instantáneamente» debe seguir siendo válido para una fábrica que produce procesos. Por consiguiente, la economía puede crecer a una velocidad constante que viene determinada por la escala de  $\Pi_1$ . Únicamente habrá que esperar en caso de que la economía necesite crecer a mayor velocidad. Crecer a mayor velocidad exige un incremento en la escala de  $\Pi_1$ , lo que sólo puede conseguirse a través de procesos elementales en serie, a no ser que la economía incluya un proceso  $\Pi_2$  que produzca en línea procesos  $\Pi_1$ . Si fuese éste el caso, la economía podría crecer a una aceleración constante (velocidad constantemente incrementada) sin necesidad de esperar. Sobre el papel, no hay límite alguno a este algoritmo analítico.

Sin embargo, el universo de los hechos no parece encajar en este modelo  $\Pi$ . Incluso en las economías más avanzadas no encontramos fábricas que construyan fábricas que construyan fábricas... Ahora bien, en esas economías encontramos una red compleja y extensa de empresas que están continuamente dedicadas a construir fábricas no totalmente en línea, pero casi; son las empresas generales de contratación, las empresas constructoras, las empresas de obras públicas, etc. Debido a la necesidad de dispersar su actividad por un vasto territorio, esas empresas no poseen una fábrica en el sentido estricto del término. Con todo, esas organizaciones operan, por separado o en colaboración, esencialmente como una fábrica; una fábrica flexible, pero todavía una fábrica.

Como conclusión, quiero señalar que es este sector  $\Pi$  el que constituye el manantial del crecimiento y del posterior crecimiento que parece producirse como por arte de magia en las economías desarrolladas y que, precisamente por esta razón, ha intrigado a los economistas y desconcerta-

dinámicos ha hecho su estudio menos útil y ha desanimado su empleo en aplicaciones concretas. En lo que se refiere al problema de la estabilidad del sistema dinámico de Leontief, véase también mi trabajo citado en la nota 92 anterior.

<sup>102</sup> Véase Secciones 7 y 11 anteriores.

do a los planificadores de las economías en desarrollo. Según una metáfora ya popularizada, hablamos del «despegue» de una economía en desarrollo como de aquel momento en que la economía ha conseguido crear dentro de sí la fuerza motriz de su crecimiento ulterior. A la luz del análisis precedente, una economía puede «despegar» cuando, y sólo cuando, haya conseguido desarrollar un sector  $\Pi$ . Ya es hora, creo, de que reconozcamos que la esencia del desarrollo consiste en la capacidad organizativa y flexible para crear nuevos procesos antes que en la facultad de producir mercancías en plantas materialmente cristalizadas. *Ipsa facto*, deberíamos revisar nuestra teoría del desarrollo económico en pro de nuestra profesión como arte pura y práctica.

## CAPÍTULO X

### ENTROPÍA, VALOR Y DESARROLLO

1. *Entropía y valor económico.* Un aspecto de la agitada historia de la termodinámica parece haber pasado totalmente desapercibido. Se trata del hecho de que la termodinámica nació gracias a un cambio revolucionario sobrevenido en el panorama científico a comienzos del pasado siglo. Fue en esa época cuando los hombres de ciencia dejaron de preocuparse casi exclusivamente por las cuestiones celestes y prestaron también su atención a algunos problemas terrenales.

El fruto más sobresaliente de esta revolución es la Memoria de Sadi Carnot sobre la eficiencia de las máquinas de vapor, Memoria de la que ya hablé antes<sup>1</sup>. Visto retrospectivamente, es evidente que la esencia del problema por el que se interesaba Carnot es económica: determinar las condiciones en las que podría obtenerse la máxima salida de trabajo mecánico a partir de una entrada determinada de calor libre. Así pues, puede aclamarse a Carnot como el primer economista. Ahora bien, el hecho de que su Memoria, el primer trabajo preparatorio de la termodinámica, tuviese un andamiaje económico no es un mero accidente. Toda la evolución posterior en la termodinámica ha venido a aportar nuevas pruebas de la vinculación existente entre el proceso económico y los principios termodinámicos. Por muy extravagante que esta tesis pueda parecer *prima facie*, la termodinámica es en gran parte una física del valor económico, a la que involuntariamente puso en marcha Carnot.

Un síntoma importante es que los puristas sostienen que la termodinámica no constituye un capítulo legítimo de la física. La ciencia pura, dicen, debe acatar el dogma de que las leyes de la Naturaleza son independientes de la propia esencia humana, mientras que la termodinámica tiene un regusto a antropomorfismo. Que tiene tal regusto es incuestionable, pero la idea de que el hombre puede pensar en la Naturaleza en términos totalmente no antropomórficos es una patente contradicción<sup>2</sup>. En reali-

<sup>1</sup> Capítulo V, Sección 4.

<sup>2</sup> Véase Capítulo XI, Sección 4, posterior.

dad, fuerza, atracción, ondas, partículas y, especialmente, las ecuaciones *interpretadas* son todas ellas nociones creadas por el hombre. Sin embargo, en el caso de la termodinámica el punto de vista purista no carece totalmente de base: entre todos los conceptos físicos, únicamente los de la termodinámica tienen sus raíces en el valor económico y, por tanto, podrían no tener sentido alguno para un intelecto no antropomórfico.

Es posible que una mente no antropomórfica no pudiese entender el concepto de entropía-orden que, como ya hemos visto, no puede estar divorciado de la comprensión intuitiva de los fines humanos. Por idéntica razón, una mente semejante podría no imaginar por qué distinguimos entre energía libre y latente, caso de que llegase a ver la diferencia. Lo único que podría percibir es que la energía se mueve a nuestro alrededor sin aumentar o disminuir. Podría objetar que incluso nosotros, los humanos, no podemos distinguir entre energía libre y latente al nivel de una partícula simple que es donde normalmente deberían dilucidarse inicialmente todos los conceptos.

Sin duda alguna, la única razón por la que la termodinámica distinguía inicialmente entre el calor contenido en las aguas del mar y el existente dentro de la caldera de un barco consiste en que *podemos utilizar el último, mas no el primero*. Ahora bien, la afinidad entre economía y termodinámica es más profunda que eso. Por muy capaces que seamos de perder de vista la cuestión, el objetivo primario de la actividad económica es la conservación de la especie humana; a su vez, esa conservación exige la satisfacción de algunas necesidades básicas que, en cualquier caso, se encuentran sujetas a evolución. El bienestar casi fabuloso, sin hablar del lujo extravagante, alcanzado por muchas sociedades pasadas y presentes nos ha llevado a olvidar el hecho más elemental de la vida económica, que entre todas las cosas necesarias para la vida únicamente las puramente biológicas son absolutamente indispensables para la supervivencia. Los pobres no han tenido motivos para olvidarlo<sup>3</sup>. Y, como la vida biológica se alimenta de baja entropía, nos encontramos con la primera indicación importante de la relación existente entre baja entropía y valor económico, pues no veo motivo alguno por el que se tuviese que secar más tarde una raíz del valor económico existente en una época en la que la humanidad apenas era capaz de satisfacer la más mínima necesidad biológica.

Una observación casual es suficiente ahora para demostrar que *toda nuestra vida económica se alimenta de baja entropía*, es decir, de telas, made-

<sup>3</sup> Esta cuestión está relacionada con una consecuencia de la jerarquía de necesidades: lo que se encuentra siempre en el foco de atención de una persona no es lo vitalmente más importante; antes bien, se trata precisamente de las necesidades menos urgentes que puede alcanzar. Una ilustración es el lema publicitario «lo que este país necesita es un buen cigarro de cinco centavos». Véase la Sección V de mi artículo «Choice, Expectations and Measurability» (1954), reimpresso en *AE*.

ra, porcelana, cobre, etc., todas las cuales son estructuras extraordinariamente ordenadas. Pero este descubrimiento no debería sorprendernos. En efecto, es la consecuencia natural del hecho de que la termodinámica se desarrolló a partir de un problema económico y, por lo tanto, no pudo evitar definir el orden de forma que se pudiese distinguir entre, pongamos por caso, un trozo de cobre electrolítico —que nos es útil— y las mismas moléculas de cobre cuando se encuentran esparcidas de tal modo que no nos resultan de utilidad alguna<sup>4</sup>. Podemos tomar entonces como hecho desnudo que la baja entropía es una condición *necesaria* para que una cosa sea útil.

Ahora bien, la utilidad en sí misma no es aceptada como causa de valor económico ni siquiera por los economistas refinados que no confunden el valor económico con el precio. De ello dan fe las agudas argumentaciones presentadas en la antigua controversia sobre si la tierra ricardiana tiene valor económico. Es de nuevo la termodinámica la que explica por qué las cosas que son útiles tienen también un valor económico, que no ha de confundirse con el precio. Así, por ejemplo, la tierra, aun cuando no se pueda consumir, deriva su valor económico de dos hechos: en primer lugar, la tierra constituye la única red con la que podemos captar la forma de baja entropía más vital para nosotros y, en segundo lugar, el tamaño de la red es inmutable<sup>5</sup>. Otras cosas son *escasas* en un sentido que no es aplicable a la tierra, primero, porque la cantidad de baja entropía dentro de nuestro entorno decrece (al menos) continua e irrevocablemente, y, segundo, porque *no podemos utilizar más que una sola vez una cantidad dada de baja entropía*.

Es evidente que ambas escaseces actúan en el proceso económico, pero es la última la que tiene mayor peso que la primera, pues, si fuera posible, pongamos por caso, quemar el mismo trozo de carbón una y otra vez *ad infinitum*, o si cualquier trozo de metal durase eternamente, entonces la baja entropía pertenecería a la misma categoría económica que la tierra, es decir, únicamente podría tener valor en virtud de su escasez y sólo después de haber utilizado toda la oferta del entorno. En ese caso, toda acumulación económica sería eterna. Un país provisto de un entorno tan pobre como el de Japón, por ejemplo, no tendría que seguir importando materias primas un año tras otro, a no ser que quisiera aumentar su población o su renta per capita. Los pueblos de las estepas asiáticas no se habrían visto obligados a embarcarse en la Gran Migración por el agotamiento de los

<sup>4</sup> A estas alturas, el lector debería saber ya, y no sólo sospechar, que con la última observación quiero dar a entender que la Ley de la Entropía no es más que una mera convención oral. Sin embargo, es un milagro que una orden antropomórficamente concebida satisfaga igualmente el hecho de que el carbón se convierte en cenizas en el mismo sentido, del pasado hacia el futuro, para todos los humanos.

<sup>5</sup> Capítulo IX, Sección 6, anterior.

elementos fertilizantes en los pastizales. Estoy seguro de que historiadores y antropólogos podrían ofrecer otros ejemplos, menos conocidos, de la relación «entropía-emigración».

Llegados aquí, la explicación por parte de la termodinámica clásica de por qué no podemos utilizar dos veces la misma cantidad de energía libre y, consiguientemente, de por qué la inmensa energía calórica de las aguas del océano no tienen valor económico es suficientemente transparente como para ser aceptada por todos nosotros. Sin embargo, la termodinámica estadística —debido sin duda a su ambiguo fundamento— no ha conseguido convencer a todo el mundo de que la elevada entropía-orden es también irremediabilmente inútil. Bridgman habla de algunos físicos más jóvenes que en su época intentaron convencer a los demás de que uno podía llenarse «los bolsillos haciendo contrabando de energía»<sup>6</sup>, es decir, invirtiendo alta entropía en baja entropía. Esta cuestión ilustra de la manera más gráfica la tesis de que la termodinámica es una mezcla de física y economía.

Tomemos como base de discusión la historia de una lámina de cobre. Lo que entra en la elaboración de semejante lámina es de general conocimiento: mineral de cobre, otros materiales determinados y trabajo mecánico (realizado por una máquina o por el hombre). Pero todas esas rúbricas se descomponen en último término bien en energía libre o en determinadas estructuras ordenadas de materias primas, en resumen, en baja entropía *ambiental* y nada más. Es cierto que el grado de orden representado por una lámina de cobre es notablemente mayor que el del mineral a partir del cual hemos obtenido el producto acabado, pero, tal como debería haber quedado en claro a partir de nuestras anteriores discusiones, con ello no hemos metido de contrabando ninguna entropía. Al igual que un demonio maxwelliano, nos hemos limitado a separar las moléculas de cobre de todas las demás, pero, para conseguir este resultado, hemos *agotado irrevocablemente una cantidad de baja entropía mayor que la diferencia existente entre la entropía del producto acabado y la del mineral de cobre*. La energía libre utilizada en la producción para suministrar trabajo mecánico —por los seres humanos o por máquinas— o para calentar el mineral se ha perdido irrevocablemente.

Así pues, sería un craso error comparar la lámina de cobre con el mineral de cobre y concluir: ¡Qué bien, se puede crear baja entropía a partir de alta entropía! El análisis del párrafo precedente demuestra que, por el contrario, la producción representa un déficit en términos de entropía: aumenta la entropía total en una cantidad mayor que la que se derivaría de la reorganización automática en ausencia de toda actividad productiva. Pare-

<sup>6</sup> P. W. Bridgman, *Reflections of a Physicist* (2.ª edic., Nueva York, 1955), p. 244.

ce poco razonable así admitir que el hecho de quemar un trozo de carbón no significa una difusión de su energía libre más rápida que si el mismo carbón se dejase a su propia suerte<sup>7</sup>. Únicamente en el consumo propiamente dicho no existe déficit entrópico en este sentido. Una vez que la lámina de cobre ha entrado en el sector de consumo, la reorganización automática se hace cargo de la tarea de ir esparciendo gradualmente sus moléculas a los cuatro vientos. Así, la popular máxima económica «no se puede conseguir nada a cambio de nada» debería reemplazarse por «no se puede conseguir nada, si no es a un coste mayor en términos de baja entropía».

Ahora bien, habría que preguntarse: ¿por qué no ordenamos de nuevo las mismas moléculas para reconstituir la lámina de cobre? La operación no es inconcebible, pero en términos de entropía ningún otro proyecto sería tan fantásticamente infructuoso. Esto es lo que no son capaces de entender los defensores de la entrada de entropía de contrabando. Es cierto que se pueden citar innumerables campañas de achatarramiento dirigidas a ahorrar baja entropía por medio de la selección y clasificación de desechos. Han tenido éxito debido únicamente a que en las *circunstancias dadas* la selección y clasificación de chatarra de cobre, por ejemplo, requirió un menor consumo de baja entropía que cualquier forma alternativa de obtener la misma cantidad de metal. Es igualmente cierto que el avance del conocimiento tecnológico puede cambiar el balance de cualquier campaña de achatarramiento, aun cuando la historia demuestra que los progresos del pasado han beneficiado generalmente a la producción más de lo que lo ha hecho el ahorro de desechos. Sin embargo, para seleccionar y clasificar las moléculas de cobre diseminadas por la tierra y por el fondo de los mares se requeriría tanto tiempo que toda la baja entropía de nuestro entorno no bastaría para mantener vivas las innumerables generaciones de demonios maxwellianos necesarios para la culminación del proyecto. Esta podría ser una nueva manera de establecer con exactitud las implicaciones económicas de la Ley de la Entropía, pero el sentido común captó la esencia de la idea en la parábola de la aguja en el pajar mucho antes de que la termodinámica entrara en el escenario del accidente.

La visión de los economistas ha reaccionado ante el descubrimiento de la primera ley de la termodinámica, es decir, el principio de la conservación de la energía-materia. Algunos autores prudentes han subrayado incluso la cuestión de que no se puede crear ni materia ni energía<sup>8</sup>. Ahora bien —lo que constituye un hecho difícil de explicar—, por muy fuerte que

<sup>7</sup> De acuerdo con la Ley de la Entropía (Capítulo V, Sección 4, y Capítulo VI, Sección 1, anteriores), toda la energía libre incorporada en el carbón situado en los yacimientos se disipará en energía inútil incluso aunque se deje en el yacimiento.

<sup>8</sup> Por ejemplo, A. Marshall, *Principles of Economics* (8.ª edic., Nueva York, 1924), p. 63.

haya sido el ruido causado por la Ley de la Entropía en la física y en la filosofía de la ciencia, los economistas no han prestado atención a esta ley, la más económica de todas las leyes físicas. En realidad, el pensamiento económico moderno se ha ido alejando gradualmente incluso del viejo principio de William Petty de que el trabajo es el padre y la Naturaleza la madre del valor, y en la actualidad un estudiante tiene noticia de este principio sólo como pieza de museo<sup>9</sup>. La literatura sobre el desarrollo económico demuestra sin duda alguna que la mayoría de los economistas profesa una creencia que equivale a pensar que hasta el contrabando de entropía es innecesario: el proceso económico puede proseguir, incluso crecer, sin estar continuamente alimentado con baja entropía.

Los síntomas son claramente evidentes tanto en las propuestas de política económica como en los trabajos analíticos, pues únicamente tal creencia puede llevar a la negación del fenómeno de la superpoblación, a la reciente manía de que la simple educación de las masas es un curallotodo o a la argumentación de que todo lo que un país —Somalia, por ejemplo— ha de hacer para estimular su economía es trasladar su actividad económica a líneas más productivas. No puede uno por menos de preguntarse entonces por qué España se toma la molestia de formar obreros especializados sólo para exportarlos a otros países de Europa Occidental<sup>10</sup>, o qué es lo que nos impide curar los males económicos del estado de West Virginia trasladando su actividad a líneas *locales* más productivas.

Los correspondientes síntomas en los estudios analíticos son todavía más definidos. En primer lugar, está la práctica general consistente en representar el lado material del proceso económico a través de un *sistema cerrado*, es decir, de un modelo matemático en el que se ignora por completo la continua entrada de baja entropía del entorno<sup>11</sup>. Pero incluso este síntoma de la econometría moderna estuvo precedido por otro mucho más habitual: la noción de que el proceso económico es totalmente *circular*. Términos especiales, como proceso indirecto o flujo circular, se han acuñado con el fin de adaptar la jerga económica a este punto de vista. No se necesita más que hojear un manual corriente para encontrarse el diagrama típico con el que su autor trata de recalcar en la mente del estudiante la circularidad del proceso económico.

La epistemología mecanicista a la que se ha aferrado la economía analítica desde su mismo origen es la única responsable de la concepción del

<sup>9</sup> «Las manos son el padre, como las tierras son la madre y la cuna de la riqueza». *The Economic Writings of Sir William Petty*, ed. C. H. Hull (2 vols. Cambridge, Engl., 1899), II, p. 377.

<sup>10</sup> Lo anterior se escribió en 1963, pero, como todo turista sabe perfectamente, incluso hoy en día en muchos países de Europa Occidental los puestos de trabajo de baja categoría en los hoteles están ocupados por emigrantes temporales de Italia y España (por lo menos). Además, la misma situación predomina en el trabajo manual en la minería y en la construcción de carreteras.

<sup>11</sup> Véase el Capítulo IX, nota 30, anterior.

proceso económico como sistema cerrado o como flujo circular. Tal como espero haber demostrado con la argumentación desarrollada en este ensayo, ninguna otra concepción podría quedar más lejos de una interpretación correcta de los hechos. Aun cuando únicamente se tomase en consideración la faceta física del proceso económico, este proceso no es circular sino *unidireccional*. En lo que respecta a esta faceta solamente, el proceso económico consiste en una transformación continua de baja entropía en alta entropía, es decir, en *desecho irrevocable* o, utilizando una expresión tópica, en contaminación. La identidad de esta fórmula con la propuesta por Schrödinger para el proceso biológico de una célula o un organismo vivos justifica a aquellos economistas que, como Marshall, han sido aficionados a las analogías biológicas e incluso han sostenido que la economía «es una rama de la biología ampliamente interpretada»<sup>12</sup>.

La conclusión es que, desde el punto de vista puramente físico, el proceso económico es entrópico: no crea ni consume materia o energía sino que solamente transforma baja entropía en alta entropía. Ahora bien, el conjunto del proceso físico del entorno material es igualmente entrópico. ¿Qué distingue entonces el primer proceso del segundo? Las diferencias son dos y, llegados aquí, no deberían ser difíciles de establecer.

Para empezar, el proceso entrópico del entorno material es *automático* en el sentido de que prosigue por sí mismo. El proceso económico, por el contrario, depende de la *actividad* de los seres humanos que, al igual que el demonio maxwelliano, seleccionan y dirigen la baja entropía del entorno de acuerdo con ciertas reglas definidas, si bien tales reglas pueden variar en el lugar y en el tiempo. La primera diferencia, por lo tanto, es que, mientras en el entorno material no hay más que reorganización, en el proceso económico hay también selección, o mejor, una actividad seleccionadora.

Y, dado que la selección no es una ley de la materia elemental, la actividad seleccionadora debe alimentarse de baja entropía. Por consiguiente, el proceso económico es en realidad más eficiente que la reordenación automática en la producción de más alta entropía, es decir, de desechos<sup>13</sup>. ¿Cuál podría ser entonces la *raison d'être* de semejante proceso? La respuesta es que la verdadera «salida» del proceso económico no es un flujo de salida de desechos sino el *placer de vivir*. Esta cuestión representa la segunda diferencia entre este proceso y el avance entrópico del entorno material. Sin reconocer este hecho y sin introducir el concepto de placer de vivir en nuestro armamento analítico no estamos en el mundo económico ni podemos descubrir la verdadera fuente de valor económico que es el valor que la vida tiene para cada individuo portador de vida.

<sup>12</sup> Marshall, *Principles*, p. 772.

<sup>13</sup> Véase el Capítulo VII, Sección 7.

Se observa así que no podemos llegar a una descripción completamente inteligible del proceso económico en tanto nos limitemos a conceptos puramente físicos. Sin los conceptos de *actividad intencional* y *placer de vivir* no podemos estar en el mundo económico. Y ninguno de esos conceptos equivale a un atributo de materia elemental o puede expresarse en términos de variables físicas.

Como he afirmado anteriormente, la baja entropía es una condición *necesaria* para que una cosa tenga valor. Sin embargo, esta condición no es *suficiente*. La relación entre valor económico y baja entropía es del mismo tipo que la que existe entre precio y valor económico. Aunque nada podría tener precio sin tener valor económico, las cosas pueden tener valor económico y, sin embargo, no tener precio. A efectos de establecer un paralelismo, basta mencionar el caso de las setas venenosas que, a pesar de contener baja entropía, no tienen valor económico<sup>14</sup>. No deberíamos dejar de mencionar también otro caso común —el de una tortilla, por ejemplo— en el que se prefiere una alta entropía (el huevo batido) a una baja entropía (el huevo intacto); pero incluso para batir un huevo, al igual que para barajar las cartas en el bridge, se degrada necesariamente alguna energía disponible. Ciertamente, el proceso económico es entrópico en cada una de sus fibras, pero las sendas a lo largo de las cuales discurre se trazan en virtud de la categoría de utilidad al hombre. Por consiguiente, sería completamente erróneo *igualar* el proceso económico a un vasto sistema termodinámico y, por ende, pretender que pueda ser descrito por un número igualmente vasto de ecuaciones basadas en las de la termodinámica, que no permita establecer discriminación alguna entre el valor económico de una seta comestible y el de una venenosa. El valor económico distingue incluso entre el calor producido por la combustión de carbón, o de gas, o de madera, en una chimenea. Todo esto, empero, no afecta a la tesis que he intentado desarrollar por todos los medios en este libro, a saber, que la esencia básica del proceso económico es entrópica y que la Ley de la Entropía rige en grado sumo este proceso y su evolución.

Ha habido sugerencias esporádicas en el sentido de que todos los valores económicos pueden reducirse a un denominador común de baja entropía. Al parecer, el primer autor que afirmó que el dinero constituye el equivalente económico de la baja entropía fue el físico alemán G. Helm (1887)<sup>15</sup>. Encontramos la misma idea desarrollada más tarde por L. Winiarski: «Así pues, los precios de las mercancías (ya sea que tomemos la definición de Jevons, como tasa de satisfacciones, o de Ricardo —como tasa de trabajos—, que vienen a ser la misma cosa) no representan más que los

<sup>14</sup> Evidentemente, hasta las setas venenosas podrían ser indirectamente útiles por una orden divina, *die göttliche Ordnung* de Johann Süssmilch. Pero eso no afecta a nuestro problema.

<sup>15</sup> G. Helm, *Die Lehre von der Energie* (Leipzig, 1887), pp. 72 y ss.

diferentes coeficientes de conversión de la energía biológica». La conclusión es igualmente asombrosa: «El *oro* es, por tanto, el equivalente social general, la pura personificación y la encarnación de la energía socio-biológica»<sup>16</sup>. Otros autores intentaron mejorar algo la postura de Helm y Winiarski afirmando que, aun cuando no existe equivalencia directa entre baja entropía y valor económico, hay en cada caso un factor de *conversión* de la primera en la última. «De igual modo que una máquina expendedora específica entregará siempre un paquete dado de chocolate, en condiciones similares una organización social determinada dará (aproximadamente) la misma cantidad de una forma seleccionada de energía como contraprestación de una suma establecida de dinero»<sup>17</sup>. La sugerencia de determinar todos los factores individuales de conversión —aun en el caso de que fuese factible— seguiría sin ser de mucha ayuda para el economista; en efecto, únicamente tendría que cargar con una tarea nueva y totalmente inútil: explicar por qué esos coeficientes difieren de los correspondientes índices de precios.

2. *La ecuación general del valor*. Las observaciones precedentes resultan inmediatamente evidentes si contemplamos la totalidad del proceso económico como un proceso parcial y si, además, consideramos este proceso parcial a lo largo de un intervalo de tiempo suficientemente corto. Desde el momento en que a lo largo de un intervalo semejante puede despreciarse sin problema alguno cualquier crecimiento o desarrollo, el proceso se acerca mucho a uno estacionario. Su descripción analítica en términos materiales no precisa ninguna elaboración. Los fondos —la tierra, el capital propiamente dicho y la totalidad de la población— entran en el proceso y salen de él intactos (en el sentido especial que hemos atribuido al término «intacto» en el capítulo precedente). Hay solamente dos flujos: un flujo de entrada de baja entropía y un flujo de salida de alta entropía, es decir, de desechos. Si tuviéramos que establecer el balance del valor sobre la base de estas entradas y salidas, llegaríamos a la conclusión absurda de que el valor del flujo de baja entropía del que depende el mantenimiento de la propia vida es igual al valor del flujo de desechos, esto es, a cero. La aparente paradoja se esfuma si reconocemos el hecho de que el verdadero «producto» del proceso económico no es un *flujo* material sino un *flujo* psíquico, el placer de vivir de cada uno de los miembros de la población. Es este flujo psíquico el que, como insistieron Frank Fetter e Irving Fisher<sup>18</sup>, constituye

<sup>16</sup> L. Winiarski, «Essai sur la mécanique sociale: L'énergie sociale et ses mensurations», Parte II, *Revue Philosophique*, XLIX (1900), pp. 265 y 287. La traducción y las cursivas son mías.

<sup>17</sup> Alfred J. Lotka, *Elements of Physical Biology* (Baltimore, 1925), p. 356. No es irrelevante subrayar que tampoco Lotka pudo deshacerse del fetichismo del dinero al discutir el papel de la baja entropía en el proceso económico.

<sup>18</sup> F. A. Fetter, *The Principles of Economics* (Nueva York, 1905), cap. vi; Irving Fisher, *The Theory of Interest* (Nueva York, 1930), p. 3.



la noción pertinente de renta en el análisis económico. El hecho de que sus voces fueran oídas pero no seguidas no debería impedirnos reconocer, con retraso, que tenían razón.

Al igual que todo flujo, el del placer de vivir tiene una intensidad en cada instante del tiempo, pero, a diferencia de un flujo material, no se puede acumular en un stock. De todo el placer de vivir pasado una persona conserva únicamente una memoria de mayor o menor claridad. Un millonario que ha perdido toda su fortuna en una quiebra de la Bolsa no puede recurrir al depósito de placer de vivir acumulado de sus buenos años anteriores, debido a que, sencillamente, no existe tal depósito. De igual modo, un obrero jubilado que ha ahorrado para la vejez tampoco puede decir en modo alguno que está agotando ahora el stock de su placer de vivir acumulado; sus ahorros monetarios son sólo el instrumento por el que tales personas son capaces de lograr una intensidad deseada de placer de vivir en cada momento de su vida, no ese placer propiamente dicho. Ahora bien, al igual que en el caso de un servicio, podemos pensar en el flujo de placer de vivir a lo largo de un *período de tiempo*. La única dificultad que plantea esta idea es que la intensidad de este flujo en un instante de tiempo no parece ser una entidad mensurable, ni siquiera en el sentido ordinal. Este es, de hecho, el único problema con el que los teóricos de la utilidad han luchado continuamente, aunque en vano, desde que los economistas recurrieron a la utilidad para explicar el valor económico<sup>19</sup>. Sin embargo, en un corto intervalo —como el que contemplamos ahora— la intensidad del placer de vivir no cambia mucho. Por consiguiente, podemos representar simbólicamente el placer total de vivir por el producto de su intensidad y de la longitud de ese intervalo. Esto resulta tanto más legítimo cuanto que en la posterior argumentación no pretendo llevar a cabo ninguna operación aritmética con esta pseudomedida.

Otro hecho elemental es que el placer de vivir depende de tres factores, dos favorables y uno desfavorable. El placer diario de vivir se ve aumentado por un incremento en el flujo de bienes de consumo que se pueden consumir diariamente, así como por un tiempo de ocio más prolongado<sup>20</sup>. Por otra parte, el placer de vivir disminuye si se han de trabajar más horas o en una tarea más exigente. Una cuestión que actualmente requiere un énfasis especial es la de que el efecto negativo del trabajo sobre el placer diario de vivir no consiste solamente en una disminución del ocio. Realizar un esfuerzo manual o mental disminuye ciertamente el ocio,

<sup>19</sup> Véase mis artículos «Choice, Expectations, and Measurability» (1954), reimpreso en *AE*, y «Utility», *International Encyclopedia of the Social Sciences* (Nueva York, 1968), XVI, pp. 236-267.

<sup>20</sup> En realidad, las personas disfrutaban también de los servicios de algunos fondos: algunos bienes de consumo duradero. A fin de evitar complicaciones irrelevantes para el tema de esta sección, propongo dejar de lado este elemento.

pero además carga el placer de vivir con la desutilidad del trabajo<sup>21</sup>. Por consiguiente, los tres factores que determinan conjuntamente el placer diario de vivir deben mantenerse separados en una representación analítica previa. Si  $e$  representa el placer diario de vivir de una persona determinada, podemos escribir simbólicamente:

$$(1) \quad e = \text{placer de consumir} + \text{placer del ocio} - \text{monotonía del trabajo.}$$

Digo «simbólicamente» porque en esta ecuación (al igual que en las del mismo tipo que voy a formular en lo sucesivo) los signos matemáticos no se toman en sentido estricto sino más bien como signos convenientes para resumir los elementos imponderables que, de forma positiva o negativa, entran en la entidad representada a la izquierda del signo de igualdad. Con esta idea en mente, podemos escribir la expresión (1) de forma más detallada como sigue:

$$(2) \quad e = (i_1 \times 1) + [i_2 \times (1 - \delta)] - (j \times \delta).$$

Aquí,  $i_1$  es la intensidad del placer de consumir;  $i_2$  es la intensidad del placer del ocio;  $j$  es la intensidad de la desutilidad del trabajo; y  $\delta$  es la jornada laboral (que no precisa ser un número positivo para cada persona). El hecho de que la intensidad del placer de consumir esté multiplicada por la unidad (la jornada completa) debería entenderse con facilidad. El consumo es un proceso que prosigue ininterrumpidamente con el flujo de Tiempo; tenemos que comer, vestirnos, resguardarnos bajo techo, etc., todos los días y a todas horas. A diferencia de la jornada laboral, la jornada de consumo no viene determinada por nuestra voluntad o nuestras instituciones; viene dictada por el hecho de que el proceso de la vida no puede interrumpirse y retomarse (tal como puede hacerse con un proceso fabril).

Para relacionar las anteriores observaciones con el proceso económico, resulta inmediatamente evidente que tenemos que dividir este proceso en otros dos, la tradicional división en el proceso de producción  $P_1$  y el proceso de consumo  $P_2$ . Eliminando los detalles irrelevantes, el sistema obtenido viene representado por la Tabla 12, donde  $C$  significa un bien de consumo compuesto,  $K$  un bien de capital compuesto (incluyendo las existencias y los fondos-proceso),  $n$  es el número de turnos de trabajo, y  $\Delta = n\delta \leq 1$ <sup>22</sup>.

<sup>21</sup> La tesis actualmente dominante es que el ocio «significa libertad de la carga de trabajo; y la satisfacción que produce es el placer de no trabajar». T. Scitovsky, *Welfare and Competition* (Chicago, 1951), p. 105. La tesis tiene sus raíces en el enfoque Walrasiano que ignora la desutilidad del trabajo. Por otro lado, el enfoque de Gossen-Jevons considera únicamente la desutilidad del trabajo y no presta atención a la utilidad del ocio. Para más detalles sobre la diferencia entre esos dos enfoques incompletos, véase mi artículo «Utility», pp. 248 y s.

<sup>22</sup> Véase la Tabla 3 del Capítulo IX anterior. Para obtener una representación más fiel, tendría que dividirse el sector de producción en un sector agrícola (en el que no puede haber turnos de trabajo propiamente dichos) y un sector manufacturero. Sin embargo, tal división no haría más que complicar innecesariamente la argumentación que sigue.

El símbolo  $E^*$  significa el placer de vivir que proporciona el sector de consumo, es decir, el placer de consumir y el placer del ocio de toda la población. Simbólicamente, puede descomponerse como sigue

$$(3) \quad E^* = (H_0 \times I_1) + (H' \times I_2') + [H \times I_2 \times (1 - \delta)],$$

donde  $H_0$  es el tamaño de la población,  $H' = H_0 - H$  es el tamaño de la «clase mantenida» (jóvenes y viejos, así como los rentistas, si los hubiera),  $I_1$  es el placer «medio» diario de consumir e  $I_2'$  e  $I_2$  son las intensidades «medias» del placer del ocio para  $H'$  y  $H$ <sup>23</sup>. Para completar el cuadro, sea  $E$  el placer diario total de vivir de la población cuando se tiene en cuenta la desutilidad del trabajo. Tenemos

$$(4) \quad E = E^* - (H \times J \times \delta),$$

donde  $J$  es la intensidad «media» de la incomodidad producida por el trabajo.

Tabla 12

REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DEL PROCESO ECONÓMICO

	$P_1$	$P_2$
<i>Coordenadas de flujo</i>		
$C$	$\Delta \times c$	$-\Delta \times c$
$R$	$-\Delta \times r$	*
$W$	$\Delta \times w_1$	$w_2$
<i>Coordenadas de fondo</i>		
Tierra	$\Delta \times L$	*
Capital	$\Delta \times K$	*
Fuerza de trabajo	$\delta \times H$	$E^*$

Deseo sostener ahora que todo lo que directa o indirectamente ayuda al placer de vivir pertenece a la categoría de valor económico. Y es preciso recordar que esta categoría no tiene una medida en el estricto sentido del

<sup>23</sup> Puede ser útil repetir que el simbolismo no debe interpretarse en sentido aritmético. Al emplear el lenguaje compacto  $H_0 \times I_1$ , por ejemplo, no quiero decir que los placeres individuales puedan sumarse en una coordenada significativa. Nada podría ser más opuesto que eso a mis propias ideas acerca de la mensurabilidad de la utilidad.

término. Tampoco es idéntica a la noción de precio. Los precios son solamente un reflejo localista de los valores. Dependen, en primer lugar, de que los objetos en cuestión puedan o no ser «poseídos» en el sentido de que su uso pueda serle negado a algunos miembros de la colectividad. Como ya he resaltado en repetidas ocasiones, la irradiación solar es el más valioso elemento para la vida; sin embargo, no puede tener precio alguno, debido a que su uso no puede controlarse como no sea a través del control de la tierra. Ahora bien, en algunos sistemas institucionales incluso la tierra puede no tener precio alguno en términos de dinero, como en el caso de un feudalismo no adulterado y como sucede ahora en los estados comunistas. Los precios se encuentran también influenciados por otro factor institucional más común, el poder fiscal de la administración pública. Frente a ello, el valor es una categoría que únicamente puede cambiar con el avance del conocimiento y que sólo puede proyectarse en una escala dialéctica de orden de importancia.

El flujo de bienes de consumo  $\Delta \times c$  tiene valor porque sin él no habría ningún placer del consumir y, de hecho, ninguna vida humana. Y todo lo que se necesita para producir ese flujo tiene también valor en virtud del principio de imputación. Así pues, podemos escribir una primera ecuación de valor

$$(5) \quad \text{Valor } (H_0 \times I_1) = \text{Valor } (\Delta \times c) \\ = \text{Valor } (\Delta \times r) + \text{Valor } (\Delta \times L) \\ + \text{Valor } (\Delta \times K) + \text{Valor } (\delta \times H).$$

Naturalmente, como nada que tiene valor es expulsado del proceso económico, el valor de desecho es cero y no tiene por qué aparecer en esta ecuación, como no sea, quizá, como término negativo en algunos casos.

El círculo entre el proceso de producción y el placer de vivir se cierra con una segunda ecuación que relaciona el valor de los servicios de la fuerza de trabajo con la desutilidad del trabajo:

$$(6) \quad \text{Valor } (\delta \times H) = \text{Valor } (H \times J \times \delta).$$

Con la ayuda de las dos últimas ecuaciones, la ecuación (4) puede escribirse

$$(G) \quad \text{Valor } E = \text{Valor } (\Delta \times r) + \text{Valor } (\Delta \times L) + \text{Valor } (\Delta \times K) \\ + \text{Valor } (H' \times I_2') + \text{Valor } [H \times I_2 \times (1 - \delta)].$$

Me propongo denominar a esta ecuación «ecuación general del valor» debido a que puede demostrarse que cualquier doctrina importante del valor es un caso particular de ella. Nos permite delinear las diferencias básicas existentes entre estas doctrinas en comparación con el mismo fundamento.

Explicada en términos de precios y de categorías de renta, la (G) se convierte en

$$(G1) \quad \text{Renta} = \text{Royalties} + \text{Alquileres} + \text{Intereses} + \text{Renta del ocio},$$

o, por medio de la (5),

$$(G2) \text{ Renta} = \text{Producto neto} + \text{Renta del ocio} - \text{Salarios.}$$

Podemos considerar primero la concepción ricardiana de *renta neta*<sup>24</sup>:

$$(R) \text{ Renta} = \text{Royalties} + \text{Alquileres} + \text{Intereses} = \text{Producto neto} - \text{Salarios.}$$

Si se compara con (G1) y (G2), esta relación muestra que en la concepción de Ricardo está implícita la idea de que el ocio no tiene valor. La idea de que, al no ser el ocio un producto directo del trabajo, sería inconsistente que una teoría del valor trabajo atribuyese un valor al ocio difícilmente se le hubiese ocurrido a Ricardo. En todo caso, no tenemos indicación alguna de que lo hiciera. Introdujo el concepto de ingreso neto en relación con el problema de lo que debería estar sometido a tributación. Evidentemente, el ocio no constituye una base tangible de tributación; sin embargo, utilizó el ingreso neto también como un índice de bienestar. Por consiguiente, tendríamos que preguntar por qué, incluso en este caso, Ricardo se aferró a la ecuación (R). La respuesta la insinúa el mismo Ricardo en sus *Notes on Malthus*: «Limité mi propuesta [de bienestar] al caso en el que los salarios eran demasiado bajos para permitir [al obrero] todo excedente más allá de lo absolutamente necesario»<sup>25</sup>. Esto significa que tenía continuamente en mente una situación de tan intensiva explotación de la fuerza de trabajo que al obrero no se le dejaba ocio alguno propiamente dicho. Nada tiene de extraño, por tanto, que posteriormente tuviera que introducir correcciones en lo referente al ingreso neto como índice de bienestar. Al rechazar algunas de las críticas de Malthus, Ricardo admitió que «los salarios pueden ser tales que den a los obreros una parte del ingreso neto»<sup>26</sup>. De hecho, fue tan lejos como para hablar del ocio y del placer de consumir del obrero, por encima de su desutilidad de trabajar: «si los salarios del obrero fuesen altos, podría hacer lo que quisiera; podría preferir la indolencia o los lujos», o «la situación del obrero mejoraría si pudiese producir más cosas necesarias en el mismo tiempo y con el mismo trabajo»<sup>27</sup>.

En segundo lugar en orden cronológico, se encuentra la concepción de la renta de Marx, concepción que está basada en el conocido principio de que nada puede tener valor si no es debido al trabajo humano<sup>28</sup>. A partir de este principio, se deduce que

$$(7) \quad \text{Valor} (\Delta \times r) = 0, \quad \text{Valor} (\Delta \times L) = 0, \quad \text{Valor} (\Delta \times K) = 0,$$

<sup>24</sup> David Ricardo, *On the Principles of Political Economy and Taxation*, en *The Works and Correspondence of David Ricardo*, ed. P. Staffa (10 vols., Cambridge, Engl., 1951-1955), I, cap. xxvi.

<sup>25</sup> Ricardo, *Works*, II, p. 381.

<sup>26</sup> *Ibid.*

<sup>27</sup> *Ibid.*, II, pp. 332 y 334.

<sup>28</sup> Karl Marx, *Capital* (3 vols., Chicago, 1932-1933), I, p. 47.

es decir, que las cosas que proporciona la Naturaleza son «gratis» y que los *servicios* del capital propiamente dicho no tienen valor alguno, tal como afirmó Marx explícita e implícitamente. Ahora bien, también se deduce que

$$(8) \quad \text{Valor del ocio} = 0,$$

cuestión que no aparece explícitamente en los escritos de Marx. En base a las (7) y (8), la ecuación (5) se convierte en

$$(9) \quad \text{Valor} (\Delta \times c) = \text{Valor} (\delta \times H),$$

lo que constituye la piedra angular de la doctrina de Marx. La renta neta de Ricardo (en términos monetarios) representa la «plusvalía» que obtienen los capitalistas al forzar a los obreros a producir más de lo que necesitan para vivir. Sin embargo, no hay manera de introducir esta desutilidad adicional del trabajo en la estructura marxiana: tal intento crearía una asimetría con respecto a la ecuación (8).

Como la ecuación (9) reduce el valor únicamente al trabajo humano, se podría estar tentado a decir (algunos han llegado a decirlo) que la doctrina de Marx es idealista antes que materialista. Nada podría estar más lejos de la verdad, porque, si tenemos en cuenta las (7) y (8), la ecuación (G) se convierte en

$$(M) \quad \text{Valor } E = 0.$$

Esto significa que el placer de vivir por sí mismo —que, de acuerdo con mi opinión, constituye la única base de la que emana el valor— no tiene valor alguno. El pleno materialismo de la *economía* de Marx, aun cuando se le contemple por separado de la doctrina del materialismo histórico, no precisa, por lo tanto, plantear ninguna duda en nuestras mentes<sup>29</sup>.

Por otra parte, el análisis precedente demuestra que, a diferencia de la opinión generalmente sustentada, la doctrina marxiana del valor no está cercanamente emparentada con la de Ricardo. Según Marx, todos los términos de la ecuación (R) de Ricardo son cero; y el hecho de que para Ricardo el determinante último de los precios de las mercancías *producidas por el hombre* sea también la cantidad de trabajo no debería inducirnos a error. Para Ricardo, tanto la «tierra» como los servicios del capital (más allá y por encima del mantenimiento) tienen un precio que, evidentemente,

<sup>29</sup> La idea de que la vida no tiene valor es un principio plenamente defendido por los exégetas marxistas. Se dice que, al preguntarle por qué no se suicidaba en el acto, uno de tales exégetas contestó con el sofisma: precisamente porque no hay diferencia alguna entre estar vivo o muerto. A fin de denunciar los «prejuicios marxistas», el filósofo polaco Adam Schaff planteó insistentemente cuestiones como ésta en un artículo muy interesante, «On the Philosophy of Man», una traducción del cual apareció en *East Europe*, X (abril de 1961), pp. 8-12 y 43-45. En esa época, Schaff era el decano de los marxistas polacos y miembro del Comité Central del Partido Comunista.

no puede determinarse por medio de la fórmula del valor trabajo. Sin embargo, ambos enfoques económicos tienen un rasgo importante en común. En efecto, para establecer la relación entre los precios de las mercancías y los del trabajo, Ricardo acude al margen del cultivo, es decir, allí donde la totalidad del producto va al trabajo. Marx acude también a un margen, al margen de la historia económica donde el capital todavía no existe y el trabajo es el único agente productivo. Así pues, Marx era tan «marginalista» como Ricardo. Los principales ejemplos utilizados en los capítulos introductorios del primer volumen del *Capital* para ilustrar su doctrina del valor trabajo dejan pocas dudas al respecto. Marx tiene seguramente razón si tomamos el caso del primer martillo de piedra producido a partir de alguna piedra cogida del lecho de un arroyo: ese martillo de piedra fue producido solamente por el trabajo en base a algo fácilmente ofrecido por la Naturaleza; pero lo que Marx pasaba por alto es que el siguiente martillo de piedra se produjo con ayuda del primero, en realidad a una tasa de reproducción mayor que uno a uno<sup>30</sup>.

Queda la concepción neoclásica de la renta, que es la única utilizada actualmente en la literatura habitual. En esta concepción, la renta se identifica sencillamente con el valor del producto, lo que equivale a tachar los dos últimos términos de la ecuación (G2). Alternativamente, la fórmula puede escribirse en la forma generalizada

$$(NC) \quad \text{Renta} = \text{Royalties} + \text{Alquileres} + \text{Intereses} + \text{Salarios.}$$

Al igual que el de Ricardo, este enfoque niega todo valor económico al ocio, pero, a diferencia de él, no deriva de la renta la desutilidad del trabajo. Evidentemente, el enfoque refleja el punto de vista del hombre de negocios: los salarios son parte de su coste, pero no representan una contrapartida de coste en el placer de vivir del obrero<sup>31</sup>.

La opinión de que el andamiaje teórico de la doctrina marxiana del valor (tomada en sí misma y sin considerar la validez real de sus hipótesis) ha de admirarse por su consistencia lógica ha sido expresada por más de una autoridad en economía<sup>32</sup>. El análisis anterior no ofrece motivo alguno contra esa opinión. En comparación con ello, el vacío filosófico de la escuela

<sup>30</sup> En lo que respecta al cambio así introducido, ya sea en la tecnología o en las matemáticas, véase Capítulo XI, Sección 3, anterior.

<sup>31</sup> Puesto que la diferencia entre las ecuaciones (G1) y (NC) se limita a la del último término de cada suma, no diferirían si la desutilidad del trabajo fuese compensada por la utilidad del ocio. No obstante, teniendo suficiente generosidad, se podría interpretar (G1) dentro del sistema de Walras de modo que relacionase sus observaciones generales sobre los ingresos con su idea de que los obreros venden de hecho la utilidad de parte de su tiempo de ocio. Véase Léon Walras, *Elements of Pure Economics* (Homewood, Ill., 1954), pp. 257-260 y 378-380.

<sup>32</sup> Por ejemplo, Thorstein Veblen, «The Socialist Economics of Karl Marx and His Followers», *Quarterly Journal of Economics*, XX (1906), p. 575; J. A. Schumpeter, *Ten Great Economists from Marx to Keynes* (Nueva York, 1951), p. 25.

neoclásica se hace mucho más evidente. Posiblemente, una pronunciada inclinación pragmática sea responsable del hecho de que esta escuela, a la vez que presta atención a la parte del tiempo del obrero vendida por salarios, haya pasado completamente por alto el valor del tiempo de ocio. Si se igualan los precios al valor o si se considera a los precios como el único medio indirecto de medir valores, el problema del valor del tiempo de ocio lleva consigo una dificultad práctica: no existe un precio directamente observable del tiempo de ocio. Ahora bien, esta dificultad tiene una solución muy sencilla dentro del propio aparato neoclásico. En relación con el mercado de trabajo, el tiempo de ocio representa demanda de reserva. Al igual que los huevos que un campesino decide reservar para su propio consumo han de valorarse al precio de los huevos vendidos, del mismo modo el tiempo de ocio tendría que valorarse a la tasa salarial predominante para el tiempo de trabajo. Evidentemente, esto es una simplificación que elimina la diferencia esencial existente entre la desutilidad del trabajo y el placer de vivir. Sin embargo, sin esta heroica simplificación no hay manera de llegar a una razonable pseudo-medida del nivel de bienestar de una colectividad que no estuviese viciada por la omisión de un componente importante.

La necesidad de incluir el valor del tiempo de ocio (en una u otra forma) en la pseudo-medida del bienestar se hace mucho más imperativa en el caso de comparaciones internacionales y en el de comparar las situaciones de la misma colectividad en momentos distantes del tiempo<sup>33</sup>. No existe duda alguna de que, si una persona puede elegir entre vivir en el país U o en el país S —teniendo ambos la misma renta per capita—, elegirá U si *ceteris paribus* su situación económica requiere menos horas de trabajo y menos trabajo duro. Sin embargo, existe una dificultad de la que deberíamos ser conscientes al sustituir en la ecuación (G2) el ocio por una valoración en términos de precio. En los países superpoblados, el ocio es tan abundante que, al valorarlo a la tasa salarial, corremos el riesgo de situar el bienestar de la India más alto que, por ejemplo, el de Estados Unidos. Lo que ha de tenerse presente es que, a diferencia de lo que sucede en una economía desarrollada, en los países superpoblados la mayor parte del ocio es ocio *no deseado*. En esta situación, se viene abajo la argumentación de la demanda de reserva, y ello por dos motivos relacionados entre sí. El primero es que, si nuestro campesino no tiene ningún uso alternativo para los huevos con los que, contra su voluntad, se ve obligado a regresar del mercado, no podemos hablar de una demanda de reserva en sentido estricto. En segundo lugar, una abundancia excesiva de huevos puede hacer que el precio de los mismos se reduzca casi a cero. Ahora bien, la misma ley no es

<sup>33</sup> Que yo sepa, el primer autor en insistir en esta opinión y en defenderla es Simon Kuznets, «Long-term Changes in the National Income of the United States of America since 1870», en *Income and Wealth*, Serie II, ed. Simon Kuznets (Cambridge, Engl., 1952), pp. 63 y ss.

aplicable al trabajo: los salarios no pueden caer por debajo de cierto mínimo, ni siquiera aunque exista un abundante exceso de oferta de trabajo, ni aunque, en muchos sectores, se use el trabajo hasta el punto en que su productividad marginal sea cero. Por consiguiente, en la pseudo-medida del bienestar de cualquier país en el que el ocio no es deseado, a ese ocio ha de atribuirse sencillamente un precio nulo<sup>34</sup>.

3. *Entropía y desarrollo.* El hecho de que el proceso económico consista en una transformación continua e irrevocable de baja en alta entropía tiene algunas consecuencias importantes que debieran ser evidentes para todo aquel deseoso de descender por un momento desde las más altas esferas de los elucubrados modelos de crecimiento al nivel de los hechos elementales.

Para empezar, observemos que el sector manufacturero es totalmente tributario de los otros dos procesos —agricultura y minería— en el sentido de que, sin los flujos corrientes de entrada recibidos de ellos, no habría nada que manufacturar en productos industriales. Es cierto que, a su vez, esos otros dos sectores son tributarios de los sectores industriales en cuanto a las herramientas que usan e, implícitamente, en cuanto a una gran parte de su progreso técnico. Ahora bien, esa dependencia mutua no debería llevarnos a perder de vista ni el hecho de que el ritmo al que la baja entropía es bombeada desde el entorno al proceso económico es lo que limita el ritmo de este proceso, ni el orden causal específico que relaciona los tres sectores en los que, por buenos motivos, han dividido los economistas la actividad productiva humana.

Que el hombre ha de satisfacer primero sus necesidades biológicas antes de poder dedicar tiempo y energía a producir mercancías que satisfagan otro tipo de necesidades es un lugar común. Sin embargo, parece que ignoramos ahora, incluso negamos a veces, la prioridad que la producción de alimentos debe tener por tanto sobre la producción de otros bienes de consumo; pero el hecho es que el hombre fue *homo agricola* antes de convertirse también en *homo faber*. Durante mucho tiempo la agricultura fue, tal como observó Jenofonte, «la madre y la nodriza de todas las demás artes»<sup>35</sup>. Fue su madre, porque las primitivas innovaciones técnicas procedieron de la agricultura. Piénsese en la práctica del estercolado, de la rotación de cultivos y, sobre todo, del arado que incluso en la actualidad se lleva a cabo sobre la misma «plantilla» de sus inventores, algunos campesinos anónimos. La agricultura fue, y sigue siendo, la nodriza de todas las demás artes por la sencilla razón de que, en tanto Robinson Crusoe y Viernes no pudieron subsistir con el alimento obtenido por uno solo de ellos, ningun-

<sup>34</sup> Véase mi artículo «Economic Theory and Agrarian Economics» (1960), reimpresso en *AE*, pp. 387 y s.

<sup>35</sup> *The Economist of Xenophon*, ed. John Ruskin (Londres, 1876), V. 17.

no pudo dedicar la totalidad de su tiempo a cualquier otra arte. Si la agricultura no hubiese sido capaz de desarrollarse *por sí misma* al nivel en que podía alimentar tanto a los que labraban el suelo como a los dedicados a otras actividades, la humanidad seguiría viviendo todavía en estado salvaje.

Aunque consideremos el problema desde un punto de vista más sofisticado, todas las economías avanzadas del mundo escalaron a lo alto de su actual desarrollo económico sobre la amplia base de una agricultura desarrollada. No cabe duda de que en la actualidad unos pocos países —Kuwait, por ejemplo— pueden encontrar una fuente de desarrollo en los recursos minerales exclusivamente, pero esto es sólo porque sus recursos pueden usarse *ahora* por las economías ya desarrolladas. El caso singular de Japón es particularmente instructivo para precisar estas observaciones preliminares.

Solemos hablar del milagro económico de Japón en relación con la espectacular recuperación y la igualmente excepcional tasa de crecimiento alcanzado por este país tras la II Guerra Mundial. En mi opinión, el milagro, caso de que podamos utilizar esta expresión, es lo que sucedió tras la Restauración Meiji (1886). Las condiciones geográficas de Japón son más bien inhóspitas: el suelo no contiene recursos minerales, por así decirlo; la topografía es tal que el dieciocho por ciento de su superficie total (la cifra actual) es prácticamente todo lo que puede ararse. Sin embargo, los japoneses salieron a surcar los mares en busca de proteínas y se dedicaron a un cultivo del resto altamente intensivo en trabajo. Sin prácticamente renta alguna por royalties de su propio territorio, Japón tenía ya una economía desarrollada en la época de la I Guerra Mundial. El milagro consiste en que la economía de Japón «despegó» sobre el lomo de una larva de gusano de seda. Otras naciones tenían el gusano de seda, pero perdieron la misma oportunidad. La explicación debe buscarse en las diferencias existentes en las actitudes culturales. También dan cuenta del hecho de que Japón puede tener ahora en funcionamiento una impresionante industria pagando royalties a las naciones de las que importa los materiales bajos en entropía. Puede pagar y seguir prosperando debido a su formidable activo humano: una fuerza de trabajo en extremo eficiente y fácilmente adiestrable así como un talento tecnológico muy imaginativo.

Existe, no obstante, una cuestión sobre la que los economistas japoneses deberían empezar a pensar en vez de dedicar su tiempo, como hace la mayoría de ellos, a modelos matemáticos esotéricos que tienen solamente una conexión verbal con la realidad económica. ¿Cuánto tiempo puede Japón continuar haciendo funcionar su economía de esa manera? Los royalties monetarios tienen tendencia a aumentar cuando se desarrolla una industria local. ¿Seguirá siendo Japón capaz de absorber el coste de los mayores royalties una vez que los países de los que importa ahora materias primas hayan desarrollado por completo, como debemos suponer, su pro-

pia industria? En otras palabras, ¿pueden sus actuales ventajas competitivas (un factor trabajo relativamente barato y eficiente y la cuasi-renta de nuevas ideas tecnológicas) continuar prevaleciendo sobre dificultades en aumento? Un milagro que dura demasiado es un súper-milagro.

Menciono esta cuestión no sólo para acentuar el papel de la baja entropía en nuestra actividad económica general sino también por el siguiente motivo. Como resultado de la moderna creencia de los economistas en que la industrialización es una panacea, todo país económicamente subdesarrollado aspira a convertirse en industrializado hasta los dientes sin pararse a considerar si posee o no los necesarios recursos de la Naturaleza dentro de su propio territorio. Cuando planteé esta última cuestión en los organismos planificadores de algunos países conocidos por sus escasos recursos de la Naturaleza, se me citaba invariablemente el caso de Japón como justificación de sus planes de construir incluso una industria pesada. Ahora bien, si un demonio fuese capaz de poner en práctica de la noche a la mañana los planes económicos a largo plazo (tal vez, incluso, los a corto plazo) de cualquier país del mundo, estoy seguro de que al día siguiente descubriríamos que de hecho hemos estado planificando una inmensa capacidad productiva industrial que debe permanecer en gran medida ociosa como consecuencia de los insuficientes recursos minerales. A medida que estos planes se realicen gradualmente en un futuro próximo, la planeada duplicación de la capacidad productiva industrial nos saltará necesariamente a la cara. En unos cuantos casos, los síntomas de este exceso planificador han empezado ya a poner a los planificadores en una situación embarazosa. Me aventuro a pensar que, tarde o temprano, será preciso introducir cierta coordinación de todos los planes nacionales a través de algún organismo internacional para evitar una duplicación derrochadora. La idea presupone que tendremos que abandonar también muchas de las ideas a las que nos aferramos actualmente en cuestiones de desarrollo económico y sustituirlas por una más amplia perspectiva de lo que significa el desarrollo económico en términos de transformación entrópica.

Si se le despoja de todo ropaje obstruccionista puesto por los modelos de crecimiento actualmente en boga, el desarrollo económico se reduce únicamente a dos elementos: *el desarrollo propiamente dicho*, es decir, la creación de cedazos más finos para tamizar la baja entropía de modo que se disminuya la proporción de ella que se convierte inevitablemente en desechos, y *el crecimiento puro*, es decir, la expansión del proceso de tamizado con los cedazos existentes. La historia económica de la humanidad no deja duda alguna acerca de esta lucha entrópica del hombre<sup>36</sup>. Sin embargo, esta lucha se encuentra sometida a ciertas leyes, algunas de las cuales se deri-

<sup>36</sup> Me apresuro a añadir que la innovación y la expansión no son un fin en sí mismas. La única razón para este ajetreo es un mayor placer de vivir.

van de las propiedades físicas de la materia y otras de la propia esencia del hombre. Algunas pueden ser lugares comunes, otras no. Para nuestra comprensión, no obstante, solamente cuenta una imagen integrada de esas leyes.

Anteriormente, he observado que en el proceso manufacturero, en el que actualmente predomina el sistema fabril, el flujo de producto es proporcional al tiempo durante el cual la capacidad productiva está diariamente en funcionamiento<sup>37</sup>. La observación precisa ser matizada por la condición de que los otros dos sectores tendrían que ser capaces de apoyar la incrementada actividad. Otro tanto puede decirse en lo que se refiere a la expansión de la *escala* del sector manufacturero, y esta vez sin tener en cuenta si este sector funciona de acuerdo con un sistema fabril. La cuestión consiste en que al final el problema de los rendimientos se reduce al de los rendimientos en la minería y en la agricultura. Existe, no obstante, una diferencia entre los rendimientos de la minería y los de la agricultura. En la minería, explotamos los *stocks* de diversas formas de baja entropía contenidos en la corteza del planeta en el que vivimos; en la agricultura, explotamos básicamente el *flujo* de baja entropía que alcanza la tierra en forma de irradiación solar.

Hablando en términos generales, no hay motivo externo alguno por el cual el flujo de producto de una mina explotada con unas instalaciones determinadas no debiera ser aproximadamente proporcional al tiempo de funcionamiento diario. Además, podemos aumentar el flujo de los recursos extraídos abriendo minas adicionales. La única restricción viene determinada por la cantidad de recursos contenidos en la mina, en el primer caso, y por las reservas totales en las entrañas de la tierra, en el segundo. Cabe la posibilidad de que podamos extraer todo el stock de carbón existente en el subsuelo dentro de un corto período de tiempo, un año, por ejemplo, pero, para hacerlo así, tendríamos que ahondar más en la corteza terrestre y alcanzar también vetas cada vez más pobres. *En cualquier momento*, por tanto, un incremento sustancial en la explotación de recursos minerales puede conseguirse a un coste unitario creciente en términos de baja entropía. Igualmente, cabe la posibilidad de que tras extraer todo el carbón del subsuelo podamos quemarlo en el transcurso de un año. Evidentemente, existen grandes obstáculos a extraer y quemar todas las reservas de carbón dentro de un intervalo de tiempo tan corto<sup>38</sup>. Ahora bien, el

<sup>37</sup> Capítulo IX, Sección 10.

<sup>38</sup> Como lo señaló Lord Kelvin en «On the Fuel Supply and the Air Supply of the Earth», *Report of the British Association for the Advancement of Science*, 1897, pp. 553 y s., quemar todas las reservas de carbón dentro de uno o incluso de diez años podría exigir una cantidad de oxígeno mayor que la que se encuentra disponible en la atmósfera. La idea prefiguró un factor de la actual contaminación del aire: la desaforada velocidad con que transformamos el oxígeno de la atmósfera en dióxido (y en monóxido) de carbono.



objetivo de mis ejemplos imaginarios es plantear la cuestión de que la tasa a la que podemos utilizar nuestras reservas minerales depende en buena parte de *nuestra propia decisión*.

En su primera obra económica, *The Coal Question*, Jevons intentó poner al descubierto la implicación de algunas de estas cuestiones, pero se encontró con una desaprobación casi generalizada. «En números redondos», subrayó, «la población [de Gran Bretaña] casi se ha cuadruplicado desde comienzos del siglo XIX, pero el consumo de carbón ha aumentado dieciseis veces y más»<sup>39</sup>. Lo que alarmaba a Jevons era el hecho de que, tal como él y otros estimaron correctamente, la superioridad económica de Inglaterra en la época se basaba en sus abundantes minas de carbón<sup>40</sup>, pues pronosticaba —y en este aspecto demostró posteriormente estar en lo cierto— que las reservas aún más abundantes en Estados Unidos y posiblemente en otros países inclinarían finalmente la balanza en la dirección opuesta<sup>41</sup>.

Sin embargo, el propio Jevons quedó expuesto a las críticas de sus contemporáneos debido a que adoptó también la firme postura de que el hombre no encontrará otro sustituto del carbón como fuente de energía libre<sup>42</sup>. La historia le refutó ostensiblemente en este aspecto. Sin embargo, si volvemos a interpretar su punto de partida básico a la luz de algunas de sus observaciones secundarias, lo vemos ahora confirmado por los principios de la termodinámica. Si Jevons se hubiese referido a las reservas de baja entropía en la corteza terrestre en lugar de al carbón al hablar de «un límite cierto absoluto e inexorable, por muy incierto e indefinible que pueda ser tal límite»<sup>43</sup>, y si hubiese añadido también que la energía libre no puede usarse más que una vez, nos habría presentado una imagen clara de la lucha del hombre con la dote limitada de la existencia de la humanidad en la tierra. Desde esta perspectiva, la conclusión es mucho más firme que la que alcanzó Jevons en el caso del carbón: *incluso con una población constante y con un flujo constante per capita de recursos mineros extraídos, la dote de la humanidad se agotará en última instancia si la carrera de la especie humana no finaliza antes debido a otros factores*.

Al contrario que la mayoría de los economistas de los últimos tiempos, Jevons tiene una excusa perfecta para desconocer la Ley de la Entropía: es-

<sup>39</sup> W. Stanley Jevons, *The Coal Question*, ed. A. W. Flux (3.ª edic., Londres, 1906), p. 196. Al juzgar la preocupación de Jevons por el inminente agotamiento de las reservas de carbón, habría que considerar el hecho de que un científico de la Naturaleza de primera fila, Svante Arrhenius, predijo en 1923 que en 1950 no habría más petróleo disponible! Sin embargo, el fracaso de predicciones semejantes no demuestra que los recursos de la tierra sean inagotables.

<sup>40</sup> *Ibid.*, pp. 3 y 321.

<sup>41</sup> *Ibid.*, cap. xiv. Y estaba en lo cierto, porque la balanza empezó a inclinarse antes de que el petróleo llegase a sustituir al carbón de modo significativo.

<sup>42</sup> *Ibid.*, pp. 8 y 183.

<sup>43</sup> *Ibid.*, p. 195.

ta ley fue formulada por Clausius en el mismo año en que la obra de Jevons salió de la imprenta (1865)<sup>44</sup>. Por la misma razón, podemos dispensar a Jevons de otra afirmación, así como a sus contemporáneos por no oponerse a ella. La afirmación es que «por mucho que se la explote, una granja sometida al cultivo adecuado continuará rindiendo siempre una cosecha constante. Pero en una mina no hay reproducción; una vez explotado al máximo, el producto empezará pronto a fallar y a descender hacia cero»<sup>45</sup>. Curiosamente, la misma idea, incluso en una forma más firme, sigue gozando todavía de gran popularidad, no sólo entre los economistas sino también entre los agrónomos. En una reciente colaboración de expertos en agricultura y población, leemos: «Debidamente utilizadas y merced a su poder de reproducción, pueden [las plantas de la tierra] suministrarnos *indefinidamente* alimentos, madera y los restantes productos naturales que necesitamos»<sup>46</sup>. Al parecer, como en el caso de Jevons, todavía no hemos aprendido lo que Malthus quería decir. Es posible que Malthus lo expresase mal debido a que en su época no pudiese desentrañar las diferencias fundamentales que existen entre agricultura y minería, las bases del proceso económico.

La escasez de baja entropía que el hombre puede utilizar no basta por sí misma para explicar el balance característico y la dirección general del desarrollo económico. Existe un conflicto que, de forma continuada aunque imperceptible, impregna este desarrollo y tiene su origen en la asimetría de las dos fuentes de baja entropía: la irradiación solar y los propios yacimientos de la tierra. Como ya hemos visto, la diferencia en la localización y en el carácter de estas dos fuentes es responsable de algunos aspectos de esta asimetría. Otra razón de la asimetría, igualmente importante, es el hecho de que cada una de las fuentes de baja entropía va asociada a una de las principales categorías de esfuerzos productivos del hombre. La irradiación solar está asociada fundamentalmente a la agricultura, y la baja entropía mineral a la industria. Esta división acentúa la asimetría de la escasez como consecuencia del hecho innegable de que, aun cuando la Naturaleza es el socio del hombre en toda actividad productiva, esta asociación es más estricta y más sutil en la agricultura que en todos los demás sectores.

La asociación es más estricta en la agricultura porque, en primer lugar, la Naturaleza impone el momento en que debe iniciarse un proceso agrícola elemental si se quiere que tenga éxito. Hay que recordar que esto impide,

<sup>44</sup> Véase el Capítulo V, Sección 4, anterior.

<sup>45</sup> Jevons, *Coal Question*, p. 201.

<sup>46</sup> M. Cépède, F. Houtart y L. Grond, *Population and Food* (Nueva York, 1964), p. 309. Las cursivas son mías. La mayoría de los agrónomos comparte la misma falacia. Para otro ejemplo, véase Q. M. West, «The World Food Supply: Progress and Promise», en *Food: One Tool in International Economic Development*, Iowa State University Center for Agricultural and Economic Adjustment (Ames, Iowa, 1962), p. 103.

por regla general, el uso del sistema fabril en la agricultura. Es cierto que el flujo de productos agrícolas puede aumentarse (dentro de ciertos límites) gracias a un trabajo más intensivo o en virtud de unos servicios del trabajo más prolongados, pero es igualmente cierto que la afirmación «si se duplican las horas de trabajo con los mismos fondos materiales, se duplica el flujo de producto» pocas veces, o ninguna, es aplicable a la agricultura<sup>47</sup>. Suponiendo la capacidad productiva industrial y los recursos minerales necesarios, una colectividad puede aumentar la producción de automóviles Cadillac en un veinticinco por ciento simplemente con trabajar diez horas al día en lugar de ocho. El hecho de que la misma prestidigitación sea inútil en la agricultura constituye un obstáculo irreducible en la lucha del hombre por alimentarse.

La segunda razón por la que la misma asociación es más estricta en la agricultura consiste en que no podemos extraer el stock de energía solar a un ritmo que se ajuste a nuestros deseos del momento. Podemos utilizar solamente aquella parte de la energía solar que llega al globo terráqueo al ritmo determinado por su posición en el sistema solar. Con los stocks de baja entropía situados en la corteza de la tierra podemos ser impacientes y, como resultado de ello, podemos ser impacientes —y de hecho lo somos— por transformarlos en mercancías que satisfagan algunas de las necesidades humanas más extravagantes. Pero no sucede así con el stock de energía solar. La agricultura enseña al hombre, mejor dicho, le obliga, a ser paciente, motivo por el que los campesinos tienen una actitud filosófica ante la vida acusadamente distinta de la de las colectividades industriales.

Sin embargo, el elemento más decisivo de la asimetría de la escasez e, implícitamente, de la diferencia existente entre agricultura e industria es el modo sumamente sutil en que la Naturaleza ayuda al agricultor. Cuando utilizamos la energía química de la dinamita o la energía cinética de una cascada, por ejemplo, el resultado buscado es la media estadística de los efectos inciertos a nivel micro. Hasta la producción de los instrumentos más sensibles no tiene que seguir exactamente una estructura atómica específica; a efectos prácticos, es suficiente una aproximación tolerable al esquema macro. En grandes cantidades, ni siquiera las sustancias químicas han de producirse con absoluta pureza. Ahora bien, cultivar una planta a partir de una semilla no es una cuestión de un efecto de masas medio. Por el contrario, cada célula, mejor aún, cada parte de una célula ha de desarrollarse exactamente según un esquema complicado, pero absolutamente rígido, de la estructura atómica, o incluso subatómica.

<sup>47</sup> Véase el Capítulo IX, Sección 9, anterior, especialmente la nota 46. Jevons, *Coal Question*, p. 195, pensó oponer la minería y la industria a la agricultura, insistiendo en que si «si queremos duplicar el producto de un campo, no podemos hacerlo simplemente duplicando los jornaleros». A no ser que pensase «duplicando los jornaleros, utilizando dos turnos en lugar de uno», la observación yerra su objetivo: duplicar los trabajadores de un turno no duplicará el producto de una mina o de una fábrica.

Particularmente hoy en día, la idea de una diferencia fundamental entre lo que el hombre puede hacer en la agricultura y lo que puede hacer en la minería y en la industria es probable que se deseche sin miramientos como vitalismo romántico. A lo más, le pueden recordar a uno que la biología ha logrado recientemente algunos resultados espectaculares. Y, ciertamente, esos descubrimientos se han presentado públicamente como premoniciones del milenio biológico que se acerca, no sólo por periodistas embaucadores sino incluso por varias autoridades que, aparentemente, han sucumbido a la tentación de escribir una utopía un tanto jocosa o a un exagerado entusiasmo por sus propias mercancías<sup>48</sup>. Nada más lejos de mi mente que negar —ni siquiera empujarse— los logros de cualquier ciencia, incluidas las diversas ramas de la biología. También estoy plenamente convencido de que el conocimiento biológico que pueda conseguirse en el futuro lejano nos dejaría atemorizados si se nos revelase bruscamente ahora. Pero aun en el caso de que fuese cierto —como lo considera Joshua Lederberg— que las predicciones sobre los logros de la biología molecular han sido recientemente demasiado conservadoras<sup>49</sup>, no se deduce de ello que la tendencia vaya a ser eterna o que no haya límite alguno a lo que la biología puede hacer.

La postura que sostiene que no es probable que desaparezcan en el futuro las diferencias entre la economía de la agricultura y la economía de la minería y de la industria no niega los numerosos logros de la biología que son dignos de las mayores alabanzas, ni logros tan seductores constituyen una refutación de esta postura. La misma está justificada por las graves dificultades para comprender, predecir y, especialmente, manipular, los procesos vitales. Una visión panorámica de esas dificultades —visión que se ofrece en el Apéndice G posterior— revela que el obstáculo duradero que se opone a que el hombre manipule la materia viva tan eficazmente como lo hace con la inerte reside en dos limitaciones inherentes a la esencia humana.

En primer lugar, el hombre no puede penetrar la dimensión cósmica del espacio y del tiempo. Esta es la razón por la que se le niega la palanca y el fulcro cósmicos pedidos por Arquímedes. Al no ser capaz de adentrarse demasiado lejos en el espacio y en el tiempo, el hombre tampoco puede manipular esos números que Émile Borel denominó apropiadamente «inaccesibles». Y la biología abunda en tales números a cada paso. Así, por ejemplo, los distintos genotipos humanos son tan numerosos que es imposible que todos ellos aparezcan durante la totalidad de la vida de la humanidad.

<sup>48</sup> Ejemplos destacados de las dos últimas categorías son el experto J. B. S. Haldane y el premio Nobel Joshua Lederberg. Sobre este problema, se dirá algo más en el Apéndice G, posterior.

<sup>49</sup> Joshua Lederberg, «Biological Future of Man», en *Man and His Future*, ed. G. Wolstenholme (Boston, 1963), p. 266.

La segunda limitación no es tan inmediatamente evidente, pero en modo alguno es menos inexorable. Aunque podemos mirar a una estrella situada a centenares de años-luz, sabemos que ningún terrícola la alcanzará nunca. Del mismo modo, aun cuando podamos retener en el hueco de nuestras manos millones de billones de átomos, no podemos coger ni uno solo de ellos. El hombre tampoco puede penetrar demasiado profundamente en el microcosmos. Lo que importa para nuestra actual discusión es que no podemos construir una célula individual, o ni siquiera una molécula pieza a pieza, de la misma manera sencilla y directa con que reunimos artilugios electrónicos o rascacielos, por ejemplo. Aun en el caso de que tuviésemos el esquema fantásticamente complejo e inmenso de una célula —que, de hecho, es «inaccesible»—, nos seguirían faltando nanopinzas y nanocucharillas con las que coger o sacar átomos e iones y con las que colocar a cada uno de ellos en la posición matemáticamente exacta que deben ocupar, pues las células y las biomoléculas son tales que una diferencia de sólo unos cuantos átomos separa, por ejemplo, la hemoglobina normal de la que es responsable de la drepanocitosis<sup>50</sup>. Naturalmente, la imposibilidad de tales nanopinzas nos prohíbe el menos formidable proyecto de remodelar una célula individual o incluso una macromolécula.

La base de la limitación perteneciente al microcosmos es, evidentemente, el Principio de Indeterminación. En realidad, antes del descubrimiento de Heisenberg no hubiera sido absurdo creer que una molécula y, con tiempo, hasta una célula podrían en último término ser agrupadas átomo a átomo. Y si, como sostengo, el Principio de Heisenberg expresa una limitación inherente a nuestros sentidos y a sus prolongaciones instrumentales antes que una ley objetiva de la materia, no puede plantearse problema alguno en cuanto a su refutación. Así, un Arquímedes moderno podría exclamar: «Dadme una pinzas submoleculares y podré construir una célula viva a partir de cero».

La única manera en la que el hombre puede manejar la materia es en grandes cantidades, sin exceptuar las reacciones químicas. Otro tanto puede decirse de las diversas técnicas de remodelado en las que se utiliza energía libre para provocar cambios en la estructura química de las células. Sin embargo, dada la inmensidad de la estructura química de una célula, la probabilidad de obtener un auténtico «éxito» es sumamente pequeña. Por el contrario, la probabilidad de conseguir un éxito letal es muy elevada. Utilizando una expresión tópica, podríamos decir que cada una de esas alteraciones atómicas es muy «impura». Así pues, se ve uno obligado a usar un número inmenso de células si se quiere tener la debida probabilidad de un éxito auténtico. Esto significa que el coste y los desechos de cada uno

<sup>50</sup> C. H. Waddington, *The Nature of Life* (Nueva York, 1962), pp. 41 y s.

de esos procedimientos son tan elevados que sería antieconómico aplicarlos a organismos distintos de las bacterias, los insectos y algunas plantas. En base a todo lo que podemos juzgar, en el caso de los animales superiores el coste sería prohibitivo incluso con fines experimentales<sup>51</sup>.

Incluso desde la infusión de la química en la biología, muchos biólogos parecen haber adquirido un complejo de superioridad que recuerda al de los físicos clásicos y que, seguramente, está abocado al mismo destino. Pero, por el momento, estamos peligrosamente expuestos a sus exageradas pretensiones y a sus sueños exaltados. Esta es la razón por la que Medawar consideró necesario decir a su audiencia no especializada que «tal vez les sorprenda saber que sigue sin existir una teoría global de la mejora del ganado por selección»<sup>52</sup>. Esto dice bastante acerca de lo que todavía no podemos hacer en la agricultura, pero otros consumados biólogos han reconocido también que el progreso ha avanzado más lentamente en la biología que en la física y en la química. La biología, observan, ha sido y sigue siendo tributaria de estas otras ciencias<sup>53</sup>. Sin embargo, tal como sugieren las argumentaciones presentadas aquí, la diferencia entre biología y físicoquímica es más profunda de lo que justificaría un mero desfase.

Toda la historia de los logros tecnológicos del hombre apunta claramente en el mismo sentido. En el mundo de la materia inerte, hemos dominado una fuente de energía tras otra. De igual modo, nuestra imaginación ha podido pasar por encima de la mayoría de los obstáculos técnicos. El resultado es que en la actualidad podemos tejer una pieza de tela mil veces más deprisa y mejor que en la época de los faraones. El otro día lanzamos un boomerang, por así decirlo, alrededor de la Luna con tres hombres cabalgando sobre él. Con todo, nos sigue llevando aproximadamente el mismo tiempo que en el antiguo Egipto cultivar una planta de arroz a partir de una semilla de arroz. El período de gestación de los animales domésticos tampoco se ha acortado un ápice. Y poco, por no decir nada, se ha conseguido en acortar el tiempo necesario para llevar tal animal a la madurez. Cualquiera que sea el progreso que hemos hecho en la agricultura, ha sido simplemente el resultado de esperar que tuviesen lugar las mutaciones y de imitar después el trabajo de la selección natural. Naturalmente, las innovaciones en los artefactos, al ser más impresionantes, han esclavizado nuestra imaginación e, ipso facto, nuestras ideas acerca de lo que puede lograr el hombre.

Por tímidas que fuesen, las invenciones mecánicas del siglo XVII causaron tal impresión a la sociedad culta que un autor tras otro llegaron a sostener que no hay límite alguno a lo que el hombre puede hacer con las ar-

<sup>51</sup> Para detalles relacionados con el análisis precedente, véase el Apéndice G posterior.

<sup>52</sup> P. B. Medawar, *The Future of Man* (Nueva York, 1960), p. 62.

<sup>53</sup> Waddington, *Nature of Life*, p. 17.

tes industriales. Un desarrollo industrial efervescente (especialmente en Inglaterra) cercano a zonas en las que todavía se disponía de tierras vírgenes fomentó la idea de que la Nueva Jerusalén se hallaba al alcance solamente con que hubiese suficientes manos para las actividades industriales. El problema de la producción de alimentos para una población en aumento llegó así a considerarse implícitamente resuelto por el progreso industrial y, como resultado de ello, a descartarse. William Petty, si bien consideraba a la Naturaleza como la madre de la riqueza, insistió en que «poca gente es pobreza real; y una nación en la que hay ocho millones de personas es más del doble más rica que la misma extensión de tierra en donde no hay más que cuatro»<sup>54</sup>.

Evidentemente, somos susceptibles de arrogancia intelectual cuando valoramos el poder de las invenciones humanas. Un ejemplo tan bueno como muchos otros es la afirmación de Lewis H. Morgan: «La humanidad está constituida por los únicos seres de los que puede decirse que han conseguido un control absoluto de la producción de alimentos»<sup>55</sup>. Esta postura forma parte del dogma marxista de que la superpoblación puede existir únicamente en un sentido relativo, más concretamente, de que la producción de alimentos «puede seguir el ritmo de la población [humana] cualquiera que pueda ser éste»<sup>56</sup>. Sin embargo, hasta Engels, al citar a Morgan, consideró adecuado insertar un «casi» para atenuar el «absoluto». Las pruebas de las que disponemos ahora —de un mundo que puede producir automóviles, aparatos de televisión, etc., a mayor velocidad que el aumento de la población, pero que simultáneamente está amenazado por un hambre masiva— son alarmantes. No cabe la menor duda de que, como han demostrado varios estudios detallados, gran parte de esta amenaza se debe a la desigualdad de la distribución de la población con respecto a las tierras fértiles, así como a la mala asignación de los usos del suelo. Tampoco cabe duda alguna de que puede seguir aumentándose la producción mundial de alimentos gracias a la difusión de los más eficientes métodos de cultivo conocidos por la agronomía<sup>57</sup>. Pero contemplar la cuestión de esta forma —como aparentemente han hecho todos esos estudios— no es más que minimizar la importancia del problema real.

<sup>54</sup> Petty (nota 9 anterior), I, p. 34. Es un hecho perfectamente conocido que la escasez de trabajo industrial agudizó el conflicto de intereses entre los capitalistas y los terratenientes, conflicto que finalizó con la victoria de los primeros (abolición de las relaciones feudales en la agricultura). En mi opinión, el mismo exceso de demanda indujo a los economistas británicos a ver en el trabajo la única fuente de valor, idea que fue aireada por algunos incluso antes de Petty.

<sup>55</sup> Lewis H. Morgan, *Ancient Society, or Researches in the Lines of Human Progress from Savagery Through Barbarism and Civilization* (Nueva York, 1878), p. 19. Citado con observaciones en F. Engels, *The Origin of the Family, Private Property, and the State* (4.ª edic., Nueva York, 1942), p. 19.

<sup>56</sup> En lo que se refiere a algunas afirmaciones antiguas y recientes a este respecto, véase Cépède *et al.*, *Population and Food*, pp. 64-66.

<sup>57</sup> Véase Cépède *et al.*, pp. 441-461.

El problema real tiene dos dimensiones que, si bien no son estrictamente independientes, deben mantenerse separadas y analizarse como tales. Solamente una de tales dimensiones está admitida por la pregunta, actualmente tópica, acerca de *hasta qué tamaño* podría alimentarse adecuadamente a una población en caso de que se eliminasen las barreras antes mencionadas y tuviesen lugar antes del año 2000 otros cambios favorables en la dieta y en los métodos productivos<sup>58</sup>. La dimensión ignorada es *durante cuánto tiempo* podría alimentarse después así a esa población. Esta dimensión queda implícitamente borrada si se toma partido por la opinión de Jevons —y de otros mencionados antes— acerca de la reproducción indefinida de la cosecha en el mismo trozo de terreno.

Jonathan Swift, el despiadado crítico de las tesis de William Petty sobre la población<sup>59</sup>, estaba en el buen camino para su época al sostener que «quienquiera que pudiese hacer que dos espigas de cereal, o dos briznas de hierba, creciesen en un trozo de terreno en el que antes sólo crecía una mercedería lo mejor de la humanidad»<sup>60</sup>. Tal como nos enseña ahora la Ley de la Entropía, ¡sería verdaderamente un milagro incluso hacer crecer una brizna de hierba en el mismo lugar año tras año! El hecho de que la reducción en la tasa a la que la energía solar llega al globo terráqueo sea imperceptible a nuestra escala del Tiempo y el papel predominante que esta energía tiene en la producción agrícola no deberían disuadirnos de reconocer la crucial importancia de la degradación entrópica del suelo por obra del cultivo continuo. Para determinar la degradación del suelo, no necesitamos observar la Naturaleza durante periodos de tiempo astronómicamente largos. Los antiguos labradores que descubrieron las ventajas del estercolado sabían perfectamente que cultivar una cosecha significa explotar, en parte, el suelo.

Sin embargo, constituiría un error creer que la práctica del estercolado puede vencer la Ley de la Entropía y transformar la producción de alimentos en un movimiento pendular. En efecto, imaginemos una manada de búfalos haciendo vida salvaje en una extensión de pastizales; incluso aunque no aumentase su número, se produciría necesariamente una constante degradación del suelo. La baja entropía de la que se nutre la vida incluye no sólo la baja entropía transmitida por el sol sino también la del entorno terrestre; de lo contrario, el paraíso para las criaturas vivas estaría en el soledado Sahara. La degradación del suelo con el estercolado es evidentemente más lenta que sin él, tan lenta que puede no chocarnos inmediatamente,

<sup>58</sup> De acuerdo con las mejores proyecciones, la población mundial alcanzará la cifra de siete mil millones en el año 2000. Véase *World Population Prospects as Assessed in 1963*, United Nations, Population Studies, Núm. 41, 1966, pp. 134-137.

<sup>59</sup> Véase *The Works of Jonathan Swift*, ed. Walter Scott (12 vols., Edimburgo, 1814), VII, pp. 454-466.

<sup>60</sup> *Ibid.*, XII, p. 176.

pero esto no es razón alguna para ignorar este factor en una perspectiva más amplia de lo que ha sucedido y sucederá en el futuro en la producción de alimentos. He mencionado antes el caso de la Gran Migración. Me voy a permitir volver ahora a un acontecimiento reciente, aun cuando todavía desconocido, que tiene relación con carabaos, bueyes, caballos y estiércol.

El hecho de que el trabajo es un factor negativo en el placer de vivir explica por qué hace miles de años el hombre intentó domesticar y utilizar animales de tiro en la agricultura y en el transporte. La fórmula de sustitución funcionó espléndidamente mientras hubo mucha tierra para alimentar tanto a la gente como a los animales sin gran agotamiento de la energía del suelo. A medida que aumentó la población y empezó a hacerse sentir la escasez de tierra, la rotación de las cosechas y el estercolado vinieron a aliviar la presión de los alimentos. En última instancia, la necesidad alcanzó el punto en el que el hombre cayó en la cuenta de que «los caballos comen gente» —tal como el campesino rumano lo expresa ingeniosamente<sup>61</sup>. En muchas partes del mundo, la carga del granjero se hizo insoportable: en una porción insuficiente de tierra degradada por un uso milenario, tuvo que cultivar alimentos para sí, algunos para la ciudad (a través de impuestos) y también suficiente cantidad de forraje para sus animales. El escenario está ya dispuesto para el inevitable acto siguiente: la eliminación de los animales de tiro como fuente de potencia de tiro y de estiércol.

La mecanización de la agricultura, aun cuando no tuviese influencia en aumentar el rendimiento por acre, tendría que avanzar en todas las partes del mundo. Para llegar a una imagen clara de esta necesidad, tendríamos que observar, en primer lugar, que el búfalo mecánico está hecho de mineral de hierro y de carbón (primordialmente) y se alimenta de petróleo; en segundo lugar, que el estiércol de los difuntos carabaos ha de sustituirse necesariamente por fertilizantes químicos. La consecuencia debería ser evidente: desde el momento en que la energía y los elementos vivificantes no proceden ya del flujo de radiación solar a través de los animales de tiro, han de obtenerse por una explotación adicional del stock de recursos minerales de la corteza terrestre. Este cambio en baja entropía de una fuente a otra tiene una importante incidencia sobre el problema de durante cuánto tiempo puede alimentar este globo terraqueo una población dada.

Es posible que una completa y bien planeada mecanización de la agricultura en todo el mundo pueda permitir a la humanidad alimentar una población incluso superior a siete mil millones en el año 2000. Las ventajas de la mecanización son incuestionables, pero sólo desde un punto de

<sup>61</sup> Lo que es más interesante, la misma idea se le ocurrió a Tomás Moro, *Utopia with the «Dialogue of Comfort»* (Londres, 1913), p. 23: «vuestras ovejas, que habían sido tan mansas y dóciles y tan poco comilonas, ahora [son] tan grandes devoradoras y tan salvajes que comen y se tragan a los mismos hombres».

vista oportunista, porque, contrariamente a lo que algunos entusiastas creen y predicán, tales ventajas no dejan de tener un precio. Podemos obtenerlas solamente comiendo con mayor rapidez el «capital» de baja entropía del que está dotado nuestro planeta. Este es, ciertamente, el precio que hemos pagado y seguimos pagando no sólo por la mecanización de la agricultura sino por todo progreso técnico. Piénsese, por ejemplo, en la sustitución del arado de madera por el de hierro hace centenares de años, en la sustitución del carbón vegetal por el carbón en la fundición del hierro en el pasado menos remoto y en la sustitución de otros materiales de la Naturaleza por metales y productos sintéticos en la era contemporánea.

En una perspectiva amplia, podemos decir que la humanidad dispone de dos fuentes de riqueza: en primer lugar, el stock finito de recursos minerales en la corteza terrestre que, dentro de ciertos límites, podemos desaccumular casi a voluntad en un flujo, y, en segundo lugar, un flujo de radiación solar cuyo ritmo no está sujeto a nuestro control. En términos de baja entropía, el stock de recursos minerales es solamente una fracción muy pequeña de la energía solar recibida por el globo terraqueo en un solo año. Más exactamente, la estimación más elevada de los recursos energéticos terrestres no supera la cantidad de energía libre recibida del sol durante ¡cuatro días<sup>62</sup>. Además, el flujo de la radiación solar continuará con la misma intensidad (prácticamente) durante largo tiempo en el futuro. Por estas razones, y debido a que la baja entropía recibida del sol no puede convertirse en materia a granel, no es el stock finito de energía solar lo que pone un límite al tiempo durante el cual puede sobrevivir la especie humana. Por el contrario, es el exiguo stock de los recursos terrestres lo que constituye la escasez crucial. Sea  $S$  este stock y  $r$  la tasa media a la que puede desaccumularse. Evidentemente, se tiene  $S = r \times t$ , donde  $t$  corresponde a la correspondiente duración de la especie humana. Esta fórmula elemental demuestra que cuanto más rápido decidamos desaccumular  $S$  más corto será  $t$ . Ahora bien,  $r$  puede aumentar por dos razones. En primer lugar, la población puede aumentar. En segundo lugar, para el mismo tamaño de la población, podemos acelerar la desaccumulación de los recursos de la Naturaleza para satisfacer necesidades creadas por el hombre, por lo general, necesidades extravagantes.

La conclusión es evidente. Si pasamos por alto los detalles, podemos decir que todo niño nacido ahora significa una vida humana menos en el futuro. Pero también, que todo automóvil Cadillac producido en cualquier momento significa menos vidas en el futuro. Hasta hoy, el precio del progreso tecnológico ha significado un cambio desde la fuente de baja entropía más abundante —la radiación solar— a la menos abundante —los re-

<sup>62</sup> Eugene Ayres, «Power from the Sun», *Scientific American* CLXXXIII (agosto de 1950), p. 16.

recursos minerales de la tierra. Es cierto que sin este progreso algunos de esos recursos no habrían llegado a tener valor económico alguno, pero este aspecto no hace menos pertinente el balance perfilado aquí. *Ceteris paribus*, la presión de la población y el progreso tecnológico hacen que la carrera de la especie humana esté más cerca de su fin sólo porque ambos factores dan lugar a una más rápida desaccumulación de su dote. El sol continuará brillando sobre la tierra, tal vez, casi tan vivamente como hoy incluso tras la extinción de la humanidad y alimentará con baja entropía otras especies, las que no tengan ambición alguna. Pues no debemos dudar de que, siendo la esencia humana la que es, el destino de la especie humana está en elegir una carrera verdaderamente grande, aunque breve, no una larga y monótona. Como dijo Justus von Liebig hace mucho tiempo, «la civilización es la economía de la energía [baja entropía]»<sup>63</sup>, pero la palabra economía ha de ser entendida como aplicable más bien a los problemas del momento, no a la duración total de la vida de la humanidad. Enfrentada, en el futuro lejano, al inminente agotamiento de los recursos minerales (lo que hizo que Jevons se alarmase por las reservas de carbón), la humanidad —podría alguien intentar tranquilizarnos— volverá sobre sus pasos. La idea pasa por alto que, al ser la evolución irrevocable, en la historia no puede volverse sobre sus pasos.

Siendo la incertidumbre la que es, constituiría una muestra de arrogancia intentar predecir los problemas que pueden surgir en la evolución de la humanidad y la manera en que el hombre se enfrentará a ellos. Sin embargo, tengo la impresión de que el análisis amplio de las condiciones entrópicas del hombre presentado en este capítulo bosqueja las fuerzas materiales que tienen un efecto muy lento, pero continuo, sobre esa evolución; y fuerzas como esas son, por regla general, más importantes que las que actúan con una velocidad apreciable. Todo ser humano envejece debido a los factores entrópicos que empiezan a actuar en el momento del nacimiento, mejor dicho, antes de él, y actúan de forma lenta pero acumulativa. Como nos diría cualquier biólogo, son el elemento más importante en la vida biológica del hombre. Accidentes tales como el fallecimiento por neumonía o por una caída al escalar montañas pueden llamar más fácilmente nuestra atención debido a que en esos casos las causas desarrollan sus efectos con mucha mayor rapidez. Sin embargo, el mayor riesgo de muerte por causas accidentales para una persona de más edad es el producto de las causas de envejecimiento de acción lenta. Por la misma razón, la degradación de la dote de baja entropía del hombre como consecuencia de su propia actividad ambiciosa es lo que determina tanto lo que el hombre puede hacer como lo que no puede hacer. Sobre la base de esta imagen ge-

<sup>63</sup> Citado en Jevons, *Coal Question*, p. 142.

neral, puede uno aventurarse así a valorar ciertas tendencias, al menos para el próximo futuro.

Podemos estar bastante seguros de que habrá cierta inversión —no pasos atrás— en el uso de la energía libre. Actualmente, las cascadas —una energía producida indirectamente por la radiación solar— están siendo ya cada vez más utilizadas como fuente de energía libre en forma de energía eléctrica. Es seguro que esta tendencia se hará cada vez más acentuada. Si los esfuerzos dispersos por usar directamente la radiación solar como fuente de energía consiguieran hacer que la idea fuese operativa, quizá no este-mos tan aterrados como cuando nos enteramos, de una manera macabra, de que el hombre había dominado la energía del átomo. Ahora bien, a la vista de lo que he dicho en esta sección, tal éxito representaría un beneficio mucho mayor, por más duradero, para la humanidad. Por los mismos motivos, creo que tendrá que venir bajo la presión de la necesidad.

La necesidad dará igualmente lugar a cierta revisión de nuestra actual impaciencia por el uso de los recursos minerales para la producción de energía libre y sustitutivos sintéticos. La necesidad se deriva del efecto crecientemente pernicioso de los desechos. Tal como hemos visto en las páginas precedentes, desde el punto de vista puramente material el proceso económico no hace más que transformar baja entropía en desechos. Cuanto más rápidamente se desarrolla el proceso económico, más rápidamente se acumulan los desechos nocivos. Para la tierra en su conjunto, no hay ningún proceso de eliminación de desechos. Una vez producidos los desechos perniciosos, han de permanecer allí, a no ser que utilicemos algo de energía libre para eliminarlos de una u otra forma. Hace tiempo que conocemos esto por la antigua práctica de recogida de basuras, pero recientemente otras formas de desechos comienzan a dificultar nuestra vida y el coste de deshacerse de ellos no es ya poco importante. Existe un círculo vicioso en quemar carbón para procesos industriales y en tener que usar entonces más carbón para producir la energía necesaria para disipar los humos. Existe un círculo vicioso en usar detergentes para economizar recursos y trabajo y en tener después que usar costosos procedimientos para devolver a la vida normal las orillas de lagos y ríos. Al menos, la energía industrial que derivamos, o podríamos derivar, de la radiación solar no produce por sí misma desechos nocivos. Los automóviles accionados por baterías cargadas por la energía solar son más baratos en términos tanto de escasa baja entropía como de condiciones sanitarias, razón por la cual creo que, más tarde o más temprano, no podrán por menos de ser utilizados.

Por último, permítaseme decir que, aun cuando el problema de alimentar a una población de siete mil millones de personas o más a través de reorganizar de arriba abajo la agricultura mundial pueda parecer resuelto sobre el papel, su solución real plantea una cuestión verdaderamente asombrosa —en primer lugar, cómo organizar tan inmensa masa de gente—.



No deberíamos pasar por alto el hecho de que la escala de organización política está igualmente sujeta a limitaciones, por la sencilla razón de que no puede existir sin un andamiaje material. Tampoco deberíamos ignorar el hecho de que la profunda reorganización de la agricultura que se propone requiere que una fantástica cantidad de recursos actualmente asignada a la producción de bienes de consumo duradero se reasigne a la producción de búfalos mecánicos y de estiércol artificial. A su vez, esta reasignación exige que la ciudad abdique de sus privilegios económicos tradicionales. Considerando la base de esos privilegios y la terrible esencia humana, tal abdicación es casi imposible. El actual espasmo biológico de la especie humana —pues se trata de un espasmo— está destinado a tener un impacto sobre nuestra futura organización política. Las guerras a tiros y las agitaciones políticas que han salpicado el globo terráqueo con espantosa frecuencia durante la historia reciente son sólo los primeros síntomas políticos de este espasmo. Pero no tenemos motivo alguno para creer que el resultado —que es lo que supone todo el mundo— vaya a suprimir el conflicto social que, de una u otra forma, ha sido hasta ahora el motor de la historia política.

4. *De la lucha por la entropía al conflicto social.* El motivo para hacer mi última afirmación es que, al igual que Marx, creo que el conflicto social no es una mera creación del hombre sin raíz alguna en las condiciones humanas materiales. Pero, al contrario que Marx, considero que, debido precisamente a que el conflicto tiene tal fundamento, no puede eliminarse ni por decisión del hombre de hacerlo así ni por la evolución social de la humanidad. El dogma marxista en su forma amplia ha sido frecuentemente aclamado como una nueva religión. En un aspecto, la idea es correcta: al igual que todas las religiones, el dogma proclama que hay un estado eterno de felicidad en el futuro del hombre. La única diferencia es que el marxismo promete tal estado aquí, en la tierra: una vez que los medios de producción estén socializados por el advenimiento del comunismo, eso será el fin de todo cambio social. Como en el cielo, el hombre vivirá después eternamente sin el pecado del odio y de las luchas sociales. Esta tesis me parece tan poco científica como cualquier religión conocida por el hombre. El final del conflicto social implica un cambio radical en la esencia humana, mejor dicho, en su esencia biológica<sup>64</sup>. Más concretamente, exige que, en virtud de cierta regresión evolutiva, el hombre se degrade al estado de otros animales, lo que es una eventualidad totalmente absurda. Puede parecer curioso, aun cuando en realidad es natural, que un biólogo consumado, Alfred Lotka, denuncie la diferencia crucial existente entre la lucha entrópica del hombre y la de otras criaturas vivas.

<sup>64</sup> Véase el Capítulo XI, Sección 5, posterior.

En su papel de demonios maxwellianos que distribuyen baja entropía con el fin de disfrutar de sus vidas y de conservarlas, todos los seres vivos usan sus órganos biológicos. Esos órganos varían de acuerdo con las especies, y su forma incluso según las variedades, pero se caracterizan por el hecho de que *cada individuo nace con ellos*. Alfred Lotka los llama *instrumentos endosomáticos*. Si se pasan por alto unas pocas excepciones marginales, el hombre es el único ser vivo que en su actividad usa también «órganos» que no forman parte de su *constitución biológica*. Los economistas los denominamos equipo de capital, pero la expresión de Lotka, *instrumentos exosomáticos*, es más ilustrativa<sup>65</sup>. Efectivamente, esta terminología pone de relieve el hecho de que, ampliamente interpretado, el proceso económico es una continuación del biológico. Al mismo tiempo, determina con precisión la *differentia specifica* entre las dos clases de instrumentos que configuran conjuntamente un género. En términos generales, la evolución endosomática puede describirse como un progreso de la eficiencia entrópica de las estructuras portadoras de vida. Lo mismo es aplicable a la evolución exosomática de la humanidad; los instrumentos exosomáticos permiten al hombre obtener la misma cantidad de baja entropía con menos gasto de su propia energía libre que si utilizase únicamente sus órganos endosomáticos<sup>66</sup>.

Como ya se ha explicado, la lucha por la vida que observamos en todo el campo biológico es una consecuencia natural de la Ley de la Entropía. Tiene lugar tanto entre las especies como entre los individuos de la misma especie, pero sólo en el caso de la especie humana la lucha ha adoptado también la forma de conflicto social. Observar que el conflicto social es una consecuencia de la lucha del hombre con su entorno es reconocer un hecho completamente evidente, pero no explicarlo. Y, dado que la explicación tiene una importancia especial para un científico social, voy a intentar aquí bosquejar una.

Un pájaro, por utilizar una ilustración corriente, vuela tras un insecto con *sus propias* alas y lo coge con *su propio* pico, es decir, con instrumentos endosomáticos que, en virtud de la Naturaleza, son propiedad individual del pájaro. Otro tanto es naturalmente cierto en el caso de los primitivos instrumentos exosomáticos utilizados durante la fase más antigua de la organización humana, el comunismo primitivo, tal como lo denomina Marx. Entonces, cada clan familiar vivía de lo que *sus propios* arco y flecha podían matar o de lo que *su propia* red podía pescar, y nada era un obs-

<sup>65</sup> Alfred J. Lotka, «The Law of Evolution as a Maximal Principle», *Human Biology*, XVII (1945), p. 188.

<sup>66</sup> La cuestión de por qué el gasto de la propia energía libre del hombre, a pesar de reponerse continuamente, tendría que ir acompañado de un sentimiento de desagrado es, creo, una cuestión discutible. Ahora bien, sin ese sentimiento el hombre probablemente no habría llegado a inventar instrumentos exosomáticos para esclavizar a otros hombres o para domesticar animales de carga.

táculo para que todos los miembros del clan compartiesen el producto más o menos de acuerdo con sus necesidades básicas.

Pero los instintos humanos, de habilidad y de curiosidad ociosa, concibieron gradualmente instrumentos exosomáticos capaces de producir más de lo que necesitaba un clan familiar. Además, esos nuevos instrumentos, por ejemplo, un gran bote de pesca o un molino de harina, exigían, tanto para su construcción como para su funcionamiento, más manos de las que podía proporcionar un solo clan familiar<sup>67</sup>. Fue entonces cuando la producción tomó la forma de una actividad *social* en vez de una actividad *de clan*.

Aún es más importante observar que únicamente entonces se hizo operativa la diferencia entre instrumentos exosomáticos y endosomáticos. Al no ser los instrumentos exosomáticos una propiedad natural e indisoluble de la persona, la ventaja derivada de su perfección se convirtió en fuente de desigualdad entre los diversos miembros de la especie humana, así como entre las diferentes colectividades. La distribución de los ingresos comunales —entendiendo esos ingresos como una coordenada compuesta de ingresos reales y tiempo de ocio—<sup>68</sup> se convirtió así en un problema social cuya importancia no ha dejado nunca de aumentar. Y, tal como voy a exponer ahora, seguirá siendo un centro de conflicto social en tanto exista cualquier sociedad humana.

La eterna raíz del conflicto social sobre la distribución de la renta reside en el hecho de que nuestra evolución exosomática ha convertido la producción en una tarea social. Evidentemente, la socialización de los medios de producción no podría modificar este hecho. Sólo si la humanidad retornase a la situación en la que cada familia (o clan) es una unidad económica autosuficiente, dejarían los hombres de luchar por su cuota anónima de la renta total. Pero la humanidad nunca podría invertir ni su evolución exosomática ni mucho menos la endosomática.

La socialización de los medios de producción tampoco garantiza implícitamente —como lo afirmó Marx— una solución racional del conflicto distributivo. Puede ser que a nuestros puntos de vista habituales sobre la materia les sea difícil aceptarlo, pero el hecho es que *la propiedad colectiva de los medios de producción es, muy probablemente, el único sistema compatible con cualquier modelo distributivo*. Un ejemplo sumamente deslumbrante lo proporciona el feudalismo, pues no hemos de olvidar que la tierra solamente pasó a ser de propiedad privada con la disolución de los estados feudales, cuando no sólo los siervos sino también los antiguos señores se convirtieron legalmente en propietarios privados de la tierra. Al mismo tiempo, se está haciendo cada vez más evidente que la propiedad social de

<sup>67</sup> Véase Karl Kautsky, *The Economic Doctrines of Karl Marx* (Nueva York, 1936), pp. 8 y ss.

<sup>68</sup> Véase la Sección 2 del presente capítulo.

los medios de producción es compatible incluso con que algunos individuos tengan una renta que, a todos los efectos prácticos, es ilimitada en algunos sentidos, si no en todos<sup>69</sup>.

Sin embargo, hay otra razón por la que el conflicto entre individuos por su cuota de la renta social provoca inevitablemente un conflicto de clases en cualquier sociedad, salvo en el comunismo primitivo. La producción social y su corolario, la organización social, requieren una categoría específica de servicios sin la que, posiblemente, no puedan funcionar. Esta categoría comprende los servicios de supervisores, coordinadores, decisores, legisladores, predicadores, profesores, periodistas, etcétera. Lo que distingue esos servicios de los de un albañil, de un tejedor o de un cartero es que no poseen una medida objetiva como la tienen los últimos. Ahora bien, llamar a los primeros *improductivos* y a los últimos *productivos* —como en la tradición de Adam Smith— es una forma engañosa de diferenciar entre las dos categorías: la producción necesita a ambas.

Pero, aun cuando la totalidad del producto social se obtuviese únicamente con ayuda de los servicios que tienen una medida objetiva, el problema de la distribución de la renta sería suficientemente desconcertante. Sin embargo, el hecho de que la sociedad necesita también servicios que no tienen medida objetiva añade una nueva libertad dimensional a los patrones de distribución. Los economistas saben de esto por su falta de éxito en el hallazgo de una medida de la función del empresario. Esta dificultad, empero, no importa en la práctica; se supone que un empresario está satisfecho (al menos en principio) si recibe por sus servicios «improductivos» el beneficio residual que puede ser una ganancia o una pérdida según lo bien o mal inspirada que haya estado su empresa. Lo que verdaderamente interesa es que no existe en absoluto ningún modo de medir objetivamente los otros servicios «improductivos». La sociedad organizada difícilmente puede aplicar a esos servicios la misma norma de remuneración que a los empresarios. A todos esos «gerentes» debe pagárseles una renta contractual, es decir, una renta determinada *antes de contratárseles*. Cuál sea el nivel adecuado de renta para los servicios que no producen un resultado palpable constituye la eterna raíz primaria del conflicto social en toda sociedad organizada.

<sup>69</sup> A efectos de unos cuantos ejemplos evidentes de algunos países fuertemente inclinados hacia el socialismo: en Indonesia, se han construido montones de villas de lujo en los lugares más atractivos para uso del presidente, quien no puede visitarlas todas a lo largo del año; en Bombay, a pesar de lo escasos que son los recursos médicos en toda la India, la clínica mejor equipada se ha reservado, en virtud de una ley de 1963, para uso *exclusivo* de las familias de los miembros del gobierno y del cuerpo legislativo locales. Expresiones como «las prohibiciones del comunismo» o «los barones de la ciencia», nativas de ciertos países socialistas de Europa del Este donde gozan de una aceptación relativamente extensa, dicen mucho, dadas las circunstancias.

Ignorante de la historia política de la humanidad y libre de nuestros prejuicios intelectuales, una inteligencia de otro mundo pensaría con toda seguridad que quienes llevan a cabo servicios improductivos en este planeta reciben sólo una renta a juicio de los obreros productivos. En otras palabras, esperaría que la humanidad viviera bajo una genuina dictadura de los obreros. La lógica de esa inteligencia debería ser evidente para cualquier economista: dada la imposibilidad de que una persona que lleva a cabo un servicio improductivo demuestre un resultado tangible de su actividad, la clase como un todo ha de encontrarse necesariamente en una posición negociadora inferior. Se puede comprender fácilmente la difícil posición de tal persona al pedir ese «certificado de la sociedad especificando que ha hecho tal y cual cantidad de trabajo», en base a la cual, tal como suponía Lenin, cualquier miembro de la colectividad recibiría «de los almacenes públicos... una cantidad correspondiente de productos»<sup>70</sup>. A la vista de su difícil situación, quien realizase servicios improductivos debería estar bastante contento si las normas predominantes fuesen las defendidas por Marx y Lenin: que los obreros productivos deberían «contratar sus propios técnicos, gestores, contables, y pagarles a todos, como, por otro lado, a cualquier funcionario "estatal", el salario habitual de los obreros»<sup>71</sup>.

Pero si la misma inteligencia conociese también la esencia humana y todos sus prejuicios y flaquezas, vería inmediatamente que la débil posición de la clase que realiza servicios improductivos puede convertirse —y así lo ha hecho— en un arma sumamente formidable y eterna en el conflicto social. De hecho, únicamente de lo no tiene una medida tangible puede exagerarse fácilmente su importancia. Esta es la razón fundamental por la que la élite privilegiada de toda sociedad se ha compuesto siempre —y, sugiero, se compondrá siempre— de miembros que llevan a cabo servicios improductivos de una u otra forma. Cualquiera que sea el título por el que esta élite pueda recibir su cuota, ésta nunca será la del salario de un obrero, ni siquiera si, como es posible, se la conociese por ese nombre.

Pareto explicó cómo toda élite es derrocada por una celosa minoría que agita a las masas denunciando los abusos de la clase dirigente y finalmente la sustituye<sup>72</sup>. Las élites, como dijo, circulan. Naturalmente, sus nombres y las explicaciones racionales de sus privilegios cambian, pero es importante observar también que cada élite inspira una nueva mitología socio-política de acuerdo con la cual se interpreta en cada caso la nueva situación. Con todo, el mismo leitmotiv traspasa todas estas auto-glorificaciones: «¿dónde estaría el pueblo si no fuese por nuestros servicios?». En el antiguo Egipto, la élite de los sumos sacerdotes pretendía ayudar al bien-

<sup>70</sup> V. I. Lenin, *State and Revolution* (Nueva York, 1932), p. 76. Las cursivas son mías.

<sup>71</sup> *Ibid.*, p. 43 y *passim*.

<sup>72</sup> Vilfredo Pareto, *Les systèmes socialistes* (2 vols., 2.<sup>a</sup> edic., París, 1926), I, pp. 30 y ss.

tar del pueblo leyendo el futuro en las estrellas; los cónsules y los generales del Imperio Romano se jactaban de favorecer la causa del progreso extendiendo la *Pax Romana* al resto del mundo; más tarde, cada barón feudal se presentaba como el defensor de sus súbditos frente a los barones vecinos; más recientemente, los capitanes de la industria y las finanzas aseguraban que eran ellos quienes proporcionaban el sustento a las masas obreras. La élite actualmente ascendente parece decir que sin sus servicios el pueblo no podría prosperar económicamente. Muy recientemente y en términos inequívocos, un distinguido economista expuso una pretensión todavía más intensa para la «inteligencia»: «Desde el momento en que su papel es el de interpretar valores en todos los ámbitos de la cultura, los intelectuales están muy bien situados para identificar las aspiraciones que expresan las más profundas tendencias de la sensibilidad social»<sup>73</sup>. Ergo, deben asumir el control de todo.

Indudablemente, hay una gran dosis de verdad en cada una de esas pretensiones en relación con su propia época. Cada élite realiza una tarea útil, cuya esencia se deriva de la evolución exosomática de la humanidad y es modificada continuamente por ella. Incluso la lectura de las estrellas, por ejemplo, fue extremadamente útil para regular las actividades agrícolas en la antigüedad. Pero el hecho de que cada élite realice servicios que no producen un resultado palpable y mensurable conduce no sólo a privilegios económicos, como he sostenido antes, sino también a abusos de todo tipo. El poder político de toda élite dirigente ofrece a la misma la posibilidad de ensalzar el valor de sus servicios a los ojos de las masas, haciendo así que cualquier aumento de sus privilegios parezca «lógico». Además, allí donde los servicios no producen un resultado palpable, aumenta por sí sola la práctica de disminuir las horas de trabajo por obrero, sencillamente porque tal valor de sus servicios no puede demostrarse de ninguna manera objetiva. Las implicaciones económicas de los abusos inherentes a una élite llamaron la atención de Adam Smith, quien con su meticulosidad característica describió los que predominaban en su propia época<sup>74</sup>. Posteriormente, en el *Manifiesto Comunista*, Marx y Engels fueron aún más lejos y admitieron que todos los movimientos sociales hasta entonces (1848) se habían llevado a cabo por minorías en provecho de minorías<sup>75</sup>. Ellos, naturalmente, creían y predicaban que la revolución comunista iba a ser una excepción a esta regla. Ya sabemos que no es así: una nueva clase privilegiada está cristalizando continuamente en todo ré-

<sup>73</sup> Celso Furtado, *Diagnosis of the Brazilian Crisis* (Berkeley, 1965), p. 37.

<sup>74</sup> Adam Smith, *The Wealth of Nations*, ed. E. Cannan (2 vols., 5.<sup>a</sup> edic., Londres, 1930), I, pp. 324-326.

<sup>75</sup> *The Communist Manifesto of Karl Marx and Friedrich Engels*, ed. D. Ryazanoff (Londres, 1930), p. 40.

gimen comunista<sup>76</sup>. La historia no ha refutado aún la tesis de Pareto de la eterna circulación de las élites. Y, si la argumentación de esta sección es correcta, únicamente en el crepúsculo postrero de la especie humana, cuando la sociedad humana se desintegre muy probablemente en pequeñas manadas de seres humanos, se desvanecerán también los factores sociales que producen la circulación de élites.

Es importante también saber dónde surgen las élites. La opinión de Georges Sorel de que toda revolución significa «la sustitución de unos intelectuales por otros intelectuales»<sup>77</sup> se pasa ciertamente de la raya, pero en todo caso abre nuestros ojos a un hecho cierto. Desde el comienzo de la civilización, toda élite ha incluido algunos literatos, en el estricto sentido de la palabra; en sentido amplio, se ha compuesto únicamente de literatos. En pocas palabras, ninguna élite se ha compuesto nunca sólo de personas que llevan a cabo servicios productivos, ya sean obreros o campesinos. Además, cuando se ha incluido a esa gente en un comité revolucionario, ha sido sólo con propósitos propagandísticos. Por regla general, los que una vez habían sido campesinos u obreros ya no lo eran en ese momento. Con respecto a su propia época, toda élite, tanto antes de llegar al poder como después, se componía de gente con suficiente educación general como para estar en situación de pretender que podía dirigir los asuntos de la colectividad con mayor eficiencia. De hecho, una gran mayoría de toda élite ha sido siempre capaz de hacerlo así.

Debería ser evidente así por qué toda élite ha surgido de la colectividad ciudadana y ha permanecido asociada a la misma. El campo difícilmente es el lugar adecuado para el desarrollo de aquellas artes que, como dijo Jenofonte, están mantenidas por la agricultura. El progreso de esas artes exige el intercambio comercial e intelectual que sólo puede proporcionar un lugar concurrido como la ciudad. Así, tan pronto alcanzó la agricultura el punto en que pudo alimentar más almas de las que se precisaban en los campos, las restantes artes abandonaron el campo para encontrar cuarteles propios. La energía motriz de la sociedad —por usar una de las expresiones de Marx—, así concentrada en la ciudad, no ha dejado desde entonces de mantener desde allí un firme control de la colectividad rural a pesar de ser tributaria de ella por los medios de existencia biológica.

Incluso durante la Antigua Edad Media —período que puede venir a la mente del lector en este momento—, las viejas ciudades del caído Imperio

<sup>76</sup> En apoyo de las afirmaciones anteriores, puede ser superfluo mencionar el clásico de Milovan Djilas *The New Class: An Analysis of the Communist System* (Nueva York, 1957). Pero sí vale la pena citar un pasaje (p. 39): «Puede decirse que la nueva clase está compuesta por aquellos que tienen privilegios y preferencias económicas especiales en razón del monopolio administrativo que poseen». Véase también la nota 69 anterior.

<sup>77</sup> Citado en Vilfredo Pareto, *Manuel d'économie politique* (2.ª edic., París, 1927), p. 474. La traducción es mía.

Romano mantuvieron su ascendencia y otras siguieron creciendo al paso del poder político. Igualmente, las vanguardias inferiores de la élite feudal vivieron en algún burgo importante de sus feudos. ¿Qué miembro prominente de cualquier élite, de cualquier época, habría preferido o preferiría vivir permanentemente en una aldea rural? Para empezar, eso sería una imposibilidad técnica.

«La desagradable separación entre vida del campo y de la ciudad», que denunció Ruskin como «un barbarismo moderno»<sup>78</sup>, es, en cambio, la consecuencia natural de la evolución exosomática de la humanidad, así como de la diferencia que esta evolución ha creado entre el proceso en la agricultura y el proceso en la industria. Así pues, Marx fue inexacto al denunciar a la burguesía por haber «sometido el campo al dominio de la ciudad»<sup>79</sup>. Esta sumisión se remonta al comienzo de la civilización humana a través del desarrollo de las artes industriales como actividad separada. Sin embargo, en otra ocasión Marx observó de pasada: «Puede decirse que toda la historia económica de la sociedad se encuentra resumida en el movimiento de esta antítesis» —la oposición entre la ciudad industrial y el campo agrícola—<sup>80</sup>. Debe haber sido un lapsus cáلامي, pues, aunque añadió que «lo pasamos por alto, no obstante, por el momento», nunca volvió a ello. Naturalmente, hacerlo así le habría obligado a admitir que en la sociedad organizada hay una línea de conflicto que no sólo se deja fuera por la proclama «¡Proletarios de todo el mundo, uníos!», sino que también está acentuada por ella<sup>81</sup>. Posiblemente, el problema indujo a Engels a predicar que el estado comunista «erigirá viviendas palaciegas... en las que las colectividades de ciudadanos vivirán juntos para el desempeño de la industria y la agricultura»<sup>82</sup>. Curiosamente, fue un socialista «utópico» quien, mucho antes, dió en el clavo: «es la comida barata lo que mantiene una baja tasa de salarios a costa del sufrimiento del agricultor [campesino]»<sup>83</sup>. Y en la actualidad nadie duda ya de que, incluso en los países en los que el conflicto entre la ciudad y el campo se halla fuertemente atenuado por determinadas condiciones especiales, la renta media personal del agricultor es inferior no sólo a la de las actividades urbanas sino también a la de los obreros industriales.

<sup>78</sup> Prefacio a *The Economist of Xenophon*, p. xiii.

<sup>79</sup> *The Communist Manifesto*, p. 31.

<sup>80</sup> Marx, *Capital*, I, p. 387.

<sup>81</sup> Como pronto se hizo evidente, el eslogan significa en realidad «uníos, primero, contra los capitalistas, y finalmente, contra los campesinos». Véase mi trabajo citado en la nota 34 anterior, pp. 364-367.

<sup>82</sup> F. Engels, «Principles of Communism», reimpresso en *The Communist Manifesto*, ed. Ryazanoff, p. 332.

<sup>83</sup> J. C. L. Simonde de Sismondi, *Nouveaux principes d'économie politique* (2 vols., París, 1819), I, p. 346. Véase también Max Weber, «The Relations of the Rural Community to Other Branches of Social Science», *International Congress of Arts and Science* (St. Louis, 1904), VII, p. 727.

Cambiar esta situación exigiría que las élites privilegiadas divorciasen sus propios intereses de los de la población urbana. Ahora bien, semejante divorcio es imposible, y la razón de ello estriba en la jerarquía de las necesidades humanas. El disfrute de una renta cada vez más elevada lleva necesariamente consigo consumir más, y también nuevos, bienes industriales; de ahí el interés de todas las élites por promocionar las artes industriales, lo que, a su vez, requiere «pan barato»<sup>84</sup>. Todo esto no es ajeno al actual encaprichamiento por la idea de que la industrialización «per se» provoca automáticamente el desarrollo económico. La hazaña mágica del demonio, de la que hablé en la sección precedente, revelaría no sólo que los planes económicos actuales conducen a un exceso de capacidad productiva de la industria pesada sino también que muchos de ellos tienen como objetivo proporcionar lujos fastuosos antes que bienes salariales y, mucho menos, que mitigar el hambre. Pero no necesitamos conjurar un demonio para convencernos de esta tendencia: algunos casos hablan ampliamente por sí solos. En algunos países —como Egipto o India, por ejemplo— en los que el problema de la alimentación clama por una acción inmediata, una proporción impresionante de recursos se ha invertido pese a todo en la producción de bienes de consumo inaccesibles a las masas rurales, incluso a las masas urbanas. Si uno se para a pensarlo, es una extravagancia estúpida impulsar persistentemente las industrias de automóviles, frigoríficos, aparatos de televisión y otros bienes de consumo semejantes en países en los que la renta per capita anual asciende a un par de cientos de dólares<sup>85</sup>. Los expertos económicos que defienden la inflación como el único medio sensato de desarrollo económico en Latinoamérica pasan totalmente por alto un importante elemento, que el efecto de la receta es aumentar casi exclusivamente la renta de las clases superiores y, por consiguiente, impulsar continuamente el crecimiento de las industrias de bienes de lujo. El desarrollo con inflación no solamente agudiza el conflicto social —lo que es de dominio público— sino que crea también un bloqueo estructural autoagravante<sup>86</sup>. Al nivel nacional, la extravagancia no tiene más sentido económico que a nivel de un individuo; en realidad, es mucho peor.

<sup>84</sup> Un trozo de la historia reciente es altamente instructivo a este respecto. Los partidos políticos agrarios de Europa del Este no pudieron reunir el apoyo necesario de la clase culta precisamente porque su programa pedía, en el fondo, «pan caro» y menos lujos para la ciudad.

<sup>85</sup> En problemas de este tipo, habitualmente pasamos por alto el hecho de que incluso esta exigua renta media proporciona una imagen optimista de la situación real. En una distribución fuertemente sesgada —como es probable que sea la distribución en esos países—, la media aritmética deja por debajo de ella a la gran mayoría de la población. Es este rasgo estadístico el que hace tan fácil agitar las masas con la promesa de echar a los ricos.

<sup>86</sup> Véase mis artículos «O Estrangulamento: Inflação Estrutural e o Crescimento Econômico», *Revista Brasileira de Economia* XXII (marzo de 1968), pp. 5-14, y «Structural Inflation - Lock and Balanced Growth», en *Économie mathématique et Économétrie* (Cahiers de l'I.S.E.A., París), IV (1970), pp. 557-605.

Al final de un ensayo altamente instructivo, Gerschenkron expresó la esperanza de que «al trazar los mapas de su propio progreso industrial [los países subdesarrollados] se mostrarán ansiosos por seleccionar aquellas sendas a lo largo de las cuales puedan mantener los costes y aumentar el rendimiento en términos de *bienestar humano y felicidad humana*»<sup>87</sup>. Muchos países subdesarrollados están lejos de hacer realidad esta esperanza. Sus políticas y planes económicos que reclaman para sí la virtud de sacar adelante el progreso económico gracias a la industrialización son, la mayor parte de las veces, racionalizaciones de los motivos ocultos de la élite actual. La inflación en Latinoamérica —afirma un experto económico— responde a «la aspiración de las masas por mejorar su nivel de consumo»<sup>88</sup>; de hecho, responde a las aspiraciones de las clases superiores a una vida todavía más lujosa. La misma mención de boquilla al bienestar de las masas oculta las aspiraciones de las mismas clases en más de una economía planificada.

En una de sus contundentes lecciones, Schumpeter observó que durante la era de la reina Isabel I de Inglaterra probablemente sólo la reina podía permitirse medias de seda: en la actualidad, cualquier obrera de una fábrica de Gran Bretaña puede permitírselas<sup>89</sup>. La lección es que, sin un logro de este tipo, el desarrollo económico no sería más que una palabra hueca. Algunos se muestran ahora inclinados a leer en la lección que todo lo que precisamos hacer para desarrollar una economía es construir fábricas de medias de seda o de automóviles (incluso aunque no puedan satisfacer más que el mercado interno), pero el desarrollo económico de Gran Bretaña no tuvo lugar gracias a la expansión de la industria de medias de seda. Antes de que las obreras de las fábricas británicas pudiesen permitirse las medias de seda, la clase obrera de ese país fue capaz de satisfacer progresivamente algunos de las restantes necesidades, más básicas. En realidad, la historia económica confirma plenamente la opinión de que la ampliación de la industria o del comercio de bienes salariales no es un requisito puramente ético del desarrollo económico sino una condición orgánica del mismo. Así pues, no hay sensatez económica alguna en la idea, que con un fundamento algo distinto se remonta a la *Fábula de las Abejas* de Mandeville, de que la industria de bienes de lujo por sí sola proporciona la energía de arranque para el desarrollo económico. Y, si se sigue en la realidad por los responsables políticos —como sucede actualmente con frecuencia—, es muy posible que la idea lleve el conflicto de clases más cerca del punto de ebullición.

<sup>87</sup> A. Gerschenkron, *Economic Backwardness in Historical Perspective* (Cambridge, Mass., 1962), p. 51. Las cursivas son mías.

<sup>88</sup> Roberto de Oliveira Campos, «Inflation and Balanced Growth», en *Economic Development for Latin America*, Actas de una conferencia organizada por la International Economic Association, ed. H. S. Ellis (Londres, 1962), p. 82.

<sup>89</sup> Joseph A. Schumpeter, *Capitalism, Socialism, and Democracy* (2ª edic., Nueva York, 1947), p. 67.

Con las observaciones precedentes no quiero decir que ninguna industria o comercio deba interesarse por los bienes de lujo. Tal pensamiento sería utópico en vista del hecho de que la evolución exosomática del hombre ha creado la necesidad imperecedera de una humanidad dividida en supervisores y supervisados, en directores y dirigidos, en jefes y subordinados. A su vez, la existencia de élites hace inevitable la producción de bienes de lujo —simple consecuencia del hecho de que, por definición, tales bienes satisfacen necesidades que no entran en juego antes de que la renta de una persona se halle muy por encima de la renta media de la colectividad—. En pocas palabras, esto es más o menos en lo que consiste el conflicto de clases.

En consecuencia, no se estrangulará para siempre el conflicto de clases si se disuelve una cualquiera de sus fases —por ejemplo, aquella en la que los capitanes de la industria, el comercio y la banca reclaman su renta en nombre de la propiedad privada—. Tampoco existe razón alguna para justificar la creencia de que la evolución política y social llegará a su fin con el próximo sistema, cualquiera que pueda ser ese sistema.

## CAPÍTULO XI

### LA CIENCIA ECONÓMICA: ALGUNAS CONCLUSIONES DE CARÁCTER GENERAL

*1. Los límites del proceso económico.* Con diversos grados de importancia relativa, la controversia ha representado un continuo estímulo en todas las esferas del empeño intelectual, desde la crítica literaria a la física pura. El desarrollo del pensamiento económico, en especial, ha dependido de la controversia hasta un punto que al no iniciado puede parecer exasperante. Sin embargo, es cierto que el espíritu doctrinario con el que se han enfocado algunas cuestiones fundamentales ha perjudicado al progreso de nuestra ciencia. El ejemplo más elocuente de este inconveniente es la controversia sobre los límites de la economía o, lo que es lo mismo, sobre los límites del proceso económico.

El problema fue implícitamente planteado por la escuela histórica alemana, pero no causó prácticamente revuelo alguno hasta que Marx y Engels expusieron su doctrina del materialismo histórico. A partir de ese momento, la proposición que constituye el primer pilar de esa doctrina ha sido objeto de una continuada y equivocada controversia. Esa proposición es que el proceso económico no es un sistema aislado. Los economistas no marxistas creen, aparentemente, que, al demostrar la existencia de ciertos límites naturales del proceso económico, pondrán implícitamente al descubierto lo absurdo del materialismo histórico y, por tanto, de su corolario: el socialismo científico. Sin embargo, sea lo que sea lo que se pueda decir sobre los restantes pilares del marxismo, difícilmente puede pensarse en una verdad más lisa y llana que la de que el proceso económico no es un sistema aislado. Por otra parte, igualmente lisa y llana es la necesidad de delimitar de algún modo este proceso: de lo contrario, no tendría sentido alguno hablar de proceso económico.

El problema se encuentra relacionado con una cuestión que he intentado establecer a lo largo de este libro, esto es, que los límites de los objetos reales y, especialmente, de acontecimientos son penumbras dialécticas. Debido precisamente a que es imposible decir, por ejemplo, dónde finaliza el proceso químico y dónde comienza el biológico, ni siquiera las ciencias



de la Naturaleza tienen fronteras rígidamente fijadas y claramente trazadas. No hay razón alguna para que la economía constituya una excepción a este respecto; por el contrario, todo tiende a demostrar que el campo económico está rodeado por una penumbra dialéctica mucho más extensa que la de cualquier ciencia de la Naturaleza.

Dentro de esta amplia penumbra —como sabe todo estudiante universitario de segundo curso a partir del famoso acertijo de qué sucede a la renta nacional si un licenciado se casa con su patrona—, la economía se entrelaza con lo social y lo político. De otro modo, ¿cómo podríamos explicar el estancamiento económico de la Edad Media en Europa que abarcó todo un milenio? ¿Cómo si no podríamos explicar las guerras sostenidas entre las naciones europeas por el control de los mercados y los recursos naturales exteriores así como los cambios tecnológicos inducidos por esta lucha? O bien, ¿cómo podríamos explicar la tremenda diferencia en el desarrollo económico entre América del Norte y Latinoamérica —dado que los recursos de la Naturaleza son igualmente abundantes en ambos sitios—, si no fuera por la diferencia en los factores sociales y políticos?

Recordemos que Malthus afirmaba que existe también una interconexión entre el crecimiento biológico de la especie humana y el proceso económico. Por regla general, los economistas han rechazado su doctrina debido a que hasta hace muy poco no han visto que, a pesar de su desafortunada forma de expresarla, Malthus tenía esencialmente razón. Esto puede verse de inmediato a partir de nuestro análisis entrópico del proceso económico. Aunque está perfectamente comprobado, el hecho de que los factores biológicos y económicos puedan solaparse e interactuar de ciertas formas sorprendentes es poco conocido por los economistas.

En el pasado, cuando en muchas partes del mundo las colectividades vivían durante siglos sin ninguna agitación social de importancia, con lo que la segregación de clases tenía tiempo para cumplir su efecto genético casi por completo, constituía un rasgo común de las clases superiores —observado incluso por James Cook entre algunos pueblos del Pacífico— tener rasgos físicos más refinados que las otras. Mucho antes del conocimiento de la herencia, el anatomista británico W. Lawrence explicó el fenómeno a partir de la fase puramente empírica; lo atribuyó al poder que los hombres de las clases superiores tenían para atraer a las más bellas mujeres del país. Una tesis similar fue expuesta más tarde por Francis Galton en su famoso *Hereditary Genius* (1869). Haciendo uso de datos genealógicos completos, Galton demostró cómo el deseo de riqueza (sin duda alguna, un factor económico) contribuyó a la extinción biológica de doce de los treinta y un Pares originales de la nobleza inglesa. Descubrió que los Pares se casaban muy frecuentemente con ricas herederas, introduciendo así en su sangre el gen de una reducida fertilidad. Aproximadamente cuarenta años después del descubrimiento de Galton, J. A. Cobb señaló que el fenómeno es mu-

cho más general. En una sociedad en la que la riqueza personal y el rango social se encuentran altamente correlacionados —como sucede en el sistema de propiedad privada—, el gen de la reducida fertilidad tiende a difundirse entre los ricos y el de la elevada fertilidad entre los pobres. En conjunto, la familia con muy pocos hijos asciende en la escala social, y aquella con más hijos que la media de vástagos, desciende. Al mismo tiempo, dado que normalmente los ricos se casan con los ricos, los pobres no pueden casarse más que con los pobres. Así pues, el rico se hace más rico y el pobre más pobre debido a una poco sospechada interacción de factores económicos y biológicos<sup>1</sup>.

En consecuencia, el problema de delimitar la esfera de la economía, incluso de una manera aproximada, está erizado de espinas. En cualquier caso, no es tan sencillo como Pareto nos acucia a creer con su argumentación de que, de igual modo que la geometría no hace caso de la química, la economía puede pasar por alto, por abstracción, el *homo ethicus*, el *homo religiosus* y todos los restantes *homines*<sup>2</sup>. Ahora bien, Pareto no es el único que sostiene que el proceso económico tiene límites naturales definidos. La misma postura caracteriza a la escuela de pensamiento que ha seguido las atractivas sendas abiertas por los primeros marginalistas matemáticos y a la que se ha llegado a denominar habitualmente de economía estándar. Una formulación más reciente de esta postura dice que el ámbito de la economía se limita al estudio de cómo unos medios *dados* se aplican a satisfacer fines *dados*<sup>3</sup>. Dicho en términos más específicos: en un determinado momento en el tiempo, vienen dados los medios a disposición de todo individuo, así como sus fines futuros; también vienen dadas las vías (técnicas y sociales) en que esos medios pueden usarse directa o indirectamente para satisfacer los fines dados, juntamente o por separado; el objeto esencial de la economía es determinar la asignación de los medios dados hacia la satisfacción óptima de los fines dados. Así es como la economía se reduce a «la mecánica de la utilidad y del interés». En efecto, todo sistema que implique un principio de conservación (medios dados) y una regla de maximización (satisfacción óptima) es una analogía mecánica<sup>4</sup>.

<sup>1</sup> W. Lawrence, *Lectures on Physiology, Zoology, and the Natural History of Man* (Salem, 1822), pp. 389 y s; Francis Galton, *Hereditary Genius* (Londres, 1869), pp. 132-140. Para una discusión magistral de esta categoría de problemas (altamente instructiva para cualquier estudioso de la economía), véase R. A. Fisher, *The Genetical Theory of Natural Selection* (Oxford, 1930), caps. x y xi. También J. B. S. Haldane, *Heredity and Politics* (Nueva York, 1938), pp. 118 y ss. Entre los economistas, aparentemente sólo A. C. Pigou tomó conciencia de las posibles interacciones entre lo económico y lo biológico. Véase «Eugenics and Some Wage Problems» en su *Essays in Applied Economics* (Londres, 1924), pp. 80-91.

<sup>2</sup> Vilfredo Pareto, *Manuel d'économie politique* (París, 1927), p. 18.

<sup>3</sup> Con mucho, la defensa mejor articulada de este restrictivo punto de vista se debe a Lionel Robbins, *An Essay on the Nature and Significance of Economic Science* (2.ª edic., Londres, 1948), p. 46 y *passim*.

<sup>4</sup> Véase Henri Poincaré, *The Foundations of Science* (Lancaster, Pa., 1946), p. 180. Para un examen detallado de la estricta analogía existente entre el sistema de Pareto-Walras y las ecuaciones de Lagrange, véase V. Pareto, «Considerazioni sui principii fondamentali dell'economia politica pura», *Giornale degli economisti*, IV (1892), pp. 409 y ss.

Ahora bien, es posible que no pueda negarse la esencia económica de la asignación de medios dados para la satisfacción óptima de fines dados. En su forma abstracta, tal asignación refleja una permanente preocupación de cada individuo. Tampoco puede negarse que frecuentemente el problema se plantea en términos concretos y que es susceptible de una solución numérica debido a que todos los datos necesarios están realmente *dados*. Los recientes resultados conseguidos en este sentido siguiendo la obra pionera de T. C. Koopmans merecen la máxima alabanza. Sin embargo, por muy valiosos que sean esos resultados, el nuevo campo de la ingeniería económica (o de la economía empresarial) no abarca la totalidad del proceso económico más de lo que la agricultura agota todo lo que es importante en el campo biológico.

Quiero apresurarme a añadir que la denuncia habitual de la economía estándar por el simple motivo de que se ocupa de «individuos imaginarios que acuden a mercados imaginarios con escalas ya preparadas de precios de oferta y demanda»<sup>5</sup> es patentemente torpe. Aun cuando ignore el Cambio, la abstracción no es «un *privilegium odiosum* exclusivo» de la ciencia económica<sup>6</sup>, porque la abstracción es la escala más valiosa de cualquier ciencia. Tal como Marx afirmó de forma convincente, en las ciencias sociales es lo más indispensable, ya que en ellas «la fuerza de la abstracción» debe compensar la imposibilidad de usar microscopios o reacciones químicas<sup>7</sup>. Sin embargo, la tarea de la ciencia no consiste en trepar a la escala más fácil y permanecer allí para siempre destilando y volviendo a destilar la misma sustancia pura. Al oponerse a toda sugerencia de que el proceso económico pueda consistir en algo más que un rompecabezas con todos sus elementos dados, la economía estándar se ha identificado con el dogmatismo; y esto es un *privilegium odiosum* que ha eclipsado la comprensión del proceso económico allí donde se ha empleado.

Así pues, es por su dogmatismo, no por su uso de la abstracción, por lo que la economía estándar está abierta a la crítica legítima. La observación casual de lo que sucede en la esfera de las organizaciones económicas, o entre esas organizaciones y los individuos, basta para desvelar fenómenos que no consisten en el *tâtonnement* con medios dados hacia fines dados de acuerdo con reglas dadas. Demuestran, sin duda alguna, que en todas las sociedades el individuo típico persigue también continuamente un fin ignorado por la estructura estándar: el aumento de lo que puede reclamar como su renta de acuerdo con su situación actual y las normas distributivas. Es la persecución de este fin lo que hace del individuo un verdadero agente del proceso económico.

<sup>5</sup> Wesley C. Mitchell, «Quantitative Analysis in Economic Theory», *American Economic Review*, XV (1925), p. 5.

<sup>6</sup> Joseph A. Schumpeter, *Essays*, ed. R. V. Clemence (Cambridge, Mass., 1951), p. 87.

<sup>7</sup> Prefacio a la primer edición de Karl Marx, *Capital* (3 vols., Chicago, 1932-1933), I, p. 12.

Dos son los métodos con los que puede perseguir este fin específico. En primer lugar, puede buscar formas con las que mejorar *cualitativamente* los medios que ya posee. En segundo lugar, puede intentar aumentar su cuota personal del stock o del flujo de medios sociales, lo que equivale a cambiar las relaciones distributivas dominantes. Como consecuencia de que, incluso en una sociedad socialista, la actividad individual está dirigida también a largo plazo hacia esos fines, es por lo que se inventan continuamente nuevos medios, se crean nuevas necesidades económicas y se introducen nuevas normas distributivas<sup>8</sup>.

La cuestión es por qué una ciencia interesada en medios, fines y distribución *económicos* tendría que rechazar dogmáticamente también el estudio del proceso a cuyo través se crean nuevos medios *económicos*, nuevos fines *económicos* y nuevas relaciones *económicas*. Tal vez podría responderse que lo que ha de incluirse en el ámbito de cualquier ciencia especial es un problema de convenciones o de división del trabajo. Volviendo a un paralelismo anterior, ¿no es cierto que la agricultura constituye un empeño propiamente científico y una disciplina muy útil, a pesar del hecho de que no se ocupa de la evolución biológica? Existe, no obstante, una razón muy importante por la que la economía no puede seguir el ejemplo de la agricultura.

Esa razón consiste en que el ritmo evolutivo de las «especies» económicas (es decir, de los medios, los fines y las relaciones) es mucho más rápido que el de las especies biológicas. Las «especies» económicas son demasiado efímeras como para que la agricultura económica ofrezca una imagen relevante de la realidad económica. Los fenómenos evolutivos predominan en todo fenómeno económico concreto de cierta importancia, en un grado mayor incluso que en la biología<sup>9</sup>. Si nuestra red científica deja que estos elementos se deslicen a su través, nos quedamos solamente con una sombra del fenómeno concreto. Sin duda alguna, un navegante no precisa conocer la evolución de los mares; como afirmó Pareto, le basta con la geografía real<sup>10</sup>. Pero mi opinión es que la ilustración de Pareto no serviría de nada si la geografía terrestre evolucionase tan rápidamente como la del mundo económico. En consecuencia, es indiscutible que el pecado de la economía estándar es la falacia del equivocado carácter concreto, con lo que Whitehead entiende «el abandono del grado de abstracción implícito

<sup>8</sup> Habría que comparar las observaciones precedentes con las de Frank H. Knight, *Ethics of Competition* (Nueva York, 1935), pp. 58 y ss. Sin embargo, no estoy seguro de que la actividad específica descrita más arriba coincida con lo que Knight llama «la institución del deporte».

<sup>9</sup> Esto no es lo mismo que decir que el material económico está expuesto a numerosas perturbaciones, como lo dice Joseph A. Schumpeter en *Business Cycles* (2 vols., Nueva York, 1939), I, p. 33. Desde una perspectiva mecanicista, todo fenómeno concreto aparece sometido a innumerables perturbaciones.

<sup>10</sup> Pareto, *Manuel*, p. 101.

cuando a una entidad real se la considera únicamente en la medida en que ejemplifica ciertas categorías [preseleccionadas] de pensamiento»<sup>11</sup>.

En retrospectiva, parece natural que las denuncias de la esterilidad del arsenal estándar tuvieran que proceder de hombres como Marx y Veblen, más interesados en las relaciones distributivas que en las asignaciones eficientes de los medios: la falacia del equivocado carácter concreto es más evidente en el primer problema que en el último. Sin embargo, aunque los discípulos de Marx o de Veblen pretendan reclamar toda la gloria para su propio maestro<sup>12</sup>, los defectos del análisis estático que tuvo su origen en Ricardo fueron señalados mucho antes de Marx. J. B. Say, por ejemplo, en una carta fechada en 1821 advertía a los contemporáneos de Ricardo que las generaciones futuras se reirían del terror con que, por causa del análisis ricardiano, contemplaban el efecto del progreso técnico sobre el destino de los obreros industriales<sup>13</sup>. Como quiera que sea, es cierto que las lecciones, posiblemente las únicas importantes, sobre la manera de trascender eficazmente la estructura estática han procedido de Marx, Veblen y Schumpeter<sup>14</sup>.

Sin embargo, no se debería dejar de reconocer también el empeño único de Marshall por infundir cierta vida al esqueleto analítico de la economía estándar. Medio en serio, medio en broma (como era habitual en él), Schumpeter dijo que Marshall «quería —extraña ambición— ser “leído por los hombres de negocios”»<sup>15</sup>. No cabe duda alguna de que, después de todo, era una extraña ambición que Marshall insistiese en el respeto hacia la relevancia en vez de sucumbir al carácter de su época. Por citar uno solo de muchos elocuentes ejemplos: fue Marshall quien demostró del modo más incontrovertible que incluso un concepto básico como la curva de oferta de una industria con «rendimientos crecientes» se desliza a través de la red analítica debido a que «rendimientos crecientes» es un fenómeno esencialmente evolutivo, necesariamente irreversible y posiblemente también irrevocable<sup>16</sup>. Marshall expresó su respeto hacia el análisis en muchas ocasiones, pero su «pensamiento se desplegó en términos de cambio evolutivo, en términos de un proceso orgánico, irreversible»<sup>17</sup>. Ahora bien, Schumpe-

<sup>11</sup> Alfred North Whitehead, *Process and Reality: An Essay in Cosmology* (Nueva York, 1929), p. 11.

<sup>12</sup> Por ejemplo, Karl Korsch, *Karl Marx* (Londres, 1938), p. 156; John S. Gambs, *Beyond Supply and Demand* (Nueva York, 1946), p. 10.

<sup>13</sup> Jean-Baptiste Say, *Letters to Mr. Malthus* (Nueva York, 1967), p. 70.

<sup>14</sup> Como saben todos los economistas, únicamente Schumpeter no formó escuela alguna. Quiero observar, no obstante, que los institucionalistas americanos, pese a aclamar a Veblen como su profeta, han heredado poco de él, aparte de un desdén agresivo hacia la «teoría». Sea como sea, Paul T. Homan, en «An Appraisal of Institutional Economics», *American Economic Review*, XXII (1932), pp. 10-17, ha pasado totalmente por alto el problema planteado por Veblen.

<sup>15</sup> Joseph A. Schumpeter, *Ten Great Economists* (Nueva York, 1951), p. 97.

<sup>16</sup> Alfred Marshall, *Principles of Economics* (8.ª edic., Nueva York, 1924), p. 808. Véase también Schumpeter, *Essays*, p. 53n2, y Knight, *Ethics of Competition*, pp. 166 y s.

<sup>17</sup> Schumpeter, *Ten Great Economists*, p. 101.

ter continuó diciendo que «la visión [de Marshall] del proceso económico, sus métodos, sus resultados, no son ya los nuestros»<sup>18</sup>. Viniendo de un economista en cuya obra la evolución ocupó una posición prominente, esta última observación no puede tomarse más que como un velado lamento. Las grandes mentes —como Lionel Robbins— que despiertan en última instancia del «sueño dogmático»<sup>19</sup> constituyen, por desgracia, raras excepciones.

En lo que se refiere a la cuestión de dónde deberían situarse adecuadamente los límites del proceso económico, no conozco una respuesta mejor que la definición de Marshall de la economía como el «estudio de la humanidad en los asuntos ordinarios de la vida»<sup>20</sup>, siempre que no se insista en una interpretación aritmomórfica de cada término. Los ejemplos y las observaciones presentados en esta sección deberían bastar para trazar la penumbra dialéctica de esta ciencia.

2. ¿Por qué no es la economía una ciencia teórica? Todo el mundo usa la palabra «teoría» en muy diversos sentidos. Así, en un sitio Schumpeter la utiliza con el significado de «caja» de herramientas analíticas<sup>21</sup>. Pero, al usarlo de forma discriminada, el término denota generalmente un edificio lógico. O bien, tal como lo he expresado explícitamente (Capítulo I, Sección 4, anterior), teoría significa un archivo lógico de *todo* conocimiento existente en algún campo particular, tal que toda proposición conocida se encuentre contenida en el fundamento lógico o pueda deducirse de él. Que semejante archivo posee el mérito único de ofrecer *comprensibilidad* es un leitmotiv heredado de Aristóteles. Sin embargo, no se ha prestado casi ninguna atención al hecho de que no puede haber comprensibilidad sin la *capacidad de comprimir* el conocimiento existente en sólo unas relativamente pocas proposiciones- $\omega$ . Si nuestro conocimiento de un campo determinado no es comprimible, esto es, si su archivo lógico da como resultado un número enorme de proposiciones- $\omega$ , no se obtiene la comprensibilidad aristotélica. He ilustrado este punto en relación con la química, ciencia en la que, debido a la frecuencia de la novedad por combinación, todo fundamento lógico debe contener proposiciones mucho más numerosas que las de la clase- $\beta$ . Por esta misma razón, un fundamento lógico de la química tendría que estar continuamente «en construcción». Evidentemente una teoría química no tendría intencionalidad alguna<sup>22</sup>. Lo mismo es aplicable incluso con más intensidad a cualquier ciencia que se ocupe de la evolución, pues el escenario de la evolución está dominado por la novedad.

<sup>18</sup> *Ibid.*, p. 92.

<sup>19</sup> Como lo admite Lionel Robbins de sí mismo en su *The Economic Problem in Peace and War* (Londres, 1947), pp. 67 y s.

<sup>20</sup> Marshall, *Principles*, p. 1.

<sup>21</sup> Schumpeter, *Essays*, p. 227.

<sup>22</sup> Véase el Capítulo V, Sección 1, anterior.

Después de lo que he dicho sobre el alcance de la economía, la respuesta a la cuestión que encabeza esta sección es tan evidente que seguir ocupándose de ella podría parecer superfluo. Ahora bien, como está muy compartida la opinión de que las proposiciones relativas al proceso económico pueden organizarse en una teoría, parece instructivo analizar brevemente las argumentaciones más destacadas presentadas en su defensa.

La argumentación más antigua, y también la más corrientemente esgrimida, es que la economía ha de ser necesariamente una ciencia teórica, pues todo fenómeno económico se deriva lógicamente de un puñado de principios elementales. La idea se remonta a la escuela clásica, que enseñaba que todos los fenómenos económicos se fundamentan en «el deseo de riqueza» que caracteriza a todo «individuo en su sano juicio» y están regidos por dos únicas leyes generales. La primera es que «una ganancia mayor se prefiere a otra más pequeña»; la segunda es la propensión a obtener «la mayor cantidad de riqueza con el mínimo trabajo y sacrificio»<sup>23</sup>. A esas leyes generales, los marginalistas añadieron dos principios de contenido más sustancial, los principios del decrecimiento de la utilidad marginal y de los rendimientos decrecientes. Pero los economistas han continuado afirmando que los fundamentos de la economía nos son conocidos inmediatamente por la intuición, de donde se deriva que su verdad pueda creerse «con más confianza y certidumbre que... cualquier afirmación sobre cualquier hecho o acontecimiento físico»<sup>24</sup>. Aún más importante es la pretensión de que, en virtud de esta especial propiedad de sus leyes fundamentales, la economía es la ciencia deductiva *par excellence*. En consecuencia, todas las proposiciones económicas son válidas en cualquier escenario institucional<sup>25</sup>.

No cabe duda alguna de que difícilmente puede pensarse en una tautología más evidente que el principio «Cada individuo actúa como desea»<sup>26</sup>. O bien, tal como la misma idea se expresa en jerga moderna, todo el mundo actúa de forma que se maximice su satisfacción en cualquier conjunto dado de circunstancias. Evidentemente, es tan absurdo pensar en un individuo que prefiera ser menos feliz como imaginar un cuadrilátero con cinco lados. Es cierto que una vida de austeridad material y de negación de sí mismo sigue representando la mayor felicidad para quien ha elegido ser monje; y absolutamente nadie puede demostrar que un monje es menos feliz que el rico *bon vivant* que disfruta de todas las riquezas y frivolidades

<sup>23</sup> John Stuart Mill, *A System of Logic* (8.ª edic., Nueva York, 1874), pp. 623 y ss.; Knight, *Ethics of Competition*, pp. 135 y ss.

<sup>24</sup> Frank H. Knight, *On the History and Method of Economics* (Chicago, 1956), p. 164. También, W. Stanley Jevons, *The Theory of Political Economy* (4.ª edic., Londres, 1924), p. 18.

<sup>25</sup> Véase Jevons, *Theory*, p. 19; Knight, *Ethics of Competition*, pp. 137 y s. y *passim*.

<sup>26</sup> Irving Fisher, *Mathematical Investigations in the Theory of Value and Prices* (New Haven, 1925), p. 11; Pareto, *Manuel*, p. 62.

del mundo. Por otra parte, comparar el principio de máxima satisfacción con «cualquier afirmación sobre cualquier hecho físico concreto» es una propuesta inútil, a no ser que «satisfacción» se describa también de forma más concreta.

El último requisito es esencial. Ni siquiera la teoría estándar podría ignorarlo: su edificio teórico no se construyó sobre un concepto general y vago de satisfacción sino sobre la proposición específica de que *sólo aquellos bienes y servicios de que puede disfrutar personalmente un individuo influyen en su satisfacción*. En consecuencia, en la teoría estándar la optimidad es solamente función de las cantidades de tales bienes y servicios.

Como ya he afirmado en otro lugar<sup>27</sup>, esta fórmula concreta refleja un rasgo institucional propio (y, posiblemente, también específico) de las grandes colectividades urbanas de las sociedades industrializadas. Lo mismo es cierto de otro pilar de la teoría estándar, la proposición de que, para un vendedor, la «ganancia» se mide únicamente por el beneficio monetario. Ahora bien (recordando la protesta de Marx), «la razón burguesa [no] es la razón humana normal»<sup>28</sup>. Como lo resaltó cuidadosamente Marshall, no es la razón general ni siquiera en la sociedad burguesa<sup>29</sup>. Mucho menos podemos esperar que sea válida en todos los escenarios institucionales. Realmente, en las colectividades campesinas la felicidad del individuo depende no sólo de las cantidades de bienes y servicios que están a su disposición sino también de otras variables sociales, y la ganancia depende de otros factores además del beneficio monetario.

Por consiguiente, la afirmación de que los principios fundamentales de la economía son universalmente válidos puede ser cierta únicamente en lo que se refiere a su *forma*; sin embargo, su *contenido* viene determinado por el escenario institucional, y sin ese contenido institucional los principios no son más que «cajas vacías» de las que solamente podemos obtener generalidades vacías. Esto no quiere decir que la teoría estándar opere con «cajas vacías»; por el contrario, como hemos visto, esas cajas están llenas de un contenido institucional destilado de los patrones culturales de una sociedad burguesa. Pueden estar llenas sólo parcialmente, como es ciertamente el caso; en efecto, muchos rasgos de tales sociedades se han excluido porque no estaban del todo maduros en la época en que se pusieron los cimientos de la teoría estándar, y otros porque no pueden encajarse en la estructura aritmomórfica que tiene necesariamente una teoría<sup>30</sup>.

<sup>27</sup> «Economic Theory and Agrarian Economics» (1960), Sección III (2), reimpresso en *AE*.

<sup>28</sup> Karl Marx, *A Contribution to the Critique of Political Economy* (Chicago, 1904), p. 93.

<sup>29</sup> Marshall, *Principles*, pp. 762 y ss.

<sup>30</sup> El lector no debería tener dificultad alguna en descubrir la razón por la que las conclusiones precedentes difieren fundamentalmente de las de algunas conocidas discusiones del mismo problema, como las de Knight, *Ethics of Competition*, pp. 135 y ss., o J. H. Clapham, «Of Empty Economic Boxes», *Economic Journal*, XXXII (1922), pp. 305-314. Esos autores emplean «contenido» en su sentido pareiano, significando el conjunto de todas las funciones «estandar» de optimidad y de producción.

Voy a repetir aquí un punto destacado en el trabajo titulado «Economic Theory and Agrarian Economics» (1960), reimpresso en mi *Analytical Economics*. Debido precisamente a que las cajas de la teoría estándar estaban llenas ya de un contenido institucional específico, esta teoría fue rechazada por los estudiosos del proceso económico en escenarios no capitalistas. Los ejemplos más destacados son los de la escuela histórica en Alemania y del *Narodnikism* (populismo) en Rusia. A pesar de ser tan importante, este punto no ha recibido más que una atención ocasional. Marshall se cuenta entre los pocos que reprocharon a los economistas estándar haber desarrollado «sus teorías sobre la suposición tácita de que el mundo se hizo con los habitantes de la ciudad»<sup>31</sup>. Sin embargo, ni siquiera la censura de Marshall apunta al problema real.

Ningún economista, ni siquiera un Ricardo o un Walras, puede ser culpado de no haber construido una teoría *pertinente y válida* para todos los escenarios institucionales. La sociedad no es una entidad inmutable sino que evoluciona continuamente en formas infinitas que difieren tanto en el tiempo como en el espacio. Por consiguiente, es normal que todo gran economista haya tenido que llenar sus cajas analíticas con un contenido institucional inspirado en los modelos culturales de la sociedad que mejor conocía: aquella en la que vivía.

La profesión de economista debería aceptar con inmenso orgullo la acusación de oportunismo práctico lanzada por Bridgman<sup>32</sup>. En efecto, hubiera sido mucho más lamentable que Quesnay no hubiese estado interesado en los problemas económicos específicos de la Francia del siglo XVIII, que Keynes no hubiese estudiado los problemas económicos de las modernas organizaciones estatales, o que ningún economista contemporáneo hubiese estado atraído por el problema de cómo desarrollar las economías atrasadas, que es *el* problema de nuestra época. En consecuencia, el economista estándar no puede ser acusado, como tampoco Marx, de construir su teoría de acuerdo con el modelo de la sociedad capitalista. El pecado mortal del economista estándar es de otro carácter; como niega la necesidad de prestar atención alguna a los aspectos evolutivos del proceso económico, se ve ineludiblemente obligado a predicar y a practicar el dogma de que su teoría es válida en *todas* las sociedades<sup>33</sup>.

<sup>31</sup> Marshall, *Principles*, p. 762.

<sup>32</sup> P. W. Bridgman, *Reflections of a Physicist* (2.ª edic., Nueva York, 1955), pp. 443 y s.

<sup>33</sup> Para ser justos con Marx, hay que subrayar que nunca compartió esta postura. Por el contrario, Marx resaltó en repetidas ocasiones que su análisis se refiere únicamente al sistema capitalista: p. ej., Marx, *Critique*, p. 269. De igual modo, fue consciente del hecho de que las diferencias entre las escuelas económicas francesa y alemana eran reflejo de las diferencias institucionales existentes entre los respectivos países. *Ibid.*, p. 56n. Sin embargo, al final, Marx cometió el gran error de extender indiscriminadamente las leyes de una sociedad capitalista a la economía de una sociedad agrícola, rural. Véase la Sección I(2) de mi trabajo reimpresso en *AE*, «Economic Theory and Agrarian Economics» (1960).

La celeberrima *Methodenstreit* estuvo aparentemente centrada en la metodología, pero, como tendría que haber quedado claro a partir del análisis precedente, en el fondo la *Streit* (es decir, la disputa) giró en torno a la pretensión de que es posible construir una teoría económica universalmente válida. Los adversarios de los ricardianos sostenían que existe una Gran Antinomia entre esta pretensión y la esencia evolutiva del proceso económico. Como acabamos de ver, los economistas estándar, por su parte, se atrincheraron tras la postura de la base *directamente intuitiva* de las leyes económicas fundamentales. Pero otro intento destacado de resolver la Gran Antinomia procede de una base *objetiva*; en esencia, se trata de una doctrina química de la sociedad<sup>34</sup>.

Una doctrina química afirma, en primer lugar, que todas las formas de sociedades pueden analizarse objetivamente en un número finito de elementos inmutables y, en segundo lugar, que una sociedad puede no poseer más propiedades que las inherentes a sus componentes elementales. Así pues, la Horda Dorada, la ciudad medieval de Florencia, la Suiza del siglo XX no serían diferentes «animales», cada uno con su comportamiento específico, sino únicamente cócteles más fuertes o más suaves que pueden conseguirse a partir de una lista finita de ingredientes.

Debemos a Walter Eucken la más convincente elaboración de una doctrina química del proceso económico. Afirma que los ingredientes eternos de todo sistema económico caen dentro de tres categorías: el control (central o pluralista), el mercado (con sus formas estándar) y las convenciones monetarias (dinero-mercancía, crédito-mercancía, crédito-monetario)<sup>35</sup>. Toda economía no es nada más que la combinación de esos ingredientes, uno de cada categoría. Lo único que precisamos saber es la fórmula combinatoria específica en cada caso considerado.

A fin de aclarar esta postura epistemológica, Eucken recurre a una analogía: las obras de los compositores, pese a ser diferentes, se han creado «combinando entre sí un número limitado de tonos que todos ellos han utilizado»<sup>36</sup>. La elección es, empero, extremadamente desafortunada, pues a través de esta analogía Eucken deja inconscientemente al descubierto la debilidad fundamental de todas las doctrinas químicas de la sociedad.

Las escalas musicales han evolucionado y algunas nuevas siguen estando en la reserva para nosotros. Además, la música requiere instrumentos, de los que algunos se han inventado incluso a lo largo de nuestra generación. Por consiguiente, es notoriamente falso decir que *toda* la música puede analizarse en un conjunto *dado* de tonos y en un conjunto *dado* de ins-

<sup>34</sup> Véase más arriba, Capítulo V, Sección 2. En realidad, el término «químico» no es apropiado, como se verá ahora.

<sup>35</sup> Walter Eucken, *The Foundations of Economics* (Londres, 1950), Parte III, cap. ii.

<sup>36</sup> *Ibid.*, pp. 226 y s.



trumentos. Pero este no es el defecto más importante de una doctrina química.

A juzgar por lo que sabemos, es inconcebible una actividad sin un agente de control; la existencia de los mercados se remonta a los albores de la historia; algunas formas de empresas capitalistas y de dinero se encuentran hasta en las sociedades antiguas. Sin embargo, la evidencia de la proposición general de que toda economía se compone de control, mercado y convenciones monetarias puede ser peligrosamente seductora, porque, al menos para todo el que no esté comprometido con la falacia de la concretización errónea, es igualmente evidente que esta fórmula de combinación no consigue describir ni siquiera parcialmente los aspectos esenciales de una economía existente.

Tal como tuve ocasión de observar anteriormente, todo compuesto químico tiene algunas propiedades no poseídas por ninguno de sus elementos; además, no existe ningún principio general en virtud del cual se puedan deducir todas las propiedades de un compuesto a partir de su fórmula química. Si esto no fuera así, sería un juego de niños (como subrayó P. Green en un contexto diferente) para el científico moderno, que puede contar los protones en la totalidad del universo, hallar por medio del cálculo las manchas de color de un pájaro de Nueva Guinea<sup>37</sup>. Dado que la doctrina «química» no consigue funcionar en el campo químico, sería insensato contar con su éxito en las ciencias sociales, donde el número de compuestos es casi ilimitado y la calidad domina la escena en un grado incomparablemente mayor que en el campo de la materia elemental.

Es altamente significativo que un matemático moderno, no un místico medieval, planteara la siguiente cuestión demoledora: ¿cómo puede un naturalista que ha estudiado exclusivamente la composición química del elefante saber algo acerca del comportamiento de ese animal?<sup>38</sup> Ahora bien, a pesar del creciente tributo que paga al conocimiento químico, la biología no esperó la intervención de un intruso para rechazar la doctrina química. Como nos enseña un premio Nobel, para la biología moderna «un gen es conocido por su rendimiento y no por sus propiedades sustantivas»<sup>39</sup>. Esta sencilla afirmación es la personificación de la nueva concepción biológica, que ha llegado a conocerse como epistemología del organismo<sup>40</sup>. Se trata de un reconocimiento tardío de la existencia de la novedad por combinación, pero libre de todo trasfondo vitalista.

<sup>37</sup> P. Green, «Time, Space and Reality», *Philosophy*, IX (1934), p. 463.

<sup>38</sup> Poincaré, *Foundations of Science*, p. 217.

<sup>39</sup> P. B. Medawar, *The Future of Man* (Nueva York, 1960), p. 119. Véase también el Apéndice G en este volumen.

<sup>40</sup> La esencia de esta idea es, no obstante, mucho más antigua de lo que sus defensores parecen comprender. Véase Platón, *Philebus*, pp. 14 y ss.

A la misma concepción no le fue tan bien en las ciencias sociales, y mucho menos en la economía. Al ser la tarea del economista el estudio de un proceso que frecuentemente evoluciona antes de que él puede completar su formación profesional, es normal que esté más sediento que nadie de la objetividad de la física clásica. Por cierto, semejante sed se hace aún más acuciante cuando está alimentada por proposiciones que desafían a cualquier álgebra, como sucede con el principio de que «la sociedad no es una suma de individuos». Hay que observar, sin embargo, que esto es una manera bastante desafortunada de decir que la sociedad tiene propiedades que no puede tener el individuo *por sí mismo*. Puede que parezca superfluo para algunos y fútil para otros seguir haciendo hincapié en este punto que está ahora cristalizado en la filosofía de la Gestalt<sup>41</sup>. Curiosamente, la oposición a esta filosofía se encuentra bastante más difundida entre los científicos sociales (y, evidentemente, entre los filósofos de tendencia positivista) que entre los científicos de la Naturaleza. Max Planck, por ejemplo, reconoció abiertamente que «el todo nunca es simplemente igual a la suma de sus diversas partes»<sup>42</sup>. H. Weyl se puso totalmente de parte de la idea por la que H. Driesch luchó tan dramáticamente. Weyl nos advierte que, incluso en el mundo inorgánico —sin exceptuar la física cuántica—, «es imposible deducir el estado del todo a partir del estado de sus partes»<sup>43</sup>. Tomemos una melodía, el ejemplo clásico utilizado por C. von Ehrenfels para ilustrar lo que significa la Gestalt. Los críticos de la Gestalt sostienen que una melodía no es sino una secuencia de notas identificables, cada una de las cuales tiene una existencia independiente debido a que, ya se las toque en la melodía o solas, cada nota suena siempre igual. Lo que inexplicablemente se niegan a ver es que la secuencia tiene una cualidad (la *Gestaltqualität*) que no posee ninguna nota por sí sola: la propia melodía<sup>44</sup>. Indudablemente, encontramos la Gestalt hasta en las matemáticas; en efecto, un número tomado por sí solo no es ni racional ni irracional, ni es continuo o denso. Sólo un par de números puede ser racional o irracional. Cuando decimos que  $\pi$ , por ejemplo, es irracional, de hecho decimos que lo es el par  $(1, \pi)$ . Igualmente, sólo un conjunto de números *como un todo* posee la cualidad de continuidad o de densidad. Tal como enseñó Leibnitz, en la noción de

<sup>41</sup> A este respecto, véase K. Koffka, «Gestalt», *Encyclopedia of Social Sciences* (Nueva York, 1930-1935), VI, pp. 642-646, o *A Source Book of Gestalt Psychology*, ed. Willis D. Ellis (Nueva York, 1938). Solomon E. Asch, «Gestalt Theory», *International Encyclopedia of the Social Sciences* (Nueva York, 1968), VI, pp. 158-175, ofrece una valoración crítica actualizada.

<sup>42</sup> Max Planck, *The New Science* (Nueva York, 1959), p. 255. Véase también A. S. Eddington, *New Pathways in Science* (Ann Arbor, 1959), p. 296.

<sup>43</sup> H. Weyl, *The Open World* (New Haven, 1932), pp. 55 y s. Algunas ilustraciones extraordinariamente interesantes de la Gestalt en estructuras electrostáticas las proporciona uno de los fundadores de la doctrina: Wolfgang Köhler, «Physical Gestalten» (1920), en *Source Book of Gestalt Psychology*, ed. Ellis, pp. 17-54.

<sup>44</sup> Max Wertheimer, «Gestalt Theory» (1925), en *Source Book*, ya citado, p. 4.



continuo «el todo precede a las partes». No hay manera de reducir la antinomia que el análisis crea entre las propiedades del todo y las propiedades de las partes cuando se les considera aisladamente<sup>45</sup>. Volviendo a algunos ejemplos elementales del campo social: aun cuando cada pulgada de los estragos causados por una muchedumbre pudiese achacarse a un acto de algún individuo en particular, un individuo por sí solo nunca puede desplegar las propiedades características de una muchedumbre. Ni tampoco un simple individuo puede tener todas las manifestaciones de una secta religiosa, ni las que observamos en los renacimientos religiosos. Marx tenía toda la razón al ridiculizar la economía de Robinson Crusoe<sup>46</sup>, donde no hay monopolistas, sindicatos, ni conflicto en torno a la distribución del sacrificio y de la recompensa.

Por otra parte, podemos reconocer también que la renuencia de muchos de nosotros a desprendernos del principio de que la sociedad es una suma de individuos se encuentra arraigada en una condición histórica: el único caso en que el principio es *aproximadamente* cierto es la sociedad burguesa en la que nos hemos criado y que es lo más aproximado a la Sociedad Civil de Hegel<sup>47</sup>. Sin embargo, hasta la sociedad burguesa evoluciona y en la actualidad probablemente no satisfaga la lista de exigencias de Hegel<sup>48</sup>.

Contemplada como reducción teórica de un campo fenomenológico, toda doctrina química es falaz desde el comienzo, salvo en el caso de aquellos fenómenos físicos que son indiferentes a la escala. Como mucho, puede aceptarse como código de procedimiento para análisis morfológicos. En este papel, ha demostrado su utilidad en la química, en la física nuclear y, en menor medida, en la biología del organismo. Con toda probabilidad, este es el límite, si se tiene en cuenta que un economista tan agudo como Eucken únicamente pudo recolectar unas pocas generalidades imprecisas de escaso valor incluso para el análisis morfológico. Su doctrina deja al economista tan ilustrado como un naturalista al que solamente se le dijera que el común denominador de todos los organismos es la nutrición, la defensa y la reproducción.

La trascendencia de la conclusión de que la economía no puede ser a la vez una ciencia teórica y una ciencia pertinente puede parecer puramente académica. Desgraciadamente, no es así, pues la tenacidad con la que nos aferramos al principio de que la teoría estándar es válida en todos los esce-

<sup>45</sup> Constituyendo una excepción entre los positivistas, Bertrand Russell, *The Principles of Mathematics* (Cambridge, Ingl., 1903), p. 477, reconoce explícitamente la antinomia; pero seguramente va demasiado lejos al decir que se aplica incluso al efecto compuesto de las fuerzas mecánicas.

<sup>46</sup> Marx, *Critique*, p. 266.

<sup>47</sup> *Hegel's Philosophy of Right*, trad. T. M. Knox (Oxford, 1953), pp. 124 y ss. y 267.

<sup>48</sup> Para algunas breves observaciones sobre este punto, véase la Sección III(2) de mi «Economic Theory and Agrarian Economics» (1960), en *AE*.

narios institucionales (ya sea porque sus principios son universalmente válidos o porque todos los sistemas económicos son simples mezclas de algunos elementos invariables) tiene consecuencias de gran alcance para los esfuerzos del mundo por desarrollar la economía de naciones cuyas instituciones difieren de las de los países capitalistas. Esas consecuencias pueden pasar a la historia como el mayor monumento a la arrogante seguridad en sí mismos de algunos servidores de la ciencia.

Así, por ejemplo, la mayor parte de nosotros tiene actualmente una fe ciega en el axioma (que en realidad se remonta a Marx) de que el desarrollo industrial es la única vía hacia el desarrollo económico general, es decir, también hacia el desarrollo del sector agrícola. Como prueba objetiva invocamos el hecho incontrovertible de que la industrialización se tradujo en un desarrollo general del sur de Estados Unidos, pero la arraigada perspectiva del economista estándar (de que lo que es bueno para un país es bueno para cualquier otro) nos impide observar que, en primer lugar, ese sur forma parte de la economía capitalista más avanzada y, en segundo lugar, que el agricultor americano no es institucionalmente idéntico (ni siquiera comparable) al *campesino* indio o a cualquier otro. De hecho, cuanto mayor sea el desarrollo industrial logrado por una nación subdesarrollada, asolada por un sector agrícola predominante, superpoblado y desorganizado, mayor es la evidencia que tal nación ofrece de la falacia del axioma industrializador. Allí, el campesinado sigue tan acosado por la pobreza como siempre: sombrío espectador pasivo del creciente bienestar del selecto círculo que se deleita con la Cuadrilla de la Demanda Efectiva, que se mueve por sí sola cada vez más deprisa de un día para otro. Sin embargo, para alguien que cree que las relaciones distributivas constituyen el núcleo del proceso económico, hasta esta situación tiene su explicación sencilla. Se trata de una fase de la evolución del conflicto social.

3. *Modelos aritmomórficos y economía*. En un pasaje frecuentemente citado de «In the Neolithic Age», Rudyard Kipling dijo:

There are nine and sixty ways of constructing tribal lays  
And-every-single-one-of-them-is-right!<sup>49</sup>

Sin embargo, ésta no es toda la razón por la que la economía no puede ser una ciencia teórica, pues, aun cuando solamente hubiese noventa y seis parcelas económicas, seguiríamos sin poder deducir sus leyes a partir de un solo fundamento lógico. Las leyes de la sociedad capitalista, por ejemplo, no son válidas para el sistema feudal ni para una economía agraria superpoblada. Y esto no es todo. El número de las parcelas económicas no es ni

<sup>49</sup> Hay noventa y seis formas de construir parcelas tribales  
¡Y todas y cada una de ellas son razonables! *N. del T.*

siquiera finito; en vez de ello, existe un continuo espectro de formas que se deslizan entre sí a medida que evoluciona el proceso económico y que en último término llegan a ser tan diferentes como un pájaro lo es de un gusano. Así pues, es el carácter evolutivo del proceso económico lo que impide captar todos sus aspectos pertinentes con un esquema aritmomórfico, ni siquiera con uno dinámico. «La Meca del economista», insistió Marshall, «se encuentra en la biología económica más que en la dinámica económica»<sup>50</sup>. Sin embargo, como continuó diciendo Marshall, no tenemos otra elección que la de empezar con la dinámica económica. Lo que no supo decir es que por dinámica económica deberíamos entender la dinámica de cada una de las especies conocidas de parcelas económicas, no una dinámica general en la que cree la economía estándar.

Podría pensarse que la primera tarea de la economía es establecer algunos criterios generales para clasificar todos los sistemas conocidos en géneros, especies y variedades. Por desgracia, nuestro conocimiento económico en este sentido es tan escaso que ni siquiera un Linneo economista sería capaz de diseñar un sistema clasificatorio. Lo más que podemos hacer en esta fase es observar cada realidad económica en sí misma sin buscar necesariamente características taxonómicas. Nuestro objetivo debería ser construir un tipo ideal que hiciese «pragmáticamente claros y comprensibles» los rasgos específicos de esta realidad concreta<sup>51</sup>. Ahora bien, podría argumentarse que sin un código clasificatorio no podría llevarse a cabo ni siquiera esta tarea menor. Demasiados de nosotros sostenemos hoy en día que los sistemas clasificatorios, los conceptos analíticos abstractos y, según K. Popper, hasta «las teorías son anteriores a las observaciones»<sup>52</sup>, como si la ciencia hubiese encontrado todas esas cosas ya elaboradas. Parece que olvidamos no solamente que la ciencia surgió de la observación no dirigida sino que siempre hay algún pensamiento precientífico que antecede al científico<sup>53</sup>.

La ausencia de un código clasificatorio no impidió que los economistas clásicos —por citar un sencillo ejemplo— descubriesen las características significativas de la economía capitalista. Hay algunas tareas en toda ciencia, no sólo en la economía, que exigen una dosis apreciable de «delicadeza y sentido del tacto»<sup>54</sup>.

Una vez que hemos llegado a un cuerpo viable de proposiciones descriptivas de una realidad dada, construir un modelo aritmomórfico es una tarea relativamente sencilla. Tan pronto fuese posible, habría que proveer a

<sup>50</sup> Marshall, *Principles*, p. xiv.

<sup>51</sup> Max Weber, *The Methodology of Social Sciences* (Glencoe, Ill., 1949), p. 90.

<sup>52</sup> Karl R. Popper, *The Poverty of Historicism* (Boston, 1957), p. 98. De forma implícita o explícita, la idea aparece en muchas obras; p. ej., Jevons, *Theory*, p. 22.

<sup>53</sup> Albert Einstein, *Ideas and Opinions* (Nueva York, 1954), p. 276.

<sup>54</sup> Marshall, *Principles*, p. 769.

cada realidad económica de un modelo semejante<sup>55</sup>. Lo más difícil de entender es la postura de que incluso en el caso de un sistema capitalista «es prematuro teorizar»<sup>56</sup>. En realidad, a juzgar por las inmensas dificultades a que se enfrentaron Werner Sombart y otros inspirados economistas, deberíamos más bien estar de acuerdo con Marshall al decir que la economía no está todavía madura para hacer su historia<sup>57</sup>. Y si la economía parece estar moviéndose ahora en el sentido opuesto se debe únicamente a que los economistas modernos dedican la mayor parte de su tiempo a teorizar, algunos de ellos sólo a un vacío teorizar.

Tanto en la física como en cualquier otra ciencia, los modelos aritmomórficos están al servicio de legítimas necesidades del Entendimiento y, en mi opinión, aún más de la Didáctica. El científico que niegue que su mente, al menos, capta una representación gráfica y, si tuvo alguna formación, un modelo matemático con mayor firmeza y más rápidamente que un análisis verbal de la misma situación es libre de dar un paso adelante en todo momento, si así lo desea. Además, entre todos los hombres de ciencia, los economistas no deberían cometer el error de oponerse al uso de la herramienta matemática en el análisis económico, pues esto equivale a ir contra el principio del máximo rendimiento. Ahora bien, basándonos en el mismo principio, hemos de deplorar la exagerada afición a las matemáticas que hace que muchos usen esa herramienta incluso cuando un simple gráfico bastaría para el problema en su forma no adulterada.

Deseo añadir que la postura adoptada por muchos de mis colegas en el sentido de que «las matemáticas son lenguaje»<sup>58</sup> tiende más bien a oscurecer el hecho de que, siempre que pueda emplearse la herramienta matemática, el proceso analítico puede llevarse a cabo más rápidamente que si se desarrollase únicamente con la lógica ordinaria. Es indudable que, si se le remontase a su génesis, el arsenal matemático es el producto de la lógica ordinaria, de igual modo que el equipo de capital se descompone filogenéticamente en trabajo, y los organismos vivos en materia elemental. Sin embargo, una vez que esas formas surgieron a partir de su *causa materialis*, exteriorizaron nuevas cualidades que desde entonces las han diferenciado siempre de la lógica ordinaria, el trabajo y la materia inerte, respectiva-

<sup>55</sup> Para lo referente a la pérdida que se sufre al no actuar así, véase la Sección I(4) de mi «Economic Theory and Agrarian Economics», reimpreso en *AE*. Sin duda alguna, las herramientas analíticas desarrolladas por la economía estándar pueden ser útiles en muchas otras situaciones. Ahora bien, esto no es motivo para decir con Schumpeter, *Essays*, p. 274n, que un modelo en el que los precios de los factores no son proporcionales a sus productividades marginales es «con todo, teoría de la productividad marginal», pues entonces la teoría de Einstein seguiría siendo una teoría newtoniana: en ambas teorías existe una fórmula para la adición de velocidades.

<sup>56</sup> Gambs, *Beyond Supply and Demand*, p. 64.

<sup>57</sup> *Memorials of Alfred Marshall*, ed. A. C. Pigou (Londres, 1925), p. 489.

<sup>58</sup> P. A. Samuelson, «Economic Theory and Mathematics - An Appraisal», *Papers and Proceedings, American Economic Review*, XLII (1952), p. 56.

mente. Para obtener un caballo, por ejemplo, no retrocedemos y volvemos al proceso evolutivo a cuyo través surgió gradualmente el caballo a partir de la sustancia inánime, ni producimos martillos de acero utilizando martillos de piedra hallados accidentalmente en la Naturaleza. Es más eficiente aprovecharse del hecho de que podemos obtener un caballo a partir de un caballo y equipo de capital con la ayuda de equipo de capital. De igual modo, sería totalmente absurdo confiar únicamente en la lógica ordinaria siempre que pueda utilizarse una herramienta matemática o cada vez que deseemos demostrar una proposición matemática. Si enseñamos matemáticas en las escuelas a partir de su abecedario, se debe exclusivamente a que de esta forma nos proponemos no sólo mantener intacto nuestro capital matemático sino también desarrollar las dotes matemáticas de las generaciones futuras. Es espantoso imaginar la destrucción de todo el equipo de capital actual, y más espantoso aún pensar que todos los hombres olvidasen de repente todas las matemáticas. Pero esta idea puede hacernos ver que, cualitativamente, las matemáticas no son simplemente un lenguaje y que, aun cuando hechas por el hombre, no son un juego arbitrario de signos y de reglas como, por ejemplo, lo es el ajedrez.

Y la inmensa satisfacción que el Entendimiento deriva de los modelos aritmomórficos no debería inducirnos erróneamente a creer que los otros papeles que desempeña son también el mismo, tanto en las ciencias sociales como en las de la Naturaleza. En la física, un modelo es también «un mecanismo de cálculo, en base al cual podemos calcular la respuesta a cualquier cuestión relativa al comportamiento físico del correspondiente sistema físico»<sup>59</sup>. Lo mismo es cierto para los modelos de la ingeniería económica. El papel específico de un modelo físico se describe mejor observando que tal modelo representa un *plano exacto* de un sector específico de la realidad física. Pero la cuestión que planteé en «Economic Theory and Agrarian Economics» (reimpreso en mi *Analytical Economics*) y que me propongo explicar ahora con mayor detalle es que un modelo económico no es un plano exacto sino un *símil analítico*.

Los economistas gustan de argumentar que, desde el momento en que ningún modelo, ya sea en la física o en la economía, es exacto en un sentido absoluto, únicamente podemos elegir entre un modelo más o menos exacto. Algunos apuntan también que, al fin y al cabo, lo exacto que necesitamos ser depende de nuestra intencionalidad inmediata: en ocasiones, el modelo menos exacto puede ser el de uso más racional<sup>60</sup>. Todo esto es completamente cierto, pero no sustenta la opinión posterior —explícitamente expuesta por Pareto— de que es irrelevante señalar la inexactitud de

<sup>59</sup> P. W. Bridgman, *The Nature of Physical Theory* (Princeton, 1936), p. 93. Las cursivas son mías.

<sup>60</sup> Pareto, *Manuel*, pp. 11, 23 y *passim*; también Milton Friedman, *Essays in Positive Economics* (Chicago, 1953), pp. 3-43.

los modelos económicos. Semejante postura ignora un detalle importante, esto es, que en la física un modelo debe ser exacto con respecto al instrumento de medida más preciso existente en ese momento. Si no es así, se desecha el modelo. Por consiguiente, existe un sentido *objetivo* en el que podemos decir que un modelo físico es exacto, y este es el sentido en el que se emplea la palabra en «plan exacto». Ahora bien, en las ciencias sociales, no hay tal norma objetiva de exactitud. En consecuencia, no hay ninguna prueba de fuego de la validez de un modelo económico; y no sirve de nada hacerse eco de Aristóteles, quien enseñó que un modelo es «adecuado si logra ese grado de exactitud que pertenece a la materia objeto de su estudio»<sup>61</sup>. Siempre puede uno proclamar que su modelo tiene el grado de exactitud adecuado. Además, los factores responsables de la ausencia de una norma de exactitud objetiva hacen también que la *comparación* de la exactitud sea un problema espinoso.

Para ilustrar ahora la diferencia existente entre plano y *símil*, voy a observar que no se necesita saber electrónica para montar un aparato de radio que se ha adquirido en forma de kit; lo único que se precisa hacer es seguir automáticamente el esquema que lo acompaña, que constituye una representación *operativa* mediante símbolos del correspondiente mecanismo. El hecho de que ningún modelo económico apropiado pueda servir de guía a la *acción automática* para el no iniciado, o incluso para un economista consumado, no necesita una demostración especial. Todo el mundo está familiarizado con la insatisfacción que el miembro medio de una junta expresa después de cada conferencia en la que algún asesor económico ha presentado su «necia teoría». Muchos estudiantes universitarios se sienten igualmente muy frustrados al descubrir que, a pesar de todo lo que han oído, la economía no puede suministrarles un manual de banca, planificación, imposición, etc. Al ser sólo un *símil*, un modelo económico únicamente puede ser una guía para el iniciado que ha adquirido una visión analítica merced a un laborioso adiestramiento. La excelencia económica no puede prescindir de «la delicadeza y el sentido del tacto» —llamémoslo arte, si se prefiere—. Y, simplemente, es demasiado grave el que, a veces, el economista se deje superar en este aspecto por el profano. No constituye excusa alguna la generalizada opinión de que el papel del economista consiste en analizar políticas alternativas, mientras que la adopción de éstas es el arte de gobernar<sup>62</sup>. Un análisis tosco no puede estar al servicio de un arte.

La esperanza de Jevons de que la economía se convierta finalmente en una ciencia exacta ha henchido los corazones de muchos grandes economistas. Irving Fisher todavía la alimentaba cuando ya tenía ochenta años<sup>63</sup>;

<sup>61</sup> Aristóteles, *Ethica Nicomachea*, 1094<sup>b</sup> 12-14.

<sup>62</sup> Véase Homan (nota 14 anterior), p. 15.

<sup>63</sup> Ragnar Frisch, «Irving Fisher at Eighty», *Econometrica*, XV (1947), p. 74.

y, como por ciencia exacta o genuina todos ellos entendían una ciencia de mecanismos de cálculo (definición que se remonta a la época de la Ilustración<sup>64</sup>), todos se esforzaron por señalar el carácter cuantitativo del campo económico. Schumpeter llegó incluso a afirmar que la economía es «la más cuantitativa... de todas las ciencias», porque sus objetos observables son «numéricos en virtud de la propia vida»<sup>65</sup>, argumentación bastante más digna de admiración que la de Jevons. Algunos, también como Jevons, fueron todavía más allá y sostuvieron que incluso el placer puede someterse a un cálculo exacto<sup>66</sup>; pero nadie prestó la menor atención al hecho de que los científicos de la Naturaleza, que saben lo que verdaderamente son la medida y el cálculo, se reían a menudo de la idea<sup>67</sup>. Sin embargo, unos cuantos economistas llegaron gradualmente a debilitar la definición clásica de ciencia exacta al distinguir entre mecanismos *cuantitativos* y *numéricos*<sup>68</sup>. Un modelo económico sigue siendo exacto aun cuando no sirva como mecanismo de cálculo, siempre que constituya una representación teórica de la realidad.

Hay que recordar que Pareto sostuvo con su agresividad característica que Walras había transformado ya la economía en una ciencia exacta, pero, aun cuando mantenía firmemente que podemos determinar el valor de cualquier parámetro que elijamos, afirmó explícitamente que, al contrario que Walras, no creía en la posibilidad de resolver de manera efectiva un sistema walrasiano concreto<sup>69</sup>. Al igual que Cournot antes que él, Pareto vio en la inmensidad de ecuaciones el único obstáculo para que la economía fuese una ciencia numérica, como la astronomía<sup>70</sup>.

Muchos siguen compartiendo la idea de que el sistema walrasiano sería un mecanismo exacto de cálculo para un demonio laplaciano. Ahora bien, imaginemos un nuevo demonio, que a la velocidad del pensamiento puede hacer todas las observaciones necesarias para determinar todas las funciones de optimidad y de producción, para resolver el sistema y para comunicar la solución a todos los afectados. La postura de Pareto es que todo el mundo se sentirá perfectamente dichoso con la solución y que la econo-

<sup>64</sup> Véase *The Logic of Hegel*, tr. W. Wallace (2.ª edic., Londres, 1904), p. 186.

<sup>65</sup> Schumpeter, *Essays*, pp. 100 y s.

<sup>66</sup> Por muy sorprendente que pueda parecer, esta misma idea se encuentra en Platón: «Si no tuvieses ningún poder de cálculo, no serías capaz de calcular el placer futuro y tu vida sería la vida, no de un hombre, sino de una ostra o *pulmo marinus*». *Philebus*, 21.

<sup>67</sup> P. ej., Max Planck, *The New Science*, p. 308.

<sup>68</sup> Robbins, *An Essay* (nota 3 anterior), p. 66; Joseph A. Schumpeter, *History of Economic Analysis* (Nueva York, 1954), p. 955.

<sup>69</sup> V. Pareto, «Teoria matematica dei scambi forestieri», *Giornale degli economisti*, VI (1894), p. 162. Tengo que añadir que esta fuente pone de manifiesto que G. Demaria está equivocado al decir que Pareto pensaba que su sistema permitiría a los economistas hacer el mismo tipo de predicciones que los astrónomos. Véase V. Pareto, *Scritti teorici*, ed. G. Demaria (Milán, 1952), p. xix.

<sup>70</sup> A. Cournot, *Researches into the Mathematical Principles of the Theory of Wealth* (Nueva York, 1897), p. 127.

mía permanecerá en equilibrio, si no para siempre, al menos hasta que se vea perturbada por nuevas fuerzas procedentes del *exterior*.

Esta lógica pasa por alto un fenómeno sumamente crucial: el simple hecho de que un individuo que llega a experimentar una nueva situación económica puede modificar sus preferencias. *Ex post* puede descubrir que la respuesta que diera a nuestro demonio no era acertada. Así pues, el equilibrio calculado por nuestro demonio se ve inmediatamente derrotado no por la intervención de factores exógenos sino por causas endógenas. Por consiguiente, nuestro demonio tendrá que seguir recalculando equilibrios fugaces, a no ser que por casualidad posea una mente divina capaz de escribir toda la historia del mundo antes de que realmente tenga lugar; pero entonces ya no sería un demonio «científico». Pareto, el primero entre muchos, no tendría nada que hacer con su clarividencia.

Existe, cuando menos, una dificultad adicional contra la que chocaría nuestro demonio en el sistema walrasiano. Se trata en resumidas cuentas del efecto del complejo de Edipo: el anuncio de la adopción de una acción modifica la evidencia sobre la que cada individuo basa sus expectativas y, por tanto, le lleva a revisar sus planes previos. Igualmente, las preferencias pueden estar sujetas a un efecto del complejo de Edipo: alguien puede preferir un Rolls-Royce a un Cadillac, pero quizá no sea así si se le dice que también su vecino adquirirá un Rolls-Royce; y el problema estriba en que ningún proceso en el que intervenga el efecto del complejo de Edipo puede representarse a través de un modelo analítico. Dicho de una forma muy sencilla: si se decide tomar una decisión sólo el próximo sábado, *no antes*, acerca de cómo pasar el fin de semana, no es posible conocer *ahora* lo que se hará el próximo domingo. En consecuencia, ningún mecanismo analítico puede permitir (a nadie) describir el curso de una acción futura y, por consiguiente, la de la colectividad de la que se forma parte.

En cierta ocasión, Edgeworth dijo que «tratar *variables* como *constantes* es el vicio característico del economista no matemático»<sup>71</sup>, pero un economista que se atiene únicamente a modelos matemáticos se ve afectado por un vicio todavía mayor, el de pasar completamente por alto los factores cualitativos que contribuyen a la variabilidad endógena. Así pues, Bridgman estaba en lo cierto al reprochar a los científicos sociales no haber sido capaces de captar los factores significativos al describir la realidad social<sup>72</sup>.

Una y otra vez, podemos ver el inconveniente de importar un evangelio de la física a la economía y de interpretarlo de un modo más católico que el consistorio de físicos<sup>73</sup>. Está bien que la física confíe exclusivamente

<sup>71</sup> F. Y. Edgeworth, *Mathematical Psychics* (Londres, 1932), p. 127n.

<sup>72</sup> Bridgman, *Reflections*, pp. 447 y s.

<sup>73</sup> Algunos economistas no aceptarían en modo alguno en la economía los modelos aritmomórficos. P. ej., F. A. Hayek, «The Use of Knowledge in Society», *American Economic Review*, XXXV

en lo que está de acuerdo con la percepción sensorial, esto es, sólo en los objetos observables, porque ese es el único contacto que tenemos con el mundo exterior. Es igualmente comprensible que la física considere como ficción y vea con desconfianza los objetos no observables que ha tenido que inventar a fin de unificar en una imagen objetos observables dispares, simplificando así su fundamento lógico. Pero no existe absolutamente razón alguna para que la economía considere como ficción las auténticas fuentes de la acción económica: necesidades, creencias, expectativas, actitudes institucionales, etc., porque esos elementos nos son conocidos por percepción inmediata, es decir, más íntimamente que cualquiera de los «objetos observables» económicos: precios, ventas, producción, etc.

Sin duda alguna, muchos economistas matemáticos deben haber sido conscientes del hecho de que en un modelo aritmomórfico no hay lugar para las propensiones humanas. Jevons empezó buscando una medida cardinal de la utilidad. Más recientemente, otros han intentado establecer una medida semejante de la incertidumbre. Todos estos minuciosos esfuerzos han de contemplarse con orgullo, pues la ciencia no debería dejar piedra alguna sin remover. Sin embargo, gracias a esos mismos esfuerzos llegamos gradualmente a darnos cuenta de que la mensurabilidad, ordinal o cardinal, exige condiciones muy estrictas. Algunas de esas condiciones fueron sacadas a la luz por vez primera en mi artículo de 1936 «The Pure Theory of Consumer's Behavior», reimpresso en *Analytical Economics*. Siguiendo esta línea de pensamiento en otros trabajos, incluidos en la Parte II de aquel volumen, pude demostrar —espero que de forma convincente— que ni las necesidades ni las expectativas satisfacen las condiciones de mensurabilidad. La aparente solidez de todas las demostraciones sobre la manera de establecer una medida de las necesidades o de las expectativas se deriva de «la falacia ordinalista», como propuse denominar a la idea de que una estructura en la que encontramos «más» y «menos» es necesariamente un continuo *lineal*.

Pero nuestra sed de medida es tan grande que algunos han intentado deshacerse de todo tipo de evidencia y de argumentaciones lógicas contra la mensurabilidad de las propensiones humanas, afirmando que si las actitudes mentales son «inaccesibles a la ciencia y a la medida, el juego se ha perdido antes de hacer el primer movimiento»<sup>74</sup>. Evidentemente, el juego al que se aplica la afirmación no puede ser otro que el de «ciencia es medi-

(1945), pp. 519-530. Se trata de una postura extrema que, como debería quedar claro a partir de las observaciones precedentes, no comparto en absoluto. Sostengo que Marshall tenía toda la razón en esta cuestión. Véase sus *Principles*, Apéndice D.

<sup>74</sup> S. S. Stevens, «Measurement and Man», *Science*, 21 de febrero de 1958, p. 386. Se trata de la vieja cantilena de Bentham, pero Bentham confesó al menos que iba contra el principio de los hechos elementales. Véase el Capítulo IV anterior, nota 3.

da»; pero, ¿por qué tendría que ser éste el único juego que puede jugar un científico? Se debe precisamente a esta pregunta que haya intentado presentar en esas páginas toda la evidencia que pude acumular (por muy técnica o tediosa que en un principio pueda parecer esa evidencia), a fin de demostrar que ninguna ciencia puede evitar por completo los conceptos dialécticos. La razón reside, tal como he explicado, en que ninguna ciencia puede ignorar eternamente el Cambio. Por consiguiente, la idea de que las propensiones humanas, que son el principal vehículo del Cambio económico, son conceptos no aritmomórficos no es una fantasía de una escuela de pensamiento falta de rigor científico.

La conclusión evidente es que si la economía ha de ser ciencia, no sólo de cantidades «observables» sino también del hombre, ha de confiar exhaustivamente en el razonamiento dialéctico<sup>75</sup>. Tal vez sea esto lo que Marshall quería dar a entender con «delicadeza y sentido del tacto», pero sin respirar añadió que la ciencia económica «no debería ser invertebrada... [sino] tener una firme columna vertebral de cuidadoso razonamiento y análisis»<sup>76</sup>. Es muy significativo que Marshall no dijese «razonamiento exacto», porque el razonamiento dialéctico no puede ser exacto. Ahora bien, tal como sostuve antes (en el Capítulo II, Sección 6), el razonamiento dialéctico puede y debiera ser correcto. Hay dos métodos conocidos para contrastar lo correcto del razonamiento dialéctico: el análisis socrático y el símil analítico. Por muy sorprendente que pueda parecer, se los debemos a Platón, quien los utilizó copiosamente a lo largo de los *Diálogos*<sup>77</sup>. Dos mil años después, en 1690, William Petty sorprendió a los científicos políticos al proponer aplicar uno de los métodos de Platón al razonamiento económico: «El método que adopto para hacerlo no es muy corriente; pues, en lugar de utilizar exclusivamente Palabras comparativas y superlativas y Argumentaciones intelectuales, he adoptado la vía... de expresarme en Términos de *Número, Peso o Medida*, [los cuales] en el peor de los casos son suficientes como Suposiciones para mostrar el camino hacia el Conocimiento al que aspiro»<sup>78</sup>.

Es posible que el mérito más evidente de un modelo aritmomórfico sea el que es reconocido por casi todos los críticos de la economía matemática: el mérito de sacar a la luz importantes errores en las obras de los economistas literarios que razonaron dialécticamente. En este sentido, el papel de un modelo matemático en economía, al igual que en muchas otras

<sup>75</sup> Quiero recordar al lector que mi idea del razonamiento dialéctico difiere de la de Hegel y, por tanto, de la de Marx. Véase el Capítulo II anterior, nota 27; también más abajo, nota 81.

<sup>76</sup> Marshall, *Principles*, p. 769.

<sup>77</sup> «Las ideas más elevadas... difícilmente pueden presentarse si no es por medio de ejemplos» (*Statesman*, 277) basta como cita ilustrativa.

<sup>78</sup> *The Economic Writings of Sir William Petty*, ed. C. H. Hull (2 vols., Cambridge, Engl., 1899), I, pp. 244 y s.

ciencias, es semejante al de la prueba del nueve en aritmética: ambos son medios expeditivos de detectar errores en ciertas operaciones mentales; ambos actúan negativamente: si no ponen de manifiesto ningún error, esto no significa que la argumentación dialéctica o el cálculo aritmético sean totalmente correctos. Por muy importante que pueda ser este último punto, parece que únicamente F. H. Knight vio que la teoría económica muestra «lo que es “falso” antes que lo que es “cierto”»<sup>79</sup>.

El segundo papel de un modelo aritmomórfico consiste en ilustrar algunos aspectos de la argumentación dialéctica a fin de hacerlos más comprensibles. Se puede utilizar, por ejemplo, una función de optimidad que contenga un parámetro especial, a fin de discutir didácticamente el problema del cambio en los gustos, o una distribución de probabilidad, para ilustrar la situación de un individuo enfrentado a la incertidumbre<sup>80</sup>. O, como Walras o Leontief, podemos construir un sistema de dimensiones indefinidas para ilustrar algunos aspectos importantes de toda una economía<sup>81</sup>.

Estos dos papeles del modelo matemático circunscriben la *raison d'être* de lo que habitualmente pasa por «teoría económica», que consiste en suministrar a nuestro razonamiento dialéctico una «firme columna vertebral». Por consiguiente, un símil analítico tiene que formularse con el máximo rigor, sin tener para nada en cuenta sus aplicaciones objetivas. Este es el motivo por el que en la «teoría pura» no hay lugar ni siquiera para conceptos pseudo-aritmomórficos tales como índice de precios, coste de la vida, producción agregada, u otros parecidos. Han sido denunciados por casi todas las autoridades teóricas<sup>82</sup>, y con razón en lo que se refiere a la teoría pura.

A pesar de todas las denuncias, a estos conceptos pseudo-aritmomórficos les fue cada vez mejor. A estas alturas, la macroeconomía ha asfixiado casi por completo a la microeconomía. Lejos de ser desconcertante, el fenómeno tiene una causa muy simple; coordenadas tales como el nivel de vida, la renta nacional real, la producción agregada, etc., son mucho más significativas para el análisis del proceso económico que los gustos del Sr. X o que la nor-

<sup>79</sup> Knight, *On the History* (nota 24 anterior), p. 177.

<sup>80</sup> Utilicé precisamente este método platónico al analizar los efectos de la histéresis y de la novedad en la elección del consumidor. Véase «The Theory of Choice and the Constancy of Economic Laws» (1950), reimpresso en *AE*. La conclusión a la que llegué —simétrica a la observación de Marshall relativa a las curvas de oferta a largo plazo— es que las curvas de demanda son igualmente irreversibles. El mismo símil analítico me permitió también establecer con exactitud la falsa ilusión que experimenta un individuo al que se ha dejado como estaba al principio y que, por tanto, nos permite predecir todo su comportamiento.

<sup>81</sup> Quiero añadir que un símil analítico no funcionaría en el caso de que el enfoque epistemológico del proceso económico siguiese exactamente la Dialéctica hegeliana, como sucedió en el caso de Marx. Véase el Capítulo IX, Secciones 13 y 14.

<sup>82</sup> P. ej., N. G. Pierson, «Further Considerations on Index-Numbers», *Economic Journal*, VI (1896), pp. 127 y ss.; Lionel Robbins, *An Essay*, p. 66; W. W. Leontief, «Implicit Theorizing: A Methodological Criticism of the Neo-Cambridge School», *Quarterly Journal of Economics*, LI (1937), p. 350.

ma de fijación de precios del empresario Y. Al igual que todas las restantes coordenadas vitales del mismo proceso, son nociones dialécticas. Difieren de otras debido únicamente a que, si se las reduce abstractamente a un individuo y a un instante, pueden representarse por un número. A partir de este número, podemos construir así una pseudo medida, que es siempre una especie de media. El hecho de que nunca podamos decir qué fórmula deberíamos elegir para calcular esta media, ni por qué un número mayor o menor que el obtenido por alguna fórmula resultaría igualmente válido, demuestra que una pseudo medida es en esencia un concepto dialéctico.

Como sucede a menudo, la misma razón por la que las pseudo medidas son veneno para la «teoría» explica su éxito en la descripción y análisis de hechos concretos. Utilizado correctamente, un índice o un agregado no es una bala fina sino una masa de metralla que cubre una diana dialéctica, como «el nivel de vida» o «el producto nacional», mejor de lo que lo hace una bala. Esta es la razón por la que un número creciente de economistas comparte la opinión de que el análisis macroeconómico, pese a ser sólo vagamente claro, es mucho más productivo que la microeconomía tradicional con su navaja de Ockham. Sin embargo, es posible que el motivo real consista en que últimamente han llegado a darse cuenta de que las variables más significativas afectan a la sociedad, no al individuo.

Las observaciones precedentes no deberían interpretarse como señal para colocar el macromodelo matemático en un elevado pedestal en la galería de planos. En realidad, en su calidad de plano, un macromodelo es vulnerable desde más lados que un micromodelo.

Para empezar, frente a lo que sucede con el de Walras-Pareto, hay que reconocer que un macromodelo es incompleto, porque, según se nos dice, las macrocoordinadas relevantes son demasiado numerosas para nuestra capacidad de cálculo. La excusa es familiar. La verdad, empero, es que su número supera nuestra capacidad analítica y, por tanto, no somos ni siquiera capaces de decir cuáles son las coordenadas significativas. Recordando la anterior discusión sobre la exactitud objetiva, comprendemos por qué no es muy clarificador explicar *ex post* que un modelo no es un plano debido a que se dejaron fuera ciertas variables significativas. Ahora bien, esto es lo que nos vemos obligados a explicar las más de las veces.

En segundo lugar, los modelos macroeconómicos se componen generalmente de un sistema de ecuaciones que tiene una estructura bastante especial: implican únicamente funciones analíticas. Ahora bien, la propiedad característica de una función analítica,  $f(x)$ , es que su valor para *todo*  $x$  está completamente determinado por los valores que  $f(x)$  tiene en *cualquier intervalo, por pequeño que sea*<sup>83</sup>. La razón por la que utilizamos solamente ta-

<sup>83</sup> Véase el Capítulo VIII, Sección 5.



les funciones es obvia. Sin funciones analíticas no seríamos capaces de extrapolar el modelo más allá del ámbito de las observaciones pasadas<sup>84</sup>. Pero, ¿por qué tendrían que expresarse las leyes económicas, o cualesquiera otras, si es el caso, a través de funciones analíticas? Indudablemente, nos sentimos inclinados a atribuir a la realidad un grado de orden mucho mayor que el que justifican los hechos. Esto es especialmente cierto en el caso de los macromodelos lineales, excepto posiblemente en el caso de modelos como los de Leontief que se ocupan exclusivamente de flujos materiales. Sin embargo, hasta a los macromodelos lineales se les suele aclamar por haber aguantado con éxito el más espantoso acoso del análisis estadístico. Pero nos olvidamos con frecuencia de preguntar si el acoso no era una mera farsa. La validez de las pruebas estadísticas, incluso de las no paramétricas, exige condiciones que una estructura rápidamente cambiante, como es el proceso económico, únicamente puede satisfacer por mero accidente. Además, si una fórmula no supera la prueba, siempre podemos añadir otra variable, deflactar otra, etc. Eligiendo inteligentemente el cincel, siempre se puede demostrar que dentro de cualquier bloque<sup>85</sup> hay una bella Madonna<sup>86</sup>.

En tercer lugar, la misma idea de una relación matemática (léase aritmomórfica) entre pseudo medidas, como las utilizadas en economía, es una manifiesta contradicción en términos, porque, a diferencia de lo que sucede con las condiciones predominantes en otros campos, en la economía no existe base alguna para que la renta media (por ejemplo) se represente por la misma fórmula media en todo momento o en todo lugar. Aun cuando una afirmación del tipo de «la renta real media aumenta con la proporción de la producción industrial en el producto nacional bruto» no es en absoluto nítida, plantea muchos menos problemas que si se la sustituyese por cualquier fórmula matemática compleja. Evidentemente, no debería haber restricción alguna en lo relativo a los ingredientes que se pueden utilizar en la cocina analítica, ya sea por un economista o por un científico de la Naturaleza. Si se piensa que «la baja semicontinuidad», «lo bicompato», «la condición de Lipschitz», o cualquier otro ingrediente sofisticado, podría realzar esa cocción, debería haber absoluta libertad para emplearlos. Pero nadie debería encapricharse tanto con esos exóticos ingredientes como para olvidar por qué fue primordialmente a la cocina. La calidad del producto final es lo único que cuenta. En lo que se refiere a esta

<sup>84</sup> Quiero añadir una idea que me parece importante: sin funciones analíticas, tampoco seríamos capaces de sostener que una ley cambia con la escala o con las fases del ciclo económico, por ejemplo.

<sup>85</sup> Juego de palabras intraducible al castellano: la expresión utilizada por el autor, *log*, significa tanto tronco, bloque (de piedra), como la abreviatura de logaritmo. *N. del T.*

<sup>86</sup> Véase mis «Comments» a G. H. Orcutt, «Toward Partial Redirection of Econometrics», *Review of Economics and Statistics* XXXIV (1952), pp. 206-211, y «Further Thoughts on Corrado Gini's *Delusioni dell' econometria*», *Metron*, XXV (1966), pp. 265-279.

calidad, un economista consumado pone al descubierto la conclusión de su larga experiencia para que podamos reflexionar sobre ella: «Debemos enfrentarnos al hecho de que los modelos que utilizan herramientas y conceptos teóricos y estadísticos complejos no han funcionado decisivamente mejor, en la mayor parte de las pruebas disponibles, que las fórmulas más simples y de extrapolación mecánica»<sup>87</sup>.

En mi opinión, esto no es todo. Cuanto más complicado sea el modelo y cuanto mayor sea el número de variables implicadas, más se desplaza fuera de nuestro control mental, único control posible en las ciencias sociales. No existen laboratorios en los que pueda someterse a control experimental a los fenómenos sociales. Después de todo, un modelo «simple» puede constituir la más esclarecedora representación del proceso económico, siempre que el economista haya desarrollado su arte hasta el punto de ser capaz de captar unos pocos, aunque significativos, elementos entre la multitud de hechos desordenados. Como insistieron Poincaré y Bridgman, la elección de hechos relevantes es el principal problema de cualquier ciencia<sup>88</sup>; se trata del problema vital de la economía, como nos advierte ahora otro economista consumado, James Tobin<sup>89</sup>. Un modelo «simple» que comprende únicamente unos pocos factores, aunque bien elegidos, constituye también una guía de acción menos engañosa. Esto es por lo que algunos economistas interesados en los problemas del desarrollo económico han trasladado el énfasis desde los macromodelos matemáticos a un análisis menos exacto pero más valioso, del tipo declarado por S. Kuznets, especialmente. Tal análisis puede no parecer suficientemente sofisticado, pero la sofisticación no es un fin en sí misma, porque, como han observado más de un físico o de un economista, «si —a largo plazo— no se puede decir a todo el mundo lo que se ha estado haciendo, lo que se ha hecho carece de valor»<sup>90</sup>.

Desde cualquier ángulo que podamos contemplar los modelos aritmomórficos, observamos que su papel consiste en «facilitar la argumentación, clarificar los resultados y, de este modo, precaverse contra posibles defectos de razonamiento —esto es todo»<sup>91</sup>. Este papel no es sólo útil, como admite

<sup>87</sup> T. C. Koopmans, *Three Essays on the State of Economic Science* (Nueva York, 1957), p. 212. Naturalmente, la afirmación se refiere al éxito de los modelos para *predecir acontecimientos futuros*, no para *satisfacer las observaciones pasadas* utilizadas al estimar los parámetros. Como se ha subrayado más arriba, no hay escasez de herramientas econométricas con las que un economista pueda cincelar una prueba tan bien como le parezca.

<sup>88</sup> H. Poincaré, *Foundations of Science*, p. 363, y nota 72 anterior.

<sup>89</sup> Citado en Koopmans, *Three Essays*, p. 209.

<sup>90</sup> E. Schrödinger, *Science and Humanism* (Cambridge, Ingl., 1951), pp. 8 y s. La misma opinión es mantenida por Werner Heisenberg, *Physics and Philosophy: The Revolution in Modern Science* (Nueva York, 1958), p. 168; J. K. Galbraith, *Economics and the Art of Controversy* (New Brunswick, N.J., 1955), p. 43.

<sup>91</sup> Knut Wicksell, *Value, Capital and Rent* (Londres, 1954), p. 53. Las cursivas son mías. Evidentemente, la cuestión se remonta a Marshall, quien, además, la puso en práctica relegando sus símiles ma-

todo el mundo, sino también indispensable, aspecto que algunos quieren o tienden a ignorar. Por desgracia, parece que somos propensos a sentirnos fascinados por los méritos de los modelos aritmómorficos hasta el extremo de pensar únicamente en el bisturí y de olvidar al paciente. Esta es la razón por la que debiéramos recordar continuamente que *un modelo aritmómorfico no tiene valor si no es como razonamiento dialéctico que ha de comprobarse*. Volviendo a una analogía anterior, la prueba del nueve carece de utilidad si no tenemos un cálculo aritmético que comprobar. Si olvidamos este aspecto, corremos el grave peligro de convertirnos no «en matemáticos primero y en economistas después» —como dijo Knight en una ocasión—<sup>92</sup> sino en tejedores de fórmulas y nada más.

4. *La economía y el hombre*. Hay que repetir que los modelos aritmómorficos son indispensables en economía, no menos que en otros campos científicos. Eso no significa también que puedan hacer todo lo que ha de hacerse en economía, porque, como sostuvo Schrödinger en el caso de la vida biológica, la dificultad del objeto de la economía no reside en las matemáticas que necesita sino en el hecho de que el propio objeto es «demasiado complicado como para ser totalmente accesible a las matemáticas»<sup>93</sup>. Y lo que hace que este objeto no sea totalmente tratable por las matemáticas es el papel que las propensiones culturales desempeñan en el proceso económico. En efecto, si las acciones económicas del hombre fuesen independientes de sus propensiones culturales, no habría forma de justificar la inmensa variabilidad del modelo económico con respecto al tiempo y al espacio.

El conocido conflicto entre la economía estándar y todas las demás escuelas de pensamiento económico constituye una llamativa ilustración de este punto. El conflicto provino de las diferencias culturales existentes entre el proceso económico conocido por una escuela y el conocido por otra. Nada es más natural que la incapacidad de los economistas estándar de comprender a sus colegas alemanes que insistían en introducir en la ciencia económica ideas tan «obscurantistas» como *Geist* o *Weltanschauung*. Por otra parte, era igualmente normal que la escuela alemana rechazase una idea que reduce el proceso económico a una analogía mecánica.

A pesar de que le haya ido mucho mejor a la economía estándar, es la postura de la escuela histórica la que es fundamentalmente correcta. Este

temáticos al final de sus *Principles*. J. M. Keynes, *The General Theory of Employment, Interest, and Money* (Nueva York, 1936), p. 297, es otro economista de gran reputación que insistió en que «el objeto del análisis [económico] no consiste en proporcionar un mecanismo o método de ciega manipulación,... sino en proporcionarnos un método organizado y ordenado de reflexionar sobre nuestros problemas específicos». Y es muy adecuado observar que todos esos economistas eran matemáticos suficientemente expertos.

<sup>92</sup> Knight, *Ethics of Competition*, p. 49. Véase también Keynes, *General Theory*, p. 298.

<sup>93</sup> E. Schrödinger, *What Is Life?* (Cambridge, Ingl., 1944), p. 1.

punto parece ir ganando el consenso, aunque tácito, de un creciente número de economistas, y es posible que, a fin de cuentas, no sea demasiado complicado.

Desde tiempo indefinido, las ciencias de la Naturaleza han conservado una epistemología positivista de acuerdo con la cual el conocimiento científico abarca únicamente a aquellos fenómenos continuados, con independencia de que sean observados o no. La objetividad, como se denomina frecuentemente a este criterio, exige así que una descripción científica apropiada no incluya al hombre en ninguna de sus capacidades y que el mundo de la ciencia «deba ser purgado progresivamente de todos los elementos antropomórficos»<sup>94</sup>. Así es como algunos llegaron a sustentar que ni siquiera el pensamiento humano es un fenómeno<sup>95</sup>. Ahora bien, con el descubrimiento del quantum de acción y del Principio de Indeterminación, el ideal de una ciencia sin hombre comenzó a perder rápidamente terreno entre los físicos —curiosamente, más entre los físicos que entre los filósofos de la ciencia y los científicos sociales—<sup>96</sup>. El científico de la Naturaleza se dió cuenta de que, como lo expresó Louis de Broglie, se encuentra en una continua pelea mano a mano con la Naturaleza<sup>97</sup>; y, al ser un hombre, posiblemente no pueda describir la Naturaleza como no sea en términos «adaptados a nuestra mentalidad»<sup>98</sup>. Es cierto que no pensamos ya en un átomo como en una bola de billar en miniatura; en vez de eso, pensamos en él como en un sistema de ecuaciones. De igual modo, en la matemática pura no pensamos ya en los números como en una representación abstracta de la realidad intuida sino como en símbolos sujetos a operaciones por medio de símbolos; pero esto no demuestra en lo más mínimo que el andamiaje de la ciencia haya dejado de ser antropomórfico, ni desaprueba la postura intuitiva de Poincaré de que «no existe una lógica ni una epistemología independientes de la psicología»<sup>99</sup>, con independencia de cómo funcione la mente humana. Por supuesto que hasta las ecuaciones y las operaciones simbólicas están elaboradas por el hombre; por la mera esencia de su autor, todo esfuerzo intelectual del hombre es humano y nunca dejará de serlo. Las afirmaciones en contrario están viciadas por la circularidad lógica (si se dirigen a una mente humana) o vacías (si no es así).

<sup>94</sup> Planck, *The New Science*, p. 188.

<sup>95</sup> Como A. J. Ayer, por ejemplo, parece insinuar en su *Language, Truth and Logic* (2.ª ed., Nueva York, 1946), pp. 46 y s., 57 y s. y *passim*. Sin embargo, véase E. Schrödinger, *Nature and the Greeks* (Cambridge, Ingl., 1954), pp. 90 y ss.

<sup>96</sup> Véase Niels Bohr, *Atomic Physics and Human Knowledge* (Nueva York, 1958), p. 98; Heisenberg, *Physics and Philosophy*, pp. 52 y s.

<sup>97</sup> Louis de Broglie, *Physics and Microphysics* (Londres, 1955), p. 131.

<sup>98</sup> P. W. Bridgman, «Permanent Elements in the Flux of Present-Day Physics», *Science*, 10 de enero de 1930, p. 20. También Broglie, *Physics and Microphysics*, p. 114; Heisenberg, *Physics and Philosophy*, p. 81.

<sup>99</sup> H. Poincaré, *Mathematics and Science: Last Essays* (Nueva York, 1963), p. 64.

No es preciso decir más para ver que, para una ciencia del hombre, excluir por completo al hombre de la imagen es una incongruencia patente. Sin embargo, la economía estándar se toma especialmente en serio trabajar con una imagen sin hombre. Tal como lo reivindicó abiertamente Pareto, una vez que hemos determinado los medios de que dispone el individuo y obtenido «una fotografía de sus gustos... el individuo puede desaparecer»<sup>100</sup>. El individuo queda así reducido a un mero subíndice de la función de optimidad  $\phi_i(X)$ . La lógica es perfecta: el hombre no es un agente económico, sencillamente porque no hay proceso económico; existe solamente un rompecabezas en el que han de encajarse unos medios dados en unos fines dados, lo cual requiere un ordenador, no un agente.

Si la economía estándar no ha desterrado por completo al individuo de su discurso es porque se ha añadido una hipótesis debilitadora a las esbozadas anteriormente. Esta hipótesis es que, a pesar de que todo individuo conoce sus propios medios y fines, ninguno conoce los medios y los fines de los demás. «Un granjero puede calcular fácilmente si a los precios de mercado le va a resultar más ventajoso usar un caballo o un tractor...; pero ni él ni nadie en el mundo puede determinar el efecto [de la decisión del granjero] sobre los precios de los caballos y de los tractores»<sup>101</sup>. Así pues, el rompecabezas puede resolverse únicamente por tanteo —*tâtonnement*—. Esta es la razón por la que el individuo llegó a estar dotado de cierta actividad económica, única y exclusivamente la de trasladar recursos, por el método de prueba y error, entre diversos empleos, contemporáneos o no. Y, puesto que los fundadores de la economía estándar —como la mayoría de los economistas— aspiraban a proporcionar un análisis de la realidad económica en la que realmente vivían, tanto las reglas del *tâtonnement* como el carácter de los fines se moldearon de acuerdo con las actitudes y prácticas predominantes en una sociedad capitalista. Se puede comprender así por qué Rosa Luxemburg consideraba a la economía el estudio de cómo un sistema no coordinado y caótico como el capitalismo puede, no obstante, funcionar. Natural también es su conclusión de que la ciencia económica morirá de inanición con la llegada de la sociedad socialista, en la que la planificación científica sustituirá al *tâtonnement*<sup>102</sup>.

Está fuera de duda que en todas las sociedades las acciones económicas del hombre consisten en elegir. Es igualmente irrefutable que el resultado último de la elección económica puede expresarse por medio de un vector  $X(x_1, x_2, \dots, x_n)$ , cuyas coordenadas son cantidades de ciertas mercancías. Ahora bien, algunas elecciones económicas son *elecciones libres*, esto es, el

<sup>100</sup> Pareto, *Manuel*, p. 170; V. Pareto, «Mathematical Economics», *International Economic Papers*, núm. 5, 1955, p. 61.

<sup>101</sup> Pareto, *Manuel*, p. 335. La traducción es mía.

<sup>102</sup> Rosa Luxemburg, «What is Economics?» (multicopiado, Nueva York, 1954), pp. 46 y 49.

individuo es tan libre de elegir una de las alternativas como si tuviese que elegir una carta de una baraja o un punto de una línea. Pero las elecciones más importantes no suelen ser libres en este sentido; implican cierta acción por parte del agente. En su forma general, la elección económica no se hace entre dos vectores de mercancías,  $Y$  y  $Z$ , sino entre dos complejos  $(Y, B)$  y  $(Z, C)$ , donde  $B$  y  $C$  representan las acciones mediante las que se puede obtener  $Y$  o  $Z$ . Por regla general, existen varias acciones,  $B_1, B_2, \dots, B_b$ , a cuyo través puede alcanzarse  $Y$ , por ejemplo. Se puede mendigar un dólar, o robarlo de la caja, o pedirlo al patrono de regalo; lo que se haga por término medio depende del esquema cultural de la sociedad a la que se pertenezca. La cuestión reside en que el hecho de que el resultado de la elección sea  $Y$  o  $Z$  depende también del *valor* que las acciones  $B$  y  $C$  tengan de acuerdo con el esquema cultural del agente económico. Abandonar a un patrono con el que se ha estado durante largos años únicamente porque otro patrono paga mejor no es, desde luego, una acción compatible con cualquier tradición cultural; lo mismo puede decirse acerca de la acción de un patrono que despide a sus obreros tan pronto como hay poco trabajo.

Las culturas difieren también en otro aspecto importante. En algunas sociedades, la mayor parte de las acciones tiene un gran valor positivo o un gran valor negativo, de acuerdo con el esquema cultural predominante. Estos valores tienen una gran importancia en la elección del individuo. En el otro extremo se encuentra la Sociedad Civil, en la que, con excepción de las acciones específicamente prohibidas por las leyes *escritas*, la elección viene determinada exclusivamente por los vectores de bienes  $Y$  y  $Z$ . Podemos ver ahora con claridad por qué le ha ido tan bien a la economía estándar a pesar de su *homo oeconomicus*: porque este *homo oeconomicus* elige libremente, es decir, de acuerdo con una función de elección que implica únicamente el vector de bienes.

Es corriente referirse a las sociedades en las que la elección está determinada también por el vector acción denominándolas «sociedades tradicionales», pero la expresión es, evidentemente, un pleonismo: toda sociedad tiene su propia tradición. La de la Sociedad Civil es que únicamente la ley escrita, a veces solamente la opinión de los tribunales, dice si una acción está permitida o prohibida. Piénsese en los casos tan frecuentes en los que la Federal Trade Commission solicita a los tribunales que decidan si la acción cumple o no las normas socialmente aceptadas.

La opinión de que la función de elección del *homo oeconomicus*, esto es, el índice de utilidad, representa adecuadamente el comportamiento económico en cualquier sociedad sigue marchando viento en popa. Puedo prever la argumentación de que, al fin y al cabo, se puede incluir las acciones en el vector de mercancías, distinguiendo, por ejemplo, entre la  $x_k$  que puede conseguirse a través de la acción  $B$  y la misma  $x_k$  que puede obtener-

se por medio de la acción C. No es preciso entrar en detalles para ver que esta sugerencia únicamente disimula una dificultad gracias a un artificio teórico. Más habitual, no obstante, es la postura personificada por la argumentación de Schumpeter de que «el campesino vende su ternero exactamente con tanta astucia y tan egoístamente como el agente de bolsa lo hace con su cartera de acciones»<sup>103</sup>. La consecuencia buscada es que la función de utilidad estándar basta para describir el comportamiento económico incluso en una colectividad campesina. Pero Schumpeter, obviamente, se refería a un campesino que vende su ternero en un mercado urbano a compradores a quienes apenas conoce; sin embargo, en su propia colectividad un campesino difícilmente puede comportarse como un corredor de bolsa. Tal como nos dice un número cada vez mayor de estudiosos de las sociedades campesinas, al campesino le interesa poder comprar barato sólo porque una viuda, por ejemplo, tenga que vender presionada por la necesidad. Al corredor de bolsa no le importa saber por qué el vendedor vendió barato: no tiene medio de saber quién es a quien compra.

En los últimos años, gran número de economistas se ha dedicado al estudio de las economías campesinas en diferentes países subdesarrollados. Su compromiso con las funciones de utilidad y de beneficio como «funciones de elección racional» ha llevado a muchos de ellos a declarar que el campesino —o, en general, cualquier miembro de una sociedad «tradicional»— se comporta *irracionalmente*. De hecho, se ha llevado a cabo una cantidad considerable de trabajo sobre cómo hacer que el campesino se comporte *racionalmente*, pero muchos de estos autores no parecen darse cuenta de que lo que proponen hacer es que las colectividades campesinas elijan como lo hace la Sociedad Civil, de acuerdo con una función de utilidad y de beneficio. Que éste o cualquier otro patrón de comportamiento económico sea el único racional es, en realidad, un pseudo problema.

5. *Comportamiento racional y sociedad racional*. Desde la perspectiva determinista, la noción de «comportamiento racional» es completamente inútil. Dados sus gustos, sus inclinaciones y su temperamento, la persona que fuma a pesar de la advertencia de que «fumar puede ser peligroso para su salud» actúa a partir de un campo definido y, por tanto, no puede ser tildada de irracional. Y, si aceptamos las conclusiones que los biólogos han deducido del estudio de gemelos idénticos en el sentido de que el comportamiento de cada hombre está determinado en buena parte por su genotipo, los criminales y los belicistas son tan «racionales» como la gente amable y pacífica<sup>104</sup>. Ahora bien, para un determinista hasta la nutrición (ya sea

<sup>103</sup> Joseph A. Schumpeter, *The Theory of Economic Development* (Cambridge, Mass., 1949), p. 80.

<sup>104</sup> Para evidencia en apoyo de esta tesis, véase C. D. Darlington, *Genetics and Man* (Nueva York, 1969), pp. 232-244, especialmente la lista de los caracteres transmitidos genéticamente, en pp. 240 y s.

ecológica, biótica o natural) no puede ser otra cosa que lo que es: juntamente con la Naturaleza, la nutrición mantiene al individuo en una situación predeterminada e implacable. Esta es probablemente la razón por la que, cuando un científico social habla de comportamiento irracional, se refiere generalmente a un criterio normativo. Tomemos a los aldeanos de algunas partes del mundo que, para la festividad anual, sacrifican prácticamente a todos los cerdos del pueblo. Son irracionales —decimos nosotros—, no sólo porque sacrifican más cerdos de los que podrían comer en una fiesta sino también porque tienen que pasar hambre durante los doce meses siguientes. Mi opinión es que es prácticamente imposible identificar un comportamiento (del hombre o de cualquier otra criatura viva) que sea irracional de acuerdo con algún criterio normativo. Precisamente por esto es por lo que a un granjero americano le parece irracional el comportamiento de un campesino filipino, pero así le parece también al último el comportamiento del primero. Los dos viven en distintos nichos ecológicos y cada uno tiene una diferente *Weltanschauung*. El estudioso del hombre debería saber algo más que tomar partido por un comportamiento o por otro; lo mejor que puede hacer es admitir que los dos comportamientos son diferentes, buscar los motivos que pueden explicar las diferencias y valorar las consecuencias.

Observemos también que para determinar que un comportamiento está libre de irracionalidad normativa tendríamos que conocer todas sus posibles consecuencias, cosa que, evidentemente, está más allá de nuestro alcance intelectual. Admitamos, por ejemplo, que satisfacer nuestros sentidos sin dañar nuestro cuerpo es un comportamiento racional. Sin embargo, hace cien años no hubiésemos dicho que un fumador se comporta irracionalmente: en esa época fumar no estaba condenado por dañar la salud. Por otra parte, para una mente demiúrgica posiblemente todo comportamiento tiene su «razón» última, por muy irracional que ese comportamiento nos pueda parecer a la luz de nuestro conocimiento incompleto. La existencia de un *Göttliche Ordnung* —un Orden Divino— no se ha demostrado ni desmentido.

«Irracional» puede designar también el caso en el que el individuo declara deseable cierto mandamiento y, sin motivo aparente, se comporta de forma diferente. «Inconsecuente» parece un término más apropiado para esta situación, incluso aunque admitamos que el individuo es libre de seguir su reconocido precepto. Por último, un comportamiento puede calificarse de «irracional» si elude toda norma de predicción.

A la luz de estas observaciones, habría que sentirse intrigado por la declaración de Bridgman de que «no tendremos una verdadera ciencia social hasta que finalmente la humanidad se haya educado para ser más racional»<sup>105</sup>. El

<sup>105</sup> Bridgman, *Reflections* (nota 32 anterior), p. 451. Las cursivas son mías.

enigma es a la vez instructivo y complejo. La declaración coge a uno de los más grandes físicos de este siglo en el acto de expresar su fé en la libertad de la voluntad. Evidentemente, se debe ser libre para querer pasar de comportarse «irracionalmente» a hacerlo «racionalmente», pero Bridgman nos dejó preguntándonos qué era lo que entendía por «racional». Lo más probable es que el eminente estudioso que puso los fundamentos del funcionalismo y que se imaginó la ciencia como almacén de mecanismos de cálculo que nos permiten predecir el comportamiento futuro de la Naturaleza tenía la impresión de que la humanidad es irracional porque en las situaciones más importantes el comportamiento humano no se presta a tales cálculos. En otras palabras, Bridgman pensaba que el comportamiento humano es irracional porque está dominado por esa categoría de fenómenos a los que he denominado racionales de tercer orden (Capítulo V, Sección 1). Por consiguiente, lo que dijo en esencia es que, mientras la humanidad no se eduque de modo que el comportamiento humano sea *previsible* en el mismo sentido en que lo es el comportamiento de la materia, no puede haber auténtica ciencia social. Lógicamente, no dijo cuáles de los posibles comportamientos debería repetirse por cada ser humano una y otra vez, pero podemos estar seguros de que una mente como la suya no ignoró la inmensidad intelectual del problema de un imperativo categórico eterno y rígidamente obedecido.

Más fascinante, no obstante, es el hecho de que una variante de la postura de Bridgman, relativa a lo que se debe hacer para tener una ciencia social del mismo orden de funcionalidad que la física o la química, ha estado durante algún tiempo cerca de los corazones de los adoradores de una sociedad totalmente planificada, de los marxistas en concreto. Desde una dirección diferente, el tema se ha expuesto con destreza erudita por Adolph Lowe en un reciente volumen: desde el momento en que el hombre se comporta irracionalmente (esto es, de modo imprevisible), la tarea de las ciencias sociales (de la economía, en especial) debe consistir en hacer que el hombre se comporte racionalmente (esto es, de modo previsible). La invitación es a matar dos pájaros de un tiro: para lograr tanto «la estabilidad y el crecimiento de los sistemas industriales [como] el grado de orden que es una condición previa para la generalización teórica»<sup>106</sup>. Aun cuando comparta la insatisfacción de Lowe con la economía estándar, hago una excepción fundamental a su mandato; y mi motivo consiste en que su supuesto remedio de sustituir la actual ciencia económica por la Ciencia de la Economía Política —que es preciso no confundir con la antigua Economía Política— implica el mismo pecado que el de la economía estándar, sólo que de forma más grave.

<sup>106</sup> Adolph Lowe, *On Economic Knowledge: Toward a Science of Political Economics* (Nueva York, 1965), pp. xviii y *passim*.

Tal como Lowe la presenta, la Ciencia de la Economía Política es «la teoría de los sistemas económicos controlados»<sup>107</sup>. Presupone una «autoridad de control» capaz de seleccionar el «macrofin» óptimo de la economía. Después de esta selección, la misma autoridad se dedica a las siguientes tareas: (1) a determinar el curso material que moverá el sistema hacia el macrofin elegido; (2) a descubrir los modelos de comportamiento requeridos por esta senda y las motivaciones capaces de fomentar esos modelos; y (3) a descubrir las normas centrales que inducirán a esas motivaciones «adecuadas a los fines»<sup>108</sup>. Incluso aunque eludamos el problema de si existe algo semejante a un fin óptimo objetivo y, caso de existir, de si la autoridad de control puede descubrirlo siempre, e incluso aunque admitamos la posibilidad de planificar sobre el papel el curso hacia el macrofin, los problemas planteados por las otras dos tareas son formidables. Como Lowe no aboga ciertamente por el uso de una categórica coacción individual para resolver esos problemas, tiene que confiar en la existencia de algunos mecanismos de cálculo que pueden permitirnos controlar las motivaciones a través de normas corrientes tan eficientemente como la materia a granel puede controlarse con artilugios de ingeniería. Semejante supuesto implica que hasta rasgos no incluidos en el *homo oeconomicus* están sujetos a un fuerte grado de orden mecanicista, lo que es un supuesto más injustificado que la postura básica de la economía estándar. De todos modos, el supuesto constituye el credo sobre el que descansa la creencia en la factibilidad de la ingeniería social; y, lo que es suficientemente interesante, encontramos en la argumentación de Lowe un eco de la idea básica que atraviesa la obra de Lenin *The State and the Revolution*. Dice Lowe: «Puede imaginarse el caso extremo de un colectivismo monolítico en el que las recetas del plan central se llevan a cabo por funcionarios que se identifican plenamente con los macrofines impuestos. En un sistema semejante, los procesos económicamente relevantes se reducen casi por completo a manipulaciones técnicas»<sup>109</sup>. Ahora bien, quienes han intentado por todos los medios infundir ese sentimiento de plena identificación con el macrofin impuesto nos hacen saber de vez en cuando —como lo hizo Nikita Jruschev hace unos años— que no han tenido éxito.

La plena identificación de los funcionarios —mejor, de absolutamente todos los miembros del monolito controlado— con el macrofin nos hace recordar naturalmente otras criaturas que viven en sociedad, incluidas las abejas, las hormigas y las termitas; y este recordatorio nos conduce directamente al núcleo de la cuestión pasada por alto por la Ciencia de la Economía Política o por cualquier otra doctrina que implique ingeniería social.

<sup>107</sup> *Ibid.*, p. 156.

<sup>108</sup> *Ibid.*, pp. 133 y 143, especialmente.

<sup>109</sup> *Ibid.*, p. 142.

En el caso de los insectos sociales, la producción social se desarrolló por medio de la división del trabajo dentro de la evolución endosomática de cada especie. Una hormiga portera, por ejemplo, cumple su misión con sus instrumentos endosomáticos, con su cabeza plana, en concreto; además, su estructura biológica es tal que lo único que tiene que hacer es bloquear la entrada a las galerías con su cabeza. En el caso de la especie humana, la producción social es, por el contrario, el resultado de la evolución exosomática del hombre. Por término medio, el hombre nace con una constitución biológica tal que puede desempeñar el papel de *cooly* chino tan bien como el de rey. Tampoco hay absolutamente nada en la constitución del hombre medio que pueda hacerle no desear ser rey; y la cuestión reside en por qué tendría que ser *cooly* chino y no rey.

El contraste entre la aparente armonía en que vive el insecto social y el permanente conflicto entre los miembros de la sociedad humana ha atraído desde hace mucho tiempo la atención de los filósofos sociales hacia la división existente entre la esencia biológica del hombre y sus aspiraciones económicas. Así, Platón, el más antiguo defensor de la sociedad «racional» controlada por una élite oligárquica, recomendó que «cada individuo debería ser utilizado para lo que la Naturaleza le tenía destinado»<sup>110</sup>, pensando obviamente que la Naturaleza quiere que unos sean esclavos y otros dictadores-filósofos. Y la percepción de Platón del complejo biosocial en toda sociedad de animales le llevó incluso a establecer algunas reglas para proteger a la casta de los guardianes (como llamó a sus superhombres) del deterioro por la mezcla genética con los *hoi polloi*<sup>111</sup>. Pero, al mismo tiempo, es muy posible que Platón no pudiera pensar en la manipulación inversa: hacer que la gente naciera de modo que cada uno desempeñase una tarea necesaria de la sociedad planificada. Hasta hace muy poco, esta idea decoraba únicamente *The Dream of d'Alembert*, una sátira escrita por el enciclopedista francés Denis Diderot, y la visión utópica y satírica de Aldous Huxley en *The Brave New World*. Sin embargo, los recientes descubrimientos en biología molecular han exacerbado la imaginación tanto de muchos divulgadores y embaucadores periodísticos como la de unas pocas autoridades de la biología. Según se nos dice, las premoniciones de estos descubrimientos son que el hombre será pronto capaz de «alterar directamente o producir la cadena genética humana»<sup>112</sup>. Y, como algunos insistían en que «estos no son problemas a largo plazo [sino] que están ya encima de nosotros», durante la última década algunos de los más grandes nombres de la

<sup>110</sup> Platón, *Republic*, II. 374 y V. 423.

<sup>111</sup> *Ibid.*, V. 459-460. Curiosamente, esas reglas contenían también algunas trampas con las que engañar a las masas y que debían seguir siendo secreto de la oligarquía dominante. Los modernos manipuladores de la mente tienen efectivamente en Platón un precursor ilustre.

<sup>112</sup> Joshua Lederberg, «A Crisis in Evolution», *The New Scientist*, 23 de enero de 1964, p. 213. Las cursivas son mías.

biología se reunieron en diversos simposios para considerar la llegada del milenio biológico y para formular recomendaciones sobre cómo prepararse para ello<sup>113</sup>. Poco antes de su muerte, un biólogo de la talla de J. B. S. Haldane dijo a sus pares en uno de esos simposios que el hombre del futuro verá no sólo prácticas tales como el uso de alguna talidomida para producir astronautas (cuyo trabajo se vería facilitado por unas piernas muy cortas) sino también la producción de quimeras que combinen los mejores rasgos biológicos del hombre y de otros animales<sup>114</sup>.

Ahora bien, entre las autoridades consagradas ninguna ha superado el entusiasmo y la seguridad con los que, en una serie de artículos, Joshua Lederberg predicó la inminencia de una larga lista de milagros biológicos<sup>115</sup>. Así, afirma que «sería increíble que no tuviésemos pronto la base de la técnica de ingeniería del desarrollo para regular, por ejemplo, el tamaño del cerebro humano»<sup>116</sup> a través de algunas píldoras C.I., como indican los titulares de los periódicos. Ahora bien, mucho más importante para nuestro tema presente es el gran acento que puso Lederberg en la *reproducción vegetativa* de las personas, en la clonación de la gente (término preferido por Lederberg), en «Einsteins derivados de recortes» (la expresión con la que los periodistas han dramatizado la idea). Este milagro, insiste, es la «perturbación evolutiva» que el hombre está efectivamente a punto de conseguir<sup>117</sup>. A través de una observación accidental, Lederberg nos hace saber que por clonación entiende la extensión al hombre de una cirugía celular iniciada unos veinte años antes por R. Briggs y T. J. King. El experimento, proseguido también por otros, consistió en trasplantar núcleos somáticos en huevos enucleados de la misma especie (o incluso de una relacionada) de anfibios. Varios de esos huevos híbridos se desarrollaron en diversas fases, en alguna ocasión hasta la fase adulta<sup>118</sup>. Naturalmente, si el

<sup>113</sup> No menos de cinco laureados con el premio Nobel asistieron al Simposio de la Fundación Ciba sobre *Man and His Future*, ed. G. Wolstenholme (Boston, 1963). Tres premios Nobel participaron en el simposio celebrado en la Ohio Wesleyan University sobre *The Control of Human Heredity and Evolution*, ed. T. M. Sonneborn (Nueva York, 1965). La cita en el texto es de *Man and His Future*, p. 363.

<sup>114</sup> J. B. S. Haldane, «Biological Possibilities for the Human Species in the Next Ten Thousand Years», en *Man and His Future*, ed. Wolstenholme, pp. 354 y s. La idea encontró eco en K. Atwood, quien en un simposio posterior previó la producción de organismos «con un gran cerebro, de forma que puedan permitirse algo en filosofía, y también con una zona fotosintética en su espalda, de modo que no tengan necesidad de comer». Véase «Discussion - Part I», en *Control of Human Heredity*, p. 37.

<sup>115</sup> Junto al artículo citado en la nota 112 anterior, véase Joshua Lederberg, «Biological Future of Man», en *Man and His Future*, ed. Wolstenholme, pp. 263-273, y «Experimental Genetics and Human Evolution», *American Naturalist*, C (1966), pp. 519-531 (reproducido también en *Bulletin of the Atomic Scientists*, octubre de 1966, pp. 4-11).

<sup>116</sup> Lederberg, «Biological Future of Man», p. 266, y «A Crisis», p. 213. Para estas técnicas, que en realidad son lo que la medicina ha venido haciendo desde la antigüedad, Lederberg acuñó un nuevo término: «eufenesia». Véase su «Biological Future of Man», pp. 265 y s., y «Experimental Genetics», p. 524.

<sup>117</sup> Lederberg, «Experimental Genetics», p. 526; también su «A Crisis», p. 213.

<sup>118</sup> Para un resumen oportuno de los resultados más significativos en este sentido, véase Morgan Harris, *Cell Culture and Somatic Variation* (Nueva York, 1965), pp. 10-20.



mismo ardid funcionase en el caso del hombre y con un éxito prácticamente completo, no habría límite alguno al número de «Einsteins» que podríamos producir. La visión así abierta nos hace recordar a Diderot en *The Dream of d'Alembert*: «en una cálida habitación con el suelo cubierto de pequeños botes y en cada uno de esos botes una etiqueta: guerreros, magistrados, filósofos, poetas, cortesanos enlatados, rameras enlatadas, reyes enlatados»<sup>119</sup>.

Pero, como el profano puede convencerse por sí mismo leyendo detenidamente la literatura presentada tanto sobre esta materia como sobre algunas afirmaciones igualmente sorprendentes en favor de la eufenesia, prácticamente todos los pares de Lederberg disienten de su pronóstico excesivamente entusiástico<sup>120</sup>. Citaremos solamente unas pocas opiniones: G. Pontecorvo considera que «para una ingeniería humana racional, ya sea del tipo eugenésico o del eufenésico, se precisa un conocimiento de la genética humana mucho mayor que el admirable conocimiento que ya poseemos de, por ejemplo, la genética del bacteriófago T4», mientras que P. B. Medawar nos aconseja «abstenernos de grandiosas declaraciones proféticas o retrospectivas acerca del bienestar genético de la humanidad». Bentley Glass se lamenta incluso de la mala reputación en que ha venido a caer la genética por culpa de las opiniones extremas de unos cuantos que han elegido pasar por alto la vasta extensión de nuestra ignorancia<sup>121</sup>. Creo, no obstante, que hay algunas razones elementales aunque decisivas que no exigen una gran familiaridad con todos los detalles del conocimiento biológico y que, desde donde nos encontramos ahora, acusan a la mayor parte de las maravillas anunciadas por Lederberg en relación con la valoración de las potencialidades de la biología.

Llegados aquí, pueden mencionarse brevemente algunos de los obstáculos que se oponen a la extrapolación al hombre de la cirugía nucleica de Briggs-King<sup>122</sup>. En primer lugar, está la prohibición inherente al hombre de tener una nanopinza. Sin una nanopinza, la cirugía nucleica tiene que dejar en el huevo híbrido algunas cicatrices que a nivel submolecular tienen

<sup>119</sup> Denis Diderot, *Le rêve de d'Alembert* (París, 1951), p. 54. La traducción es mía.

<sup>120</sup> El propio Lederberg reconoce que la opinión general de los demás está en desacuerdo con su postura, pero afirma que la diferencia se refiere solamente al tiempo —unos pocos años frente a unas pocas décadas— en que se haga realidad la humanidad «enlatada» («Experimental Genetics», p. 531). Un indicador de la valoración de Lederberg de lo que se encuentra almacenado para la humanidad es su seria invitación a comenzar a prepararse para una conversación inteligente con otros mundos distintos del nuestro («A Crisis», p. 212, y «Biological Future of Man», pp. 270 y s.).

<sup>121</sup> G. Pontecorvo. «Prospects for Genetic Analysis in Man», en *Control of Human Heredity*, ed. Sonneborn, p. 89. (En el mismo volumen, véase las opiniones expresadas por Sonneborn, pp. viii y 125, y por S. E. Luria, pp. 15 y s.). P. B. Medawar, *The Future of Man* (Nueva York, 1960), p. 62. B. Glass, «Summary and Concluding Remarks», *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology*, XXIX (1964), p. 480.

<sup>122</sup> Para más detalles, véase el Apéndice G, Sección 4.

enormes proporciones. Tales cicatrices afectarán evidentemente al normal desarrollo de ese huevo. En segundo lugar, está el principio compartido por muchos biólogos moleculares de que, tras una determinada fase de desarrollo, un núcleo somático pierde por completo su capacidad de inducir un nuevo desarrollo<sup>123</sup>. Desde el momento en que ningún hecho conocido ha puesto todavía en entredicho este principio, hemos de calificar de mera fantasía el proyecto de desarrollar un nuevo organismo a partir del núcleo somático de un individuo *maduro*. Por último, la argumentación de que la cirugía de Briggs-King tiene que funcionar también en el hombre —como mantiene K. Atwood conjuntamente con Lederberg<sup>124</sup>— pasa por alto el hecho elemental de que para el normal desarrollo de un huevo anfibio es suficiente con una laguna pantanosa o con una jarra de agua y que, por el contrario, el huevo humano requiere condiciones fantásticamente complejas e inmensamente delicadas. Como todo el mundo sabe, la ciencia médica tiene dificultades para salvar hasta la vida de un niño que abandona el claustro materno sólo unos pocos días antes de tiempo.

En una ocasión, Medawar acuñó la palabra «geneticismo» para calificar al complejo que va asociado a la pretensión de que nuestro conocimiento y comprensión genéticos son mayores de lo que en realidad lo son<sup>125</sup>. De modo semejante, podemos usar «biologismo» para designar el genio científico que ensalza actualmente las inminentes maravillas de una nueva eufenesia (léase «ciencia médica») y la posibilidad de una humanidad enlatada. La aparición del biologismo, al igual que la del economicismo, sociologismo y todos los demás ismos, tiene su propia explicación.

El hombre ha tenido tanto éxito en controlar a su favor un proceso físico tras otro que no pudo dejar de creer de repente que pueda llevar a cabo la misma proeza en los restantes campos. Cada época ha tenido su cuota de fórmulas para construir una sociedad racional. En este siglo, el «economicismo» culminó en la defensa de una economía completamente controlada como piedra filosofal del economista. Ahora bien, al hacerse progresivamente evidente que, sin emplear una coerción extrema, la gente no está generalmente dispuesta a identificarse con el plan impuesto desde arriba, comenzamos a prestar una atención creciente a los medios de controlar la mente; y, al igual que sucedió con la idea de una economía total-

<sup>123</sup> Por ejemplo, James D. Watson, *Molecular Biology of the Gene* (Nueva York, 1965), pp. 416 y s.; Harris, *Cell Culture*, pp. 149 y s.; G. Klein, «Discussion-Part II», en *Control of Human Heredity*, ed. Sonneborn, p. 94.

<sup>124</sup> Véase «Discussion-Part I» en *Control of Human Heredity*, p. 36. En el mismo lugar, Atwood alude a la historia de una «inmaculada concepción» de un conejo hembra, para concluir que lo mismo «seguramente podría hacerse» en el hombre. Que exista algún hecho sólido tras esa historia es una cuestión discutible, como se puso de manifiesto en un debate entre algunos biólogos experimentados, en *Man and His Future*, ed. Wolstenholme, p. 115.

<sup>125</sup> Medawar, *Future of Man*, pp. 61 y s.

mente controlada, algunos de nosotros sugerimos que el control de la mente es un acontecimiento normal en la evolución de la civilización<sup>126</sup>. Como hemos visto hace poco, Lederberg nos asegura que lo mismo es cierto respecto del control genético de la especie humana mediante la clonación.

A través de todo esto podemos ver que lo que inflama los corazones de los que buscan y defienden el control del hombre por uno u otro medio es la visión de un hombre «racional» y, especialmente, de una sociedad «racional». Y, como el proceso económico es, como he tratado de argumentar en este volumen, una extensión de la esencia biológica del hombre, la aparición del biologismo queda dentro del orden de cosas esperado. La dogmática aclamación de las ideas de Michurin y Lysenko en la URSS habla a voces a este respecto. El biologismo, creo yo, representa también la última forma en la que puede manifestarse la creencia en que la ciencia puede ayudar al hombre a crearse de nuevo<sup>127</sup>. En efecto, si podemos crear hombres de modo que un *coolly* chino tenga la fuerza especial para tirar de su vehículo durante todo el día y además no desear otro destino, ya no es necesario controlar la mente. Se puede esperar entonces que el biologismo atraiga finalmente la atención de los economistas que por ahora parecen simplemente demasiado ansiosos por dar respuesta a toda petición extemporánea de planificación. En realidad, ¿cuál podría ser la utilidad de saber cómo clonar a la gente si no supiéramos a qué clase de gente habría que hacerlo ni en qué proporciones?

Paradójicamente, la hipótesis de que «nosotros» tenemos el poder de las mitológicas Parcas de conferir cualquier cualidad que se desee a todo niño por nacer descubre la irreductible dificultad de que el hombre planifique una sociedad «racional». Como arguyó Pigou, uno de los más perspicaces economistas de este siglo, mucho antes de que nadie pensase seriamente en una humanidad enlatada, «cualquier reformador social súbitamente dotado de [semejante] omnipotencia se encontraría en un tremendo apuro»<sup>128</sup>. Evidentemente, tal reformador tendría que saber qué cualidades son las mejores para cada nuevo ser humano, lo que significa que tendría que poseer también onmisciencia; y, verdaderamente, resulta en extremo interesante observar la rapidez con la que los defensores de cualquier clase de planificación genética intentan minimizar la cuestión de qué cualidades son deseables. Lo único que se nos ofrece son lugares co-

<sup>126</sup> Por ejemplo, *Man and Civilization: Control of the Mind*, simposio celebrado en el San Francisco Medical Center de la Universidad de California, ed. S. M. Farber y R. H. E. Wilson (Nueva York, 1961).

<sup>127</sup> Esta es la principal razón por la que he considerado instructivo discutir en el Apéndice G el predicamento de la biología tal como lo veo a la luz de los puros y simples hechos.

<sup>128</sup> A. C. Pigou, *Essays in Applied Economics*, p. 82.

munes como «elevada calidad genética», o «habilidad atestigüada», o «buena salud, elevada inteligencia, bondad general»<sup>129</sup>. Diderot podía pensar exclusivamente en reyes, aristócratas y cortesanos, debido probablemente a que en su época se las consideraba como ocupaciones vitales para la sociedad. Más significativo es el caso de H. J. Muller, quien, al intentar vender su famosa propuesta de inseminación artificial a partir de bancos de semen, mencionó únicamente hombres geniales, como él mismo —«Lenin, Newton, Leonardo, Pasteur, Beethoven, Omar Khayyám, Pushkin, Sun Yat Sen, Marx»— o supergenios que combinaran las cualidades de tales individuos<sup>130</sup>.

Muy probablemente, tendremos que ver pronto las desagradables consecuencias de lo que nosotros, los eruditos, hemos intentado implantar en las mentes de las gentes, pues la verdad desnuda nos saltará más pronto o más tarde a la cara; y la verdad desnuda —cuyo énfasis es muy oportuno— es que un mundo compuesto únicamente por genios, mejor aún, sólo por hombres de ciencia, sólo por doctores, no podría sobrevivir ni un solo minuto (no más de lo que podría uno formado solamente por la gente de Versalles). Es igualmente patente el hecho de que millones de «Einsteins» o «Debussys» hechos de recortes no es probable que diesen lugar a otra revolución en la física o en la música. Toda nueva revolución requiere un tipo de pensamiento distinto del que alimentó el anterior momento crucial: en la ciencia como en las artes, el progreso procede de la novedad, no del mero crecimiento numérico de lo que ya existe. El mero crecimiento numérico de los eruditos puede ser hasta perjudicial más allá de cierto nivel relativo. Una abrumadora multitud de obras mediocres e irrelevantes, además de ser un derroche de recursos sociales, aumentaría las dificultades de comunicación e, ipso facto, colocaría una carga innecesaria sobre aquellos verdaderamente capaces de ensanchar nuestro conocimiento.

Un mundo vivo necesita, en primer lugar, personas «productivas»: granjeros, mineros, carpinteros, recogedores de basura, limpiabotas, *coollys* chinos, etc. Por consiguiente, la Mente Suprema tendría que planificar personas «enlatadas» en las proporciones adecuadas a esas ocupaciones. Ahora bien, puede haber pocas dudas de que un clonante de «Debussy» únicamente querrá componer música impresionista, pero lo que me niego a aceptar es que todo lo que un clonante de *coolly* chino quiera hacer es ti-

<sup>129</sup> Julian Huxley, «The Future of Man—Evolutionary Aspects», p. 17; Haldane, «Biological Possibilities», p. 352; y F. H. C. Crick, «Discussion», p. 294, todos ellos en *Man and His Future*, ed. Wolsenholme.

<sup>130</sup> H. J. Muller, *Out of the Night: A Biologist's View of the Future* (Nueva York, 1935), p. 113. Muller reconoció más tarde la dificultad de decidir qué cualidades son deseables, pero en cualquier caso recurrió al eterno lugar común, «mentes excepcionales, méritos de temperamento y carácter, o buen estado físico». Véase su «Means and Aims in Human Genetic Betterment», en *Control of Human Heredity*, ed. Sonneborn, pp. 110 y 115.

rar de una calesa –incluso aunque se reconozca que en una sociedad «racional» se pague a un *coolby* más de un cuenco de arroz por día–. La observación debería poner fin a los sueños de una sociedad «racional» libre de todo conflicto social. Quienes rinden culto a una sociedad planificada tendrán que admitir –y así lo hacen muchos– que ciertos controles absolutos deben formar parte de semejante sistema.

Así pues, es humanamente normal que cuando alguien –usted o yo– insiste en que «nosotros» necesitamos controlar la sociedad se debería tener en mente una imagen en la que ese alguien es uno de «nosotros», los controladores, no uno de los controlados. Sin embargo, en el caso de un estudioso su convicción característica es principalmente que sabe mejor que otros los que sus mentes deberían pensar, sentir y desear. La casta de guardianes-filósofos, de Platón, ocupa un lugar preponderante en las visiones y aspiraciones de muchos servidores de la ciencia que prejuzgan no solamente la cuestión de quién debe controlar la sociedad sino también la de los fines del control. Porque ni siquiera la ciencia tiene derecho a descartar dictatorialmente la cuestión más fundamental: ¿para qué están las personas? ¿Para gozar de la vida por su propio bien o para ser un títere en una sociedad controlada por la oligarquía de Mentes Supremas?

No es probable que las cuestiones éticas sean bien recibidas por los defensores de una sociedad planificada. Ni Muller ni ningún otro partidario de su idea de un banco de semen se ha detenido a pensar si una mujer, en general, no preferiría tener un hijo igual a su marido granjero en vez de uno que se pareciera a alguien a quien no conoce ni por quien se interesa lo más mínimo. La actitud de muchos científicos hacia semejante cuestión está muy bien ilustrada por Crick y Pirie, quienes ponen en tela de juicio el derecho de las personas a tener hijos y arguyen que el deseo de tener hijos es el resultado de «la clase de historias que se leen, la clase de imágenes que se ven»<sup>131</sup>. La situación nunca ha sido más admirablemente tipificada que por Adeimanto en su apóstrofe a Platón: «estás haciendo a estas gentes miserables por su propio bien»<sup>132</sup>. Y, de hecho, uno no puede sino estremecerse con algunos de los pensamientos de Haldane –que la muerte prematura de unos cuantos millones de personas cada año es un buen precio para mantener a los biólogos ocupados en el laboratorio, o que en su visión de la sociedad a los padres no les importaría arriesgar la vida de sus hijos en algunos experimentos biológicos<sup>133</sup>. Medawar tenía otras razones en mente cuando dijo que «sencillamente no se puede confiar en que los seres

<sup>131</sup> Véase «Discussion» en *Man and His Future*, ed. Wolstenholme, pp. 275 y 283. Aparentemente, estos autores no han oído nunca nada acerca del máximo deseo de las familias campesinas desde tiempo inmemorial.

<sup>132</sup> Platón, *Republic*, IV, 419.

<sup>133</sup> Véase pp. 234 y 358 en *Man and His Future*.

humanos formulen objetivos eugenésicos a largo plazo»<sup>134</sup>, pero, como podemos ver ahora, la razón más importante es que nuestro entusiasmo por la experimentación puede inducirnos a defender, sin darnos cuenta, procedimientos no muy distintos de los que estuvieron vigentes en Auschwitz. Como dijo Marett, la Eugenic Society puede ser incapaz de llevarnos «más cerca de los ángeles o de los simios»<sup>135</sup>, pero sí puede, sin duda alguna, acercarnos a los demonios. Como justamente protestó un atento antropólogo ante un auditorio de eminentes biólogos, «los científicos que no saben otra cosa que ciencia pueden poner en peligro la seguridad del mundo»<sup>136</sup>.

Los problemas puramente genéticos no son menos formidables. Como he insistido en el Capítulo VIII, la evolución no es una idea mística sino el resultado del Cambio cualitativo continuamente provocado por la aparición de la novedad por combinación y por la actuación unidireccional de la Ley de la Entropía. Recordemos que este Cambio constituye la causa por la que el hombre es incapaz de predecir la evolución de cualquier especie o del entorno con la misma precisión de detalle con la que puede, en principio, calcular el pasado y el futuro de un sistema mecánico. Con frecuencia oímos a los biólogos proclamar que la evolución genética es «un historial de derroches, improvisaciones, compromisos y errores». En mi opinión, se trata de una opinión arrogante; frente a ello, Medawar y otros biólogos consideran que la afirmación «la Naturaleza *no* es la que más sabe» no es una verdad profunda<sup>137</sup>; en su lugar, está la ilusión creada por nuestra propia ignorancia de todas las leyes de la evolución. Casi todos los biólogos menosprecian el hecho de que la evolución perpetúa especies que no cumplen las condiciones del futuro, pero, curiosamente, ninguno de los que deploran este hecho observó que, si la selección natural hubiese hecho una previsión perfecta, las especies hubiesen sido inmortales, en total contradicción con la Ley de la Entropía. Al juzgar la selección natural, podemos tener tendencia a criticar a posteriori, pero esa sabiduría es espuria. Antes de señalar con el dedo a la Naturaleza, tenemos que demostrar que podría haber sido viable un mundo en el que, pongamos por caso, la especie humana hubiese emergido directamente del lodo caliente primigenio –pasando así por encima de innumerables especies ahora difuntas–.

Si en la selección artificial es un hecho que, incluso aunque «tratemos de criticar a priori el acontecimiento,... el acontecimiento demuestra que

<sup>134</sup> *Ibid.*, p. 295.

<sup>135</sup> R. R. Marett, *Head, Heart, and Hands in Human Evolution* (Nueva York, 1935), p. 72.

<sup>136</sup> Carleton S. Coon, «Growth and Development of Social Groups», en *Man and His Future*, ed. Wolstenholme, p. 126.

<sup>137</sup> Medawar, *Future of Man*, p. 100. Véase también Theodosius Dobzhansky, *Genetics and the Origin of Species* (2.<sup>a</sup> edic., Nueva York, 1941), p. 160, y de nuevo en «Human Genetics: An Outsider's View», *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology*, XXIX (1964), p. 5.

con demasiada frecuencia somos ignorantes»<sup>138</sup>, ¿cómo podemos esperar tener éxito con el gran plan de tomar nuestra evolución en nuestras propias manos? La dificultad crucial se hace transparente si recordamos el soberbio pensamiento de Thoday: «Los aptos son aquellos que se adecuan a sus entornos existentes y cuyos descendientes se adecuarán a los entornos futuros»<sup>139</sup>. Deberíamos subrayar que este algoritmo no es una definición de lo adecuado (como pretendía Thoday) sino de la especie ideal, inmortal. Cuanto más ambicioso sea el esquema para la «mejora» genética de la humanidad, más intensa es su creencia implícita en la posibilidad de una especie ideal. La verdad —que merece ser repetidamente recalcada— es que todo plan semejante es más propenso a llevar a la humanidad a un callejón sin salida que a transformarla progresivamente en una especie ideal. Y la especie humana puede ser conducida de hecho a un callejón sin salida si su poder de adaptación a circunstancias imprevistas se ve progresivamente recortado por la continua selección de los portadores de gran talento, elevada inteligencia o forma física exclusivamente, tal como proponen Julian Huxley, J. B. S. Haldane y, en especial, Joshua Lederberg. Estas propuestas tienden realmente a hacer la selección artificial del hombre todavía más desastrosamente oportunista de lo que se acusa a la selección natural. Nosotros somos simplemente incapaces de conocer por adelantado la clase de demandas que el entorno biogeográfico planteará a la especie humana a finales de este siglo, por no hablar de cien o mil años después. Y lo que es más, aun cuando conociéramos tales demandas, seguiríamos siendo incapaces de trazar *ahora* un plan genético para hacerlas frente con éxito<sup>140</sup>. Únicamente un muy largo experimento, tal vez ni siquiera factible, nos permitiría descubrir quiénes de entre nosotros son portadores del gen adecuado a cada demanda. Sócrates, quien ciertamente podría tener sólo un conocimiento superficial de un plan eugenésico, exclamó, sin embargo, en relación con el sistema de Platón: «¡Santo cielo!... ¡cuán consumada destreza necesitarán nuestros soberanos si el mismo principio [que para los animales] se cumple para la especie humana!»<sup>141</sup>.

El pecado capital del biologismo (al igual que de todo cientifismo social) es la negativa a ver que en un campo en el que es imposible la predicción es insensato creer que hay medios con los que el hombre puede alcanzar *algunos fines elegidos y solamente esos*. A este respecto, como sucede en la

<sup>138</sup> Medawar, *Future of Man*, p. 49.

<sup>139</sup> J. M. Thoday, «Natural Selection and Biological Progress», en *A Century of Darwin*, ed. S. A. Barnett (Cambridge Mass., 1958), p. 317. Las cursivas son mías.

<sup>140</sup> Muy curiosamente, Haldane, que por otro lado no parece estar preocupado por nuestra ignorancia, nunca abandonó su antigua oposición a la mezcla racial en base a que nadie puede estar seguro de sus consecuencias y a que nadie podría volver a separar los genes, en caso de que la integración demostrase ser perjudicial. Haldane, *Heredity and Politics*, p. 185, y «Biological Possibilities», p. 356.

<sup>141</sup> Platón, *República*, V. 459.

vida normal, el hombre no puede obtener algo a cambio de nada; la única diferencia reside en que el precio que ha de pagarse para alcanzar los fines biosociales a través de algún plan elaborado por el hombre no puede conocerse de antemano. Y el peligro de todo *ismo* es que sea demasiado tarde cuando podamos descubrir que, a pesar de la palabrería de vendedor del superentusiasta científico, existe un precio que ha de pagarse y que ese precio es mucho mayor que aquel con el que se nos ha inducido a comprar. Los biólogos y bioquímicos moleculares se muestran más inclinados al biologismo. Los biólogos consumados, por el contrario, es más probable que nos adviertan que nuestro conocimiento actual es «palpablemente insuficiente para concebir remedios [genéticos], respecto de los cuales pudiéramos confiar en que el remedio no será peor que la enfermedad»<sup>142</sup>. La auténtica verdad, no obstante, es que se trata de una situación permanente, no temporal, pues, como he argumentado en este volumen, al hombre se le negará eternamente el conocimiento divino.

Puesto que en los fenómenos biológicos las causas se descubren más fácilmente que en la economía o en la política, son bastante abundantes los monumentos a la herejía del biologismo. El de la talidomida es posiblemente el más conocido de todos. Piénsese también en muchas otras «drogas milagrosas» cuyos imprevistos efectos secundarios llevaron a la prohibición de su uso. Según uno de sus descubridores, probablemente le espera el mismo destino a la «píldora»<sup>143</sup>. Pero piénsese, sobre todo, en la probable consecuencia definitiva del uso masivo de antibióticos que se apunta ya en el horizonte; la aparición de variedades de virus resistentes a las drogas es una señal perfectamente conocida. También estamos siendo cada vez más conscientes del hecho de que el problema del equilibrio ecológico, aun cuando se limite al existente entre el hombre y los microorganismos, es tan complejo que ninguna mente humana puede comprenderlo. Toda cura de una enfermedad infecciosa deja vacío un nicho ecológico para otros microorganismos, que puede resultar que sean mucho más peligrosos que los desplazados<sup>144</sup>. Por increíble que pueda parecer a los no iniciados, un famoso microbiólogo dió el siguiente consejo a sus igualmente distinguidos colegas de un simposio: «Si se encuentra un antibiótico universal, organicen inmediatamente asociaciones para impedir su uso»<sup>145</sup>.

El conocido economista Colin Clark estuvo, en mi opinión, sólo innecesariamente categórico, pero no equivocado, al denunciar, ante un grupo selecto de biólogos, la nueva ola de doctrinas eugenésicas y eufenésicas

<sup>142</sup> Dobzhansky «Human Genetics», p. 3.

<sup>143</sup> G. Pincus, «Discussion», en *Man and His Future*, ed. Wolstenholme, p. 109.

<sup>144</sup> Hasta la inmunización contra la poliomeilitis es actualmente sospechosa de hacer sitio a nuevas infecciones virales. Véase Hilary Koprowski, «Future of Infectious and Malignant Diseases», pp. 201 y s., y Lord Brain, «Discussion», p. 367, ambos en *Man and His Future*.

<sup>145</sup> Koprowski, p. 216.

«sostenidas por algunos científicos brillantes y equivocados y que... atraerán su cuota de embaucadores»<sup>146</sup>. Al igual que yo, Clark es lego en biología, pero, en la medida en que la validez de las objeciones, como las formuladas en esta sección, sea elementalmente evidente, no pueden dejarse de lado con la observación de que un lego no conoce todos los detalles técnicos. Ningún detalle técnico puede eliminar obstáculos fundamentales de carácter permanente.

Existe, evidentemente, otra arma que puede arrojarse contra una argumentación del tipo que he presentado aquí: la conocida acusación de ser anticientífico. Por mucho que pueda desagradar a los aspirantes a acusadores, quiero subrayar de nuevo que la mayoría de las autoridades científicas está de mi parte. Sirva de testimonio el hecho de que Medawar viniera inmediatamente en apoyo de Clark con la confesión de que lo que le asustaba era la extremada confianza en sí mismos de los autores de planes eugenésicos a gran escala y su total convicción en que saben no sólo qué fines son deseables sino también cómo alcanzarlos<sup>147</sup>. Y ésta es solamente una parte del pecado del cientifismo. Mucho más reveladora es la afirmación hecha por James Shapiro, del grupo de Harvard que en noviembre de 1969 logró aislar un gen puro. Anticientíficos —objetó Shapiro recientemente— son aquellos que «vierten pesticidas sobre Vietnam,... realizan trasplantes de corazón sin haber estudiado primero el rechazo y dan antibióticos en masa a personas que no los necesitan»<sup>148</sup>, en pocas palabras, aquellos que interfieren los procesos vitales sin importarles un comino las consecuencias imprevistas e incalculables de sus acciones. En un escandaloso contraste, sólo unas pocas semanas después Christiaan Barnard —según informó la prensa— declaró que «en Ciudad del Cabo, lo que estoy tratando de conseguir es el trasplante del cerebro». Si hubiese pensado en este proyecto más allá de la destreza puramente quirúrgica, tendría que haber dicho realmente «trasplante del cuerpo», no «trasplante del cerebro». Mi opinión es que lo que Barnard espera conseguir en la operación es el donante del cerebro, no el receptor del cerebro cuya vida se salva. Con toda seguridad, Barnard no podrá salvar la vida de un erudito genial afectado por un tumor cerebral, por ejemplo, transplantando el cerebro de un donante tarado.

El misterio de la vida, de la vida humana en especial, estimulará siempre la imaginación tanto de los especialistas como de los legos. Por consiguiente, una minoría de científicos ideará siempre fantásticos planes eufénicos o eugenésicos cada vez que el conocimiento biológico, como todo

<sup>146</sup> «Discussion», en *Man and His Future*, p. 294.

<sup>147</sup> *Ibid.*, p. 296.

<sup>148</sup> Citado en James K. Glassman, «Harvard Genetics Researcher Quits Science for Politics», *Science*, 13 de febrero de 1970, p. 964.

conocimiento, avance de un adelanto espectacular a otro. Y, justamente como ahora, el peligro nunca consistirá en que tales planes milagrosos estén llamando a la puerta y el hombre no esté preparado para usarlos prudentemente —como algunos biólogos e innumerables periodistas están clamando en relación con la actual situación—; el peligro será siempre el contrario: los planes no serán prudentemente contrastados y no tendremos sino ansias de aplicarlos. La «aspiración de los fascistas por un Estado humano basado en el modelo de la hormiga» —como lo describió Wiener<sup>149</sup>— atraerá muy probablemente cada vez más atención, energía y arte para la venta a medida que vaya haciéndose progresivamente evidente que ninguna ciencia social puede suministrar una fórmula para tratar de lograr la sociedad «racional». Sin embargo, podemos estar seguros de que, aun cuando muchos milagros siguen esperando el descubrimiento del hombre, la fusión de la evolución endosomática y exosomática de la humanidad no será uno de ellos. La causa de esto no reside en la incompatibilidad entre la esencia mental del hombre y la de la hormiga —como pretende Wiener—; se debe simplemente al hecho de que, para hacerse de nuevo, el hombre precisa tanto del conocimiento como de un poder que está mucho más allá de su alcance. Así es por lo que, en el futuro al igual que en el pasado, la sociedad humana pasará del control de una élite a otra y por lo que cada élite tendrá que influir, no en los genotipos de las personas, sino en sus creencias, con la ayuda de una mitología aparentemente diferente, aun cuando básicamente homóloga.

6. *El hombre y su tradición.* Al igual que los insectos sociales, el hombre vive en sociedad, produce socialmente y distribuye el producto social entre sus compañeros. Pero, a diferencia de los insectos sociales, el hombre no nace con un código endosomático capaz de regular tanto su vida biológica como su actividad social. Y, puesto que precisa un código para guiar su compleja actividad social de modo tolerable, el hombre ha tenido que producirlo por sí mismo. Este producto es lo que denominamos tradición. Con la tradición, el hombre compensa su «tara de nacimiento», su deficiencia de instintos sociales innatos. Así, el hombre nace *con* un código endosomático (biológico), pero *dentro* de uno exosomático (social). Debido al código endosomático, un chino, por ejemplo, tiene ojos oblicuos y pelo liso. Debido al código exosomático, un campesino filipino cultiva sus campos a la manera en que lo hacen todos los campesinos filipinos, participa en los extravagantes festivales que celebra su aldea en determinadas fechas, etc. Un proceso biológico se ocupa de que el conjunto de genes se transmita de una generación a otra. La tradición hace lo mismo con lo que denominamos «valores» o, más apropiadamente, «instituciones», esto es,

<sup>149</sup> Norbert Wiener, *The Human Use of Human Beings: Cybernetics and Society* (Cambridge, Mass., 1950), p. 60.

los medios con los que cada hombre actúa dentro de su propia colectividad. Ese paralelismo exige ciertas observaciones.

En primer lugar, una diferencia fundamental: la evolución biológica es darwiniana; no transmite caracteres adquiridos. La tradición, por el contrario, es indudablemente lamarckiana, es decir, transmite exclusivamente caracteres adquiridos, en especial aquellos que han demostrado ser útiles a la colectividad. No es preciso decir que la tradición, al igual que la herencia biológica, transmite con frecuencia instituciones que son indiferentes o nocivas. Durante miles de años, un chino tras otro ha nacido con pelo liso, un carácter fenotípico sin significado alguno. Del mismo modo, la institución de estrecharse las manos, pese a no tener valor especial alguno, ha sobrevivido entre ciertas colectividades durante siglos. A pesar de casos como estos, es incuestionable que toda tradición posee su perfecta lógica *interna*; y, debido a esta lógica, no podemos establecer una matriz cultural viable eligiendo arbitrariamente cada uno de sus elementos, al igual que no podemos combinar elementos elegidos aleatoriamente para formar una sustancia química, ni generar una quimera de planta y hombre (como la prevista por K. Atwood). Siempre y cuando se entienda adecuadamente la metáfora, la lógica interna de la tradición puede compararse con los enlaces químicos de un gen o de todo un núcleo. Estos enlaces explican la continuidad biológica del ser humano y de todas las demás especies. La lógica interna explica la continuidad de la existencia del hombre como animal social. Es cierto que las articulaciones entre los elementos de una matriz cultural no son tan inflexibles como los enlaces químicos; esto es más bien un mérito, porque la flexibilidad ayuda al hombre a adaptarse más fácil y rápidamente a los cambios evolutivos provocados por sus propios inventos, por su crecimiento numérico y por la evolución del entorno biogeográfico. Sin embargo, las mismas articulaciones son lo suficientemente potentes para explicar la inercia, a veces bastante notable, que han mostrado muchas tradiciones sometidas a la presión histórica.

Por lo que se refiere a esta inercia, puedo subrayar el hecho interesante de que los biólogos que recientemente se reunieron en simposios especiales para discutir varios planes para el control genético de la humanidad se vieron obligados finalmente a hablar más acerca de cómo controlar la tradición. Lederberg admitió abiertamente que estaban allí porque la mayoría de los presentes «creemos que la población actual no es suficientemente inteligente para mantenerse sin estallar»<sup>150</sup>. Este no es el único caso en el que se ha hecho responsable a la tradición de los males del hombre. La opinión más habitual es que la tradición es un obstáculo para el progreso, y hasta cierto punto la opinión es correcta. Por otra parte, si no hubiese sido por

<sup>150</sup> «Discussion», en *Man and His Future*, p. 288.

la inercia de la tradición, cualquier dictador hambriento de poder y cualquier científico demasiado seguro de sí mismo y demasiado ambicioso no hubiera tenido dificultad alguna en someter a la humanidad a sus vastos planes de una sociedad «racional», con el resultado probable de que la especie humana estaría actualmente desaparecida. El papel de la tradición en la vida de la humanidad es, no obstante, más amplio que esto.

Recordemos que el proceso económico no marcha por sí solo. Al igual que cualquier proceso no automático, consiste en clasificar. A su vez, clasificar requiere un agente del tipo ilustrado por la fábula de Maxwell. Además, el agente clasificador es el que constituye el factor más importante en un proceso semejante, porque la baja entropía se convertirá en cualquier caso en alta entropía, pero depende del tipo de actividad clasificadora el que el proceso absorba o retenga una cantidad mayor o menor de baja entropía ambiental. Dicho con otras palabras, depende de qué tipo de demonio maxwelliano sea el que mantenga en marcha el proceso. Es suficiente comparar dos variedades distintas de la misma especie que vivan en el mismo entorno para convencernos que no todos los demonios maxwellianos son idénticos; ni siquiera dos ejemplares de la misma especie son siempre demonios maxwellianos idénticos.

En el caso de una sola célula, la correspondiente actividad maxwelliana parece estar exclusivamente determinada por la estructura físico-química heredada por la célula; en el caso de un organismo superior, es también función de sus instintos innatos. Un águila puede volar porque ha nacido con alas y con el instinto de volar. Ahora bien, en la actualidad el hombre también puede volar incluso aunque no tenga ni una constitución biológica para volar ni un instinto innato para hacerlo. El resultado final es evidente: la actividad maxwelliana del hombre depende también de lo que suceda en su mente, tal vez más de esto que de cualquier otra cosa; y el papel de la tradición consiste en transmitir de una a otra generación tanto el conocimiento como las propensiones.

El profundo interés por el problema del desarrollo económico de los países «subdesarrollados» ha puesto a un número cada vez mayor de eruditos y estudiantes en contacto directo con numerosas «sociedades tradicionales». En un principio, la mayoría afirmaba que las gentes de tales sociedades se comportaban «irracionalmente», pues su comportamiento difiere del nuestro, del de la Sociedad Civil. Pero, de forma gradual, numerosos estudiosos han llegado a darse cuenta de la importancia que las propensiones culturales tienen en el proceso económico y también para la estrategia de inducir el desarrollo económico. Desgraciadamente, no obstante, la mayor parte de las políticas de desarrollo económico sigue basándose en la antigua falacia alimentada por la filosofía mecanicista, la falacia de que *son las máquinas las que desarrollan al hombre, no el hombre quien desarrolla las máquinas*. Por más sorprendente que pueda parecer, el reconocimiento



más sincero y preciso de la falacia ha procedido de un autor soviético: «No es la máquina creada por el hombre sino el propio hombre quien es la máxima manifestación de cultura, pues los pensamientos y los sueños, los amores y las aspiraciones del hombre, *el creador*, son a la vez complejos y grandes»<sup>151</sup>.

Antropólogos e historiadores hace tiempo que han pensado que la introducción de cualquier innovación económica en una colectividad tiene éxito sólo si la colectividad puede adaptarse culturalmente a ella, esto es, sólo si la innovación llega a ser socialmente aprobada y entendida<sup>152</sup>. Entre los economistas angloamericanos, hubo una época en la que sólo un rebelde como Veblen afirmó que es peligroso colocar las máquinas modernas en manos de gentes que tienen todavía una *Anschauung* económica feudal<sup>153</sup>. Sin duda alguna, «peligroso» difícilmente es el término adecuado aquí, pero probablemente Veblen quería subrayar tanto la inmensa pérdida económica como los grandes males sociales derivados de una forzada introducción de industrias modernas en una colectividad carente de las correspondientes propensiones<sup>154</sup>. Pero seamos sinceros al respecto: ¿quién puede negar que el peligro creado por el descubrimiento de la energía atómica se deriva del atraso cultural de la humanidad con respecto a la nueva tecnología? Todas las culturas han ido siempre a la zaga del progreso tecnológico de su época, unas más, otras menos; pero el atraso, ya sea de la humanidad como un todo o de partes de ella, nunca ha sido tan grande como en la actualidad.

La cuestión tiene evidentes implicaciones para toda política dirigida a acelerar la tasa de crecimiento de una economía. Esas implicaciones han sido esporádicamente reconocidas, principalmente por economistas «no ortodoxos». Leonard Doob, por ejemplo, insistió en que ninguna planificación puede tener éxito a no ser que se base en un conocimiento del entorno social, es decir, de la tradición de las gentes que se verán afectadas por ella. Una tesis todavía más potente se ha postulado por J. J. Spengler, quien afirma que la tasa de crecimiento económico depende del grado de compatibilidad existente entre los componentes económicos y los no eco-

<sup>151</sup> S. T. Konenkov, «Communism and Culture», *Kommunist*, núm. 7, 1959. Versión inglesa en *Soviet Highlights*, núm. 3, I (1959), pp. 3-5. Las cursivas son mías.

<sup>152</sup> G. Sorel, en la «Introduction» a G. Gatti, *Le socialisme et l'agriculture* (París, 1902), p. 8; Richard Thurnwald, *Economics in Primitive Communities* (Londres, 1932), p. 34; V. Gordon Childe, *Social Evolution* (Nueva York, 1951), p. 33.

<sup>153</sup> Thorstein Veblen, *Imperial Germany and the Industrial Revolution* (Nueva York, 1964), pp. 64-66, y *Essays in Our Changing Order*, ed. L. Ardroni (Nueva York, 1934), pp. 251 y s.

<sup>154</sup> O, como llegó a expresarlo P. N. Rosenstein-Rodan en «Problems of Industrialization of Eastern and South-Eastern Europe», *Economic Journal*, LIII (1943), p. 204, «Un marco institucional diferente del actual es evidentemente necesario para llevar a cabo con éxito la industrialización en las áreas internacionales deprimidas».

nómicos de la cultura respectiva<sup>155</sup>. No habría que desechar sin más esas observaciones, pues todos los análisis de por qué los resultados de nuestra ayuda económica exterior no han sido con frecuencia proporcionales a su esencia convergen en una explicación: las costumbres locales.

En realidad, hay unos cuantos hechos que sugieren que la influencia de la *Anschauung* económica sobre el proceso económico es mucho más profunda de lo que sospecharon los autores antes citados. Mencionaré únicamente los más convincentes. La Rusia soviética, en un momento en el que apenas había introducido ninguna innovación salvo la planificación central, sintió la necesidad de actuar sobre la *Anschauung* económica de las masas: «El propósito del trabajo políticamente educativo [en los campos de trabajos forzados] es el de erradicar de los obreros convictos los viejos hábitos y tradiciones nacidos de las condiciones imperantes en los modos de vida de épocas anteriores»<sup>156</sup>. Por muy intensa que fuese la presión ejercida sobre el pueblo de la URSS a través de numerosas obras educativas semejantes, el resultado fue tal que, en el Vigésimoprimer Congreso del PCUS, Nikita Jruschev tuvo que seguir anunciando: «Para alcanzar el comunismo... hemos de criar el hombre del futuro precisamente ahora»<sup>157</sup>.

Un caso mucho más familiar es el gran milagro económico de Japón. No tengo duda alguna de que sólo la peculiar *Anschauung* económica del japonés medio puede explicar ese milagro, porque, estoy seguro, ningún experto en planificación podría trazar un plan económico para llevar a una economía desde las condiciones dominantes en el Japón de 1880 a las actualmente existentes; y, en caso de poder, debe haber sabido de antemano que el pueblo eran los japoneses y haberse dado cuenta igualmente de que los datos completos de cualquier problema económico deben incluir también las propensiones culturales.

Nada está más lejos de mi mente que negar las dificultades que plantea la manera de estudiar la *Anschauung* económica de una sociedad en la que uno no se ha criado culturalmente, ni estoy preparado para anotar toda una serie de instrucciones acerca de cómo hacerlo mecánicamente. Ahora bien, si negamos la facultad empática del hombre, entonces no existe en verdad juego alguno al que podamos jugar, ya sea en filosofía, literatura, ciencia o familia. En realidad, hemos de reconocer que el juego no es el mismo en las ciencias físicas que en las ciencias del hombre; que, contra-

<sup>155</sup> Leonard Doob, *The Plans of Men* (New Haven, 1940), pp. 6 y s.; J. J. Spengler, «Theories of Socio-Economic Growth», en *Problems in the Study of Economic Growth*, National Bureau of Economic Research (Nueva York, 1949), p. 93. Véase también K. Mannheim, «Present Trends in the Building of Society», en *Human Affairs*, ed. R. B. Cattell *et al.* (Londres, 1937), pp. 278-300.

<sup>156</sup> Resolución del Congreso Panruso de Obreros de la Judicatura, de 1931, en *Report of the Ad Hoc Committee on Forced Labor*, Naciones Unidas, OIT, Ginebra, 1953, pp. 475 y s.

<sup>157</sup> Citado en Konenkov, «Communism and Culture».

riamente a lo que predicaron Pareto y otros muchos, no existe un único método para conocer la verdad<sup>158</sup>.

En la física únicamente podemos confiar en el instrumento de lectura puntual, porque no estamos dentro de la materia; y, sin embargo, tiene que haber un hombre en el otro extremo del instrumento para leerlo, comparar las lecturas y analizarlas. La idea de que no se puede confiar en el hombre como instrumento en el proceso cognoscitivo es, por eso, tanto más incomprensible. Curiosamente, los físicos son conscientes de su hándicap, es decir, del hecho de que no pueden interrogar a la Naturaleza: lo único que pueden hacer es observar el *comportamiento* de la materia. Como lo ha señalado un gran físico tras otro, el estudioso del hombre tiene medios adicionales a su disposición; puede tener sensaciones dentro de los hechos, o recurrir a la introspección, o, sobre todo, descubrir los motivos de su objeto de estudio interrogándole<sup>159</sup>. Si *per absurdum* un físico pudiese conversar con los electrones, ¿rehusaría preguntarles: por qué saltáis? Ciertamente, no. Sin embargo, el paralelismo físico ha sido exagerado por algunos científicos sociales hasta el punto de que, puesto que no podemos conversar con la materia inerte, tampoco deberíamos conversar con la gente. Existe una razón fundamental para que los físicos abracen el conductismo puro, pero el conductismo puro no tiene sitio en las ciencias del hombre. Como observó F. A. Hayek en su espléndida denuncia del dogma conductista en las ciencias sociales, «cuando hablamos del hombre, implicamos necesariamente la presencia de ciertas categorías mentales familiares»<sup>160</sup>, es decir, las mismas categorías mentales que las poseídas por el que habla. Hasta los físicos creyeron necesario recordar a los científicos sociales que habían decidido ignorar la esencia de su objeto de estudio que «el principal problema para comprender las acciones de los hombres es comprender cómo piensan, cómo trabajan sus mentes»<sup>161</sup>. Y, como he afirmado en muchos sitios de este libro, ningún electrodo, ningún microscopio, ningún aparato físico puede revelarnos cómo trabajan las mentes de los hombres; únicamente la mente de un hombre puede descubrir cómo trabaja la mente de otro hombre, utilizando el puente proporcionado por las categorías mentales familiares y las propensiones comunes a ambos. El hombre no puede ser un instrumento tan preciso como un microscopio, pero es el único que puede observar lo que no pueden todos los instrumentos físicos juntos; porque, si no fuera así, enviaríamos algunos politoscopios a desvelar qué es lo que otras gentes piensan, sienten y pueden ha-

<sup>158</sup> Pareto, *Manuel*, p. 27.

<sup>159</sup> Por ejemplo, Planck, *ibid.*, p. 105; Bohr, *ibid.*, p. 78; H. Margenau, *Open Vistas: Philosophical Perspectives of Modern Science* (New Haven, 1961), p. 198.

<sup>160</sup> F. A. Hayek, *The Counter-Revolution of Science* (Glencoe, Ill., 1952), p. 79.

<sup>161</sup> Bridgman, *Reflections*, p. 450.

cer después, y no a embajadores, consejeros, periodistas y otras clases de observadores; y, como todavía no tenemos politoscopios, no deberíamos enviar a nadie.

Pero tal vez un día lleguemos a darnos cuenta de que el hombre es también un instrumento, el único para estudiar las propensiones del hombre. Ese día no habrá más hombres olvidados, olvidados porque en la actualidad se supone que no sabemos cómo estudiarlos y dar cuenta de lo que piensan, sienten y quieren. Un «ejército de paz», no sólo un «cuerpo de paz», es lo que necesitamos. Admito que esto puede ser un pensamiento utópico, con reminiscencias del eslogan de los *Narodniki*: «Para el pueblo». Pero prefiero ser utópico sobre este punto a serlo respecto de la Nueva Jerusalén que el cientifismo acrítico de uno u otro tipo ofrece como promesa al hombre.

## APÉNDICE A

### SOBRE LA CONSISTENCIA DEL CONTINUO ARITMÉTICO

1. Confío en que el hecho de que haya limitado a los números naturales (en el Capítulo III, Sección 2) mi metáfora de las diferentes cuentas de una sarta sin tal sarta no dará lugar a ningún tipo de recelo. Así pues, resta por ver si es posible que alguna circunstancia en la progresiva construcción del continuo aritmético a partir de números enteros ordenados pero no ensartados puede hacer que la metáfora sea ilícita. En este apéndice, voy a examinar este problema desde un ángulo tan amplio como parece justificar su relación íntima con el tema desarrollado en el Capítulo III.

En la actualidad, el hecho de que exista una gran desfase entre un número entero y su sucesor parece el colmo de lo obvio. Sin embargo, podemos imaginar perfectamente cuentas enteras ensartadas entre sí de tal manera que cada una de ellas toque a sus vecinas. ¿Tendríamos que decir entonces que el conjunto de números enteros es un agregado continuo sin vacío alguno entre sus elementos? Posiblemente se pueda haber pensado alguna vez de este modo, aun cuando no en esos términos sofisticados.

Sea como fuere, a fin de hacer más clara mi argumentación, vamos a suponer que las cuentas enteras están ordenadas de ese modo. Al crecer la necesidad de números (rationales) fraccionarios, nada se opuso a separar las cuentas enteras para hacer sitio a las otras. La introducción de nuevas cuentas cambia la estructura del antiguo conjunto en un único aspecto de interés inmediato. En el nuevo conjunto, entre dos cuentas hay un número infinito de las otras; además, es imposible decir qué cuenta precede o cuál sigue a una cuenta determinada. Ahora bien, esta diferencia no significa que *ahora* las cuentas se encuentren estrechamente unidas por una cuerda. Ya desde Pitágoras se ha sabido que el nuevo conjunto está también lleno de vacíos; es decir, sigue sin haber una cuerda; pero, aunque ignorásemos la existencia de esos vacíos —como lo hacían de hecho los pitagóricos antes de su descubrimiento de la inconmensurabilidad—, estaríamos desconcertados por la sugerencia de que el conjunto de «cuentas» ra-

cionales no está estrechamente unido por una cuerda. Lo que ha sucedido después es una historia habitual.

Con cada nuevo empleo inventado para los números, se descubrió una nueva serie de vacíos en lo que anteriormente se había creído era una entidad «continua». Y no acababan de descubrirse nuevos vacíos cuando estaban ya ocupados con nuevos números. El proceso se repitió varias veces antes de que el conjunto de números alcanzase su actual extensión conocida como el continuo aritmético. No es preciso añadir que durante cada una de las fases precedentes era posible declarar que no podía imaginarse ninguna continuidad más allá de la representada por el sistema numérico conocido en esa época específica. Aún más, *ex post* sabemos que, cuando se formuló, semejante declaración era errónea. Así pues, ¿por qué tendría que estar libre del mismo tipo de autoengaño la misma declaración hecha por Bertrand Russell acerca del continuo aritmético? Como lo observó Poincaré, «el poder creador de la mente [no se ha] agotado con la creación del continuo matemático»<sup>1</sup>. Por consiguiente, sería insensato esperar que no se encontrasen nuevos empleos para los números y, por tanto, que no se descubriesen nuevos vacíos en el continuo de Dedekind y Cantor.

En realidad, no precisamos esperar ni buscar tales empleos. Para poner un ejemplo familiar al economista matemático, el cálculo de probabilidades enseña que la probabilidad de que una variable absolutamente continua,  $X$ , tome un valor dado,  $x$ , es cero. Ahora bien, este «cero» abarca una gama infinita de casos distintos y relevantes. Está el caso en el que a  $X$  le es *absolutamente imposible* tomar el valor  $x$ : la varianza muestral, por ejemplo, no puede tener un valor negativo. Sin embargo, «cero» abarca también el caso en el que  $X$  *debe* tomar necesariamente el valor  $x$  ahora y siempre: en términos abstractos, hay infinitos hombres cuya estatura exacta es de seis pies. Igualmente, los hombres de seis pies de estatura son, en cierto sentido definido, más frecuentes que los de siete pies de estatura. Como quiera que sea, esas diferencias no pueden expresarse *directamente* con ayuda de los elementos del continuo aritmético. Es cierto que podemos desplazar el problema de una diferencia de probabilidades cero a una de densidades de probabilidad, pero ni siquiera este procedimiento nos permite distinguir entre el caso en el que  $X = x$  es imposible y aquel en el que  $X = x$ , a pesar de ser posible, tiene una densidad de probabilidad cero.

Y si, al igual que la mayoría de nosotros, un profesor de estadística ha luchado con inmensas dificultades para hacer entender del todo a sus estudiantes por qué  $\text{Prob}[x_1 \leq X \leq x_2]$  puede ser positiva a pesar de que  $\text{Prob}[X = x] = 0$  para todo  $x$ ,  $x_1 \leq x \leq x_2$ , no debería culparse ni a sí mismo ni a sus estudiantes. Esas dificultades son exógenas a la estadística; sus raíces se

<sup>1</sup> Henri Poincaré, *The Foundations of Science* (Lancaster, Pa., 1946), p. 50.

extienden profundamente dentro del propio análisis matemático. Puede ser que los matemáticos, tras haberse convencido de que el sistema de números reales es «perfecto y relacionado», sean actualmente algo reacios a considerar la idea de que podría ser «imperfecto» por seguir teniendo vacíos que podrían llenarse con nuevos números<sup>2</sup>.

Sea como sea, las actuales dificultades proceden de dos fuentes (como espero demostrar en este apéndice). Por muy sorprendente que pueda parecer, la primera fuente es la confusión creada por la introducción solapada de la idea de medición en una fase prematura del análisis aritmético. La segunda fuente (de carácter subjetivo) es la imposibilidad de construir una escala satisfactoria para lo infinitamente grande o para lo infinitamente pequeño con la sola ayuda de los números reales.

2. Dos cuestiones han de dejarse perfectamente en claro desde el comienzo. En primer lugar, con el fin de señalar diferencias como las que existen entre la probabilidad de que un hombre tenga menos de seis pies de estatura y la probabilidad de que la estatura de un hombre sea exactamente de seis pies, no es necesario que atribuyamos un número real a cada elemento; sería totalmente suficiente ordenar todas las probabilidades en un agregado de elementos no especificados. En segundo lugar, como lo ponen de manifiesto las consideraciones de la sección precedente, no hay nada que nos impida (es decir, no surge ninguna inconsistencia con respecto al orden) intercalar nuevos elementos en el «vacío» obtenido al cortar en dos un agregado ordenado.

Actualmente es un lugar común que la raíz principal del concepto de número es la operación de ordenar elementos y no la de medir cuantías. Un modo más expresivo de decir lo mismo es que el papel básico del concepto de número es el de permitirnos hablar acerca de los elementos de un agregado ordenado. Cuando se les despoja de su ropaje técnico, los números no son más que nombres que pueden darse a los elementos de un agregado ordenado de una manera consistente con la estructura de ese agregado. Así, por ejemplo, los números reales son los nombres que pueden darse a un agregado ordenado que tiene las propiedades características del agregado conocido como el continuo aritmético. Hay que subrayar que es el agregado en cuestión el que determina la forma en que ha de denominarse a sus elementos, y no al revés.

<sup>2</sup> La definición de un conjunto continuo como conjunto perfecto y relacionado pertenece a G. Cantor, *Contributions to the Founding of the Theory of Transfinite Numbers* (Nueva York, sin fecha), p. 72. En lo que respecta a una definición dedekindiana del continuo lineal, véase R. L. Wilder, *The Foundations of Mathematics* (Nueva York, 1956), pp. 140 y s.

Hay que recordar que, en la jerga matemática, un agregado ordenado es «perfecto» si toda secuencia del agregado tiene un elemento restrictivo dentro del agregado y si todo elemento es un elemento restrictivo de tal secuencia. Un agregado ordenado es «relacionado» si entre cualesquiera dos elementos hay otro elemento.

No constituye novedad alguna el hecho de que, dado cualquier agregado ordenado de elementos discretamente diferenciados, podemos construir otro agregado intercalando algunos agregados ordenados entre los elementos del primero. Incluso podemos usar la forma impresa en mayúsculas, Número, para indicar un miembro de un agregado ordenado derivado de este modo a partir del continuo aritmético. Sin embargo, el aspecto que deseo resaltar es que, cualquiera que sea la frecuencia con la que repitamos esta operación, los elementos del nuevo agregado no pueden perder su carácter de ser discretamente diferenciados. En otras palabras, no podemos lograr una continuidad dialéctica a partir de la base de agregados discretamente diferenciados, por muy «densos» que puedan ser éstos.

En este momento, es oportuno mencionar también que «Cero», en el sentido de Nada, es totalmente ajeno al concepto de orden. En un agregado ordenado, a cualquier elemento se le puede dar el nombre de Cero igual que cualquier otro nombre que pudiéramos inventar; pero si al hacerlo así establecemos alguna relación entre ese elemento y Nada, hemos adulterado implícitamente el concepto de orden por una impureza de medición. Todo lo que podamos decir después acerca de esta estructura no pertenece ya al orden puro. Lo mismo es cierto de cualquier uso de «infinito» en relación con un agregado ordenado, si el término implica infinidad real. Difícilmente puedo exagerar mi opinión de que todas las bases axiomáticas propuestas para el sistema de los números naturales, como la famosa de G. Peano<sup>3</sup>, son impuras en este sentido, pues suponen un primer elemento antes del cual hay Nada.

3. Con el fin de actuar de forma sistemática, indiquemos como es habitual el continuo aritmético por  $R$  y dividámosle en dos subconjuntos, los números no positivos y los positivos. En el vacío así creado, coloquemos un conjunto  $[\alpha]$ , consistente en el conjunto ordenado de todos los números positivos. Naturalmente, esta operación lleva al ordenamiento  $Cero \prec \alpha \prec r$  para todo  $\alpha$  y para todo  $r$  positivos. Simétricamente, podemos intercalar el conjunto  $[-\alpha]$  entre el subconjunto de números negativos de  $R$  y su  $Cero$  con el ordenamiento  $-r \prec -\alpha \prec Cero$ . En términos más generales, vamos a definir una agregado  $[p]$  de Números escritos en la forma compleja  $p = (r, \gamma)$ , donde  $r$  y  $\gamma$  son cualesquiera miembros de  $R$ , y ordenemos el agregado de acuerdo con las reglas siguientes:

$$(1) \quad \begin{array}{ll} (r_1, \gamma_1) \prec (r_2, \gamma_2) & \text{si } r_1 < r_2; \\ (r, \gamma_1) \prec (r, \gamma_2) & \text{si } \gamma_1 < \gamma_2. \end{array}$$

Es evidente que este ordenamiento, que representa el ordenamiento familiar de los puntos del plano Euclideo  $(r, \gamma)$  por medio de la regla lexico-

<sup>3</sup> Véase Wilder, *Foundations*, p. 66.

gráfica, es transitivo. Una operación ampliada de suma en  $[p]$  lo sugiere inmediatamente:

$$(2) \quad (r_1, \gamma_1) + (r_2, \gamma_2) = (r_1 + r_2 + \gamma_1 + \gamma_2).$$

Con respecto a esta operación,  $[p]$  es un grupo Abeliano, siendo su módulo  $(0,0)$ .

Intentemos ahora introducir una medida en  $[p]$  que preserve el ordenamiento y la suma (2). No tenemos más que considerar el subconjunto de todos los  $p$  tal que  $(0,0) \prec p \text{ o } p = (0,0)$ . La condición preservadora del orden exige que

$$(3) \quad \text{Med } (0,0) \prec \text{Med } (0,\gamma) \prec \text{Med } (r,0)$$

para todo  $\gamma > 0$ . A partir de (2), obtenemos  $n \times (1,0) = (n,0)$ , para cualquier número entero  $n$ , y, a partir de aquí, a través de un procedimiento muy conocido, podemos deducir  $r \times (1,0) = (r,0)$ . Esta relación nos induce a definir

$$(4) \quad \text{Med } (r,0) = r, \quad r \geq 0,$$

y a sustituir la (3) por

$$(5) \quad 0 < \text{Med } (0,\gamma) < r$$

para todo  $r > 0$ . En esta fase, se invoca un principio fundamental de la teoría de la medida, que dice que una medida menor que cualquier número positivo es cero<sup>4</sup>. Sobre esta base, a partir de (5) se concluye que para todo  $\gamma > 0$

$$(6) \quad \text{Med } (0,\gamma) = 0,$$

conclusión a la que me volveré a referir más adelante (Sección 10).

Observemos también que a partir de las ecuaciones (1) y (2) se sigue que, para  $\gamma > 0$ ,  $r > 0$ ,

$$(7) \quad Si(0,\gamma) = (0,n\gamma) = n(0,\gamma) \prec (r,0), \quad i \in [n]$$

donde la suma abarca tantos términos como la potencia del conjunto  $[n] = (1,2,\dots,n)$ . Por consiguiente, frente a lo que sucede en el caso de  $R$ , el conjunto  $[p]$  no satisface el axioma de Arquímedes; en otras palabras, no pue-

<sup>4</sup> Este principio se ha usado implícitamente en el análisis matemático mucho antes de que Émile Borel inaugurase la moderna teoría de la medición. El propio Borel lo usó implícitamente en su análisis de conjuntos de medida cero (Émile Borel, *Leçons sur la théorie des fonctions*, París, 1898, p. 47), pero fue más explícito en su obra *Les nombres inaccessibles* (París, 1952), p. 128. Por regla general, no obstante, el principio sólo está imperfectamente expresado: por ejemplo, «la medida lineal del conjunto de puntos en un intervalo lineal  $(a,b)$  se supone que es  $b - a$ », sin tener en cuenta si se incluyen o no los puntos finales, o «un intervalo lineal tiene la medida del plano cero». E. W. Hobson, *The Theory of Functions of a Real Variable and the Theory of Fourier's Series* (2 vols., Nueva York, 1957), I, p. 165.

de alcanzarse ningún Número  $(r,0)$  sumando repetidamente un  $(0,\gamma)$ . Podemos expresar este hecho diciendo que, con respecto a  $(0,\gamma)$ , todo  $(r,0)$  es un *Número infinitamente grande*. Para ver la implicación completa de esta conclusión, observemos que para el subconjunto  $[(0,\gamma)]$  podemos establecer una escala gracias al mismo procedimiento utilizado para  $(r,0)$ . En esta *segunda* escala,

$$(8) \quad \text{med } (0,\gamma) = \gamma, \quad \text{med } (r,0) = \infty,$$

habiéndose obtenido la última relación a partir de  $\text{med } (0,\gamma) < \text{med } (r,0)$  invocando otro principio de medición, en concreto, que un número mayor que cualquier número positivo es infinito,  $\infty$ .

Las relaciones (8) son los correlativos evidentes de (4) y (6). Y, dado que queremos que la medición sea compatible con la operación de suma, tenemos en general

$$(9) \quad \text{Med } (r,\gamma) = r$$

y

$$(10) \quad \text{med } (r,\gamma) = \infty \text{ ó } \gamma,$$

según sea  $r > 0$  ó  $r = 0$ .

4. No tenemos que añadir nada más para conectar el conjunto  $[(0,\gamma)]$  con el concepto de infinitésimo que surgió de las aproximaciones sucesivas de Newton y que ha sido, a lo largo de los años, objeto de controversias en las que han participado algunos de los más grandes matemáticos<sup>5</sup>. No más de diez años tras la muerte de Newton, un famoso filósofo, Bishop Berkeley, denunció los infinitésimos como «fantasmas de cantidades difuntas»; en nuestro siglo, otro famoso filósofo protestó de que «la filosofía del infinitésimo... es fundamentalmente negativa»<sup>6</sup>. A menudo hemos leído también que G. Cantor y G. Peano demostraron «la no existencia de magnitudes en realidad infinitamente pequeñas»<sup>7</sup>.

La verdad es que lo que únicamente demostraron fue que esos números infrafinitos —como es preferible llamarlos a fin de evitar cualquier confusión con los infinitésimos del cálculo— no satisfacen todos los axiomas del continuo aritmético. A la vista de esta diferencia, puede estar justificado considerar que «en el análisis aritmético, no tiene cabida la noción de lo realmente infinitésimo». Evidentemente no tiene cabida, pero sólo porque (como veremos en la Sección 10 posterior) se le desterró del análisis mate-

mático a través de un postulado oculto. Afirmar entonces —como lo hizo Hobson a continuación— que el número infrafinito es una «variable en un estado de flujos, nunca un número,... una forma de expresión, atractiva como es para un modo de pensar que es esencialmente no aritmético» es tratar un serio problema de acuerdo con la idea Berkeley-Russell<sup>8</sup>.

Es cierto que la sustitución de cualquier número real por un campo infrafinito, como en la construcción de  $[p]$ , suprime la propiedad de Arquímedes del sistema de números reales<sup>9</sup>, pero así lo hace también el perfeccionamiento de  $R$  por los números cardinales transfinitos, los números Alfa (Aleph) de Cantor. Estos satisfacen

$$(11) \quad \sum X_i < X_{i+1}, \quad i \in I,$$

incluso aunque  $I$  tenga la potencia de  $X_i$ . En realidad, en apoyo de lo infrafinito podemos invocar la propia defensa de Cantor de lo transfinito: «Todas las pretendidas demostraciones de la imposibilidad de los números realmente infinitos son... falsas en cuanto comienzan atribuyendo a los números en cuestión todas las propiedades de los números finitos, mientras que los números infinitos... deben constituir por el contrario una nueva clase de números»<sup>10</sup>.

En consecuencia, tendríamos que esperar que algunas proposiciones sobre lo infrafinito irritasen nuestro normal sentido común del mismo modo que lo hicieron antes otras, referentes a lo transfinito. Así, por ejemplo, las relaciones establecidas en la sección anterior llevan a

$$(12) \quad \text{Med } (r,0) + \text{Med } (0,\gamma) = \text{Med } (r,0).$$

Indudablemente, esto es lo que Johann Bernoulli, S. D. Poisson y muchos otros matemáticos clásicos pensaban al decir que «una cantidad que está aumentada o reducida en una cantidad infinitamente pequeña ni aumenta ni se reduce». Esta forma de expresar sus ideas puede no ser precisamente afortunada, pero denunciar la propia idea por rayar «con la mística y el absurdo»<sup>11</sup> es síntoma de una desafortunada parcialidad, porque actualmente no observamos ya nada místico o absurdo en la relación correlativa de la (12),

$$(13) \quad \text{med } (r,0) + \text{med } (0,\gamma) = \text{med } (r,0).$$

Sobre esta misma idea —que con respecto a una escala infrafinita todos los números finitos tienen una medida infinita de la misma manera que

<sup>5</sup> Véase Cantor, *Contributions*, p. 81; Hobson, *Theory of Functions*, I, pp. 57 y s.

<sup>6</sup> George Berkeley, «The Analyst or, A Discourse Addressed to an Infidel Mathematician», *The Works of George Berkeley* (4 vols., Oxford, 1901), III, p. 44; Bertrand Russell, *Mysticism and Logic* (Nueva York, 1929), p. 84.

<sup>7</sup> Phipip E. B. Jourdain en el Prefacio a Cantor, *Contributions*, p. 81.

<sup>8</sup> Hobson, *Theory of Functions*, I, p. 43.

<sup>9</sup> A efectos de completar lo anterior, podemos añadir que también se echa por la borda otra de las propiedades de  $R$ —la separabilidad—. Véase Wilder, *Foundations*, pp. 140 y s.

<sup>10</sup> Cantor, *Contributions*, p. 74. Las cursivas son mías.

<sup>11</sup> H. Eves y C. V. Newsom, *An Introduction to the Foundations and Fundamental Concepts of Mathematics* (Nueva York, 1958), p. 186. También E. T. Bell, *The Development of Mathematics* (Nueva York, 1940), p. 263.



todos los números transfinitos tienen una medida infinita en una escala finita— erigió G. Veronese su geometría de lo infrafinito y lo transfinito<sup>12</sup>. En términos más generales, hay —como vamos a exponer ahora— una sucesión infinita (en ambos sentidos) de clases de Números, teniendo cada clase su propia escala; cualquier clase es *finita* con respecto a su escala, *transfinita* con respecto a la de la clase inmediatamente anterior e *infrafinita* con respecto a la de su sucesora. Qué escala pueda elegirse como escala finita es una cuestión tan arbitraria como la elección del origen de coordenadas a lo largo de una línea recta homogénea<sup>13</sup>.

5. Está fuera de duda que existen innumerables casos en los que sin el infrafinito sería imposible expresar las diferencias que las sutilezas analíticas han creado y crean continuamente en su marcha aparentemente irreversible. El conjunto  $[p]$ , aun cuando es solamente un primer e imperfecto paso en el mundo de lo infrafinito, proporciona algunas ilustraciones sencillas. Así, si la gama de posibles valores de una variable estocástica absolutamente continua,  $X$ , es  $(A, B)$ , la probabilidad de  $X = x$ ,  $A \leq x \leq B$ , viene representada por algún  $(0, \gamma)$ , en tanto que las probabilidades de  $A < x_1 < X \leq x_2 < B$ ,  $A < x_1 \leq X < x_2 < B$  están representadas por dos diferentes  $p$ ,  $(r, \gamma_1)$  y  $(r, \gamma_2)$ . Para una ilustración todavía más instructiva, consideremos el caso sencillo en el que  $\text{Prob}[X = x] = (0, \gamma)$  para cualquier  $A \leq x \leq B$ . En este caso, gracias a una fructífera analogía con la integral de Lebesgue, podemos escribir

$$(14) \quad S_i(0, \gamma) = [\gamma(B - A), 0], \quad i \in (A, B),$$

donde  $S_i$  es una suma en la que existe un término para cada elemento del intervalo  $(A, B)$ . No tenemos más que sustituir cada uno de los lados de la relación (14) por las medidas correspondientes para transformarla en el caso más sencillo de la integral de Lebesgue. Lo que la relación (14) dice es, por otra parte, que, a pesar de que el axioma de Arquímedes no actúa en el caso de una suma *numerable* de números infrafinitos, podría hacerlo si la potencia de la suma es la del continuo aritmético. Que esto no es siempre cierto, se demuestra por el hecho de que, de acuerdo con la misma idea de Lebesgue,

<sup>12</sup> Giuseppe Veronese, *Fondamenti di Geometria* (Padua, 1891), obra de la que existe también una traducción alemana, *Grundzüge der Geometrie* (Leipzig, 1894).

<sup>13</sup> Sobre esta misma base (la homogeneidad de la línea recta), Veronese (*Fondamenti*, pp. 101-103) afirmó que, en contraposición a la secuencia ordinal transfinita de Cantor  $\omega$ ,  $\omega + 1$ ,  $\omega + 2$ ,  $\omega + 3$ , ..., deberíamos concebir el infinito  $\infty_1$  no sólo seguido por  $\infty_1 + 1$ ,  $\infty_1 + 2$ ,  $\infty_1 + 3$ , ..., sino también precedido por ...,  $\infty_1 - 3$ ,  $\infty_1 - 2$ ,  $\infty_1 - 1$ . «No existe ningún primer número infinito», porque en la infinidad homogénea hay «muchos números  $\infty_1 - n$ , distintos de  $\infty_1$ , entre los números finitos y el número  $\infty_1$ ». Es instructivo relacionar esta postura con el hecho de que en el sistema cantoriano la proposición de que  $X_0$  es el primer número transfinito se ha demostrado únicamente con ayuda del controvertido Axioma de la Elección, de Zermelo (mencionado en la nota 24 del Capítulo III). Véase Hobson, *Theory of Functions*, I, p. 208.

$$(15) \quad \text{Med}[S_i(0, \gamma)] = 0, \quad i \in \Gamma,$$

donde  $\Gamma$  denota el famoso conjunto ternario de Cantor<sup>14</sup>.

6. No puede negarse que el velo de la medición numérica oculta el infinito espectro de diferencias que realmente existen. Así es, por ejemplo, la diferencia entre  $S_i(0, \gamma)$ ,  $i \in \Gamma$ , y  $S_i(0, \gamma)$ ,  $i \in N$ , donde  $N$  es el conjunto de todos los números enteros positivos. El problema consiste en saber si hay alguna escala sobre la que puedan representarse sistemáticamente esas diferencias.

El primer paso hacia la construcción de una escala semejante lleva consigo la solución de un problema relativamente sencillo: qué tipo de número infrafinito tendría que sustituir a  $(0, \gamma)$  en la expresión (15) o en  $S_i(0, \gamma)$ ,  $i \in N$ , para que esas sumas tuviesen una medida finita. En otras palabras, ¿hay un número infrafinito  $\pi$  tal que  $\text{Med}(S_i, \pi) = 1$  para  $i \in N$ ? Aun cuando esta última cuestión pueda parecer que es la más sencilla de su tipo, es especialmente adecuada para mostrar lo inmensamente complejos que son los problemas planteados por el concepto de lo infrafinito.

La cuestión se encuentra relacionada con el problema de elegir un número entero positivo *completamente al azar*, es decir, por un procedimiento tal que la probabilidad de elegir cualquier número entero sea la misma. Dentro del análisis aritmético, la respuesta es que esta probabilidad,  $\pi$ , es cero. Se trata de una respuesta paradójica, porque, si  $\pi = 0$ , la probabilidad de elegir un número que no sea mayor que  $n$  es  $S_i, \pi = 0$ ,  $i \in [n]$ , para cualquier  $n$ . Como observa Borel, hemos de concluir que el número elegido será seguramente un «número inaccesible», es decir, un número que supera el límite, no de nuestro poder de imaginación, sino de nuestra capacidad de tratar con él en la realidad. Sobre la base de esta paradoja, Borel afirma que la distribución uniforme a lo largo de un conjunto numerable es un absurdo matemático. Así, hay que asignar necesariamente menores probabilidades a los números inaccesibles, de modo que, cuanto más inaccesibles son, menores sus probabilidades<sup>15</sup>. Borel admite ciertamente que esta conclusión se basa en gran medida en consideraciones *prácticas*. Ahora bien, hay que subrayar que, si las consideraciones prácticas se convirtiesen en el criterio de separación entre sentido y sin sentido, mucho de lo que pasa por alta matemática no sería más que un sin sentido.

Ahora bien, la argumentación de Borel puede aplicarse incluso aunque

<sup>14</sup> A este respecto, véase, por ejemplo, B. R. Gelbaum y J. M. H. Olmsted, *Counterexamples in Analysis* (San Francisco, 1964), pp. 85-87.

<sup>15</sup> Borel, *Les nombres inaccesibles*, pp. 37-42. A propósito, el concepto de Borel de un número inaccesible proporciona una ilustración especialmente interesante de los conceptos omnipresentemente dialécticos en mi propio sentido. Existe únicamente un límite imperfectamente definido (es decir, una penumbra limitada por otras penumbras) que separa los números accesibles de los inaccesibles. Sin embargo, esto no nos impide estar seguros de que 11 es un número accesible y 1.000<sup>1.000</sup> un número inaccesible (Borel, *ibid.*, p. 4).

se asuma la existencia de un número infrafinito,  $\pi$ , tal que  $\text{Med}(S; \pi) = 1$ ,  $i \in N$ : porque, entonces, necesariamente  $\text{Med}(S; \pi) = 0$ ,  $i \in [n]$ . Y esto no constituye en absoluto una paradoja distinta de la que surge del contraste entre (14) y (15). Así pues, el caso de las probabilidades numerables no puede particularizarse sobre esta base. En mi opinión, lo que individualiza una suma numerable con respecto a una suma continua, como la (14) o la (15), es el hecho de que todavía no existe ningún concepto de medición dentro de un conjunto numerable. Esta es la explicación del hecho, resalado por Borel, de que, aun cuando la noción de los matemáticos de una serie ilimitada de números enteros es «aparentemente tan clara y precisa», el problema de la probabilidad en lo numerable es más complicado que en la compleja estructura del continuo<sup>16</sup>.

De acuerdo con una idea de Borel, podemos admitir que el conjunto de puntos de la abscisa  $(10, 10^2, 10^3, \dots)$  es más enrarecido que el de la abscisa  $(1, 2, 3, \dots)$ <sup>17</sup>. En el caso en que el orden de los elementos viene dado por los datos objetivos del problema, podemos utilizar fácilmente la observación de Borel para construir una medición. La medición del subconjunto  $[mn]$  de  $N$  para un  $m$  dado es  $1/m$ , y la de  $[10^n]$  es cero. Sin embargo, el concepto de un conjunto numerable implica únicamente que existe cierta forma, no una *determinada*, de ordenar los elementos exhaustivamente en una secuencia. Casi todos los conjuntos numerables de puntos en un espacio de mayor dimensión que la primera no están asociados con un orden «natural». Este aspecto tiene una ilustración excelente en una paradoja usada por Borel contra la distribución uniforme a lo largo de un conjunto numerable y que es independiente de que se admita o no la existencia del infrafinito  $\pi$ .

F. Hausdorff ha demostrado que en una esfera podemos construir tres conjuntos numerables inconexos  $A, B, C$ , tales que una rotación haga que  $A$  coincida con  $C + B$ , y que otra rotación haga que  $A$  coincida con  $B, B$  con  $C$  y  $C$  con  $A$ . A partir de la idea aparentemente inevitable de que las probabilidades de elegir un punto entre los conjuntos de puntos que son

<sup>16</sup> Émile Borel, *Probability and Certainty* (Nueva York, 1963), p. 79; Borel, *Les nombres inaccessibles*, p. 100. La cuestión es más desconcertante de lo que sugiere la observación de Borel. Como lo señaló Paul Lévy, en *Théorie de l'addition des variables aléatoires* (París, 1937), p. 25, en el caso de las distribuciones de probabilidad a lo largo de un conjunto con una potencia mayor que la del continuo «hay un caos completo». Esta situación se debe indudablemente —admitámoslo— al hecho de que el concepto de medida se basa en nuestras nociones intuitivas de longitud, superficie y volumen. Posiblemente, el rechazo a tener nada que ver con lo infrafinito nos impide enfocar el problema desde la dirección sugerida anteriormente: ¿qué tipo de infrafinito  $\sigma$  corresponde a  $\text{Med}(S; \sigma) = 1$ ,  $i \in F$ , si  $F$  es un conjunto con una potencia determinada mayor que la del continuo?

<sup>17</sup> Borel, *Les nombres inaccessibles*, pp. 85 y s. Naturalmente, si aceptamos que los conjuntos se «reorganicen» en el sentido usado con frecuencia en el análisis de las potencias numerables, la rarefacción pierde todo su sentido. Pero no debemos olvidar que la reorganización destruiría la medida incluso en el continuo: al reorganizar  $\Gamma$ , podemos atribuirle cualquier medida que queramos. Se trata aquí de cuestiones matemáticas que siguen sin resolverse.

congruentes en la geometría euclídea son iguales, se deduce que  $\text{Prob}[x \in A] = \text{Prob}[x \in B] + \text{Prob}[x \in C]$ , en la primera rotación, y  $\text{Prob}[x \in A] = \text{Prob}[x \in B] = \text{Prob}[x \in C]$ , en la segunda. Todas esas probabilidades deben ser cero, pero si  $A, B, C$ , son los únicos conjuntos de entre los que se elige un punto, las mismas probabilidades deben sumar la unidad. De aquí surge la paradoja<sup>18</sup>.

7. Es elemental que el número infrafinito  $\tau$  que satisficiera  $\text{Med}(S; \tau) = 1$ ,  $i \in \Gamma$ , debe pertenecer a una clase diferente de la de  $(0, \gamma)$  en (14) o de la de  $\pi$  en  $\text{Med}(S; \pi) = 1$ ,  $i \in N$ . El hecho de que el producto de dos números infrafinitos  $(0, \gamma_1) \times (0, \gamma_2)$  no pueda pertenecer a  $[p]$  sin contradecir su estructura no arquimediana nos lleva también a la misma conclusión. Estamos así inducidos a definir  $(0, \gamma_1) \times (0, \gamma_2) = (0, 0, \gamma_1 \gamma_2)$ , donde  $(0, 0, \gamma_1 \gamma_2)$  es un número infrafinito de segundo orden. Obviamente, esto nos vuelve a llevar a la misma regresión infinita que la tan minuciosamente descrita por Cantor: «en la sucesiva formación de las clases de números, podemos ir siempre más lejos, sin alcanzar nunca un límite que no pueda sobrepasarse, de modo que nunca alcanzamos ni siquiera una [comprensión] aproximada de lo Absoluto... Lo Absoluto sólo puede [concebirse], pero nunca [realizarse] ni siquiera aproximadamente»<sup>19</sup>. La diferencia es que lo infrafinito se mueve en el sentido opuesto, desde lo finito a la Nada Absoluta que, si uno se para a pensar sobre ello, es una noción filosófica tan desconcertante como el Infinito Absoluto. Borel llegó incluso a pensar que «lo infinitamente pequeño, aun cuando aparentemente más cercano a nosotros y más familiar que lo infinitamente grande, es, hablando en términos relativos, más difícil de medir y de entender»<sup>20</sup>.

Una idea muy sencilla para resolver la regresión infinita de las clases infrafinitas consiste en definir un Número

$$(17) \quad \rho = (r_1, r_2, r_3, \dots)$$

<sup>18</sup> Borel, *Les nombres inaccessibles*, pp. 95-100 y 124-126; Borel, *Les paradoxes de l'infini* (2ª edic., París, 1946), pp. 198-210. Borel complica aún más la paradoja utilizando el Axioma de la Elección, de Zermelo, para dividir la totalidad de la esfera en tres conjuntos que tienen las mismas propiedades que  $A, B, C$ . Sin embargo, en este caso podría objetarse que, dado que esos conjuntos no son mensurables, no debería hablarse de probabilidad en relación con ellos. En matemáticas, «probabilidad» y «medida» son conceptos intercambiables. En consecuencia, está lejos de ser cierto que la paradoja de Hausdorff demuestre —como afirma Borel en *Les paradoxes*, p. 210— que ha de descartarse el axioma de Zermelo.

<sup>19</sup> Cantor, *Contributions*, p. 62n. Evidentemente, Cantor tenía en mente el Absoluto Infinito de Hegel, es decir, el infinito,  $\Omega$ , para el que no es permisible escribir  $\Omega + 1$ , porque no hay nada que no esté ya cubierto por  $\Omega$ . En consecuencia, ni la antinomia de Burali-Forti ni la de Bertrand Russell pueden actuar en el caso de  $\Omega$ . En realidad, la solución propuesta por Bertrand Russell para su antinomia —en concreto, eliminar de la Lógica el concepto de «la clase de todas las clases»— equivale a decir que la Lógica debería reconocer que  $\Omega$  es la única clase que no puede ser miembro de ninguna clase que contenga a otros miembros. (En lo que respecta a las antinomias mencionadas, véase Wilder, pp. 55 y s. y 124).

<sup>20</sup> Émile Borel, *Probability and Certainty*, p. 84.

tal que  $r_i$  sea un número infrafinito de primer orden con respecto a  $r_{i-1}$ , de segundo orden con respecto a  $r_{i-2}, \dots$  y un número transfinito de primer orden (no en el sentido de Cantor) con respecto a  $r_{i+1}$ , y así sucesivamente. La idea de ordenar este nuevo agregado de acuerdo con la regla lexicográfica es totalmente natural. Tanto las operaciones de adición y multiplicación como las definiciones de medida en varias escalas se extienden fácilmente a  $[\rho]$  de la misma manera que la utilizada para  $[p]$ . La operación de división es, por tanto, sencilla, como puede ilustrarse con el sencillo caso de

$$(18) \quad \rho : (1, \gamma) = \rho \times (1, -\gamma, \gamma^2, -\gamma^3, \dots).$$

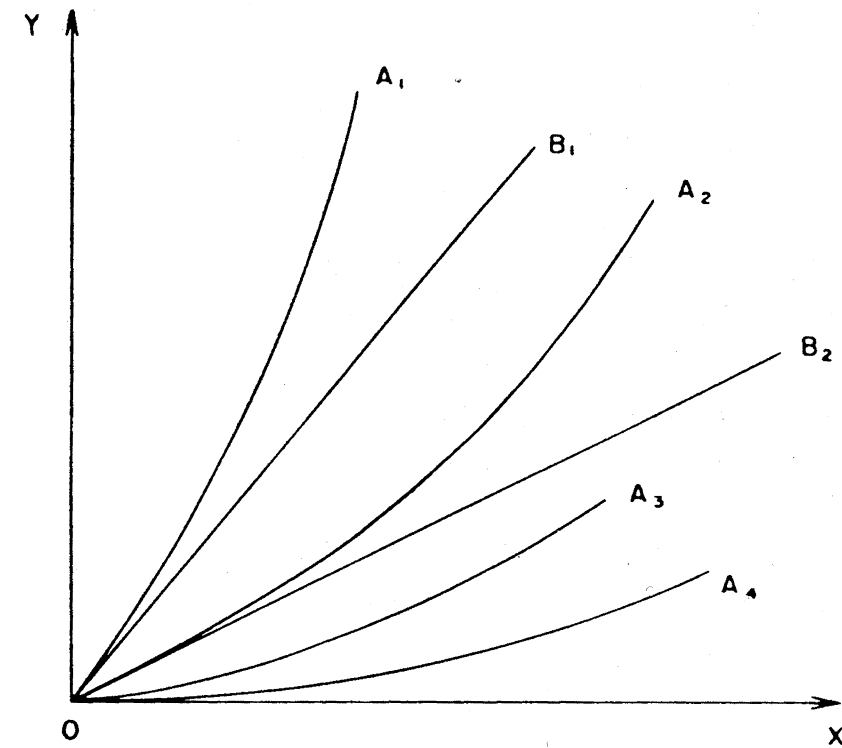
Lo novedoso de la idea de Veronese con respecto a la de Dedekind es que la línea geométrica se compone de todos los puntos que tienen un  $[\rho]$  como abscisa, no sólo de aquellos cuyas abscisas son números reales. Sin embargo, estamos condicionados tan a fondo a pensar únicamente de acuerdo con la línea del postulado de Dedekind<sup>21</sup> que somos capaces de tratar la representación de la línea a través de un continuo de Veronese como absurdo matemático. Con todo, nadie más que David Hilbert, el fundador de la geometría axiomática pura, demostró que una geometría no arquimediana, como la de Veronese, funciona tan bien como la de Dedekind<sup>22</sup>.

8. A la vista de las numerosas proclamaciones dogmáticas de que sencillamente no existe el infinitésimo *real*, no deberíamos dejar de mencionar una aplicación muy elemental de  $[\rho]$ , en la que el infrafinito es tan real que hasta un alumno de grado medio sería capaz de dibujarla en un papel. Los ángulos llanos normales, como el  $B_1OX$  en la Figura 3, se miden por una escala de números reales finitos. Ahora bien, pueden considerarse también —como lo hicieron hasta los geómetras griegos— los ángulos curvos, formados por una línea recta y una curva o por dos curvas.  $A_1OB_1$  y  $A_2OA_3$  son ejemplos de tales ángulos. Es lógico que el ángulo curvo  $A_1OX$  pueda considerarse mayor que el  $A_2OX$ : los correspondientes ángulos llanos formados por las tangentes a  $OA_1$  y  $OA_2$  satisfacen la desigualdad  $B_1OX > B_2OX$ . Es igualmente lógico que el ángulo curvo  $A_1OX$  pueda considerarse mayor que el ángulo llano  $B_1OX$ . El problema pone de manifiesto sus aspectos más profundos si consideramos los ángulos curvos  $A_3OX$  y  $A_4OX$  (siendo  $OA_3$  y  $OA_4$  tangentes a  $OX$  en  $O$ ). Dado que para esos dos ángulos los correspondientes ángulos llanos son cero, su diferencia puede

<sup>21</sup> R. Dedekind, *Essays on the Theory of Numbers* (Chicago, 1924), pp. 6-8; véase también la nota 22, Capítulo III.

<sup>22</sup> David Hilbert, *The Foundations of Geometry* (2.ª edic., Chicago, 1921), pp. 34-36. En relación a mi tesis sobre la textura granular del continuo aritmético, es muy importante mencionar que Dedekind, *Essays*, pp. 37 y s., conjeturó correctamente que la validez de los *Elementos* de Euclides no se ve afectada si, por el contrario, «afinamos» la línea excluyendo de ella todos los puntos cuyas abscisas son números trascendentales.

Figura 3



mostrarse únicamente en otra escala, una escala infrafinita entre lo finito y cero. Y en esta escala, a su vez, no es posible representar todas las diferencias de segundo orden, es decir, las diferencias entre las diferencias mostradas por ángulos tales como  $A_3OX$  y  $A_4OX$ .

La forma en que puede resolverse, en parte, esta desconcertante cuestión con ayuda de  $[\rho]$  se hace perfectamente evidente si consideramos sólo las curvas,  $(OA)$ , que en las proximidades del origen son convexas y que están representadas por una función analítica

$$(19) \quad \gamma = r_1x + r_2x^2 + r_3x^3 + \dots, \quad r_1 \geq 0, r_2 \geq 0.$$

El agregado de los ángulos curvos constituidos por esas curvas con  $OX$  en  $O$  constituye un ejemplo palmario de un agregado ordenado de elementos cuantitativos, debido a que este continuo no es lo suficientemente rico en «cuentas». Volviendo a una geometría sencilla, si para dos curvas,  $C'$  y  $C''$ , tenemos  $r_1' > r_1''$ , el mayor ángulo curvo formado con  $OX$  es el de  $C'$ . Si, como sucede en el caso de  $OA_3$  y  $OA_4$ ,  $r_1' = r_1''$ , pero  $r_2' > r_2''$ , el mayor ángulo es el de  $C'$ , a pesar de que la diferencia entre los dos ángulos, medida en la misma escala que en el caso precedente, es cero. Cualquier ángulo

curvo, como el  $A_3OX$ , representa algún número infrafinito. Por consiguiente, lo infrafinito, lejos de ser un fantasma de cantidades difuntas, está «en carne y hueso» directamente ante nosotros para todo aquel que quiera verlo.

La clase de funciones (19) puede extenderse, en primer lugar, para incluir hasta funciones no analíticas siempre que tengan derivadas de cualquier orden para  $x = 0$ . En este contexto, Felix Klein hace la muy interesante observación de que el ángulo curvo constituido por la función  $y = Ae^{-1/x^2}$ ,  $A > 0$ , cuyas derivadas de todos los órdenes son cero para  $x = 0$ , es menor que cualquier ángulo formado por una curva (19)<sup>23</sup>. Sin embargo, constituiría un grave error por nuestra parte concluir a partir de esta observación que las funciones de Klein llenan todo el «espacio» entre lo finito y cero, y sería una equivocación colosal pensar que podemos alcanzar el cero a través de tales funciones. El cero corresponde solamente a  $y = 0$ ; y  $Ae^{-1/x^2} > 0$ , para todo  $A > 0$ ,  $x > 0$ . Un aspecto todavía más sutil es que hay funciones ( $y = Ae^{-1/x^4}$ , por ejemplo) que forman un ángulo curvo menor que los de las funciones de Klein y además otros que forman un ángulo menor que los formados por las funciones «súper Klein», y así *ad infinitum*. Vemos así que  $\rho = [0,0,0,\dots]$ , abarca también una infinita variedad de ángulos curvos, no sólo el ángulo que no tiene absolutamente contenido alguno. Además, los ángulos curvos de muchas curvas, aunque diferentes, están representados por la misma  $\rho$ , siendo ahora la razón de distinta esencia. Por ejemplo, los ángulos formados con  $OX$  por las curvas de  $y = x^{3/2}$  e  $y = x^{4/3}$  corresponden a la misma  $\rho = (0, +\infty, -\infty, +\infty, \dots)$ . Nos vemos así obligados a ver cómo podemos distinguir entre un  $\infty$  y otro  $\infty$ . Todo esto demuestra que ni siquiera  $[\rho]$  es lo suficientemente rico como para describir todas las posibles diferencias existentes entre los ángulos curvos.

9. El aspecto correlativo para el paso de lo finito al Infinito Absoluto se conoce desde hace tiempo. Me refiero al descubrimiento por Paul du Bois-Reymond de una secuencia infinita de funciones cada vez más crecientes

$$(20) \quad \varphi_1(x) \prec \varphi_2(x) \prec \varphi_3(x) \prec \dots \prec \varphi_n(x) \prec \dots,$$

donde la expresión «cada vez más crecientes» significa que, dado cualquier  $K > 0$ , hay un  $X_n > 0$  tal que para todo  $x > X_n$  tenemos  $\varphi_{n+1}(x) > K\varphi_n(x)$ . El famoso teorema demostrado por Bois-Reymond dice que para cualquier secuencia (20) podemos encontrar una función aún más rápidamente creciente,  $\varphi$ , es decir, tal que  $\varphi_n \prec \varphi$  para todo  $n$ . Un segundo teorema dice que, para cualquier  $\varphi$  que satisfaga esta condición, podemos encontrar una función  $\psi_1$  tal que  $\varphi_n \prec \psi_1 \prec \varphi$  para todo  $n$ . Por reiteración, obtenemos el modelo ordinal

<sup>23</sup> Felix Klein, *Elementary Mathematics from an Advanced Standpoint: Geometry* (Nueva York, 1939), p. 206.

$$(21) \quad \varphi_1 \prec \varphi_2 \prec \varphi_3 \prec \dots \prec \psi_3 \prec \psi_2 \prec \psi_1 \prec \varphi.$$

Este modelo demuestra que no hay escala de Arquímedes para todas las clases de lo infinitamente grande<sup>24</sup>.

Indudablemente, las vías de lo finito al Cero Absoluto o al Infinito Absoluto a través del campo del Análisis son igualmente largas y nunca alcanzan sus destinos finales. Puede ser difícil comprender este hecho si insistimos en mirar sólo los escasos mojones colocados en esas vías por el continuo aritmético.

10. Para poder resumir la argumentación técnica de este apéndice, precisamos volver al punto, antes mencionado, relativo al postulado oculto en cuya virtud lo infrafinito está excluido *ab initio* del análisis aritmético. Una fábula nos permitirá acallar algunas de las ideas preconcebidas que nuestro hábito aritmético de pensar puede hacer que nos pillen desprevenidos.

Imaginemos una lámpara maravillosa que se «enciende» y se «apaga» por sí sola indefinidamente de acuerdo con el calendario siguiente. La lámpara está encendida en  $t = 0$ ; por consiguiente, en cada instante

$$(22) \quad t_n = 1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{2^2} + \dots + \frac{1}{2^{n-1}}, \quad (n = 1, 2, 3, \dots),$$

la lámpara se «apaga» o se «enciende» por sí sola según que  $n$  sea un reloj extraño o incluso un reloj con sentido del tiempo<sup>25</sup>. Varios aspectos tendrían que quedar ahora en claro, si bien no todos pueden ser inmediatamente evidentes.

<sup>24</sup> G. H. Hardy, *Orders of Infinity: The "Infinitärrechnung" of Paul du Bois-Reymond* (Cambridge, Engl., 1924), pp. 11 y s. Dado que la ordenación de (21) recuerda las secuencias ascendente y descendente por las que se definen los números irracionales en un enfoque familiar, es oportuno señalar —para su uso posterior— que la (21) no define necesariamente una función de corte  $X$ , es decir, tal que  $\varphi_n \prec X \prec \psi_m$  para todo  $n$  y todo  $m$ . En efecto, sea  $(\psi)$  la clase de funciones para las que existe  $\int \psi^{-1} dx$ , y  $(\varphi)$  la clase de aquellas para las que no existe la misma integral. Evidentemente, ninguna función corresponde a esta división. En lo que se refiere a estas y otras observaciones altamente interesantes en relación con el problema de la escala, véase Borel, *Leçons sur la théorie des fonctions*, pp. 111-119.

<sup>25</sup> La cuestión aparentemente obvia de que ninguna lámpara real podría verdaderamente parpadear de la forma descrita, cuestión que en su esencia se remonta a Aristóteles, *Physics*, 263<sup>b</sup> 15-35, no se ha dado por sentada por todos los filósofos. Fue Bertrand Russell, en «The Limits of Empiricism», *Proceedings of the Aristotelian Society*, XXXVI (1935/6), pp. 143 y s., quien lanzó la idea de que realizar un número infinito de diferentes tareas en un intervalo de tiempo finito no es un absurdo lógico. Sin embargo, la lámpara maravillosa permitió a J. F. Thomson, en «Tasks and Super-Tasks», *Analysis*, XV (1954), pp. 1-13, refutar la idea. Recientemente, empero, parece existir un creciente entusiasmo por proyectos de máquinas que, supuestamente, realizan supertareas del tipo de imprimir todos los decimales de  $\pi$  o de enumerar todos los números enteros dentro de un intervalo temporal finito. Véase A. Grünbaum, «Are "Infinity Machines" Paradoxical?», *Science*, 26 de enero de 1968, pp. 396-406.

En primer lugar, dado que  $t_n$  es un número racional *más pequeño* que  $t^* = 2$ , ningún tipo de lógica puede hacer que consideremos que  $t^*$  es miembro del agregado  $(t_1, t_2, t_3, \dots)$ . En segundo lugar, el estado de la lámpara —hay cuatro estados en total— está completamente determinado en cada instante  $t$  si  $t$  es un número real tal que  $0 < t < t^*$ . En tercer lugar, *sin información adicional* es imposible determinar el estado de la lámpara en  $t = 100$  o ni siquiera en  $t^*$ : la fábula no dice una sola palabra sobre esos estados<sup>26</sup>; así, por ejemplo, la lámpara podría «desaparecer» en  $t^*$  sin contradecir la fábula. En cuarto lugar —lo que constituye el aspecto más importante—, la lámpara podría desaparecer también incluso en un instante  $t'$  anterior a  $t^*$ .

Debemos esperar que casi todo el mundo denuncie al momento la cuarta afirmación como totalmente absurda. Si  $t'$  es un instante anterior a  $t^*$ , entonces —se replicará— hay un  $k$  tal que  $t_k$  es un instante posterior a  $t'$ ; y, dado que de acuerdo con la fábula la lámpara debe continuar parpadeando después de  $t_k$ , es absurdo suponer que puede desaparecer antes.

Ahora bien, al replicar de este modo se ignora un aspecto esencial: a partir del hecho de que  $t'$  es anterior a  $t^*$ , es decir,  $t' < t^*$ , no se sigue que  $t' < t_k$  para cualquier  $k$ . El modelo analítico mencionado en la sección precedente en relación con el teorema de Bois-Reymond demuestra que la ordenación  $t_1 < t_2 < t_3 < \dots < t^*$  es totalmente compatible con la existencia de un  $t'$  tal que  $t_k < t' < t^*$  para cualquier  $k$ . Para evitar la posibilidad de que la importancia de esta observación se ponga en duda para el caso específico en discusión, podemos subrayar, en primer lugar, que la fábula no dice nada acerca de la textura del continuo temporal y, en segundo lugar, que si este continuo es similar al de  $[p]$  de la Sección 2 anterior, hay instantes  $t' = (t^*, \gamma)$ ,  $\gamma < 0$ . Para cualquiera de esos instantes,  $t_k < t' < t^*$ , para cualquier  $k$ .

Lo que elimina esta última alternativa es una serie de postulados. El primero proclama la geometrización del tiempo:

*El continuo del tiempo y el de la línea son idénticos.*

La lógica de medir el tiempo por la posición de la punta de una aguja de reloj se basa en este postulado. El segundo postulado es el de Dedekind:

*El continuo de la línea y el continuo de los Números son idénticos.*

Queda por demostrar por qué Números como  $(r, \gamma)$  no se incluyen en la categoría admitida por el análisis aritmético. La exclusión es el resultado de un postulado que, si bien usado implícitamente una y otra vez en el

análisis aritmético, no se encuentra, se busque como se busque, explícitamente establecido en la literatura. Podemos llamarle el Postulado de la Negación de lo Infinito:

*Si un Número (considerado sin su signo) es menor que cualquier número real positivo, ese Número es cero.*

A la luz de la Sección 3 anterior, podemos ver que este postulado tiene sus raíces en el concepto de medida, no en el de orden puro. Lo que dice en esencia es que, dado que Cero es el único Número (nótese la mayúscula N) con una medida cero, la relación (6) significa que  $(0, \gamma)$  no puede ser más que cero. Por consiguiente, lo infinito no existe. La afirmación general de que la medida es un proceso extraño a la ordenación es ciertamente válida, pero, como resultado de la infiltración del último postulado en los desarrollos preliminares del análisis aritmético, precisa cierta revisión la afirmación igualmente general de que el análisis aritmético es completamente independiente del concepto de medida.

11. El aspecto que ha de subrayarse ahora es que los postulados recién explicados siguen sin permitirnos determinar el estado de nuestra lámpara maravillosa en  $t^*$ . El reconocimiento de este hecho tiene su lugar preciso en el análisis matemático, a saber, en el concepto de discontinuidad simple; y, como lo puso de manifiesto J. F. Thomson, representa también el golpe mortal a la afirmación de que puede realizarse una infinidad de tareas dentro de un intervalo temporal finito.

Sobre esta base —y teniendo en cuenta el paralelismo entre la forma en que se lleva a cabo la conexión de la lámpara y aquella en la que Zenón describe la carrera de Aquiles tras la tortuga—, podemos vernos tentados a afirmar que hasta el análisis matemático confirma a Zenón. Sin embargo, entre las dos fábulas existe una diferencia fundamental que fue claramente señalada por Aristóteles. La locomoción es el Cambio continuo por excelencia; en la jerga de la cinemática, el movimiento es una función continua entre dos variables continuas, tiempo y distancia. Por consiguiente, si  $t^* - t = 0$ , la distancia entre Aquiles y la tortuga debe ser también cero, no un número indeterminado. Todas las otras formas de Cambio, como la de conectar la lámpara o la de imprimir otro decimal de  $\pi$ , consisten en «tareas» precisas (en la jerga de Thomson) o en unidades «reales» (en la de Aristóteles)<sup>27</sup>. Como lo resaltó Aristóteles, la ingeniosidad de Zenón consistió en describir la locomoción de Aquiles como si consistiese en un número infinito de tareas o de unidades, en una súper-tarea, y en exclamar después «paradoja»<sup>28</sup>. Sin embargo, ir de  $A$  a  $B$  no es una tarea diferente de conti-

<sup>27</sup> Aristóteles, *Physics*, 260<sup>b</sup>-261<sup>a</sup> y 263<sup>b</sup> 4-5.

<sup>28</sup> *Ibid.*, 263<sup>a</sup> 22-23.

<sup>26</sup> Véase Thomson, obra recién citada, pp. 5 y s.

nuar desde  $B$  hasta  $C$ , a no ser que uno *se pare realmente* en  $B$ , hecho que introduciría la necesaria discontinuidad.

12. La popular refutación de la paradoja de Zenón se basa en la idea de que la *suma* de la serie infinita (obtenida a partir de  $t_n$  para  $n \rightarrow \infty$ )

$$1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \dots + \frac{1}{2^n} \dots$$

es  $t^* = 2$ , entendiéndose la *suma* en el sentido ordinario en el que se aplica a un número finito de términos<sup>29</sup>. Algunos llegan a afirmar que lógicamente no hay absolutamente nada erróneo en la súper-tarea de muchas e infinitamente distintas operaciones de adición<sup>30</sup>. Creo que tales ideas nacen de ciertas expresiones poco precisas que desdibujan el carácter esencial del concepto de límite y que dejamos deslizar con frecuencia en los textos matemáticos. Incluso aunque esas expresiones casi no causasen *per se* daño alguno al análisis aritmético, habría que evitarlas debido a que pueden generar ideas confusas en algunas cuestiones relacionadas, en especial en la de la existencia y la esencia de los números infrafinitos.

El concepto de límite es una *asociación* legítima (e igualmente fecunda) entre una secuencia infinita y un número. Cualquier cosa que pueda sugerir una relación más íntima entre los dos términos —especialmente, una relación de identidad— fomenta la confusión analítica. A fin de poner un ejemplo concreto y destacado, consideremos la asociación del número cero con una secuencia de números *positivos*

$$(23) \quad (a_1, a_2, a_3, \dots, a_n, \dots),$$

tal que, para cualquier  $\varepsilon > 0$ , tenemos  $a_n < \varepsilon$  para todo  $n > N(\varepsilon)$ . Es perfectamente legítimo expresar esta asociación a través de algún simbolismo, como « $\lim a_n = 0$  para  $n \rightarrow \infty$ », o a través de alguna otra forma, como « $a_n$  es una aproximación de cero»; pero hay que tener en cuenta que se introduce cierta confusión si no se hace claramente hincapié en que 0,999..., por ejemplo, es solamente una notación oportuna en lugar de « $\lim (b_n = 9 \sum_1^n 10^{-i})$  para  $n \rightarrow \infty$ ». Por desgracia, hasta las obras de muchas autoridades matemáticas no se pronuncian sobre la diferencia esencial que existe entre las representaciones decimales de  $1/4$  a través de 0,25 y de 0,24999...<sup>31</sup>. Ahora bien, la mayor fuente de confusión es la muy utilizada expresión «en el límite» o, como diría Bertrand Russell, «tras un número infinito de

<sup>29</sup> Encontramos que esta postura se adoptó, incluso por Alfred North Whitehead, *Process and Reality: An Essay in Cosmology* (Nueva York, 1929), p. 107.

<sup>30</sup> Véase, en concreto, J. Watling, «The Sum of an Infinite Series», *Analysis*, XIII (1952), pp. 39-46.

operaciones,  $a_n$  se hace cero». La verdad es que  $a_n$  *nunca* se hace cero, pues, por mucho que viajemos a lo largo de la secuencia (23), no encontraremos más que números positivos. Siendo esto así, debería ser evidente para todo el mundo que es el límite de esa secuencia, es decir, cero, lo que constituye el fantasma de los difuntos números positivos,  $a_n$ . Se utiliza aquí la ocurrencia de Bishop Berkeley no como burla del concepto de límite sino para acentuar que este concepto implica un salto transfinito. Cantor, a quien podemos recurrir una vez más a fin de obtener nueva luz, no identifica su primer número transfinito  $\omega$  con la secuencia eterna de números enteros; tampoco dice que el número entero finito  $n$  se haga  $\omega$  en el límite. En lugar de ello, coloca a  $\omega$  en el final transfinito de la secuencia de números enteros, es decir, una vez que todos estos números enteros son difuntos.

La confusión, en estado latente, entre lo infrafinito y una secuencia con el límite cero domina muchas ideas en el análisis infinitesimal. A efectos de proporcionar un ejemplo destacado, vemos que ocasionalmente nos encontramos con la argumentación de que, debido a que  $1 - b_n$  puede ser menor que cualquier número positivo arbitrario  $\varepsilon$ ,  $1 - 0,999... = 0$  es válido en el sentido puramente aritmético en base a la autoridad del Postulado de Negación de lo Infrafinito. Pero esto no es así. El postulado se refiere a un número, no a una variable en «estado de flujo», como es  $1 - b_n$ . Podemos ver ahora que Hobson vinculó este estado al objeto erróneo: concebido adecuadamente, un número infrafinito es una entidad tan fija y precisa como cualquier número finito o transfinito.

13. Precisamente debido a esta última propiedad es por lo que lo infrafinito no puede permitirnos (no más de lo que puede hacerlo el número ordinario) llegar a una representación aritmomórfica del Cambio. Sin embargo, no sólo ilumina algunas de las insospechadas imperfecciones inherentes al agregado «perfecto» de números ordinarios sino que nos ayuda también a eliminar alguna de esas imperfecciones. Como ejemplo, volvamos al problema de los acontecimientos que pese a todo es posible que tengan una medida de probabilidad igual a cero. Con la ayuda de lo infrafinito, podemos dar una definición precisa de la cuasi-imposibilidad o de la cuasi-certeza, de modo que se distinga claramente entre esas situaciones, por un lado, y la imposibilidad y la certeza, por el otro. Como ya he afirmado en otro lugar<sup>32</sup>, semejante distinción es indispensable para un análisis completo de las expectativas, incluso aunque no tenga una relación continua con nuestro comportamiento frente a la incertidumbre. Es úni-

<sup>31</sup> Así, por ejemplo, en Borel, *Les paradoxes de l'infini*, p. 118, encontramos la extraña argumentación de que el límite de la secuencia 0,19, 0,199, 0,1999, ... debe escribirse 0,1999..., no 0,2, si «no se quiere eliminar la continuidad».

<sup>32</sup> Véase mi artículo «The Nature of Expectation and Uncertainty» (1958), reimpresso en *AE*, pp. 251-253. Sobre esta cuestión, véase también Richard von Mises, *Probability, Statistics and Truth* (2.ª edic., Londres, 1957), pp. 33 y s.



camente gracias al infrajunto como podemos evitar el embrollo analítico que supone el consejo de Borel «no tener miedo a usar la palabra *certeza* para describir una probabilidad que no llega a la unidad por una cantidad suficientemente pequeña»<sup>33</sup>. Que tal probabilidad, siendo finita, es menor incluso que una cuasi-certaza es un aspecto secundario; pero igualarla a la certeza conduce directamente a la doctrina de Azaïs y Marbe<sup>34</sup>.

14. Debiéramos estar ahora en situación de ver que, por encima de las complejidades técnicas de la cuestión discutida en este apéndice, brillan las cristalinas enseñanzas de Aristóteles sobre el concepto general de continuo; porque, cuando todo está ya dicho y hecho, no podemos dejar de reconocer que un continuo, pese a estar definido o aprehendido, se encuentra indisolublemente ligado a una idea fundamental sobre la que Aristóteles insistió concienzudamente. Lo que es infinitamente divisible sigue siendo así en todo tiempo; y, dado que un punto es indivisible, no existe puente alguno entre una *parte propia* de una línea, esto es, una parte que posee la cualidad *específica* de línea, y un *punto*. Al igual que todo lo que es continuo, la línea «es divisible [sólo] en divisibles que son infinitamente divisibles»<sup>35</sup>. Sería duro incluso para un detractor de Aristóteles —lo que no constituye actualmente un raro fenómeno— cerrar sus ojos a la confirmación de esta idea por el propio análisis aritmético. En efecto, si en la expresión (23) los  $a_n$  representan las partes sucesivas de una división infinita de un segmento lineal, el propio concepto de límite proclama (si no se abusa de él) que el proceso nunca producirá un punto, es decir, un «segmento» sin longitud.

Sin embargo, Aristóteles sostuvo también que «nada continuo puede estar compuesto de indivisibles: por ejemplo, una línea no puede estar compuesta de puntos, siendo la línea continua y el punto indivisible»<sup>36</sup>. Por otra parte, el continuo aritmético se ha creado exclusivamente de indivisibles, las cuentas sin sarta individualmente distintas de mi metáfora. La contradicción se ha puesto de manifiesto por muchas autoridades de las matemáticas: «la distinción *genérica* entre un objeto geométrico continuo y un punto... situado en ese objeto no es susceptible de representación aritmética directa»<sup>37</sup>. El continuo aritmético concebido exclusivamente co-

<sup>33</sup> Borel, *Probability and Certainty*, p. vii.

<sup>34</sup> Sobre ello, véase el Apéndice C en el presente volumen. A este respecto, voy a resaltar otro embrollo. Todos los tests estadísticos se basan en la hipótesis de que el coeficiente de probabilidad es un número *positivo*; no existe ningún test para el caso de acontecimientos cuasi-ciertos. Por consiguiente, las argumentaciones que invocan el fracaso de los tests estadísticos para apoyar la existencia de la Percepción Extra Sensorial son vanos: la Percepción Extra Sensorial puede ser posible, aunque con una probabilidad cero. (Huelga añadir que mi opinión no implica que este sea el caso real).

<sup>35</sup> Aristóteles, *Physics*, 231<sup>b</sup> 15-16.

<sup>36</sup> *Ibid.*, 231<sup>a</sup> 24-25. Véase también Immanuel Kant, *Critique of Pure Reason* (Edic. Everyman's Library, Nueva York, 1934), p. 136.

<sup>37</sup> Hobson, *Theory of Functions*, I, p. 89.

mo un agregado de indivisibles no ofrece sitio alguno a las propiedades métricas del espacio o de cualquier otra estructura continua de esa materia. Es posible que —como dijo en una ocasión Bertrand Russell—<sup>38</sup>, la geometría métrica sea un «pequeño rincón de la Geometría», pero su papel en la cuestión es primordial: proporciona la única prueba de fuego de la importancia del continuo aritmético fuera del propio análisis aritmético. Y, puesto que para la identificación de un punto en un espacio métrico tenemos que emplear coordenadas métricas, esto es, longitudes, la noción de medida tuvo que entretenerse consecuentemente en la trama original del continuo aritmético. De este modo, se dotó al continuo aritmético de las partes infinitamente divisibles que —como dijo Aristóteles— ha de poseer todo continuo. Divorciado del concepto de medida, es muy probable que el puesto del continuo aritmético (incluso con respecto a las restantes ramas de las matemáticas) hubiese estado en una caja de cristal para ser admirado exclusivamente como la creación más sublime, aunque perfectamente inútil, de la mente humana.

Otro desarrollo, que ha surgido recientemente a partir de algunas ideas latentemente arraigadas en el análisis aritmético, reivindica igualmente la postura de Aristóteles. Se trata del análisis de la dimensionalidad, que abiertamente reconoce la distancia insalvable que existe entre punto, línea, superficie, etc. Indudablemente, Aristóteles hubiera dicho no solamente que el punto no es parte de la línea sino también que la línea es el fin de una superficie, no parte de ella. O, para expresarlo de forma diferente, al nivel de la superficie la línea aparece como un indivisible. Si esta enseñanza fuese errónea, tendríamos que reflexionar sobre la cuestión de por qué el análisis aritmético no ha sido todavía capaz de transformar la propia dimensión en un concepto continuo, de modo que la dimensión  $\sqrt{2}$ , por ejemplo, existiese también como concepto significativo. Posiblemente, el mismo absurdo de una imagen con una dimensión entre la del punto y la de la línea explica por qué el análisis de la dimensionalidad ni siquiera se ha aventurado en esa dirección.

Por lo general, parece que el máximo obstáculo que se opone a todos nuestros intentos de adentrarnos en el misterio del concepto general de continuo con la ayuda de una estructura numérica es la imposibilidad de evitar por completo la discontinuidad. Como acabamos de ver, la discontinuidad aparece de forma inevitable en el análisis de la dimensionalidad; tampoco puede evitarse en ningún modelo aritmomórfico dirigido a colocar lo transfinito o lo infrajunto sobre una base aceptable para la Lógica. Entre los elementos sobre los que Cantor erigió su idea de lo transfinito, así como entre aquellos sobre los que descansa el sistema  $[\rho]$ , ocupa un lu-

<sup>38</sup> Russell, *Mysticism and Logic*, p. 91.

gar destacado el tipo más diáfano de discontinuidad: el del sistema de números enteros. Posiblemente, este hecho es la consecuencia inevitable del pecado original de todos los intentos efectuados por reducir el continuo a su opuesto, el Número discretamente diferenciado. Quien insista en sembrar exclusivamente semillas de discontinuidad no debería maravillarse de la discontinuidad inherente a su cosecha, pero tampoco tendría que intentar negar su existencia.

## APÉNDICE B

### IGNORANCIA, INFORMACIÓN Y ENTROPÍA

1. Como ya hemos visto en el Capítulo V, Sección 4, la entropía de un sistema fue definida en primer lugar por Clausius como función de otras macrocoordinadas que pueden *medirse* directamente. Esa definición sigue siendo la única que nos permite determinar la entropía de un sistema real. Con el advenimiento de la termodinámica estadística, la entropía se definió de nuevo como función de las posiciones y velocidades de todas las partículas incluidas en el sistema (Capítulo VI, Sección 1). De acuerdo con esta nueva definición, la entropía puede *calcularse* a partir del conocimiento de esas microcoordinadas. Naturalmente, lo contrario no es cierto: dado el valor de la entropía de un sistema, no podemos deducir las posiciones y velocidades individuales. Sin embargo, nuestra ignorancia sobre el microestado real no es total, ni tampoco el grado de esta ignorancia es el mismo para cada valor de la entropía.

Tomemos un ejemplo muy sencillo, de cuatro partículas denominadas  $U, X, Y, Z$  y dos estados  $A$  y  $B$ . Consideremos el microestado  $U, X, Y$  en  $A$  y  $Z$  en  $B$ , y llamemos  $S$  a la entropía de este microestado. Dado que las microcoordinadas no dependen de las partículas específicas que se encuentren en cada estado, cada microestado en el que tres partículas están en  $A$  y la otra en  $B$  debe tener la misma entropía  $S$ . A partir del conocimiento de  $S$ , conocemos por tanto el macroestado; es decir, sabemos que hay tres partículas en  $A$  y una en  $B$ , pero no qué partícula específica hay en cada estado; sin embargo, sabemos que hay cuatro microestados que son compatibles con  $S$ . Y si tuviéramos que ocuparnos del microestado en el que  $U$  y  $X$  se encuentran en  $A$  e  $Y$  y  $Z$  en  $B$ , a partir del conocimiento de la correspondiente entropía  $S'$  sabríamos que hay seis microestados compatibles con  $S'$ . La idea trascendental de Boltzmann es que  $S = k \ln 4$  y  $S' = k \ln 6$ <sup>1</sup>.

Sobre esta base, G. N. Lewis afirmó en un trabajo de 1930 que la entropía de un sistema constituye un índice de nuestro grado de ignorancia

<sup>1</sup> Véase el Capítulo VI, fórmula (2).

sobre la microestructura del sistema. La idea es perfectamente razonable. Conociendo  $S$ , nos preguntamos de cuál de los *cuatro* microestados compatibles se trata realmente; conociendo  $S'$ , el espectro de posibilidades aumenta a *seis* microestados<sup>2</sup>. Es evidente así que, al aumentar la entropía de nuestro sistema desde  $S$  a  $S'$ , aumenta también nuestro grado de ignorancia —o nuestro grado de incertidumbre— sobre el microestado real. Como lo expresó Lewis: «El aumento en la entropía tiene lugar cuando una distribución *conocida* pasa a ser una distribución *desconocida*. La pérdida, característica de un proceso irreversible, es *pérdida de información*»<sup>3</sup>.

Hay que resaltar bien ahora varios aspectos que son cruciales para la argumentación que sigue.

El primero es que el análisis precedente no implica en modo alguno que exista un índice del grado de ignorancia en cualquier otra situación, por ejemplo, si nos preguntamos si hay vida en Marte o si un producto químico recién sintetizado puede curar la fiebre del heno. Lo máximo que podemos deducir de ello es que un índice semejante puede construirse también para aquellos casos en los que podemos establecer cierto tipo de medida para cada alternativa posible.

En segundo lugar, no debemos ignorar el hecho de que, incluso si se cumple esta última condición, el grado de ignorancia no es una variable mensurable. El grado de ignorancia comparte las mismas dificultades analíticas de las nociones de orden (o desorden) en la termodinámica estadística o del nivel de precios y del producto nacional en economía. Todas esas variables no son mensurables ni siquiera en sentido ordinal; aceptan la relaciones «más» o «menos», pero únicamente si esas relaciones se toman dialécticamente. Como resultado de todo ello, lo más que podemos hacer es establecer pseudo medidas para cada una de ellas. Además, la gama de esas pseudo medidas es tan ilimitada como la de las medias, ya que la elección de una pseudo medida se encuentra igualmente limitada sólo por unas pocas condiciones. Y, debido precisamente a la esencia dialéctica de las pseudo medidas, no hay forma alguna de eliminar los casos en los que dos pseudo medidas de la misma variable arrojan clasificaciones totalmente distintas.

Una ilustración instructiva de las últimas observaciones es la sugerencia de O. Onicescu<sup>4</sup> de que se mida el orden (o la información) por lo que califica de «energía informativa»:

<sup>2</sup> En este punto, es importante recordar que sólo deben tenerse en cuenta los microestados que tienen la misma energía total (véase la nota 5, Capítulo VI). La cuestión es que, aunque la fórmula de Boltzmann da también el mismo  $S$ ,  $S = k \ln 4$ , para cualquiera de los cuatro microestados en los que una partícula está en  $A$  y tres partículas en  $B$ , han de ignorarse esos microestados si el otro macroestado (consistente en tres partículas en  $A$  y una en  $B$ ) representa la energía total dada.

<sup>3</sup> G. N. Lewis, «The Symmetry of Time in Physics», *Science*, 6 de junio de 1930, p. 573.

<sup>4</sup> Octav Onicescu, «Énergie informationnelle», *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Series A*, CCLXIII (1966), pp. 841 y s. Véase la fórmula (8), Capítulo VI.

$$(1) \quad \mathcal{E} = \sum_1^s (N_i/N)^2 = \sum_1^s f_i^2,$$

donde  $f_i = N_i/N$ . Evidentemente, esta es una pseudo medida de orden tan buena que la podemos denominar ahora *negentropía* por partícula<sup>5</sup>:

$$(2) \quad \sum_1^s (N_i/N) \ln (N_i/N) = \sum_1^s f_i \ln f_i.$$

Al igual que  $H$ ,  $\mathcal{E}$  alcanza su mínimo para el microestado de menor orden,  $f_1 = f_2 = \dots = f_s$  (y sólo para éste), y su máximo para el microestado de mayor orden,  $f_k = 1$  (y sólo para éste). Pero, como ya se ha dicho, no ordena en la misma forma en que lo hace  $H$ <sup>6</sup>. Sin embargo, como demostró Onicescu,  $\mathcal{E}$  tiene unas propiedades tan interesantes como las de  $H$ <sup>7</sup>. Por ejemplo, si  $f_{ik} = f_i' f_k''$  es una estructura compuesta,  $\mathcal{E}(f) = \mathcal{E}(f')$   $\mathcal{E}(f'')$ . Por consiguiente,  $\log \mathcal{E}$  tiene la misma propiedad aditiva que  $H$ .

Una sugerencia interesante se deriva de la sencilla relación existente entre energía informativa y la desviación estándar de  $(f_1, f_2, \dots, f_s)$ :

$$(3) \quad \mathcal{E} = \sum_1^s \left(f_i - \frac{1}{s}\right)^2 + \frac{1}{s}.$$

Esta relación nos lleva a recordar que el proceso a través del cual se alcanza el equilibrio termodinámico consiste en una progresiva difusión del calor disponible y, por tanto, de una progresiva reducción de las diferencias existentes entre los niveles de energía. Así pues, casi toda pseudo medida de dispersión puede servir de pseudo medida de orden<sup>8</sup>. De hecho, la propia función- $H$  de Boltzmann es una pseudo medida de dispersión. Un álgebra relativamente sencilla demostrará estos puntos.

Sea  $g(x)$  una función estrictamente convexa a lo largo del intervalo cerrado  $[a, b]$ ,  $a < b$ , es decir, una función definida para cada  $x \in [a, b]$  y tal que para todo  $x, y \in [a, b]$  y  $\alpha \in [0, 1]$  tenemos

$$(4) \quad g[\alpha x + (1 - \alpha)y] \leq \alpha g(x) + (1 - \alpha) g(y),$$

donde la igualdad prevalece si, y sólo si,  $x = y$  o si  $\alpha = 0$ . Sea  $\alpha \leq x_1 \leq x_2 \leq \dots \leq x_r \leq b$ , y hagamos que  $G = \sum_1^r g(x_i)$ ,  $X_k = \sum_1^k x_i$  y  $M_k = X_k/k$ . A partir de (4), se deduce que

<sup>5</sup> Véase la fórmula (6), Capítulo VI.

<sup>6</sup> Dado que este punto es importante para comprender las peculiaridades de las pseudo medidas, puede ser útil proporcionar una demostración del mismo. Dado que  $\sum p_i = 1$ , tenemos:

$$d\mathcal{E} = \sum (p_i - p_i) dp_i, \quad dH = \sum (\ln p_i - \ln p_i) dp_i.$$

Para que  $d\mathcal{E}$  y  $dH$  tengan el mismo signo para cualquier  $dp_i$ , es necesario que los coeficientes de  $dp_i$  en esas sumas sean siempre proporcionales. Evidentemente, salvo en el caso de  $s = 2$ , esto no puede ser cierto para todos los valores  $p_i$ .

<sup>7</sup> Para las propiedades analíticas de  $H$ , véase C. E. Shannon y W. Weaver, *The Mathematical Theory of Communication* (Urbana, Ill., 1949), pp. 19-22.

<sup>8</sup> Digo «casi» porque  $s > 3$  y el mayor orden que alcanzan los intercuartiles es cero.

$$(5) \quad g(x_i) \leq \frac{b-x_i}{b-a} g(a) + \frac{x_i-a}{b-a} g(b),$$

y, por adición,

$$(6) \quad \frac{G}{s} \leq \frac{b-M_s}{b-a} g(a) + \frac{M_s-a}{b-a} g(b),$$

donde la igualdad es válida si, y sólo si, es válida en (5) para todo  $i$ . A su vez, esta última condición es equivalente a

$$(7) \quad a = x_1 = x_2 = \dots = x_j, \quad x_{j+1} = x_{j+2} = \dots = x_s = b,$$

para cualquier  $j$ . También a partir de (4) y de

$$(8) \quad M_{k-1} \leq M_k = \frac{k-1}{k} M_{k-1} + \frac{1}{k} x_k \leq x_k, \quad 1 < k \leq s,$$

obtenemos

$$(9) \quad g(M_k) \leq \frac{k-1}{k} g(M_{k-1}) + \frac{1}{k} g(x_k),$$

donde la igualdad prevalece si, y sólo si,  $M_{k-1} = x_k$ , en consecuencia, si, y sólo si,

$$(10) \quad x_1 = x_2 = \dots = x_k.$$

Por simple inducción, la (9) da como resultado

$$(11) \quad g(M_s) \leq G/s,$$

donde la igualdad es válida si, y sólo si,

$$(12) \quad x_1 = x_2 = \dots = x_s.$$

A partir de (6) y (11), obtenemos inmediatamente el siguiente resultado.

LEMA A: Si los  $x_i$  están sujetos a la restricción  $X_s = ta + (s-t)b$  para números enteros positivos dados  $s$  y  $t$ ,  $t < s$ ,  $G$  alcanza su máximo para (7) y su mínimo para (12).

Consideremos el caso de  $0 \leq x \leq 1$  y  $X_s = 1$ . Para  $g(x) = x \log x$  (con  $g(0) = 0$ ), obtenemos la propiedad de los extremos de  $H$ , y para  $g(x) = x^2$ , la de  $\mathcal{E}$ . Una extensa clase de funciones que tiene la misma propiedad corresponde a  $g(x) = x^\alpha$ ,  $\alpha > 1$ . El caso de  $g(x) = |x - (1/s)|^\alpha$ , para  $\alpha \geq 1$ , da como resultado la clase familiar de momentos en torno a la media<sup>9</sup>.

<sup>9</sup> El caso de  $\alpha = 1$  puede demostrarse directamente examinando el signo de la diferencial total de  $G$  (como en la nota 6 anterior).

Sea  $(x^0) = (x_1^0, x_2^0, \dots, x_s^0)$  un conjunto tal que  $\sum_i x_i^0 = 1$  y  $0 \leq x_i^0 \leq 1$ . Dado  $k$ ,  $0 \leq k \leq s$ , denotemos por  $(x^k)$  el conjunto tal que  $x_i^k = x_i^0$  para  $i \leq k$ , y  $x_i^k = (\sum_{j=k+1}^s x_j^0)/(s-k)$  para  $i > k$ . Evidentemente,  $\sum_k x_i^k = \sum_k x_j^{k-1}$ . De acuerdo con el Lema A, tenemos:

$$(13) \quad \sum_k g(x_j^{k-1}) \leq \sum_k g(x_j^k).$$

Si hacemos  $G_k = \sum_i g(x_i^k)$ , la (13) da como resultado

$$(14) \quad G_0 \leq G_1 \leq \dots \leq G_{s-1} = G_s,$$

relación que más tarde demostrará ser muy útil.

Si aceptamos la teoría estadística del calor y, sobre todo, si aceptamos el principio de que la fórmula de Boltzmann proporciona en cada caso el mismo valor que el valor de la entropía determinada experimentalmente por la fórmula de Clausius, es evidente que tenemos que preferir la función- $H$  de Boltzmann a todas las restantes pseudo medidas de orden de la termodinámica. Pero, además, la función- $H$  tiene una clara ventaja sobre las demás también en la teoría de la información, donde, como veremos ahora, se encuentra directamente relacionada con la frecuencia relativa de un acontecimiento específico<sup>10</sup>.

2. Entre entropía e información existe, no obstante, una relación de carácter diferente al analizado antes. Se deriva del hecho de que no podemos obtener, transmitir o incluso almacenar información de cualquier tipo sin aumentar la entropía total del sistema aislado en el que actuamos. Para determinar la velocidad de una partícula, debemos proyectar sobre ella un rayo de luz, lo que producirá necesariamente una disipación de energía disponible y, por tanto, un aumento de la entropía total. El mismo resultado se produce con el ladrido de un perro que quiere informar a su amo que desea que se le deje en casa. Igualmente, un cajista aumenta la entropía total cuando compone, incluso aunque componga una secuencia de letras totalmente incomprensible. En general, si entre dos instantes de tiempo,  $t_0 < t_1$ , se obtiene o transmite cierta información de *cualquier tipo*, el aumento en la entropía,  $S_1 - S_0$ , puede descomponerse en dos partes:  $S - S_0$ , el aumento que se habría producido si no se hubieran realizado las operaciones necesarias para obtener o transmitir la información, y  $S_1 - S$ , que por definición representa el aumento en la entropía originado por tales operaciones. La relación

$$(15) \quad S_1 - S_0 = (S - S_0) + (S_1 - S)$$

es una consecuencia tautológica de la Ley de la Entropía. Este punto fue utilizado en un trabajo de L. Szilard de 1929 para refutar la paradoja del

<sup>10</sup> Relación (42) posterior.

demonio de Maxwell. Szilard afirmó que ningún demonio semejante podría llevar a cabo la tarea asumida sin obtener primero cierta información sobre las partículas objeto de su atención, es decir, sin aumentar primero la entropía total del sistema<sup>11</sup>.

En cualquier caso, es preciso subrayar ahora un aspecto elemental: la relación (15) deja de ser una tautología si le damos la vuelta y decimos que  $S_1 - S$  es una medida de «la cantidad de información» obtenida en virtud de ese aumento adicional de la entropía total. Evidentemente, podemos volver a convertirla en una tautología definiendo implícitamente «la cantidad de información» igual a  $S_1 - S$ , pero semejante definición implícita plantea numerosos problemas espinosos.

En primer lugar, nos obligaría prácticamente a decir que todos los términos en la relación (15) representan cantidades de información. Así, llevó a Lewis a concluir que «ganancia en entropía significa pérdida de información, y nada más»<sup>12</sup>. Ahora bien, por más que sus lazos sean fuertemente antropomórficos, la Ley de la Entropía es una ley de la Naturaleza expresable en términos puramente físicos. No obstante, de acuerdo con la vuelta dada por Lewis, deberíamos renunciar a contrastar esta ley en el laboratorio de los físicos midiendo las variables físicas implícitas en su definición clásica, recomendación que es difícil de aceptar. No puedo imaginar que un físico-químico discutiendo la estructura de una molécula de cierto compuesto químico o un ingeniero analizando un motor térmico encontrasen correcto decir que la entropía del correspondiente sistema no significa más que su propio grado de ignorancia.

En segundo lugar, la definición implícita modificaría la noción básica de información más allá del reconocimiento, mejor dicho, más allá de toda utilidad práctica. A saber, la transmisión de un mensaje totalmente sin sentido puede causar perfectamente un aumento de la entropía total mayor que el de un descubrimiento muy importante.

Por consiguiente, sería instructivo examinar con algún detalle el curso de las ideas que han conducido gradualmente a la postura de que la entropía y la información son entidades equivalentes.

3. En 1948, Norbert Wiener introdujo una definición específica de «la cantidad de información» con respecto a una distribución de probabilidad, contemplando el problema no *ex ante* (como lo hizo Laplace) sino *ex post*<sup>13</sup>. Como lo explicó, «si sabemos *a priori* que una variable se encuentra

<sup>11</sup> L. Szilard, «Über die Entropieverminderung in einem thermodynamischen System bei Eingriffen intelligenter Wesen», *Zeitschrift für Physik*, LIII (1929), pp. 840-856. En lo que se refiere al demonio de Maxwell, véase el Capítulo VII, Sección 7, anterior.

<sup>12</sup> Lewis, «Symmetry», p. 573.

<sup>13</sup> Norbert Wiener, *Cybernetics* (2.ª edic., Nueva York, 1961), pp. 61 y s. La idea básica se presentó mucho antes, en una reunión celebrada en 1927. Véase R. V. L. Hartley, «Transmission of Information», *Bell System Technical Journal*, VII (1928), pp. 535-544.

entre 0 y 1, y *a posteriori* que está en el intervalo  $(a, b)$  dentro de  $(0, 1)$ », es bastante razonable considerar que cualquier función positiva y monótonamente decreciente de [medida de  $(a, b)$ /medida de  $(0, 1)$ ] es una medida ordinal de la cantidad de información *a posteriori*. Sucintamente,

$$(16) \quad \text{Cantidad de información} = F \left[ \frac{\text{medida de } (a, b)}{\text{medida de } (0, 1)} \right],$$

donde  $F(x)$  es estrictamente decreciente con  $x$ . Sin embargo, dado que es razonable esperar que la (16) de como resultado el mismo valor para todos los intervalos iguales a  $(a, b)$ , es necesario suponer que la variable relacionada con la (16) está uniformemente distribuida a lo largo de  $(0, 1)$ , en cuyo caso [medida de  $(a, b)$ ]/[medida de  $(0, 1)$ ] es la probabilidad de que la variable se encuentre dentro de  $(a, b)$ .

Otra forma de contemplar el problema es la siguiente. Se va a extraer al azar una carta de una baraja. En ese momento, hay cincuenta y dos interrogantes en nuestra mente. Si estamos previamente advertidos de que la carta extraída es una figura, desaparecen treinta y dos de tales interrogantes; sólo quedan veinte. Si se nos ha indicado que la carta es una figura de picas, quedan exclusivamente cinco interrogantes. Así, cuanto menor es la proporción de los interrogantes iniciales que quedan después de facilitar cierta información a una persona, mayor es la importancia (o la cantidad) de esa información. El principio general se hace así evidente: la cantidad de información  $I(E)$  que ha producido el acontecimiento  $E$  de probabilidad  $p$  se mide ordinalmente por la fórmula

$$(17) \quad I(E) = F(p),$$

donde  $F$  es una función estrictamente decreciente que, por razones obvias, puede suponerse que satisface la condición  $F = 0$  para  $p = 1$ . Podemos tomar, por ejemplo,  $F = 1 - p^\alpha$ . Wiener ha elegido el logaritmo negativo

$$(18) \quad I(E) = -\log p.$$

La elección tiene ventajas evidentes. Si en la (16) suponemos  $a = b$ , la información es extraordinariamente valiosa debido a que determina por completo la variable. Con la (18), el valor de la (16) es infinito. Si, por otra parte  $(a, b) = (0, 1)$ , la información no nos dice nada que no sepamos ya. El valor de la relación (18) es en este caso cero, y todo está en orden<sup>14</sup>.

<sup>14</sup> Voy a apuntar ahora que, en la medida en que hablamos del grado de la creencia *ex ante* en que ocurra un acontecimiento  $E$  de probabilidad  $p$ , toda función estrictamente creciente de  $p$  proporciona una medida ordinal de esa creencia. Además, como afirmó G. L. S. Shackle en *Expectations in Economics* (Cambridge, Ingl., 1949), cuanto mayor es el grado de la creencia *ex ante*, menor es el grado de sorpresa *tras* ocurrir  $E$ . El estrecho parentesco entre el grado de sorpresa *ex post* y la cantidad de infor-

Sin embargo, la ventaja más destacada de introducir el logaritmo se deriva de la transformación de la fórmula clásica para combinar acontecimientos

$$(19) \quad p(A \cap B) = p(A) \times p(B|A)$$

en una suma

$$(20) \quad \log p(A \cap B) = \log p(A) + \log p(B|A).$$

A partir de la (18), se deduce que las cantidades de información que vienen en sucesión son aditivas

$$(21) \quad I(A \cap B) = I(A) + I(B|A).$$

4. Todo está en orden, pero Wiener, con una argumentación muy oscura (en la que reconoció una sugerencia de J. von Neumann), concluyó que «una medida razonable de la cantidad de información» asociada a la densidad de probabilidad  $f(x)$  es

$$(22) \quad \int_{-\infty}^{\infty} [\log f(x)] f(x) dx,$$

y afirmó además que esta expresión es «el negativo de la cantidad habitualmente definida como entropía en situaciones similares»<sup>15</sup>. En la argumentación de Wiener hay tanto una analogía espuria como un error elemental de análisis matemático. No hay que sorprenderse, por tanto, de que el problema de la relación entre la función- $H$  de Boltzmann y la cantidad de información se encuentre lejos de estar resuelto incluso tras tantos años transcurridos.

El hecho de que la función logarítmica aparezca tanto en la relación (18) como en la (22) no constituye motivo suficiente para considerar que la (22) representa, también, una medida de cantidad de información. Curiosamente, Wiener no vio que en la (18) tenemos el logaritmo de una *probabilidad*, mientras que en la (22) el logaritmo se aplica a la *densidad de probabilidad*, y, como voy a mostrar ahora, la (22) no puede considerarse en modo alguno la forma continua de la función- $H$ . Más aún, el concepto de entropía tal como lo definió Boltzmann —es decir, por la función- $H$  (2)— no puede extenderse a una distribución continua.

Podemos comenzar resaltando que, de acuerdo con la definición de Wiener (18), en la actualidad generalmente aceptada, no tenemos derecho a hablar de cantidad de información si no nos referimos *al acontecer de un acontecimiento estocástico*: la extracción de una figura de una baraja, el disparar dentro del segundo círculo que rodea a una diana, etc. Así pues, debemos preguntar: ¿cuál es el acontecimiento *acaecido* que puede asociarse a

mación es obvio. Por consiguiente, cualquier fórmula de la cantidad de información es también una medida del grado de sorpresa, y viceversa.

<sup>15</sup> Wiener, p. 62.

una distribución de probabilidad? La respuesta es que no hay ninguno. Sin embargo, existen diferentes vías por las que puede establecerse una relación entre información —entendida igualmente en sentido muy restringido, como en el caso de la (18)— y la función- $H$ . En realidad, hay una amplia clase de funciones para las que esto es cierto. Voy a proseguir todavía la argumentación relativa al caso general a fin de dejar perfectamente claro que el problema no implica necesariamente el concepto de entropía de Boltzmann.

Sea  $E_1, E_2, \dots, E_s$  un conjunto de acontecimientos mutuamente excluyentes y completamente exhaustivos, de probabilidades  $p_1, p_2, \dots, p_s, \sum p_i = 1$ . En virtud de la (17), cuando (y si) tiene lugar el acontecimiento  $E_i$ , la cantidad de información que se ha producido será  $F(p_i)$ . Ahora bien, puesto que no sabemos todavía que acontecimiento tendrá lugar, no podemos recurrir más que a un cálculo racional de la cantidad *futura* de información. Un camino muy trillado nos lleva a la cantidad *esperada* de información:

$$(23) \quad \Phi_F(p) = \sum_i p_i F(p_i).$$

De forma alternativa, podemos interpretar  $\Phi_F$  como el grado esperado de sorpresa causado por uno de los futuros acontecimientos de la misma distribución de probabilidad<sup>16</sup>. En ambos casos,  $\Phi_F$  es una estimación *ex ante* de una coordenada *ex post*. Analíticamente,  $\Phi_F(p)$  es de hecho un *estadístico* peculiar de una distribución y no, como ya se ha dicho, una característica de un simple acontecimiento. Y digo «peculiar», porque  $\Phi_F$  es un estadístico que implica *exclusivamente* a las probabilidades de una distribución.

Dado un campo de acontecimientos estocásticos, podemos dividirlo en un gran número de formas; y es evidente que el valor de  $\Phi_F$  depende de la manera en que hayamos dividido el campo: por consiguiente,  $\Phi_F$  *no es una característica invariante de un campo estocástico*. A efectos de sencillez, supongamos que  $F(p) = 1 - p$  y consideremos el campo de cartas extraídas de una baraja estándar en virtud de un mecanismo *aleatorio insesgado*<sup>17</sup>. Si se considera a cada carta como un acontecimiento separado,

$$(24) \quad \Phi_F(p) = 1 - \left(\frac{1}{52}\right) = \frac{51}{52},$$

y si el campo está dividido en «figuras» y «cartas bajas»,

$$(25) \quad \Phi_F(p) = \frac{80}{13^2}.$$

<sup>16</sup> Véase la nota 14 anterior.

<sup>17</sup> Puesto que  $F = 1 - p$ , tenemos  $\Phi = 1 - \bar{\xi}$ .



El hecho de que  $\Phi_F$  es mayor para la primera y más fina división es una propiedad común a la amplia clase de funciones  $F(p)$ . Únicamente necesitamos suponer que  $h(p) = pF(p)$  es estrictamente cóncava<sup>18</sup> y que  $h(0) = 0$ . Transformemos ahora la división  $(p)$  en  $(p')$  de modo que todo  $p_k$  esté dividido en una suma

$$(26) \quad p_k = p'_j + p'_{j+1} + \dots + p'_{j+i} \quad 0 \leq i$$

Sean  $x$  e  $y$  tales que  $0 < x < y < x + y < 1$ . A partir de esta ordenación y de la condición de estricta concavidad, obtenemos

$$(27) \quad h(x) \geq \frac{y-x}{y} h(0) + \frac{x}{y} h(y),$$

$$h(y) \geq \frac{x}{y} h(x) + \frac{y-x}{y} h(x+y).$$

Estas desigualdades dan como resultado

$$(28) \quad h(x) + h(y) \geq h(x+y),$$

que paso a paso conduce a

$$(29) \quad \Phi_F(p) \leq \Phi_F(p').$$

Esta propiedad (compartida en especial por  $-H$  y  $1 - \mathcal{E}$ ) expresa el hecho de que una clasificación más fina es siempre capaz de obtener mayor información<sup>19</sup>, pero no debiéramos confundirnos con nuestras operaciones teóricas sobre el papel, aquí o en cualquier otra parte: el hecho no está demostrado por la (29); ésta únicamente confirma lo apropiado de nuestras formalizaciones.

Consideremos ahora la densidad de probabilidad  $f(x)$  de una distribución absolutamente continua. Dado que

$$(30) \quad \int_{-\infty}^{+\infty} f(x) dx = 1,$$

podemos encontrar  $n$  intervalos  $-\infty < x_1 < x_2 < \dots < x_{n-1} < +\infty$  tales que la probabilidad en cada uno de ellos sea  $1/n$ . Para esta división, la (23) se convierte en

$$(31) \quad \Phi_F(n) = F\left(\frac{1}{n}\right).$$

<sup>18</sup> Una función  $h(x)$  es estrictamente cóncava si  $g(x) = -h(x)$  es estrictamente convexa.

<sup>19</sup> Por una clasificación más fina entendemos aquí no sólo un mayor número de clases (que pueden solaparse con las iniciales) sino también una mayor división de las clases iniciales, como lo pone de manifiesto la (26).

A partir de la (27), se deduce que

$$(32) \quad \frac{h(x)}{x} > \frac{h(y)}{y}$$

para cualquier  $x$ ,  $0 < x < y$ . Por lo tanto,  $F(1/n)$  tiene un límite, finito o infinito, para  $n \rightarrow \infty$ . Si lo designamos por  $F_0$ , la (31) da

$$(33) \quad \lim_{n \rightarrow \infty} \Phi_F(n) = F_0.$$

Se trata aquí de un interesante resultado, pues demuestra que *la cantidad esperada de información en una distribución absolutamente continua depende exclusivamente de la medida ordinal adoptada —más exactamente, del lim  $F(p)$  para  $p \rightarrow 0-$  y no de la propia distribución.*

Por ejemplo, si  $F(p) = 1 - p$  (la fórmula de Onicescu modificada), resulta

$$(34) \quad \lim_{n \rightarrow \infty} \Phi_F(n) = 1.$$

Para la entropía, es decir, para  $F(p) = -\ln p$ , tenemos

$$(35) \quad \lim_{n \rightarrow \infty} \Phi_F(n) = +\infty,$$

lo que demuestra mi anterior opinión de que la función- $H$  de Boltzmann no puede extenderse a una distribución continua.

5. Existe una segunda (y creo que nueva) forma de relacionar la función- $H$  o su generalización con la información. Sean  $A_1, A_2, \dots, A_s$ ,  $s$  individuos, cada uno de los cuales posee su propia cantidad de tierra,  $x_i$ . Supongamos que primeramente no conocemos más que la cantidad total de tierra,  $X = \sum x_i$ . La única imagen que podemos tener de la distribución de la tierra es aquella a la que llegamos a través del Principio de la Razón Insuficiente, esto es, que cada uno posee la misma cantidad de tierra,  $X/s$ . Si posteriormente se nos informa de la cantidad que posee  $A_1$ , la imagen correspondiente a los otros será aquella en la que cada uno posee  $(X - x_1)/(s - 1)$ . Si se llega a conocer también  $x_2$ , nuestra conjetura racional es que cada uno de los otros posee  $(X - x_1 - x_2)/(s - 2)$ . Cuando por último se llega a conocer  $x_{s-1}$ , se conoce toda la distribución.

Lo que necesitamos ahora es una función de la distribución de  $X$  tal que aumente (o disminuya) según se conozca progresivamente la distribución real. En virtud de la (14), la función  $G = \sum x_i g(x_i)$  satisface esta condición. Por consiguiente, puede tomarse como una medida de la información que tenemos sobre la distribución de  $X$ . Si la distribución real es *uniforme*, entonces  $G_0 = G$ , lo que es totalmente razonable: la información completa no modifica en modo alguno la imagen que teníamos en mente antes de disponer de cualquier información<sup>20</sup>.

<sup>20</sup> No es preciso añadir que  $H$  y  $\mathcal{E}$  poseen la propiedad (14) y, por tanto, las consideraciones anteriores son aplicables a la información disponible sobre una distribución *discreta* de probabilidades.

Es obvio que los resultados precedentes son consistentes si cada  $x_i$  se sustituye por la participación relativa  $\xi_i = x_i/X$ , en cuyo caso  $\sum \xi_i = 1$ . Y si recordamos las proposiciones demostradas en la Sección 1 anterior, relativas a los extremos de  $G = \sum \xi_i g(\xi_i)$ , vemos que esta forma generalizada de la función- $H$  puede servir también como medida de *concentración*.

6. Otra nueva forma de conectar la entropía con la información se debe a C. E. Shannon, quien, casi al mismo tiempo que Wiener, la presentó en una memoria clásica sobre teoría de la *comunicación*. A diferencia de Wiener, Shannon quería llegar a una medida de la capacidad (o de la potencia) de un sistema de códigos para transmitir o almacenar *mensajes*. También a diferencia de Wiener, Shannon no se ocupó de si un mensaje contiene información valiosa alguna<sup>21</sup>. Para un especialista en comunicación, esto es perfectamente comprensible: a efectos prácticos, el coste de transmitir un mensaje es independiente de si el mensaje tiene una importancia vital para todo el mundo o carece completamente de sentido. El problema básico de la comunicación es saber qué código tiene la mayor capacidad «de transmitir información»<sup>22</sup>. Shannon acentúa desde el principio el cambio en el significado de «información»: «el número de mensajes... o cualquier función monotónica de este número puede contemplarse como una medida de la información producida cuando se elige un mensaje a partir del conjunto» de todos los mensajes de la misma longitud<sup>23</sup>.

El número de mensajes diferentes consistentes en  $N$  señales del código binario — $N$  puntos o rayas— es  $2^N$ . En general, si el código consiste en  $s$  señales diferentes, el número de mensajes es  $s^N$ . Siguiendo la sugerencia hecha por R. V. L. Hartley (citada en la nota 13), Shannon tomó el logaritmo de este número como medida de la capacidad de información. Además, en vista del importante papel desempeñado por el sistema binario en los sistemas electrónicos de transmisión y almacenamiento, parecía natural elegir el logaritmo en base 2. Así pues, la información de Shannon para un mensaje de  $N$  señales binarias es sencillamente

$$(36) \quad \log_2 2^N = N$$

en unidades denominadas «bits», abreviatura de «unidad binaria»<sup>24</sup>. Para  $s > 2$ , la misma información se mide por  $N \log_2 s > N$ . Así, la información de Shannon por señal es un bit para el código binario y  $\log_2 s$  bits para el caso general. Su importante papel en la teoría de la comunicación se deriva del hecho de que es independiente de la longitud del mensaje.

<sup>21</sup> Shannon y Weaver, *Mathematical Theory of Communication*, p. 3.

<sup>22</sup> *Ibid.*, especialmente pp. 7 y 106.

<sup>23</sup> *Ibid.*, p. 3.

<sup>24</sup> *Ibid.*, pp. 4 y 100.

El caso de mensajes transmitidos en un lenguaje ordinario es más complicado, ya que no todas las secuencias de signos constituyen mensajes. Una larga secuencia de la misma carta, por ejemplo, no tiene significado alguno en ningún lenguaje; por consiguiente, no debe incluirse al medir la capacidad de información de un lenguaje. Para llegar a la fórmula correspondiente a este caso, Shannon buscó una función que satisficiera ciertas condiciones analíticas razonables<sup>25</sup>. Sin embargo, la misma fórmula puede alcanzarse por una vía directa que tiene el mérito de precisar con exactitud la razón por la que esa fórmula es idéntica a la función- $H$  de Boltzmann.

Aceptamos como un hecho dado que la frecuencia relativa con la que cada signo escrito (una letra, un signo de puntuación, o un espacio en blanco) aparece en todo lenguaje tiene un límite pseudo *ergódico*. Si  $p_1, p_2, \dots, p_s$  designan estos límites de frecuencia<sup>26</sup>, un mensaje *típico* de  $N$  signos debe contener  $N_1 = p_1 N, N_2 = p_2 N, \dots, N_s = p_s N$  signos de cada tipo. El número total de mensajes típicos viene dado por la conocida fórmula combinatoria

$$(37) \quad W = \frac{N!}{N_1! N_2! \dots N_s!}$$

El misterio se ha revelado ahora: la relación (37) es la misma fórmula a partir de la cual dedujo Boltzmann su función- $H$  para  $N$  muy grande:

$$(38) \quad \ln W = -N \sum p_i \ln p_i$$

que es la relación (4) del Capítulo VI anterior. Así pues, la información de Shannon por señal es

$$(39) \quad (\ln W)/N = -H,$$

que nuevamente se observa es independiente de  $N$ .

Debemos tener en cuenta también que la frecuencia relativa de los mensajes típicos entre todos los mensajes de longitud  $N$  es

$$(40) \quad P = W p_1^N 1 p_2^N 2 \dots p_s^N S = W p,$$

donde  $p$  es la frecuencia de cualquier mensaje típico dado. Esto da como resultado

$$(41) \quad \ln P = \ln W + \ln p.$$

<sup>25</sup> *Ibid.*, pp. 18-20 y 82 y s.

<sup>26</sup> El motivo por el que rehusé referirme a estos coeficientes como «probabilidades» debería quedar claro a partir de lo que dije en el Capítulo VI, Sección 3. Es cierto que en un lenguaje las letras no se siguen unas a otras de acuerdo con una norma fija, pero tampoco tienen lugar de forma aleatoria, como los puntos en un lanzamiento de dados.

Y, dado que de acuerdo con una conocida proposición del cálculo de probabilidades,  $P \rightarrow 1$  para  $N \rightarrow 1$ , tenemos  $\ln W + \ln p = 0$ , ó<sup>27</sup>

$$(42) \quad p = e^{NH},$$

lo que revela una interesante vinculación entre la función- $H$  y una frecuencia relativa (o una probabilidad, si se desea).

Al igual que Wiener, Shannon subrayó la identidad entre la (39) y la fórmula de Boltzmann y propuso referirse a ella como «la entropía del conjunto de probabilidades  $p_1, p_2, \dots, p_n$ »<sup>28</sup>, pero no debíamos dejar de observar también una diferencia fundamental entre los dos enfoques. La relación entre la información de Shannon y la función- $H$  es inevitable, ya que el número de mensajes típicos (el elemento básico en la teoría de Shannon) viene dado por la (37) o, para un  $N$  grande, por  $e^{-NH}$ . Así pues, cualquiera que sea la función de  $W$  que elijamos para medir la capacidad de información de un lenguaje, no podemos deshacernos de  $H$ . En el caso de mensajes típicos, la fórmula de Wiener (18) da como resultado  $-\log(1/W) = \log W = -NH$ , que es la misma fórmula que la (38) de Shannon. Sin embargo, para Shannon esto representa una coordenada estrictamente técnica, el número de bits en mensajes típicos de longitud  $N$ , mientras que para Wiener la misma fórmula representa la cantidad de información. Además, como lo expliqué en la Sección 4 anterior, el enfoque de Wiener puede ampliarse a la información esperada (o sorpresa esperada); es únicamente entonces cuando  $H$  se percibe como fórmula válida para *cualquier* distribución. Ahora bien, esta fórmula no es única; existen muchas otras que no tienen relación alguna con  $H$ .

A pesar de la aparición de la función- $H$  tanto en el enfoque de Shannon como en el generalizado de Wiener, esos enfoques no son idénticos, lo que naturalmente no significa que no tengan puntos comunes de contacto.

7. Poco después de que Wiener y Shannon presentasen sus resultados, Weaver resaltó que «cuando se encuentra el concepto de entropía en la teoría de la comunicación, se tiene derecho a estar bastante excitado, derecho a sospechar que se está en presencia de algo que puede resultar básico e importante»<sup>29</sup>. Y, en efecto, la aparición de la fórmula de la entropía en la teoría de la comunicación reactivó las ideas expresadas anteriormente por Szilard y Lewis y condujo a algunos autores a sostener, no sólo que la obtención o transmisión de información produce un aumento en la entropía, sino también que «información es negentropía», como lo expresa un pala-

dín de esta tesis, L. Brillouin<sup>30</sup>. La implicación plena de esta postura se pone inestructivamente de manifiesto por parte de R. C. Raymond cuando explica que «la entropía de [un] organismo puede definirse como la entropía de equilibrio de los elementos constitutivos del organismo menos la entropía de información necesaria para la síntesis del organismo a partir de los componentes de equilibrio de la entropía conocida»<sup>31</sup>. Tenemos que suponer que podría haber explicado también que la entropía del universo es igual a la del Caos menos la información necesaria para reconstruir el universo a partir del Caos. Más que cualquier otra que conozca, la ilustración de Raymond saca a la superficie los problemas básicos de la tesis en discusión: la definición de información y la equivalencia de esta definición con la entropía física.

La esencia de la ilustración de Raymond se encuentra formalizada en lo que Brillouin denominó el Principio de Negentropía de la Información<sup>32</sup>. Dice que

$$(43) \quad S^1 = S^0 - I$$

donde  $S^0$  es la entropía de un sistema *parcial* (no aislado) antes de que «un agente externo» insertase en el sistema la cantidad de información  $I$ ,  $S^1$  es la entropía final del sistema y

$$(44) \quad I = -kNH,$$

siendo  $k$  la constante de Boltzmann<sup>33</sup>. Es elemental que si la (43) ha de tener algún sentido físico,  $I$  debe medirse en las mismas unidades que la entropía, esto es, como constante de Boltzmann. Pero, ¿por qué tendría que estar definida la información por la (44)? El valioso papel desempeñado por la fórmula (38) de Shannon en la teoría de la comunicación y su coincidencia con la función- $H$  de Boltzmann puede como mucho apoyar la elección de la (44) con independencia de la (43), pero en ese caso tenemos que demostrar que la (43) es realmente cierta. Por otra parte, si definimos la cantidad de información por la diferencia  $S^0 - S^1$ , entonces, como he afirmado en la Sección 2, transformamos la (43) en una tautología y despojamos de todo significado objetivo al Principio de Negentropía de la Información.

<sup>30</sup> L. Brillouin, *Science and Information Theory* (2.ª ed., Nueva York, 1962), p. xii (las cursivas son mías). La afirmación de Wiener de que «de igual manera que la cantidad de información en un sistema es una medida de su grado de organización, la entropía de un sistema es una medida de su grado de desorganización» (*Cybernetics*, p. 11), parece ser diferente de la de Brillouin.

<sup>31</sup> R. C. Raymond, «Communication, Entropy, and Life», *American Scientist*, XXXVIII (1950), p. 277.

<sup>32</sup> Brillouin, *Science and Information*, cap. 12; «Physical Entropy and Information», *Journal of Applied Physics*, XXII (1951), pp. 338-343; «The Negentropy Principle of Information», *ibid.*, XXIV (1953), pp. 1.152-1.163.

<sup>33</sup> Para esta constante, véase el Capítulo VI, Sección 1.

<sup>27</sup> Shannon llega a una fórmula equivalente a través de un camino diferente. Shannon y Weaver, p. 23.

<sup>28</sup> *Ibid.*, p. 20.

<sup>29</sup> *Ibid.*, p. 103.

Una contrastación detallada de este principio ofrecido por Brillouin se reduce a nuestra identidad (41). Únicamente él sostiene que  $k \log P$  es la entropía física del sistema y  $k \log p$  la entropía del mensaje dado, y define su diferencia,  $-k \log W$ , como la cantidad de información contenida en el mensaje, que, para un  $N$  grande, se reduce a la (44)<sup>34</sup>. Sin embargo, es evidente que la relación así establecida no coincide con la (43). Una contrastación más sencilla, ofrecida igualmente por Brillouin, se basa de modo semejante en la identidad algebraica y no es mucho más esclarecedora<sup>35</sup>. Traducir los términos de una identidad formal en términos concretos no es precisamente el modo más adecuado de establecer una verdad objetiva. El peligro se ve todavía con mayor claridad en el caso del Principio de Negentropía de la Información, puesto que, como ya hemos visto,  $H$  es susceptible de diferentes interpretaciones concretas. Ahora bien, la razón de por qué la idea de que este principio puede ser cierto después de todo y de que la (43) y la (44) no hacen más que confirmar que debe abandonarse ha sido subrayada por más de un especialista en comunicación. La fórmula (39) de Shannon proporciona únicamente el número de bits por señal en una codificación óptima; por lo demás, «es una apreciable desviación de la entropía física»<sup>36</sup>.

Para poder distinguir lo blanco de lo negro, e incluso de lo gris, tanto en el Principio de Negentropía de la Información como en las diversas afirmaciones basadas en él, vamos a incluir en una sola imagen todos los elementos que se encuentran explícita o implícitamente implicados en el mismo. Sea un sistema aislado dividido en dos subsistemas,  $U$  y  $U_1$ , y sean las respectivas entropías en  $t_0$   $S^0 > S_1^0$ . Sea  $S_1^1 - S_1^0$  el aumento de la entropía de  $U_1$  causado por las operaciones necesarias para obtener cierta información  $I$  que se trasmite inmediatamente a  $U$ .  $U_1$  es «el agente externo» de Brillouin y  $U$  es el sistema no aislado al que se refiere la (43). Así, por ejemplo,  $U$  puede ser inicialmente una cinta magnética en blanco en la que posteriormente se graba un mensaje determinado con ayuda de la negentropía perdida por  $U_1$ . Para el caso, podemos ignorar también, como nos invita a hacerlo Brillouin, todos los aumentos de entropía no relacionados con las operaciones de obtención y transmisión de la información<sup>37</sup>. El resultado final es evidente. La entropía de ambos subsistemas se altera. El Principio de Negentropía de la Información afirma que la entropía del subsistema  $U$  es  $S^0 - I$ , donde  $I$  es la cantidad de información dada por la (44).

<sup>34</sup> Brillouin, «Physical Entropy», pp. 340-342.

<sup>35</sup> Brillouin, *Science and Information*, pp. 152 y s.

<sup>36</sup> D. Gabor, «Communication Theory and Physics», *Philosophical Magazine*, XLI (1950), p. 1.169.

<sup>37</sup> Brillouin, *Science and Information*, p. 231.

Incluso aunque se nos diga que «sólo la información ligada a determinados problemas físicos específicos... se considerará relacionada con la entropía»<sup>38</sup> —y, por supuesto, la cinta mencionada antes pertenece a esta categoría—, un aspecto sigue sin estar claro. En el caso de que la cinta *no* estuviese inicialmente en blanco, ¿no sería posible que el mensaje grabado posteriormente aumentase su entropía inicial y, por tanto, que  $S^0 < S^1$ ? Dado que esta posibilidad no está totalmente excluida, ¿tendríamos que cambiar el signo de  $I$  en la (43) y decir que, en este caso, hemos grabado *neginformación*? Posiblemente, en la realidad diríamos eso, porque si «la información puede cambiarse en negentropía y *vice versa*» —como sostiene Brillouin—<sup>39</sup> entonces, naturalmente, la neginformación tendría que transformarse en entropía. La equivalencia debe actuar en ambos sentidos. Creo que este punto indica que el Principio de Negentropía de la Información es únicamente un mero juego de palabras: la negentropía sustituye a una reducción de la entropía en un subsistema y la información sustituye a la negentropía. Y me temo que estamos equivocados al creer que con ese principio hemos conseguido algo importante y novedoso. El riesgo que corremos es el de hacer generalizaciones excesivas.

Una vez que hemos empezado a pensar que la información y la negentropía son dos conceptos equivalentes pero no idénticos, nada parece más natural que seguir adelante y afirmar que «la cantidad de negentropía utilizada en el descubrimiento de una ley científica es proporcional a la “información absoluta” contenida en esa ley»<sup>40</sup>. Pasando por alto el hecho de que en esta afirmación «información» no tiene ya el mismo significado que en la (44), podemos leerla como

$$(45) \quad S_1^1 - S_1^0 = \alpha I,$$

donde  $\alpha$  tiene que ser una constante universal. Esta relación establece el aumento de la entropía del subsistema  $U_1$  considerado arriba. A pesar de que la (45) es una proposición mucho más potente que la (43), no existe ni siquiera un intento de demostrarla. De hecho, creo que no puede demostrarse, pero, en todo caso, aceptémosla como válida. La entropía del sistema en su conjunto,  $U + U_1$ , ha aumentado así en  $(\alpha - 1)I$ , que debe ser estrictamente positivo a la vista del hecho de que mientras tanto el sistema ha producido algo. En consecuencia, para nosotros la idea de que  $\alpha = 1$  no debería haber ocurrido nunca, por la sencilla razón de que hubiera sido tanto como hacer contrabando de entropía. Sin embargo, leemos que «una información debe pagarse siempre en negentropía, siendo el precio

<sup>38</sup> *Ibid.*, p. 152.

<sup>39</sup> *Ibid.*, p. 184. Las cursivas son mías.

<sup>40</sup> L. Brillouin, «Thermodynamics and Information Theory», *American Scientist*, XXXVIII (1950), p. 597.

pagado mayor que (o *igual* a) la cantidad de información recibida»<sup>41</sup>. El contrabando de entropía se encuentra aún más fuertemente implícito en el esquemático análisis del demonio de Maxwell realizado por Brillouin. Con ayuda de la información (negentropía) introducida en el subsistema  $U$  por una linterna (nuestro subsistema  $U_1$ ), el demonio «acciona la trampilla y reconstruye la entropía negativa, completando así el ciclo

negentropía  $\rightarrow$  información  $\rightarrow$  negentropía»<sup>42</sup>.

Una primera dificultad que se presenta con este ciclo tendría que ser evidente. La negentropía se gasta no sólo en obtener información sino también al utilizarla (de hecho, incluso en mantenerla almacenada intacta). Así, al accionar la trampilla, el demonio debe utilizar alguna negentropía adicional y, a no ser que aceptemos la paradoja de Maxwell como anti-demostración de la Ley de la Entropía, esa negentropía adicional no podría recuperarse por las actuaciones del demonio. Mucho menos podemos decir entonces que esas manipulaciones van a recuperar en parte la negentropía gastada en obtener la información.

Una segunda dificultad hace referencia a la cuestión anterior de qué es lo que se mide por la (44) y, por tanto, de cuál es el significado operativo exacto de la (43). Como se admite explícitamente por Brillouin y por la mayoría de los autores de la teoría de la información, la cantidad de información definida por la (44) hace abstracción por completo del elemento pensamiento<sup>43</sup>. Dicho de otra forma, las notas de una sinfonía de Beethoven mezcladas a discreción seguirían siendo una «sinfonía». Supongamos que grabamos en una cinta la información que necesita el demonio, pero que mezclamos los sonidos de forma que el mensaje se haga totalmente ininteligible. Dado que la mezcla no reduce la cantidad de información *tal como se define* en la (44), ¿afirmaríamos que el demonio puede seguir utilizando esa información para accionar eficientemente la trampilla?

Otro mérito reclamado por la teoría de la información es una presunta generalización de la Ley de la Entropía<sup>44</sup>. Se obtiene cambiando en la relación (43) el signo de los términos de la entropía, de forma que  $\bar{S} = -S$  sea la negentropía. Se supone así que la nueva relación,  $\bar{S}^1 = \bar{S}^0 + I$ , significa que la negentropía total de un sistema se compone de negentropía e infor-

<sup>41</sup> Brillouin, «The Negentropy Principle», p. 1.153. Las cursivas son mías.

<sup>42</sup> Brillouin, *Science and Information*, p. 164. La idea de que la información puede utilizarse para reducir la entropía del sistema en el que actuamos y, de este modo, «recuperar parte de la negentropía previamente usada al obtener la información» (Brillouin, «The Negentropy Principle», p. 1.153) parece ser una afirmación categórica de la teoría de la información.

<sup>43</sup> Brillouin, *Science and Information*, pp. x-xi y 155; «Negentropy and Information in Telecommunications, Writing, and Reading», *Journal of Applied Physics*, XXV (1954), p. 599. También Shannon, citado en la nota 23 anterior.

<sup>44</sup> Brillouin, *Science and Information*, pp. 153-156.

mación. El hecho de que la entropía total no pueda reducirse se expresa así por la desigualdad

$$(46) \quad \Delta(\bar{S} + I) \leq 0$$

que se presenta como una generalización de  $\Delta S \geq 0$ . Pero, de nuevo, no encontramos comentario alguno sobre el significado objetivo de esta nueva ley establecida por medio de una mera manipulación de palabras y símbolos, y yo mismo me pregunto qué es lo que dentro de la teoría de la información podría impedirnos sustituir la (46) por

$$(47) \quad \Delta I \leq 0,$$

como, recordemos, propuso G. N. Lewis para expresar la Ley de la Entropía. Al menos, la última relación no plantea el problema de la conversión de  $\bar{S}$  en  $I$ , y viceversa.

8. Está fuera de toda duda que existen ciertas conexiones y similitudes entre la negentropía y la información, entendida ésta como figura de conocimiento provechoso. En primer lugar, está el hecho, expresado por nuestra relación (15), de que no puede obtenerse, transmitirse o recibirse ninguna información sin gasto de cierta energía libre. En segundo lugar, al igual que la energía libre (negentropía), la información está sujeta a degradación: si se transmite, puede hacerse parcialmente incomprensible; si se recibe, puede estropearse por los errores de la grabación; si se almacena, se ve gradualmente erosionada por la inevitable degradación entrópica de estructuras ordenadas<sup>45</sup>.

Son hechos como éstos los que muy probablemente alimentaron la noción de una equivalencia entre la negentropía e información, como se ha bosquejado en la sección precedente. Ahora bien, una vez que se adoptó el término «información» como nueva etiqueta para lo que Shannon originalmente llamó negentropía mantenida en el cable por el que se transmitía un telegrama (noción sólo vagamente relacionada con información en el sentido habitual), la confusión entre los dos significados de «información» se convirtió en un riesgo inevitable. Posiblemente, sin la adopción de esta expresión el nuevo esfuerzo no hubiera tenido el lustre externo que, en mi opinión, es responsable de la insólita agitación causada por la teoría de la información. Piénsese, por ejemplo, en un físico de la talla de Broglie, quien primeramente sostuvo que hasta una analogía entre negentropía e información, «pese a ser instructiva y atractiva, está repleta de dificultades», pero que últimamente parecía inclina-

<sup>45</sup> Brillouin («Thermodynamics and Information», p. 595) habla de «una ley de degradación de la información absoluta, muy semejante a la famosa ley de degradación de la energía establecida por Lord Kelvin». Curiosamente, en esta ocasión hace referencia a la degradación del *valor* de la información: las leyes de Newton, por ejemplo, no tienen ya actualmente el valor que tuvieron anteriormente.

do a aceptar la reclamada generalización de la Ley de la Entropía, antes mencionada<sup>46</sup>.

En realidad, en la literatura de la teoría de la información las advertencias de que la «información» *I* debe entenderse no como conocimiento sino estrictamente en el sentido específico en que viene definida por la (44), caso de hacerse, se ven ampliamente superadas por afirmaciones basadas en meros deseos. Leemos, por ejemplo, que el Principio de Negentropía de la Información «es de aplicación en diferentes campos de la física, de la tecnología e, *incluso, en algunos problemas muy generales del conocimiento humano*»<sup>47</sup>. Tales observaciones nos recuerdan similares afirmaciones de que las máquinas pueden pensar, afirmaciones que partieron del hecho de que «pensamiento» tiene un significado diferente de pensamiento<sup>48</sup>. Aquí, también, las afirmaciones pasan por alto que «información» no es información. Por otro lado, hasta el fundador de la cibernética declaró enérgicamente que «información es información, no materia o energía», lo que supone que tampoco es entropía<sup>49</sup>. Parece que para algunos todo esto ha sido en vano.

Una y otra vez, podemos ver el peligro de llamar al pan, «pan», y al vino, «vino», en base a que existe cierta semejanza entre los dos y a que la terminología científica no debería confundirse con la jerga común; sin embargo, nuestras mentes no pueden ser sencillamente esquizofrénicas hasta el punto de mantener totalmente separadas ambas terminologías. Lo que Bentham dijo acerca de «utilidad» y lo que he dicho en otro lugar de este trabajo sobre «continuo» y «pensamiento» es de aplicación a «información» en la teoría de la información: se trata de una palabra desafortunadamente elegida para lo que pretende indicar.

<sup>46</sup> Louis de Broglie, *New Perspectives in Physics* (Nueva York, 1962), pp. 66 y 72 y s.

<sup>47</sup> Brillouin, «The Negentropy Principle», p. 1.153 (las cursivas son mías); también *Science and Information*, p. xi.

<sup>48</sup> Véase el Capítulo III, Sección 10, anterior.

<sup>49</sup> Wiener, *Cybernetics*, p. 132.

## APÉNDICE C

### UN MODELO SIMPLE DEL TEOREMA-H DE BOLTZMANN

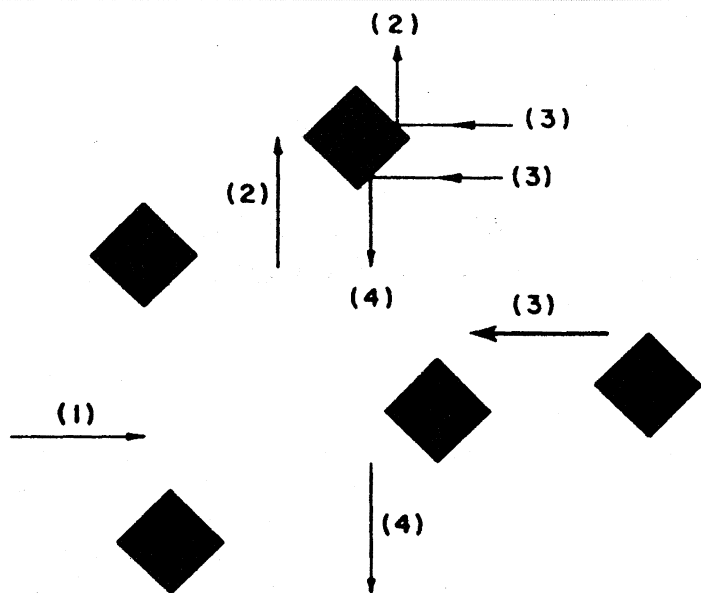
P. y T. Ehrenfest idearon un modelo extraordinariamente simple con el fin de ilustrar cómo las colisiones en un sistema de partículas que obedecen únicamente a las leyes de la locomoción provocan un estado caótico, siempre que el sistema satisfaga el postulado estadístico (mencionado en el Capítulo VI, Sección 2). El modelo se usa con la misma intención por algunos manuales de mecánica estadística<sup>1</sup>. Posee la gran ventaja de que no requiere estar especialmente familiarizado con la ciencia de la termodinámica y, por tanto, su análisis es accesible incluso al no iniciado. Curiosamente, no obstante, si un no iniciado (como yo mismo) prosigue este análisis más allá de lo que normalmente se hace, descubrirá que, de hecho, el modelo pone al descubierto los defectos acumulativos de la pretensión de que el enfoque estadístico constituye un puente entre la locomoción y los fenómenos termodinámicos. En concreto, semejante análisis confirma la cuestión, a la que me referí anteriormente, de que la existencia de colisiones hace que la mayor parte de los argumentos formales de la mecánica estadística sea inútil con respecto a los sistemas reales.

Imaginemos un gran número de partículas que se mueven en un plano, teniendo cada una de ellas inicialmente sólo uno de los cuatro sentidos de velocidad indicados en la Figura 4. En el mismo plano, hay también numerosos obstáculos consistentes en cuadrados iguales distribuidos de forma irregular y orientados tal como se muestra en negro en el mismo gráfico. Es evidente que el sentido de la velocidad de una partícula tras colisionar con un obstáculo puede cambiar en uno de otros dos sentidos. Así, por ejemplo, el sentido 1 puede cambiar bien en el 2 o en el 4, pero no en el 3. Existen entonces sólo cuatro «estados» (sentidos) en el sistema en todo momento.

<sup>1</sup> P. y T. Ehrenfest, *The Conceptual Foundations of the Statistical Approach in Mechanics* (Ithaca, N. Y., 1959), pp. 10-13. También D. ter Haar, *Elements of Statistical Mechanics* (Nueva York, 1954), pp. 336-339.



Figura 4



Sea  $N_1^n, N_2^n, N_3^n, N_4^n, \Sigma N_i^n = N$ , el número de partículas en cada estado en el momento  $t_n$ . Sea  $N_{ij}^n$  el número de partículas que, como resultado de las colisiones que tienen lugar durante el intervalo de tiempo  $\Delta t_n = t_{n+1} - t_n$ , han cambiado del estado  $i$  al estado  $j$ . Como podemos elegir  $\Delta t_n$  tan pequeño como para que ninguna partícula colisione con más de un obstáculo durante tal intervalo, tenemos  $N_{13}^n = N_{24}^n = N_{31}^n = N_{42}^n = 0$ . El postulado estadístico dice así que la distribución de las partículas en  $t_n$  es tal que

$$(1) \quad \begin{aligned} N_{12}^n &= N_{14}^n = \kappa N_1^n, & N_{23}^n &= N_{21}^n = \kappa N_2^n, \\ N_{34}^n &= N_{32}^n = \kappa N_3^n, & N_{41}^n &= N_{43}^n = \kappa N_4^n. \end{aligned}$$

Evidentemente, debemos tener  $0 < 2\kappa \leq 1$ . A partir de la (1) obtenemos

$$(2) \quad \begin{aligned} N_1^{n+1} &= \kappa(N_2^n + N_4^n - 2N_1^n) + N_1^n, \\ N_2^{n+1} &= \kappa(N_1^n + N_3^n - 2N_2^n) + N_2^n, \\ N_3^{n+1} &= \kappa(N_2^n + N_4^n - 2N_3^n) + N_3^n, \\ N_4^{n+1} &= \kappa(N_1^n + N_3^n - 2N_4^n) + N_4^n, \end{aligned}$$

y además,

$$(3) \quad \begin{aligned} N_1^{n+1} - N_3^{n+1} &= (1 - 2\kappa)(N_1^n - N_3^n), \\ N_2^{n+1} - N_4^{n+1} &= (1 - 2\kappa)(N_2^n - N_4^n), \\ N_1^{n+1} + N_3^{n+1} - N_2^{n+1} - N_4^{n+1} &= (1 - 4\kappa)(N_1^n + N_3^n - N_2^n - N_4^n). \end{aligned}$$

Este sistema da como resultado

$$(4) \quad \begin{aligned} N_1^n - N_3^n &= (N_1^0 - N_3^0)(1 - 2\kappa)^n, \\ N_2^n - N_4^n &= (N_2^0 - N_4^0)(1 - 2\kappa)^n, \\ N_1^n + N_3^n - N_2^n - N_4^n &= (N_1^0 + N_3^0 - N_2^0 - N_4^0)(1 - 4\kappa)^n. \end{aligned}$$

Consideremos primero el caso en que  $0 < 1 - 2\kappa < 1$ , cuando  $|1 - 4\kappa| < 1$ . En combinación con  $\Sigma N_i^n = N$ , las relaciones (4) dan para  $n \rightarrow \infty$

$$(5) \quad \lim N_1^n = \lim N_2^n = \lim N_3^n = \lim N_4^n = N/4.$$

Ahora, si el estado inicial es caótico, esto es, si  $N_1^0 = N_2^0 = N_3^0 = N_4^0$ , la (2) indica que el sistema continuará siempre en el mismo estado. Si el estado inicial no es caótico, entonces la (5) indica que tenderá hacia un estado caótico. De este modo, hemos alcanzado el resultado obtenido por los Ehrenfest<sup>2</sup>.

Sin embargo, para  $\kappa = 1/2$ , las relaciones (4) dan

$$(6) \quad \begin{aligned} N_1^n &= N_3^n = N/4 + (-1)^n (N_1^0 + N_3^0 - N_2^0 - N_4^0)/4, \\ N_2^n &= N_4^n = N/4 - (-1)^n (N_1^0 + N_3^0 - N_2^0 - N_4^0)/4. \end{aligned}$$

En este caso, el sistema mecánico no tiende hacia un estado caótico, a no ser que se obtenga también la condición inicial especial  $N_1^0 + N_3^0 = N_2^0 + N_4^0 = N/2^3$ . Supongo que esta excepción podría dejarse de lado en virtud de la argumentación de que siempre podemos tomar  $\Delta t_n$  tan pequeño como para tener  $\kappa < 1/2$ .

Ahora bien, si aceptamos esta última opinión, podemos tomar  $\Delta t_n$  tan pequeño como para hacer  $\epsilon = (\Delta N_i^n)/N_i$  tan pequeño como deseemos. En base a esto, podemos demostrar además que el teorema-H de Boltzmann, en su forma estricta, es cierto para el modelo que se considera. A partir de la (2), tenemos

$$(7) \quad \begin{aligned} \Delta N_1^n &= \kappa(N_2^n + N_4^n - 2N_1^n), \\ \Delta N_2^n &= \kappa(N_1^n + N_3^n - 2N_2^n), \\ \Delta N_3^n &= \kappa(N_2^n + N_4^n - 2N_3^n), \\ \Delta N_4^n &= \kappa(N_1^n + N_3^n - 2N_4^n). \end{aligned}$$

<sup>2</sup> Un aspecto interesante es que el mismo resultado se deriva de condiciones mucho más generales. Las relaciones (5) se obtienen incluso aunque  $\kappa$  se sustituya en la (1) por  $\kappa_n$ , siempre que sigamos teniendo  $0 < 1 - 2\kappa_n < 1$  para todo  $n \geq 0$ .

<sup>3</sup> Este extraño caso de un sistema que, aun cuando inicialmente no es caótico, deviene caótico tras un primer intervalo  $\Delta t_0$  es una interesante ilustración de cuánto se supone por parte de la interpretación estadística de la termodinámica.

Dado que podemos despreciar ahora los términos de segundo orden de pequeñez con respecto a  $\epsilon$ , a partir de la fórmula de Boltzmann  $H = \sum N_i \ln (N_i/N)/N$  y de la (7) obtenemos

$$(8) \quad N \Delta H^n = \sum \Delta N_i^n \ln N_i^n = \kappa \sum (N_i^n - N_j^n) \ln (N_i^n/N_j^n) \leq 0,$$

donde los subíndices en la última suma se toman en sentido circular. Esto demuestra el teorema.

Pero examinemos de nuevo críticamente las demostraciones anteriores.

Podemos observar, en primer lugar, que (como se destacó en el Capítulo VI, Sección 2) nada nos impide suponer que las relaciones (1) son ciertas en la realidad para un valor de  $n$ . Sin embargo, la prueba de los resultados (5) y (8) exige que se satisfagan las mismas relaciones para cualquier  $n$ ; y no hace falta decir que esta exigencia no se satisface más que por algunos modelos especialmente diseñados.

En segundo lugar, la contrastación de la (8) exige además que seamos libres de escoger  $\Delta t_n$  tan pequeño como para que  $\epsilon$  sea lo suficientemente pequeño. La condición explícita es que  $\kappa = \kappa_0 \Delta t_n$ , esto es, que el propio  $\kappa$  sea de primer orden de magnitud con respecto a  $\Delta t_n$ . Lo potente que esta condición es en relación con la (1) puede verse imaginando  $\Delta t_n$  tan pequeño que ninguna partícula colisione con ningún obstáculo durante ese intervalo. Hay aquí una cuestión conflictiva relacionada con el carácter discreto de las fases a cuyo través pasa el sistema a la vez que el tiempo varía continuamente. Esta cuestión irrumpe de golpe incluso aunque admitamos que existe una secuencia infinita  $[t_n]$  tal que (1) sea cierta para todo  $t_n$  y también que  $\kappa$  es tan pequeño como para que  $\epsilon$  sea suficientemente pequeño, porque lo que podemos demostrar así es únicamente que las (5) y (8) son ciertas para una secuencia discreta de instantes  $[t_n]$ . Por consiguiente, no se dice nada acerca del estado del sistema en cualquier  $t \neq t_n$ . Es decir, no sabemos en absoluto si  $N_i^t$ , el número de partículas en el estado  $i$  cuando  $t \neq t_n$ , tenderá hacia  $N/4$  para  $t \rightarrow \infty$ , ni sabemos si  $\Delta H^n$  aumentará entre  $t$  y  $t'$  si  $t$  y  $t'$  no pertenecen a la secuencia  $[t_n]$ .

En tercer lugar, ignoremos los problemas mencionados antes y supongamos que nuestro sistema satisface el postulado estadístico expresado por la (1). Consideremos entonces el sistema obtenido invirtiendo todas las velocidades en  $t_n$ ,  $n > 0$ . Este sistema no satisface el postulado estadístico exigido para probar nuestros teoremas (5) y (8), porque, en caso de hacerlo, las relaciones (3) seguirían siendo válidas después de haber sustituido  $\kappa$  por algún  $\kappa'$  y haber intercambiado  $n$  con  $n + 1$ . Esta condición da como resultado  $(1 - 2\kappa)(1 - 2\kappa') = 1$ , lo que, a la vista del hecho de que  $0 \leq 1 - 2\kappa < 1$  y  $0 \leq 1 - 2\kappa' < 1$ , no puede ser cierto<sup>4</sup>.

<sup>4</sup> Evidentemente, no puede decirse nada sobre el sistema obtenido invirtiendo todas las velocidades en  $t_0$ .

## APÉNDICE D

### ANALOGÍAS DE LA CURVA-H DE BOLTZMANN

Boltzmann concibió varias analogías elocuentes para explicar cómo se refleja la Ley de la Entropía en su curva- $H$ <sup>1</sup>. Con el fin de examinar de nuevo una de esas analogías, consideremos una serie de lanzamientos de una moneda perfecta y hagamos  $e_k = 1$  ó  $0$ , según que el lanzamiento  $k$ -ésimo muestre o no «colas». Sea  $n$  un número entero dado y sea  $a_i = e_i + e_{i+1} + \dots + e_{i+2n-1}$  una suma  $2n$ -móvil de la serie  $(e_i)$ . Trazando los puntos

$$(1) \quad x_i = \frac{i}{n}, \quad y_i = \left| 1 - \frac{a_i}{n} \right|,$$

obtenemos lo que Boltzmann denomina la curva- $H$  de esta «lotería». Constituye una cuestión elemental de la estadística que muchos de esos puntos se encuentran cerca del eje de abscisas, mientras que aquellos para los que  $y_i$  está próxima a la unidad son acontecimientos sumamente raros. Boltzmann tiene razón al concluir que es más probable que estos últimos puntos sean «máximos» de la curva- $H$  antes que encontrarse en una pendiente ascendente o descendente:  $y_{i-1} < y_i$ ,  $y_{i+1} < y_i$  es más probable que  $y_{i-1} \geq y_i \geq y_{i+1}$ . La conclusión puede verificarse por medio del álgebra ordinaria, pero es demasiado complicado incluirlo aquí. Sin embargo, la misma álgebra muestra un aspecto no tratado por Boltzmann: si  $y_i$  se encuentra muy cerca de cero, existe casi la misma probabilidad para  $y_i < y_{i+1}$  que para  $y_i \geq y_{i+1}$ . Es decir, a través de la analogía propuesta, las posibilidades de que un estado caótico, una vez alcanzado, se perpetúe por sí mismo durante largo tiempo no son mayores de lo que Boltzmann pretende en términos generales al defender su formulación de la Ley de la Entropía.

Una de las diferencias entre los microestados reales de un gas y el ejemplo analítico que es crucial para el punto de Boltzmann referido a la «tendencia» media de la curva- $H$  se refiere a la estructura especial de la se-

<sup>1</sup> Véase la nota 24 del Capítulo VI anterior.

rie ( $a_i$ ). Es decir, si  $y_i = 1$ , las probabilidades de que  $y_{i+1} = 1$  y  $y_{i+1} < 1$  son las mismas,  $1/2^2$ . Además, si  $y_i = 1$  e  $y_{i+1} = 1 - 1/n$ , entonces obviamente  $y_{i+k} \leq y_{i+2}$  para todo  $k \leq 2n$ . Una proposición semejante es válida para el caso en que  $y_i = 1$ ,  $y_{i+1} = 1 - 1/n$ ,  $y_{i+2} \leq y_{i+1}$ . A través de la analogía propuesta, esto significa que, si la entropía empieza a aumentar a partir de su nivel más bajo, es posible que no pueda volver a él antes de que el sistema experimente  $N$  cambios adicionales, siendo  $N$  el número de partículas en el sistema. En el caso de un gas, este número es del orden de  $10^{23}$ , una magnitud impresionante. Por otra parte, no puede suponerse en absoluto que sea equiprobable que los microestados eviten que una molécula que causó el cambio desde  $y_i = 1$  a  $y_{i+1} = 1 - 1/n$  vuelva después a su estado anterior. Por el contrario, la fórmula de la probabilidad termodinámica —la (5) ó (6) del Capítulo VI— se basa en la hipótesis de completa independencia de los sucesivos microestados. Es decir, todo macroestado puede ir seguido inmediatamente por otro menos probable. Existe así una discrepancia entre la probabilidad termodinámica de Boltzmann y su «lotería»: en la lotería,  $a_i$ , en vez de ser independiente de todo  $a_k$ , está estocásticamente correlacionado con  $a_{i+1}$ ,  $a_{i+2}$ , ...,  $a_{i+2n-1}$ . Es posible que, sin darse cuenta, Boltzmann intentase reflejar en la analogía la idea intuitiva de que debe haber alguna «correlación» entre los sucesivos macroestados. En efecto, es difícil imaginar que durante un breve intervalo de tiempo,  $\Delta t$ , las moléculas de gas en una esquina del recipiente tienen la misma «posibilidad» de colisionar con las situadas en la esquina opuesta que con las más próximas<sup>3</sup>. Sin embargo, por muy intuitiva que pueda ser esta idea, Boltzmann no hizo alusión alguna a ella, debido probablemente a que tal cosa le hubiese enfrentado de nuevo a la diferencia fundamental que existe entre una secuencia estocástica y la secuencia de fase de un sistema mecánico.

<sup>2</sup> Si, por el contrario, cada  $a_i$  está determinado por un lanzamiento independiente de  $2n$  monedas a la vez, la probabilidad de  $y_{i+1} = 1$  es independiente de que  $y_i$  sea igual o no a 1 y es siempre igual a  $1/2^n$ . Para determinar el número medio de los casos para los que  $y_i = 1$  en una secuencia de  $N$   $a_i$  sucesivos, Boltzmann utiliza esta fórmula (lo que es un error).

<sup>3</sup> Véase P. W. Bridgman, *Reflections of a Physicist* (2.ª edic., Nueva York, 1955), pp. 255-257.

## APÉNDICE E

### LOS TEOREMAS DE BIRKHOFF

Sea  $D$  un espacio cerrado y  $T$  una transformación unívoca de  $D$  en sí mismo. Es decir,  $T$  es tal que todo punto  $M$  de  $D$  corresponde aquí a un, y sólo a un, punto  $M_1 = T(M)$  de  $D$ , y viceversa. Además, sea  $T$  una medida que preserva la transformación, lo que significa que, si el subconjunto  $S$  de  $D$  se transforma en el subconjunto  $S'$ , entonces  $S$  y  $S'$  tienen la misma medida. Designemos por  $f_n(M; S)$  la frecuencia relativa de los puntos

$$(1) \quad M, M_1 = T(M), M_2 = T(M_1) = T^2(M), \dots, M_n = T^n(M)$$

que pertenecen a un subconjunto dado  $S$  de  $D$ .

El teorema «ergódico» de Birkhoff<sup>1</sup> dice que, si  $T$  tiene las propiedades mencionadas arriba,

$$(2) \quad \lim_{n \rightarrow \infty} f_n(M; S) = f(M; S).$$

En otras palabras, la frecuencia relativa  $f_n$  tiene un límite que no sólo depende de  $S$  sino también de  $M$ .

Supongamos que  $T$  posee también la siguiente propiedad: la medida de cualquier subconjunto propiamente dicho  $S$  de  $D$  que a través de  $T$  se transforma en sí mismo es cero o igual a la de  $D$ . En este caso, se dice que  $T$  posee la propiedad de *transitividad métrica*, o *indescomponibilidad*, o *ergodicidad*. El segundo teorema de Birkhoff<sup>2</sup> dice que, bajo esta estricta condición,

$$(3) \quad \lim_{n \rightarrow \infty} f_n(M; S) = \frac{\text{Medida de } S}{\text{Medida de } D} = f(S).$$

<sup>1</sup> Véase la nota 40 del Capítulo VI anterior.

<sup>2</sup> Véase la nota 37 del Capítulo VI anterior.

En otras palabras, el límite de  $f_n$  es el mismo cualquiera que sea el estado inicial. Por consiguiente, todos los estados *brutos* aparecerán con la misma frecuencia en cualquier sistema mecánico que sea métricamente transitivo.

A efectos de poner un ejemplo de una transformación continua no transitiva, relacionada con nuestro sistema simple de una bola de billar perfectamente elástica<sup>3</sup>, sea  $D$  el cuadrado  $0 < x \leq 1$ ,  $0 \leq y \leq 1$ , y hagamos que  $M_1(x + y, y)$  o  $M_1(x + y - 1, y)$  corresponda a  $M(x, y)$ , según que  $x + y \leq 1$ , ó  $> 1$ . Se trata de una transformación unívoca que transforma  $D$  en sí mismo y preserva el área, pero que no es ergódica: el subconjunto  $0 < x \leq 1$ ,  $0 < a \leq y \leq b < 1$ , de área  $b - a \neq 0$ , se transforma en sí mismo. Para  $M_0(x_0, y_0)$  e  $y_0$  irracional, la frecuencia de  $f_n(M_0, S)$  tiende hacia  $\sigma$ , siendo  $\sigma$  la medida lineal de la intersección de  $S$  con la línea  $y = y_0$ . Evidentemente,  $\sigma$  puede tener cualquier valor entre 0 y 1. Para  $y_0$  racional, la transformación de la intersección de  $D$  y la línea  $y = y_0$  es nuevamente no transitiva y, por tanto, no es aplicable la (3); el límite de  $f_n(M_0, S)$  depende también de  $M_0$ .

<sup>3</sup> Figs. 1 y 2 y nota 42 del Capítulo VI anterior.

## APÉNDICE F

### PROBABILIDAD Y DIMENSIÓN TEMPORAL

1. Las proposiciones que nos llegan a través de una dilatada estirpe de autoridades tienen tendencia a ser sorprendentemente resistentes. Tal parece suceder en el caso de la proposición que he denunciado por falsa en el Capítulo VI, Sección 4:

A. *Si un acontecimiento incierto no ha ocurrido durante una serie de observaciones, es que no hemos esperado lo suficiente.*

Esta proposición no sólo surge de forma regular en nuestras conversaciones sobre algunos de los problemas relacionados con la probabilidad sino que aparece en las argumentaciones formales de más de una autoridad en la materia. Hasta una autoridad en el campo de las probabilidades como Henri Poincaré intentó defender la rigurosidad lógica de la termodinámica estadística afirmando que «existe la posibilidad de que debamos esperar mucho tiempo para que concurren las circunstancias que permitirían una retrogradación [de entropía]; pero más pronto o más tarde ocurrirán, tras un número de años que tendríamos que escribir con millones de cifras»<sup>1</sup>. Más recientemente, A. Wald ha invocado una idea equivalente al defender la escuela frecuentista de probabilidad<sup>2</sup>. De hecho, la idea es absolutamente fundamental para esa escuela de pensamiento; hay que recordar que los frecuentistas definen el coeficiente de probabilidad,  $p$ , de un acontecimiento  $E$  como el límite hacia el que tiende la frecuencia observada,  $f_n$ , en una serie limitada de observaciones. Es decir, para todo  $\varepsilon > 0$  existe un  $N(\varepsilon)$  tal que para todo  $n \geq N(\varepsilon)$  tenemos

$$(1) \quad |f_n - p| < \varepsilon.$$

La única diferencia entre esta definición —que realmente implica un postulado sobre hechos físicos— y la del límite matemático es que, como subra-

<sup>1</sup> H. Poincaré, *The Foundations of Science* (Lancaster, Pa., 1946), p. 304.

<sup>2</sup> A. Wald, «Die Widerspruchsfreiheit des Kollektivbegriffes», *Colloque consacré à la théorie des probabilités* (Paris, 1938), II, p. 92.

yan explícitamente los frequentistas,  $N(\epsilon)$  únicamente existe, pero no se puede *identificar*<sup>3</sup>. El hecho de que, a pesar de esta salvedad, la postura frequentista mutila el concepto de probabilidad puede demostrarse sin gran dificultad<sup>4</sup>, pero la relación oculta que existe entre esta postura y la Proposición A exige cierto trabajo previo adicional.

Consideremos el caso sencillo en el que  $p = 1/2$  y representemos las sucesivas frecuencias absolutas de  $E$  y no- $E$  en una serie de observaciones por medio de las coordenadas  $Ox$  y  $Oy$ , respectivamente (véase la Figura 5). El historial de tal serie está representado por una línea escalonada como la  $OH$ . Todos los posibles resultados al final de  $n$  observaciones son puntos sobre la línea  $x + y = n$ . Supongamos que  $0 < \epsilon < 1/2$  está dado y que  $OX$  y  $OY$  corresponden a las ecuaciones  $y = (1 - 2\epsilon)x/(1 + 2\epsilon)$  e  $y = (1 + 2\epsilon)x/(1 - 2\epsilon)$ , respectivamente. Supongamos que  $AB$  corresponde a  $x + y = N(\epsilon)$ . La condición (1) puede interpretarse ahora de la siguiente manera: por encima de  $AB$ , ninguna línea de historial puede salir fuera del campo  $XSTY$ ; lo que sucede es que nosotros no podemos conocer *ex ante* su forma exacta. Habría que subrayar que *ex ante* no podemos excluir ni la posibilidad de que la línea de historial salga fuera de  $OST$  antes de alcanzar  $AB$  ni de que pase a través de algún punto arbitrariamente elegido dentro de  $XSTY$ .

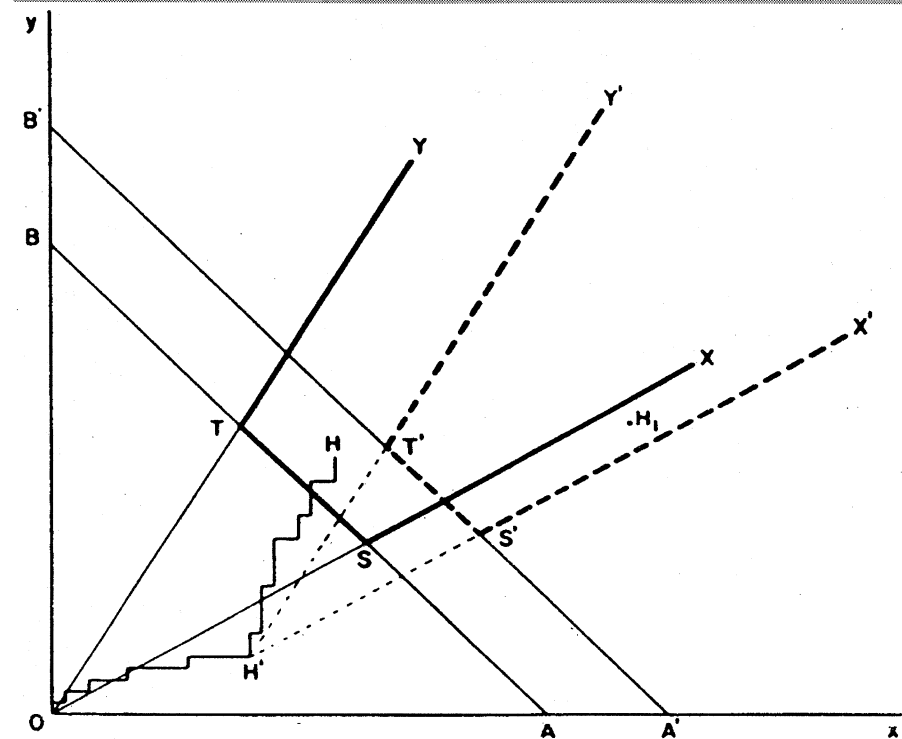
Supongamos que se da el caso en el que  $H'(x', y')$  está fuera de  $OST$  y hagamos  $x' + y' = n'$ . Ignoremos las primeras  $n'$  observaciones y apliquemos la argumentación anterior al resto de la serie. Así, hagamos que  $H'X'$  y  $H'T'$  sean paralelas a  $OX$  y  $OY$ , respectivamente, y sea  $A'B'$  igual a  $x + y = N'(\epsilon) + n'$ , donde  $N'(\epsilon)$  se aplica a la serie truncada y no precisa ser igual a  $N(\epsilon)$ . Podemos decir entonces que a partir de  $H'$  la línea de historial debe permanecer dentro del campo  $X'S'T'Y'$  y que no está excluido ningún punto específico dentro de ese campo. En otras palabras, la línea de historial debe pasar a través de  $H_1$ . Ahora bien, esto contradice la primera «predicción», y tampoco debíamos dejar de subrayar que la contrastación de esta contradicción recuerda exclusivamente que  $N(\epsilon)$  y  $N'(\epsilon)$  existen, no que puedan identificarse.

Podría simplificarse la contradicción si introduyésemos un principio extraño adicional. Un individuo que llegase de mirón, por así decirlo,

<sup>3</sup> Sobre este punto, véase Wald, *ibid.*, p. 92, y, especialmente, Ernest Nagel, «Principles of the Theory of Probability», *International Encyclopedia of Unified Science* (Chicago, 1955), Vol. I, parte 2, pp. 363 y 369. En *The Theory of Probability* (Berkeley, 1949), Hans Reichenbach considera que puede evitarse el punto muerto exigiendo exclusivamente que la secuencia  $f_n$  sea *semiconvergente*, con lo que quiere decir que sólo la secuencia finita de  $f_n$  accesible a la observación humana debe «converger razonablemente». Llega incluso a añadir que, si el resto infinito no converge, «tal divergencia no nos perturbaría». Esa propuesta o bien ignora la dificultad de definir la convergencia para una serie finita o transforma clandestinamente un dialéctico «razonablemente» en una filosofía manifiestamente positivista.

<sup>4</sup> Véase la Sección II de mi artículo «The Nature of Expectation and Uncertainty» (1958), reimpresso en *AE*.

Figura 5



mientras otra persona está ya ocupada en observar un fenómeno no debería realizar predicción estocástica alguna, pues su predicción podría contradecir la del otro. Puede verse lo extraño de esta propuesta si se observa que todo ser humano es un mirón con respecto a un supuesto observador permanente de la Naturaleza. El resultado final es que únicamente tal observador puede hacer predicciones estocásticas válidas, ¡y sólo si el origen  $O$  de nuestro diagrama representa el origen del Universo! Por consiguiente, únicamente en relación a este origen podemos decir si un observador ha esperado «tiempo suficiente». Dejar que el origen de una serie de observaciones se deslice arbitrariamente a lo largo de la escala del tiempo cósmico conduce a la contradicción desentrañada aquí.

2. Entre las diferentes paradojas ideadas por Émile Borel en relación con la probabilidad, la más divertida es la de los monos mecanógrafos que por casualidad pueden escribir a máquina, pongamos por caso, las obras completas de Shakespeare. La moraleja de la paradoja es que, aun cuando las operaciones teóricas puedan atribuir a un acontecimiento una probabilidad *positiva*, el acontecimiento no precisa ser observado en la realidad. Y, como ya hemos visto, una forma equivalente de esta paradoja acosa a la in-

interpretación probabilística de la termodinámica: aunque una inversión de la entropía tiene una probabilidad positiva, nunca ha sido observada. La intención de la Proposición A es precisamente la de eliminar paradojas de este tipo. Curiosamente, la proposición se invoca exclusivamente en relación con acontecimientos de probabilidad sumamente baja. En los restantes casos, la doctrina aceptada es que, si el acontecimiento no ha ocurrido, haríamos mejor en revisar las probabilidades *a priori* usadas en nuestros cálculos en lugar de esperar más tiempo.

Sostengo que la Proposición A es falaz porque confunde una verdadera proposición con su opuesto, ligeramente modificado por medio de una prestidigitación verbal. La verdadera proposición es que la probabilidad de que un acontecimiento aleatorio ocurra en una serie de observaciones futuras tiende monótonicamente a la unidad según aumenta indefinidamente el número de observaciones<sup>5</sup>. Traducido a términos comunes, dice que «*si se está preparado para esperar durante un tiempo suficientemente largo el acontecimiento sucederá tarde o temprano*». Esta proposición se transforma después en «el acontecimiento ocurrirá sólo *si se espera durante un tiempo suficientemente largo*».

Hay que observar, en primer lugar, que durante este proceso «un número suficientemente grande de observaciones» se ha traducido por «un tiempo suficientemente largo». Podemos admitir —creo que con algunas reservas— que la primera expresión tiene un significado objetivo. Pero, ¿cuál podría ser el significado de la segunda expresión? Un intervalo de tiempo es una entidad con dimensiones, no un puro número. Y, al igual que todas las entidades con dimensiones, su medida puede ser fantásticamente pequeña o fantásticamente grande, según sea la unidad elegida. Ahora bien, aplacemos por un tiempo la discusión de esta cuestión y pasemos a la segunda observación. Incluso sin la discutida versión, no hay nada en la teoría de la probabilidad que confirme la proposición transformada. Por el contrario, la doctrina admitida enseña que es indudablemente falsa. De acuerdo con esta doctrina, una baza completa de picas, a pesar de ser un «raro acontecimiento», puede ser lo primero que se obtenga en una partida de bridge, porque, incluso si la baza no ha salido en absoluto durante un millón de manos, su probabilidad no es mayor en la mano un millón más uno que en cualquier otra; ni es menor en el caso en que la baza haya ocurrido en la mano inmediatamente precedente. Se observa así que, profundamente oculto en la respuesta aparentemente inocente «no ha esperado lo suficiente», se encuentra el dogma herético de Hyacinthe Azaïs y Karl Marbe de un riesgo inherentemente compensatorio<sup>6</sup>. Una

<sup>5</sup> Véase el Capítulo II, Sección 7, anterior.

<sup>6</sup> A este respecto, véase *AE*, p. 250. Como he descubierto posteriormente, Azaïs y Marbe tuvieron un predecesor en J. L. d'Alembert. Véase su *Mélanges de littérature, d'histoire et de philosophie* (5 vols.,

forma sencilla de exponer esta herejía consiste en llamar la atención sobre el hecho de que si, tras una larga serie de «cruces» en el lanzamiento de una moneda perfecta, un millón de personas lanzase cada una una moneda perfecta, aproximadamente la mitad de ellas seguiría obteniendo «cruces», como dice la teoría ortodoxa. Y si alguien replicase ahora que el dogma Marbe-Azaïs se aplica únicamente a los lanzamientos de la *misma* moneda —lo que es una interpretación gratuita— habría que recordarle el famoso aforismo de Joseph Bertrand, «la moneda no tiene conciencia ni memoria»<sup>7</sup>.

Otra cuestión que debe aclararse es que la paradoja de Borel se refiere a un hecho físico, no a estados de la mente respecto de una creencia subjetiva, ni al movimiento racional en un juego que implique riesgo. Es decir, la observación de que la probabilidad de la inversión de entropía incluso en una gota de agua es tan pequeña que «nos podemos olvidar de ella» puede aplicarse a la decisión racional de si se bebe agua, pero es ajena a la paradoja. Sin embargo, encontramos hasta un premio Nobel de física molecular que afirma que «*en la escala de las magnitudes que tienen interés práctico para nosotros, el movimiento perpetuo del segundo tipo es en general tan insignificante que sería insensato tomarlo en consideración*»<sup>8</sup>. Igualmente familiar es la afirmación de que «podemos apostar [que no ocurrirá una inversión de entropía] durante mil millones de generaciones futuras»<sup>9</sup>. Semejantes afirmaciones no pueden eliminar la paradoja más de lo que el famoso cálculo de Blaise Pascal sobre la ventaja especulativa que significa creer en Dios demuestra la existencia real de Dios.

Únicamente una argumentación que considere la probabilidad como coordinada física guarda relación con el problema. El inconveniente es que en este caso una probabilidad positiva, a pesar de ser pequeña, significa por definición que el acontecimiento correspondiente debe ocurrir *a veces*, sólo que no sabemos *cuándo*<sup>10</sup>. Ninguna creencia y ninguna apuesta pueden cambiar esta verdad.

3. A fin de poner un ejemplo aclaratorio de la argumentación basada en la probabilidad física, citemos a una autoridad como Bridgman: «Esas probabilidades [de inversiones de entropía] son tan fantásticamente peque-

Amsterdam, 1767), V, p. 283. D'Alembert afirma que la suposición de que «caras» pueden no aparecer nunca «es posible dentro del rigor matemático. Sólo *físicamente* es falsa la proposición». Y, al igual que Azaïs y Marbe, aconseja que, tras una larga serie de «caras», deberíamos apostar a «cruces», «como lo hacen muchos jugadores» (p. 289). La traducción es mía.

<sup>7</sup> Joseph Bertrand, *Calcul des probabilités* (París, 1889), p. xxii. La traducción es mía.

<sup>8</sup> Jean Perrin, *Atoms* (Londres, 1920), p. 87; véase también K. Mendelssohn, «Probability Enters Physics», en *Turning Points in Physics*, ed. R. J. Blin-Stoyle (Amsterdam, 1959), p. 51.

<sup>9</sup> Philipp Frank, «Foundations of Physics», *International Encyclopedia of Unified Science* (Chicago, 1955), II, p. 451.

<sup>10</sup> La argumentación es aplicable incluso a acontecimientos cuasi-imposibles, pero esta categoría no tiene trascendencia especial para la presente argumentación.



ñas que incluso a lo largo de toda la historia de la especie humana son muy pequeñas las “posibilidades” de que haya sucedido tal cosa, y evidentemente son todavía más pequeñas las de que cualquier individuo observe tal cosa a lo largo de su propia vida»<sup>11</sup>. Una enunciación más rigurosa de la misma idea, iniciada en Boltzmann, se ha perpetuado de obra en obra: «Utilizando la adecuada ley de probabilidades, un simple cálculo [demuestra] que una combinación casual de movimientos que retrotraiga todo el hidrógeno [mezclado] y el oxígeno a sus [posiciones] originales... *no ocurriría* durante  $10^{10^{10}}$  años»<sup>12</sup>.

Se ha visto así que se ignora por completo la dimensión temporal a pesar de su papel crucial en problemas de este tipo. Porque, supongamos, por ejemplo, que la probabilidad de cierto acontecimiento  $E$  en una estructura estocástica de resultados es  $10^{-4}$ . Por muy pequeña que sea esta probabilidad, hay una probabilidad muy alta,  $1 - 10^{-10}$ , de que  $E$  ocurra al menos una vez en  $2,3 \times 10^5$  resultados. Ahora bien, si un resultado ocurre cada segundo, no precisamos esperar más que tres días para estar completamente seguros de observar  $E$ ; en este caso, difícilmente podemos decir que  $E$  es un acontecimiento raro en el tiempo. Pero, si la velocidad de los resultados es de uno por siglo, el mismo  $E$  sería un acontecimiento extraordinario incluso en la vida de nuestro planeta.

En general, sea  $\Delta$  el intervalo de tiempo durante el cual un mecanismo determinado produce un resultado, y sólo uno. Si la escala temporal se encuentra ahora adecuadamente dividida en intervalos de tamaño  $\Delta$ , durante cada uno de tales intervalos un acontecimiento específico  $E$  puede ocurrir solamente una vez o no ocurrir en absoluto. Supongamos, como lo requieren las circunstancias, que el mecanismo es atemporal (esto es, permanece siempre idéntico a sí mismo). Sea  $p$  la probabilidad de que  $E$  ocurra durante  $\Delta$  y sea  $t = n\Delta$  un intervalo durante el cual estamos preparados para observar los resultados. La probabilidad de que  $E$  ocurra durante  $t$  es  $P(t) = 1 - (1 - p)^n = 1 - (1 - p)^{t/\Delta}$ . Lo anterior pone evidentemente de manifiesto que la argumentación de Bridgman —que  $P(t)$  es pequeña debido a que  $p$  es fantásticamente pequeña— no se mantiene si  $\Delta$  es tan pequeño de modo que  $t/\Delta$  sea fantásticamente grande. Para poder

decir algo sobre la magnitud de  $P(t)$  debemos conocer la velocidad  $1/\Delta$  a la que el mecanismo en cuestión produce resultados. Únicamente con respecto a  $\Delta$ , tomado como unidad, es como podemos decir si  $t$  es grande o pequeño.

Por otra parte, las leyes de la termodinámica no nos dicen nada acerca de la velocidad en la que los macroestados están cambiando con respecto al tiempo de reloj. Por consiguiente, no hay base alguna para hablar de un flujo de entropía en sentido estricto<sup>13</sup>. Este es el motivo por el cual la termodinámica no puede predecir del mismo modo en que lo hace la mecánica<sup>14</sup>. Así pues, la argumentación de Bridgman está en el aire. En realidad, lo seguiría estando incluso aunque concediésemos que  $P(t)$  es pequeña.

4. A fin de explicar por qué no se ha observado hasta ahora ninguna inversión de entropía, algunos autores han introducido una proposición adicional de carácter *atemporal*. Concretamente, Borel es conocido por afirmar que el axioma «*los acontecimientos cuya probabilidad es sumamente pequeña no ocurren nunca* [son objetivamente imposibles]» debe formar parte de los fundamentos de la probabilidad física. A modo de ejemplo, Borel, al igual que muchos otros a los que ya he citado, afirmó que si la probabilidad de un acontecimiento es del orden de  $10^{-200}$  el acontecimiento «nunca ha sido observado y nunca lo será por cualquier ser humano en todo el universo»<sup>15</sup>. En esta forma estricta, la proposición socava el supuesto habitualmente aceptado de que la vida en la Tierra tuvo lugar por el mero juego de combinaciones aleatorias<sup>16</sup>.

Debiera ser evidente una dificultad especialmente perjudicial implícita en el axioma de Borel. ¿Se mantendría el axioma para  $10^{-199}$ , para  $10^{-198}$ , y así sucesivamente? ¿Dónde habría que pararse? Ahora bien, a fin de seguir la argumentación, admitamos que la categoría de «probabilidades sumamente pequeñas» tiene un último límite superior  $\pi$ . En otras palabras, supongamos que, al fin y al cabo, puede existir también un quantum elemental para la probabilidad<sup>17</sup>. Desde el punto de vista de la actual teoría de la probabilidad, aparecen varios obstáculos de importancia en el camino de este supuesto. En primer lugar, es difícil suponer siquiera cómo podrían modificarse las fórmulas fundamentales del cálculo de probabilidad-

<sup>11</sup> P. W. Bridgman, *The Nature of Thermodynamics* (Cambridge, Mass., 1941), pp. 162 y s. Véase también Mendelssohn, «Probability Enters Physics», p. 53. Sin embargo, en otro lugar Bridgman afirma que «consideraciones estadísticas puramente lógicas nunca pueden justificar que predigamos acontecimientos tan raros que no han sido observados nunca hasta ahora» (*Reflections of a Physicist*, 2.ª edic., Nueva York, 1955, p. 261), postura con la que estoy totalmente de acuerdo.

<sup>12</sup> David Bohm, *Causality and Chance in Modern Physics* (Londres, 1957), p. 161 (las cursivas son mías); véase también Perrin, *Atoms*, p. 87n. La cifra «mágica»  $10^{10^{10}}$  se remonta a la obra *Lectures on Gas Theory* de L. Boltzmann, de 1898 (Berkeley, 1964), p. 444. El método sobre el que basó su cálculo se indicó en el trabajo citado en la nota 32 del Capítulo VI anterior y fue elaborado por D. ter Haar, *Elements of Statistical Mechanics* (Nueva York, 1954), p. 342. En lo que se refiere a mi crítica de ese método, véase el Capítulo VI, Sección 2.

<sup>13</sup> Bridgman, *Nature of Thermodynamics*, pp. 140 y s.

<sup>14</sup> Véase la nota 65 del Capítulo V anterior.

<sup>15</sup> Émile Borel, *Elements of the Theory of Probability* (ed. rev., Englewood Cliffs, N. J., 1965), pp. 57 y ss. Boltzmann, en *Gas Theory*, p. 444, expresa la misma idea en forma dialéctica: una probabilidad sumamente pequeña es «prácticamente equivalente a *nunca*». Pero la idea puede remontarse nada menos que a d'Alembert (véase nota 6 anterior).

<sup>16</sup> P. Lecomte du Noüy, *The Road to Reason* (Nueva York, 1948), pp. 122-126.

<sup>17</sup> Como lo sugirieron R. B. Lindsay y H. Margenau, *Foundations of Physics* (Nueva York, 1936), p. 167.

des de acuerdo con la nueva ley. En segundo lugar, y lo que es más importante, la existencia de un quantum de probabilidad nos obligaría a admitir sobre la base de esas fórmulas que para todo acontecimiento de probabilidad  $p > \pi$  no puede haber una secuencia mayor que  $r$ , estando  $r$  determinada por las desigualdades  $p^r \geq \pi > p^{r+1}$ . No sólo habría que sacar del armario los esqueletos de d'Alembert, Azais y Marbe, sino que además resucitarían a una vida maravillosa.

## APÉNDICE G

### LIMITACIONES Y EXTRAPOLACIONES EN BIOLOGÍA

1. Un principio fundamental de la doctrina del Cambio desarrollada en este volumen es la diferencia esencial en la forma en que la realidad se aparece a la mente inquisitiva, según que tal mente traslada de forma progresiva su atención desde el campo inorgánico al orgánico. En dos ocasiones, la discusión de algunos problemas económicos hizo necesario que insistiese con más detalle en la diferencia existente entre el campo biológico y el fisicoquímico. Adopté entonces la postura de que la biología no puede alcanzar, en general, resultados de la misma importancia práctica que las ciencias de la materia inerte y de que no puede lograr, en concreto, las extravagantes proezas que unos pocos biólogos superentusiastas afirman que hay ahora en perspectiva<sup>1</sup>. Para justificar esta postura, a un lego como a mí seguramente le bastaría presentar pruebas que la mayor parte de las autoridades en la materia comparten de uno u otro modo<sup>2</sup>; este es el privilegio especial del lego. Frente a ello, éste soporta una tremenda desventaja: el prejuicio general de que malinterpreta o exagera. Creo que una afirmación muy reciente de Erwin Chargaff debería venir en auxilio de mi postura y evitar un juicio precipitado. Chargaff, cuyos laboriosos análisis de varios ácidos nucleicos proporcionaron el necesario entramado para los recientes avances en el conocimiento del núcleo y que debiera estar así especialmente cualificado para valorar la situación, pensó evidentemente que la situación exige una formulación potente: «Los necios pronósticos de felicidad instantánea gracias a la eugenesia por catálogo (en todo hogar, un Einstein, posiblemente embellecido con la nariz de Cleopatra) pueden incluirse entre los síntomas de la aparición de la barbarie, como lo pone de manifiesto la creciente brutalización de la Humanidad»<sup>3</sup>.

<sup>1</sup> Véase el Capítulo X, Sección 3, y el Capítulo XI, Sección 5.

<sup>2</sup> Véase el Capítulo XI, Sección 5, especialmente la nota 121.

<sup>3</sup> Erwin Chargaff, «What Really Is DNA? Remarks on the Changing Aspects of a Scientific Concept», *Progress in Nucleic Acid Research and Molecular Biology*, VIII (1968), p. 329.

En cualquier caso, creo que debo al lector interesado una breve y explícita exposición de mi propia postura, que considera que los obstáculos que limitan nuestra capacidad (y en cierto sentido nuestra comprensión) en el campo biológico son inherentes a las mismas condiciones que rigen la existencia del hombre y, que consecuentemente, son tan duraderos como esas condiciones.

2. Tras una serie de vacilaciones que se han prolongado a lo largo de cien años, prácticamente todos los bioquímicos están ahora de acuerdo en que cada uno de los componentes de una célula viva posee una estructura molecular definitiva, al menos cuando existe en un estado (generalmente, el estado cristalino) que puede examinarse *in vitro* a través de procedimientos fisicoquímicos. Sin embargo, los componentes más importantes y más numerosos de una célula viva difieren de las moléculas ordinarias en varios aspectos cruciales.

En primer lugar, está la inmensidad de las dimensiones de esas biomoléculas. Tal como se las representa actualmente en muchos manuales, la mayor parte de las biomoléculas son macromoléculas, esto es, complejas unidades gigantes de núcleos atómicos «rodeadas de nubes electrónicas de formas fantásticas y cambiantes»<sup>4</sup>. El complejo de ADN del cromosoma rudimentario de un pequeño virus como el bacteriófago T4 tiene en total unos 200.000 pares de nucleótidos (aproximadamente  $1,3 \times 10^8$  daltons [unidad atómica de masa]) divididos entre unos 100 genes. El complejo cromosómico de algunos animales acuáticos contiene entre  $10^{11}$  y  $10^{12}$  pares de nucleótidos; el del hombre, al igual que el de todo mamífero, tiene aproximadamente  $5 \times 10^9$  de tales pares<sup>5</sup>. Pero incluso una biomolécula tomada en sí misma puede tener un peso molecular tan grande como  $10^8$  (según algunos, incluso  $10^{11}$ ). Esto significa que una biomolécula puede tener tantos átomos como habitantes en un país de mediano tamaño o estrellas en una galaxia de tipo medio. La diferencia reside en que la estructura de una molécula es tan ordenada y delicada que un mero cambio de unos pocos átomos puede alterar drásticamente la función cualitativa de la biomolécula<sup>6</sup>.

<sup>4</sup> Albert Szent-Györgyi, «The Promise of Medical Science», en *Man and His Future*, ed. G. Wolstenholme (Boston, 1963), p. 192; James D. Watson, *Molecular Biology of the Gene* (Nueva York, 1965), pp. 111-115.

<sup>5</sup> En lo que se refiere a la estructura de la célula y de las macromoléculas, véase Watson, *Molecular Biology*, pp. 2-10, 69, 80-93 y *passim*. Para una descripción técnica del complejo de ADN, véase Watson, pp. 261-296, y especialmente Chargaff (antes citado). Presentaciones más breves y simplificadas se encuentran en C. H. Waddington, *The Nature of Life* (Nueva York, 1962), pp. 36-52; S. E. Luria, «Directed Genetic Change: Perspectives from Molecular Genetics», en *The Control of Human Heredity and Evolution*, ed. T. M. Sonneborn (Nueva York, 1965), pp. 4-9; C. D. Darlington, *Genetics and Man* (Nueva York, 1969), pp. 119-123.

<sup>6</sup> En el Capítulo X (véase la nota 50) se mencionó ya el descubrimiento de V. M. Ingram consistente en que únicamente un aminoácido diferencia la célula hemoglobínica normal de la drepanocítica. Por otra parte, en el caso de una proteína muy grande puede que no aparezca una diferencia palpable hasta que no haya cambiado un número sustancial de tales ácidos.

La segunda diferencia consiste en que las macromoléculas son polímeros, es decir, están compuestas de bloques estándar —veinte aminoácidos en el caso de las proteínas y cinco bases orgánicas en el de los ácidos nucleicos—. Ahora bien, si existen compuestos en los que, pongamos por caso, el sodio y el cloro entran en diversas proporciones, a partir de un análisis que muestre exclusivamente que el número de átomos de sodio y cloro son iguales no puede deducirse que la «sustancia» analizada sea sal común. El problema es que la expresión «sustancia pura» pierde su significado operativo con respecto a sustancias que pueden existir en numerosas formas poliméricas e isoméricas. En muchas partes de este campo no hay más que sombras. En efecto, un químico que trabaje con una sustancia compuesta por moléculas gigantes nunca puede verla en el sentido en que se puede mirar la sal o la aspirina. Debido a todo ello, algunas autoridades bioquímicas dudan de que podamos hablar de una molécula de ADN, por ejemplo, en el sentido clásico de esta expresión<sup>7</sup>.

La tercera diferencia reside en que, a pesar de que las biomoléculas son gigantes, las cadenas de que están compuestas se mantienen ordinariamente juntas por medio de lazos químicos *débiles*, laxos, por así decirlo. El resultado es que no se precisa mucha energía para romper tal frágil biomolécula en otras más pequeñas, como sucede, por ejemplo, con la doble hélice del ADN que se separa en sus dos ramales sólo con calentarla ligeramente. Este hecho nos ayuda a entender en parte cómo dentro de una célula viva los débiles lazos existentes se rompen y rehacen casi continuamente a la temperatura fisiológica ordinaria, incluso aunque el fenómeno de rehacerse siga estando rodeado del mayor misterio<sup>8</sup>.

La cuarta diferencia se hace evidente tan pronto preguntamos no sólo «qué *son* esas sustancias, sino qué *hacen*»<sup>9</sup>. Esta cuestión nos lleva definitivamente más allá de la química hasta la mecánica cuántica. Muy probablemente, lo que hace latir a una célula es una corriente específica de electrones *simples* «que caen en cascada y entregan poco a poco su energía». Así, el estado vivo no se compone de moléculas normales cerradas sino de complejos de transmisión de carga que forman una «acumulación de iones frente a un gradiente, concentraciones que se igualan en la muerte»<sup>10</sup>. Esta idea, que aparentemente está obteniendo una aceptación creciente, no va a aclarar el misterio de la vida; pero, junto a la estructura de lazos débiles, presta cierto apoyo teórico al hecho generalmente aceptado de que muchas

<sup>7</sup> N. W. Pirie, «Patterns of Assumption about Large Molecules», *Archives of Biochemistry and Biophysics*, Suplem. I, 1962, pp. 21-29, y Chargaff, «What Really Is DNA?», pp. 320-323 y 327.

<sup>8</sup> Watson, pp. 60 y s., 102-139 y 285; Chargaff, «What Really Is DNA?», p. 323.

<sup>9</sup> Albert Szent-Györgyi, *Introduction to a Submolecular Biology* (Nueva York, 1960), p. 10.

<sup>10</sup> *Ibid.*, pp. 25, 64 y 132-134. Véase especialmente la esclarecedora explicación de la fotosíntesis que hace Szent-Györgyi, *ibid.*, cap. iii. En lo que respecta a la concentración de gradientes y a las correspondientes transformaciones entrópicas, véase también Watson, pp. 80-83, 102-109, 138 y 160.

reacciones se producen de forma permanente dentro de una célula viva de forma no reproducible *in vitro*<sup>11</sup>. Los ejemplos familiares son la transformación de glucosa en trabajo, con un desperdicio de calor sumamente pequeño, y la fijación de nitrógeno por las leguminosas a la temperatura normal del suelo. Todavía más importante es el hecho de que muchas proteínas sintetizadas fuera de un sistema celular no tienen actividad biológica y de que muchas de las que tienen tal actividad no pueden sintetizarse. Debido a la imposibilidad de formación de anticuerpos fuera de un cuerpo vivo, es por lo que la lucha contra el cáncer y el rechazo en los trasplantes son tan frustrantes<sup>12</sup>.

3. No necesitamos seguir buscando para comprender por qué James D. Watson, autoridad consagrada en el campo de la biología molecular, tuvo que convencerse y admitir que hay una química *especial* en la materia viva: «la síntesis de una proteína no se lleva a cabo de acuerdo con las reglas que rigen la síntesis de las pequeñas moléculas»<sup>13</sup>.

Evidentemente, no podemos pensar en sintetizar ninguna sustancia sin tener previamente un modelo de su estructura. Y en el caso de una macromolécula hasta esa tarea *analítica* es formidable. Descifrar la estructura *lineal* de la insulina —una proteína *no específica* y bastante pequeña compuesta únicamente de cincuenta y un aminoácidos— fue una encomiable proeza de un Premio Nobel (F. Sanger, en 1958). A la vista del tamaño de esas moléculas, incluso con el equipo recientemente desarrollado se precisan varios años de duro trabajo antes de que se pueda resolver la estructura lineal de una proteína de pequeño tamaño<sup>14</sup>. Además, no solamente son las biomoléculas complejas gigantes, sino que también el número de posibles moléculas de cualquier tipo dado pasma la imaginación. Tomemos el caso de una proteína de tamaño moderado, digamos, de 20.000 daltons o unos 170 aminoácidos. Puesto que únicamente existen veinte aminoácidos diferentes; el número de todas las posibles proteínas de ese tamaño es  $20^{170}$ . ¡El lado del cubo que podría contener a una molécula de cada tipo tiene una longitud de  $10^{50}$  años luz! Si creemos en la Gran Explosión como origen del universo, no ha habido tiempo suficiente para que existan todas esas moléculas, ni se las observará en absoluto durante el resto de la vida de la especie humana<sup>15</sup>. Tales dimensiones pueden calificarse apropiadamente de supercósmicas.

No puede dejar de decirse que esta fantástica variedad actúa contra toda cristalización importante de los conocimientos adquiridos en un proce-

<sup>11</sup> Albert Szent-Györgyi, *Nature of Life: A Study on Muscle* (Nueva York, 1948), pp. 17, 69 y s., y 76 y s.

<sup>12</sup> Watson, pp. 396, 437 y 441.

<sup>13</sup> Watson, p. 160, lo que habría que comparar con las afirmaciones anteriores de Watson, p. 68.

<sup>14</sup> *Ibid.*, p. 170.

<sup>15</sup> Harold C. Urey, «The Origin of Organic Molecules», en *The Nature of Biological Diversity*, ed. John M. Allen (Nueva York, 1963), p. 2.

dimiento general. La mayor parte de las veces, cada avance realizado con éxito opera sólo en determinadas condiciones específicas. Así, en la actualidad nada nos incita a pensar que finalmente pueda obtenerse el modelo —sin mencionar a la propia síntesis— a través de un procedimiento general para toda macromolécula. En realidad, no existe una receta general ni siquiera para la síntesis de pequeñas moléculas *inorgánicas*. Los biólogos moleculares que no son propensos a una inmoderada valoración de la realidad no pasan por alto el hecho de que incluso una célula bacteriana contiene entre 3.000 y 6.000 biomoléculas diferentes, aproximadamente la mitad de las cuales son moléculas proteínicas gigantes. Su conclusión es que «no conoceremos en el futuro próximo (o, imaginablemente, ni siquiera en el lejano) las estructuras exactas en 3-D de todas las moléculas, ni de las células más pequeñas»<sup>16</sup>. Evidentemente, no esperan poder conocer la estructura completa de una célula en todos sus detalles, y mucho menos poder construir una célula a partir de sus partes elementales: átomos y electrones. Se contentan con la esperanza de comprender cada vez más lo que sucede dentro de la célula, lo que por sí mismo constituye una magnífica perspectiva.

La cuestión se refiere obviamente al poder de manipulación del hombre en el terreno microcósmico; y, como he afirmado en el Capítulo X, Sección 3, es el Principio de Indeterminación el que niega al hombre tal poder: la única forma en la que el hombre puede tratar la materia es en grandes cantidades. Para sintetizar una sustancia, de moléculas pequeñas o grandes, tenemos que recurrir a reacciones químicas en las que los átomos se liberan de sus vínculos iniciales y se reorganizan en nuevas formaciones a través de diversas fuerzas submoleculares. Pero, incluso en estructuras muy simples sin lazos débiles, está lejos de ser sencillo el problema de determinar en cada nuevo caso qué componentes químicos han de utilizarse en la reacción y qué energía libre puede desencadenarse. Cuando se trata de sintetizar un compuesto macromolecular, los obstáculos son formidables, y es fácil ver por qué: simplemente, no existe un modo seguro de obligar a millones de átomos a ocupar sus posiciones exactas en la correspondiente estructura en 3-D. Además, los numerosos lazos débiles complican adicionalmente las cosas: es probable que la estructura química se rompa en pedazos antes de que esté completamente erigida.

Es cierto que se puede acometer la síntesis de un polímero de estructura conocida construyéndolo bloque a bloque en fases sucesivas. La hazaña de Vincent du Vigneaud, al sintetizar en 1953 la primera proteína, se duplicará con toda seguridad en el caso de otras biomoléculas (como ya se ha

<sup>16</sup> Watson, p. 100. Véase también Chargaff, «What Really Is DNA?», p. 329. Debemos observar de nuevo que Max Perutz y J. C. Kendrew compartieron el Premio Nobel en 1962 por haber descubierto la estructura en 3-D de la hemoglobina y la mioglobina.

llevado realmente a cabo); pero, dejando de lado el hecho de que esta expansión no ocurrirá de forma automática —cada síntesis tiene sus dificultades específicas—, hay que subrayar que la oxitocina sintetizada por Vigneaud se compone exclusivamente de ocho bloques. Es posible que este número marque el límite inferior de la sencillez proteínica; pero es igualmente cierto que debe haber un umbral superior para el número de bloques que pueden reunirse a través de una reacción química ordinaria.

Podemos comprender ahora por qué reunir la más simple célula le llevó a la Naturaleza en nuestro planeta, y le lleva a la Naturaleza en todas partes, miles de millones de años. Sin embargo, en la actualidad muchos bioquímicos creen que el hombre está a punto de lograr la misma hazaña en mucho menos tiempo y de modo mucho más espectacular: mezclando varios ingredientes inertes en un tubo de ensayo y exclamando «Fiat», en la forma en que comenzó el Génesis según las Escrituras. Casi ninguna visión panorámica glorificadora de los poderes de la biología deja de mencionar el experimento de S. L. Miller, quien obtuvo una mezcla de varios componentes típicamente orgánicos (incluyendo algunos aminoácidos) sometiendo una mezcla de compuestos simples a una elevada descarga eléctrica<sup>17</sup>. Ahora bien, dadas las complicaciones indicadas con respecto a la síntesis sistemática de macromoléculas, así como la insondable complejidad de la carga de complejos transmisibles de una célula viva, podemos estar seguros de que el hombre no puede convertirse en un dador de vida. Piénsese solamente en el hecho de que, a pesar de todo el estruendo periódico, seguimos sin saber cómo muchas proteínas —sin hablar de sus diferentes clases— se encuentran en la más pequeña célula. Y, como ya se ha dicho antes, ese número no puede contarse con los dedos. Incluso algunos de los biólogos que no pueden resistirse a proclamar que los grandes avances recientes «pronto nos permitirán comprender todos los rasgos básicos de la materia viva» acaban admitiendo que «la estructura de una célula nunca se comprenderá de la misma manera que la de las moléculas de agua o de glucosa»<sup>18</sup>.

4. Es indudable que lo que el hombre puede hacer no ha estado precedido siempre por lo que comprende. Tirar una piedra, encender un fuego o fundir un mineral no son los únicos ejemplos. Seguimos sin tener la menor idea acerca de cómo producen sus efectos muchas drogas (sin excluir

<sup>17</sup> S. L. Miller, «Production of Some Organic Compounds Under Possible Primitive Earth Conditions», *Journal of the American Chemical Society*, LXXVII (1955), pp. 2.351-2.361; S. L. Miller y H. C. Urey, «Organic Compound Synthesis on the Primitive Earth», *Science*, 31 de julio de 1959, pp. 245-251.

<sup>18</sup> Watson, pp. 69 y 85. El lector puede encontrar altamente instructivo revisar la larga lista de misterios biológicos de Watson, empezando por «la función primaria de los histones» y terminando por lo que hace que una célula normal «deje de crecer y de dividirse en el momento oportuno». *Ibid.*, pp. 185, 442 y *passim*.

las producidas por el propio organismo). Los biólogos están tan acostumbrados a esta situación que incluso aquellos que aclaman los recientes logros teóricos recurren a la posibilidad de descubrimientos empíricos hechos medio a ciegas al defender un punto de vista excesivamente entusiasta de lo que le espera a la biología<sup>19</sup>. ¿De qué clase de éxitos empíricos se nutren tales opiniones?

Dado que no podemos construir una célula viva del mismo modo en que construimos un edificio (por ejemplo), tendríamos que aceptar la idea de tomar células ya construidas e intentar «remodelarlas» de acuerdo con nuestro deseos. El método, que es un sustituto bastante aproximado de una reacción química, equivale a lanzar nubes de bolas de billar contra trillones de configuraciones de bolas semejantes, con la esperanza de obtener unos cuantos esquemas deseados gracias a los impactos destructores subsiguientes. La analogía es aplicable no sólo al uso de cualquier radiación o de agentes que mutan los genes, sino también a las más reciente técnicas de algenia, otra de las expresiones acuñadas por Leberberg, abreviatura de *alquimia* genética<sup>20</sup>. Estas nuevas técnicas constan de transformación, transducción y conjugación<sup>21</sup>. Mi metáfora aclara perfectamente por qué la probabilidad de un impacto adecuado —incluso si, como sucede en la transducción, un virus es portador de algunas bolas— es sumamente reducida, mientras que la de una mutación letal o indeseable es muy elevada. Con una eficiencia tan baja, la algenia tiene sólo un limitado campo de aplicación<sup>22</sup>. Y, a la vista de las dificultades inherentes a la esencia de las macromoléculas, no parece probable que esa eficiencia pueda mejorarse sustancialmente en un futuro próximo o lejano; mucho menos aún podemos confiar en perfeccionar esa eficiencia de modo que una sola célula (no solamente algunas células entre la inmensidad de ellas) pueda remodelarse exactamente de acuerdo con nuestras intenciones. La cuestión es importante, porque sin una técnica semejante la ingeniería biológica difícilmente

<sup>19</sup> Por ejemplo, E. L. Tatum, «Perspectives from Physiological Genetics», p. 28, y especialmente Sonneborn, «Discussion - Part III», p. 126, ambos en *Control of Human Heredity*.

<sup>20</sup> Joshua Lederberg, «Experimental Genetics and Human Evolution», *American Naturalist*, C (1966), p. 521.

<sup>21</sup> La transformación es el proceso en el que se usa una cadena de ADN seleccionada para destruir y sustituir una cadena equivalente de un núcleo celular. En la transducción, se usa un virus como portador de la cadena dentro del núcleo. La conjugación corresponde al proceso análogo al apareamiento de la célula. Véase Morgan Harris, *Cell Culture and Somatic Variation* (Nueva York, 1964), pp. 84-95; Watson, pp. 215-228; Darlington, *Genetics and Man*, pp. 174-176.

<sup>22</sup> En relación con mi valoración de las aplicaciones prácticas del conocimiento biológico a la agricultura (Capítulo X, Sección 3), debo añadir que las mutaciones ocasionales deseables en los vegetales se han obtenido por medio de la radiación de genes químicos mutantes. Sin embargo, muchos de los progresos constatados en la agricultura han sido en buena medida resultado de «accidentes» en los cruzamientos, sin exceptuar el caso más famoso, el maíz híbrido. Un resumen interesante es el que lleva a cabo Paul C. Mangelsdorf en «Genetics, Agriculture, and the World Food Problem», *Proceedings of the American Philosophical Society*, CIX (1965), pp. 242-248.

puede tener valor práctico. Además, la cuestión nos lleva a otro serio obstáculo al que no parecen prestar atención alguna los heraldos del milenio genético.

Supongamos que sabemos cómo remodelar una sola célula en un esquema previamente seleccionado. Ahora bien, es obvio que, incluso aunque no queramos más que remodelar una estructura, sea una célula o un edificio, seguimos necesitando un esquema completo de esa estructura. Igualmente, pasemos por alto las dificultades de este requisito, mencionadas hace un rato. Existe una dificultad adicional que probablemente no atraiga la atención de un biólogo molecular. Como consecuencia de que trabajan casi exclusivamente con masas de bacteriófagos y de bacterias, los biólogos moleculares tienden a identificar su propia postura con la de los químicos. En efecto, si un biólogo molecular determina la estructura de una sola bacteria perteneciente a una colonia desarrollada a partir de una bacteria, es prácticamente seguro que cualquier otra célula de la colonia tendrá la misma estructura<sup>23</sup>. Ya sabemos que la probabilidad de una mutación es sumamente reducida.

El problema cambia radicalmente en el caso en que deseemos remodelar un huevo de un animal superior, especialmente del hombre. Dejando de lado el caso irrelevante de progenitores genéticamente idénticos y totalmente homocigóticos (excepto el sexo), un huevo fertilizado de cualquier especie reproducida sexualmente es una entidad *única*, en el sentido de que posiblemente no podemos obtener una copia fiel del mismo<sup>24</sup>. Lo mismo es aplicable a un gameto, esto es, a un óvulo o a un espermatozoide. No puede salvarse el punto muerto: si utilizamos para el análisis la única célula, no queda nada para la remodelación.

5. Los obstáculos insuperables que se oponen a la ingeniería eugénica aparecen casi desde todas las direcciones. Observemos, por ejemplo, que, si queremos modificar la estructura química de una célula o de cualquier compuesto, no lo hacemos sólo por esa estructura sino por sus funciones cualitativas. Por consiguiente, si la ingeniería genética ha de convertirse en una realidad útil, debemos saber no sólo cómo cambia la célula  $C_1$  en la  $C_2$ , sino también qué manifestaciones cualitativas están asociadas a toda estructura celular. En otras palabras, debemos saber la relación completa que existe entre genotipos y fenotipos en cada una de las especies de animales, vegetales o bacterias que deseemos remodelar.

<sup>23</sup> No es preciso añadir que lo mismo es aplicable a los huevos de los animales reproducidos de forma asexual. Debo subrayar también que al determinar la estructura de una colonia tenemos que sacrificar de hecho un gran número de individuos.

<sup>24</sup> Puesto que se trata aquí de una argumentación por *reductio ad absurdum*, puedo pasar por alto el hecho de que, caso de ser totalmente homocigótico, un animal superior no es viable: siempre existen algunos genes que son letales en el estado homocigótico.

Ahora bien, casi todos los biólogos moleculares aceptan que los caracteres están relacionados con reacciones químicas bien definidas sólo de forma excepcional. Algunos subrayan también que muchos caracteres son «desesperadamente complejos»<sup>25</sup>, de modo que simplemente describir por completo un fenotipo es una tarea desesperada. Además, la dificultad química (en el que me concentré en el Capítulo V, Sección 1) es aún más onerosa en el caso de un especialista en genética molecular. Debido a que en la mayoría de los casos para conocer sus cualidades primero hay que observar una estructura química, el especialista en genética molecular debe observar y describir el fenotipo de todo posible genotipo. Una y otra vez, la simple aritmética pone de manifiesto la imposibilidad de este requisito previo.

Debemos recordar ante todo unas cuantas propiedades del ADN. Como sabemos desde el descubrimiento de Crick-Watson, cada nucleótido puede estar constituido por una de las cuatro bases orgánicas —adenina (A), citosina (C), guanina (G) y timina (T)— de forma que A esté siempre emparejada con T y C esté siempre emparejada con G<sup>26</sup>. Junto a ello, de acuerdo con un descubrimiento más antiguo y sumamente importante de Chargaff, la proporción de los pares (A, T) —y, por fuerza, de los pares (C, G)— en el complejo de ADN de todo individuo de una especie determinada es la misma<sup>27</sup>. Por último, hemos de tener en cuenta el hecho de que todo intercambio de un par produce un ADN diferente, porque los dos ramales de la doble hélice no son intercambiables<sup>28</sup>.

Designemos con  $N$  el número total de los pares nucleótidos en el complejo de ADN de una especie determinada y con  $f_1, f_2, f_1 + f_2 = 1$ , las proporciones específicas de los pares (A, T), (C, G). El número total de todos los posibles genotipos, viables o no, de esa especie es

$$(1) \quad \Gamma = \frac{N!}{N_1! N_2!} 2^N,$$

donde  $N_i = f_i N$ .

<sup>25</sup> Watson, p. 420.

<sup>26</sup> Watson, p. 261.

<sup>27</sup> Erwin Chargaff, «Chemical Specificity of Nucleic Acids and Mechanism of their Enzymatic Degradation», *Experientia*, VI (1950), pp. 201-209; Chargaff, «Isolation and Composition of the Deoxyribose Nucleic Acids and of the Corresponding Nucleoproteins», en *The Nucleic Acids*, eds. E. Chargaff y J. N. Davidson (3 vols., Nueva York, 1955-1960), I, pp. 350-360. Véase también Watson, pp. 265 y s.

<sup>28</sup> Chargaff, «What Really Is DNA?», p. 319.



¡Aquí aparece de nuevo la fórmula- $H$  de Boltzmann, la pseudoentropía! Para valores grandes de  $N$ , la fórmula (1) da como resultado<sup>29</sup>

$$(2) \quad \Gamma \approx 10^{N(\log 2 - H_{10})},$$

si usamos el logaritmo en base 10, y

$$(3) \quad \Gamma \approx 2^{N(1 - H_2)},$$

si usamos el logaritmos en base 2.

En el caso de la especie humana, hemos de recordar que se estima que  $N$  es  $5 \times 10^9$ . Y, de acuerdo con los resultados de Chargaff<sup>30</sup>,  $f_1 = 0,605$ . Así pues, en virtud de la relación (3), el código genético del hombre tiene una capacidad de información de  $10^{10}$  bites. Este número representa también la cantidad de información (en el sentido de Norbert Wiener<sup>31</sup>) del complejo de ADN de todo individuo humano, del suyo o del mío.

La dimensión de la relación entre los genotipos y los fenotipos humanos se capta de forma más directa a través de la relación (2), que da como resultado  $\Gamma \approx 10^{3 \times 10^9}$ , un número del mismo orden de magnitud que el número mágico  $10^{10}$ , con el que Boltzman pensaba que podía representarse el infinito práctico<sup>32</sup>. Es cierto que no sabemos (y muy probablemente nunca sabremos) cuántos de los complejos de ADN incluidos en  $\Gamma$  son viables<sup>33</sup>; pero, dado el fantástico tamaño de  $\Gamma$ , no podemos dudar de que los complejos viables son más numerosos que todos los protones existentes en el universo (cuyo número, de acuerdo con la suposición de Eddington, sería de  $10^{79}$ ). Hay que observar también que, puesto que el peso molecular de un par nucleótido es 660 daltons, el peso molecular de un complejo de ADN humano es  $33 \times 10^{11}$ , es decir,  $165 \times 10^6$  veces mayor que el de las proteínas medias incluidas en la caja supercósmica mencionada en la Sección 3 anterior. Esta relación de pesos moleculares es tan grande que

<sup>29</sup> Aquí hay que subrayar un detalle. En la forma logarítmica de la fórmula de Stirling,  $\log(n!) \approx n \log(n/e) + (1/2) \log(2\pi n)$ , podemos desprestigiar el último término para valores muy grandes de  $n$ . Esto es lo que hicimos en el Capítulo V, relación (4), y en el Apéndice B, relación (38). Puesto que únicamente estamos interesados en el orden de magnitud, podemos seguir actuando así aquí, a pesar de que nos ocupamos básicamente de  $\Gamma$ , no de  $\log \Gamma$ .

<sup>30</sup> Chargaff, «Isolation and Composition», p. 353.

<sup>31</sup> Véase la fórmula (18) en el Apéndice B anterior.

<sup>32</sup> Apéndice F, nota 12, anterior.

<sup>33</sup> La escasez de nuestros conocimientos sobre el complejo de ADN humano es otro factor que contrasta nítidamente con la confianza que algunos manifiestan acerca de la inminente viabilidad de la ingeniería eugenésica o incluso eufenésica. Sólo hace unos pocos años se demostró que el número correcto de cromosomas humanos es de 46, en lugar de 48 como se había creído durante mucho tiempo. Véase J. H. Tjio y A. Levan, «The Chromosome Number of Man», *Hereditas*, XLII (1956), pp. 1-6. En lo que respecta al número de genes humanos, no hay más que especulaciones arbitrarias, según las cuales puede haber sólo 50.000 o llegar a 1.000.000. De todos estos, únicamente se ha identificado a unos cien y sólo se ha localizado superficialmente a unos pocos. Véase G. Pontecorvo, «Prospects for Genetic Analysis in Man», en *Control of Human Heredity*, ed. Sonneborn, p. 89.

podemos estar seguros de que, si únicamente los complejos viables se incluyesen en una caja cúbica, esta caja sería igualmente de dimensiones supercósmicas.

Por otra parte —lo que es bastante sorprendente—, ¡todos los complejos de ADN de la actual población mundial podrían almacenarse con facilidad en un pequeño dedal! Si un biólogo lograra la imposible hazaña de analizar genéticamente y describir fenotípicamente todas las personas actualmente vivas, su muestra de toda la población progenitora sería proporcionalmente mucho más pequeña que la de una gota de agua respecto de todos los océanos de la Tierra. A pesar de su gran tamaño absoluto, semejante muestra sería totalmente insuficiente para inferir nada sustancial sobre una relación que implica una variable cualitativa (el fenotipo).

Sin embargo, la idea de analizar genéticamente gran número de seres humanos tropieza con un obstáculo más elemental al que, inexplicablemente, se ignora por parte de los planes eugenésicos que piden clínicas en las que se pueda analizar así a todo el mundo. El problema consiste en que, simplemente para imprimir las iniciales A, T, G, C de la secuencia de nucleótidos sólo en un ramal del complejo de ADN, necesitaríamos unos 6.000 volúmenes del mismo tamaño que el que usted está leyendo ahora. Por muy difícil de creer que pueda parecer, la carga de identificación completa de una persona es una pequeña biblioteca que, además, no debe contener ni siquiera un solo error tipográfico. Por consiguiente, antes de airear la idea de las clínicas genéticas, hay que pararse a considerar cuántas imprentas y cuántos correctores de pruebas serían necesarios para respaldar el proyecto y si el mundo seguiría siendo capaz de emprender otra actividad editora. No cabe duda alguna de que, como dictaminó Bentley Glass, «pesadilla» es el término apropiado para describir cualquier visión de las clínicas genéticas<sup>34</sup>.

Creo que nada podría mostrar más dramáticamente la dificultad de la ingeniería biológica que una sólida ciencia analítica. En un extremo, se encuentra el número astronómico de complejos de ADN con otros tantos mapas fenotípicos individualmente distintos; en el otro, las dimensiones inframicroscópicas de los componentes de un inmenso complejo que ha de ser eliminado, sustituido o desplazado.

6. Contra todo lo que he dicho hasta ahora se puede oponer el hecho de que en la biología, más que en las restantes ciencias de la Naturaleza, muchos de los descubrimientos que tienen valor operativo son producto

<sup>34</sup> Bentley Glass, «Summary and Concluding Remarks», *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology*, XXIX (1964), p. 478. No necesito insistir en las dificultades especiales: que en la actualidad no tenemos la más ligera idea de cómo aislar cromosomas intactos, de cómo resolver la secuencia ni siquiera de una pequeña molécula de ADN, y así sucesivamente. Véase Chargaff, «What Really Is DNA?», pp. 327-329; H. J. Muller, «Means and Aims in Human Genetic Betterment», en *Control of Human Heredity*, p. 107.

de una investigación inspirada aunque medio a ciegas. Esta postura —a la que ya me he referido— sostiene que el milenio eufenésico y eugenésico para la humanidad puede provocarse exclusivamente en virtud de una serie de golpes de suerte en el laboratorio: el conocimiento de relaciones completas del tipo considerado en la sección precedente no constituye un requisito previo del éxito operativo. Sin embargo, la argumentación no descansa siempre sólo sobre el enfoque simplista de que nadie puede decir que, con el tiempo, no llegue a darse el correcto avance decisivo<sup>35</sup>. Por regla general, ese enfoque extrapola a partir de ciertos hechos empíricamente comprobados y puede invocar también algunos de los principios viables de la biología molecular. Ahora bien, lo que por encima de todo debería atraer nuestra atención es el hecho de que esas extrapolaciones (al menos todas las que son muy importantes) no son del mismo tipo que las que se encuentran en otras ciencias de la Naturaleza. Las últimas son generalmente extrapolaciones cuantitativas; las primeras están recorridas por un espectro cualitativo que puede ser tan amplio como para incluir todo, desde los bacteriófagos a los mamíferos. Por esta única razón, normalmente tendríamos que esperar el desmoronamiento de una extrapolación biológica, incluso con la más elemental clase de prueba; y en la mayoría de ellas, así sucede.

Podemos comprender con facilidad por qué los microorganismos, especialmente los bacteriófagos, han suministrado el campo de investigación preferido por los biólogos moleculares y químicos. Las bacterias y los virus son baratos y, sobre todo, producen una generación adicional en unos pocos minutos. Sin embargo, estas facilidades tienen su precio: han causado una deformación profesional a la que sólo unos pocos biólogos moleculares han quedado inmunes. Se trata del complejo de bacteria, como podemos llamarlo. Se trata del dogma de que «todo éxito en la manipulación o el control de material genético de microorganismos sería aplicable en último término a organismos superiores multicelulares, incluido el hombre»<sup>36</sup>. Para justificar esta predicción se necesita mucho más, muchísimo más, que la mera observación de que la bioquímica de la célula debe estar sujeta en ambos casos a las mismas leyes. Si las estructuras implicadas son tan notablemente diferentes como una bacteria y un hombre, la identidad de principios no asegura necesariamente la igualdad de resultados. Las células de los organismos superiores son más complicadas que las de las bacterias: en

<sup>35</sup> El enfoque se usa, por ejemplo, por Tatum en «Perspectives», p. 34, y por Robert DeMars en «Investigations in Human Genetics with Cultivated Human Cells: A Summary of Present Knowledge», en *Control of Human Heredity*, p. 77.

<sup>36</sup> Tatum, «Perspectives», p. 22. Sin embargo, al igual que muchos de sus también distinguidos colegas, Tatum vuelve pronto a dudar de que ninguna de «las técnicas de ingeniería genética microbiana tenga suficiente eficiencia o especificidad para garantizar la esperanza de su aplicabilidad a más de una situación excepcional [en] organismos superiores, como el hombre». *Ibid.*, p. 28.

lugar de uno simple, tienen un conjunto cromosómico doble. Entre otras muchas cosas, podemos citar la diferencia entre las membranas celulares y nucleares de los dos tipos de células.

Pero las diferencias más importantes tienen sus raíces en el hecho de que, a diferencia de todas las células somáticas de un organismo, una colonia de una bacteria o de un bacteriófago representa una masa homogénea. Las bacterias y los bacteriófagos no hacen más que reproducirse sin cesar y, la mayoría de las veces, de forma idéntica. Frente a ello, el huevo fertilizado de un organismo superior da lugar a un inmenso número de nuevas células que manifiestan diferencias cualitativas categóricas. Ninguna de esas células es idéntica, ni siquiera de forma aproximada, al propio huevo.

Indudablemente, las células somáticas se dividen y forman colonias si se las separa del organismo y se las proporciona condiciones adecuadas para desarrollarse; pero, incluso en este caso, el proceso no es el mismo que en el de las bacterias. Como subrayan muchos especialistas, todo cultivo celular acaba por ser una colonia de células *degeneradas*, más cercanas a las células cancerígenas que a las normales<sup>37</sup>.

Si, por ejemplo, una bacteria entra en contacto con un bacteriófago, sabemos lo que pasará: el bacteriófago penetrará la célula de la bacteria y, dependiendo de las circunstancias, la destruirá o se incorporará a ella. Ahora bien, si los virus entran en el cuerpo humano, nadie puede predecir con precisión qué células se verán afectadas o qué le sucederá al propio organismo. Esta cuestión es importante para la idea aireada por muchos biólogos de la posibilidad de curar la diabetes u otros defectos similares heredados reemplazando algenésicamente el gen culpable. Es de suponer que la idea implica que el gen culpable se sustituirá en cada una de las células del organismo. Sin embargo, aparentemente nadie ha intentado siquiera sugerir que podría llevarse a cabo tan fantástica operación. ¡Un organismo humano tiene unas  $5 \times 10^{12}$  células somáticas!

Por estas y por otras razones, más técnicas, más de un biólogo insiste en que un sistema de microorganismos o un cultivo celular han de contemplarse exclusivamente como modelo útil, «una herramienta para aprender trucos y desarrollar técnicas» para objetivos posteriores<sup>38</sup>. Y los mismos autores nos llaman unánimemente la atención contra la falsa esperanza creada al extrapolar a organismos multicelulares las operaciones algenésicas válidas para estructuras unicelulares. Como nos advierte Watson, «no debemos dejarnos fascinar por nuestros éxitos pasados al afirmar ciegamente

<sup>37</sup> Harris, *Cell Culture*, pp. 162-169 y 176 y s.; Alex Comfort, «Longevity of Man and his Tissues», en *Man and His Future*, p. 225; G. Klein, «Discussion - Part II», en *Control of Human Heredity*, p. 93. Este hecho añade un gran interrogante a otra extrapolación sobre la que Joshua Lederberg edifica parte de sus grandes esperanzas características. Véase su «Biological Future of Man», en *Man and His Future*, ed. Wolstenholme, p. 265.

<sup>38</sup> G. Pontecorvo, «Discussion - Part II», en *Control of Human Heredity*, p. 96.

que nuestros logros a nivel molecular con bacterias pueden extenderse de forma automática a las células de [objetos extremadamente complejos, tales como] vegetales y animales superiores»<sup>39</sup>. Sin embargo, es posible que la forma más simple y más directa de exponer la dificultad central sea la protesta final de Klein: «si una célula humana se comporta... como un microbio, no es ya una célula humana, ni mucho menos un hombre»<sup>40</sup>.

7. Como se mencionó en el Capítulo XI, Sección 5, anterior, los experimentos con anfibios iniciados por R. Briggs y T. J. King suministran la base para la afirmación de que la clonación de personas es una hazaña biológica inminente. Aun cuando en este caso la extrapolación es mucho más modesta que la existente entre microbio y hombre, descansa sobre una confusión entre principios y hechos tan enorme como la que se encuentra tras cualquier otra de las extravagantes visiones eufenésicas o eugenésicas.

Es importante que tengamos presente de entrada los dos principios que constituyen el indispensable entramado teórico de la posibilidad de clonar no solamente a personas sino a toda especie reproducida sexualmente. Esos principios son: (1) *La Suficiencia Cromosómica*, que proclama que toda la información necesaria para el desarrollo y funcionamiento de un organismo está contenida en el ADN cromosómico del huevo fertilizado; y (2) *La Identidad Cromosómica*, que afirma que el complejo cromosómico de toda célula somática es idéntico al del huevo a partir del que se ha desarrollado el organismo<sup>41</sup>.

Los hechos que insinúan la posibilidad de la clonación artificial se remontan en realidad a los famosos experimentos de Hans Driesch (1891), quien demostró que un organismo puede desarrollarse no sólo a partir de un huevo sino también a partir de una célula somática, siempre que esto suceda en una fase embrionaria muy primitiva<sup>42</sup>. Los descubrimientos de Briggs y King representan un nuevo paso en el mismo sentido: ponen de manifiesto que, incluso en una fase posterior del desarrollo, un núcleo somático es capaz de provocar el desarrollo si se le trasplanta a un huevo enucleado; pero también muestran algo igualmente importante, que cuanto más avanzada sea la fase de la que proviene el núcleo somático, menor es la probabilidad de que el huevo así creado por ingeniería se desarrolle más allá de cierto estado. En otras palabras, con cada nueva fase del

<sup>39</sup> Watson, p. 414. Advertencias semejantes, incluso más claras, llegan de muchos otros autores. Por ejemplo, Luria, «Directed Genetic Change», pp. 14-16; R. D. Hotchkiss, G. Klein, «Discussion - Part I», en *Control of Human Heredity*, pp. 41-44; Pontecorvo, «Prospects», p. 89.

<sup>40</sup> Klein, «Discussion - Part II», en *Control of Human Heredity*, p. 92.

<sup>41</sup> En lo que se refiere a estos principios, véase Watson, pp. 10 y s., 255 y 418. (El Principio de Identidad Cromosómica no debe confundirse con la especificidad del ADN establecida por Chargaff).

<sup>42</sup> Véase el Capítulo V, Sección 1, anterior, especialmente las notas 16-18. Véase también Jacques Loeb, *The Organism as a Whole from a Physicochemical Viewpoint* (Nueva York, 1916), cap. vi; Harris, pp. 3-5.

desarrollo, el núcleo somático pierde progresivamente su poder de provocar el desarrollo. Si la fase es demasiado avanzada, el núcleo no puede ya producir desarrollo alguno<sup>43</sup>.

Incluso aunque soslayemos el problema de dónde puede terminarse sin peligro alguno el desarrollo de un huevo humano creado por ingeniería (no debe pasarse por alto el problema del rechazo), los experimentos de Briggs-King pueden justificar únicamente la clonación de personas a partir de células embrionarias. Sin embargo, a nivel embrionario no hay Einsteins o Beethovens reconocidos. En el análisis final, los resultados obtenidos por Briggs y King (y, más tarde, por otros) apuntan exactamente en el sentido opuesto al considerado por los defensores de la viabilidad de la clonación. Lejos de apoyar esa visión, tales resultados han puesto de manifiesto algunos obstáculos sustanciales a la misma. En primer lugar, como mínimo ponen en tela de juicio la validez del Principio de Identidad Cromosómica. Aún más, fortalecen, en vez de debilitar, la postura de que el desarrollo de un huevo dentro de un organismo es un fenómeno irreversible (mejor dicho, irrevocable). De acuerdo con esta postura, una célula somática completamente diferenciada —un nervio, un hígado o una célula medular de un animal totalmente desarrollado, por ejemplo— no puede volver ni por sí misma ni por medio de la intervención del hombre a su estado inicial de un huevo capaz de desarrollarse en un nuevo organismo<sup>44</sup>.

Curiosamente, el hecho de esta irreversibilidad es aceptado incluso por los biólogos que permanecen aferrados al Principio de Identidad Cromosómica, principio con el se encuentra en flagrante contradicción. Así, no debiéramos sorprendernos si alguno de los mismos biólogos admite en último término que el proceso por el que un organismo se desarrolla a partir de una célula constituye una fuente permanente de perplejidad para los biólogos<sup>45</sup>. En este aspecto, son de la misma opinión que los biólogos «tradicionales» que han venido insistiendo continuamente en que el desarrollo a cualquier nivel de organización sigue siendo «un proceso en gran parte inaccesible e ininteligible» desde el punto de vista molecular<sup>46</sup>.

Ha sido especialmente en relación con los Principios de Suficiencia e Identidad Cromosómicas donde han surgido las mayores y más serias dificultades del desarrollo. Con el fin de llevar a cabo una rápida revisión, sea  $C_i^k$  una de las células existentes tras las primeras  $k$  divisiones de un huevo fertilizado  $C_1^0$ . De acuerdo con los descubrimientos de Driesch, cada una

<sup>43</sup> R. Briggs y T. J. King, «Changes in the Nuclei of Differentiating Gastrula Cells, as Demonstrated by Nuclear Transplantation», *Proceedings of the National Academy of Sciences*, XLI (1955), p. 322, y «Nuclear Transplantation Studies on the Early Gastrula, *Rana pipiens*», *Developmental Biology*, II (1960), pp. 252 y 266. Véase también la nota 118 del Capítulo XI anterior.

<sup>44</sup> Para referencias, véase la nota 123 del Capítulo XI anterior.

<sup>45</sup> Watson, p. 416.

<sup>46</sup> Darlington, p. 162.

de las  $C_1^1$  y  $C_2^1$  puede desarrollarse en un organismo completo si están *separadas* en esa fase. Por consiguiente, serían idénticas *in toto* a  $C_1^0$ . Pero, en ese caso, ¿por qué habría que dejar que las mismas células *no separadas* se desarrollasen en un solo individuo? Igualmente, si  $C_1^0 \equiv C_1^1 \equiv C_2^1$ , por inducción tendríamos  $C_1^0 \equiv C_i^k$  para todo  $i$  y  $k$ ; es decir, no habría desarrollo sino sólo crecimiento, como en el caso de la bacteria. Por otra parte, si aceptamos la idea de que el desarrollo comienza únicamente tras una división determinada, introducimos un salto cualitativo de difícil justificación desde el punto de vista fisicoquímico. Es posible que debamos suponer que dentro de todo huevo fertilizado existe cierto tipo de mecanismo temporal; pero si lo hacemos así, ¿cómo podemos conciliar el desarrollo con el Principio de Identidad Cromosomática?

Con el fin de preservar este último principio, se ha sugerido que no todos los genes están vivos en todo momento. La idea, a su vez, conduce a un sistema muy complicado de «represores» e «inductores». Pero, una y otra vez, todas las pruebas relacionadas con este sistema represivo-desrepresivo nos llegan de los bacteriófagos o de las bacterias<sup>47</sup>. Además, nadie parece dispuesto a afirmar que este sistema sea suficiente para explicar diferencias de comportamiento, ni siquiera en el caso de microorganismos. Y, lo que es más importante, no existe indicio alguno de que un represor-desrepresor sea responsable del hecho de que una célula hepática sintetice proteínas distintas de las sintetizadas por una célula nerviosa. Como sostienen algunos biólogos, quizá los genes reprimidos «no existan en absoluto»; e insisten, con razón, en que no disponemos de contrastación alguna del Principio de Identidad Cromosomática<sup>48</sup>.

La defensa indirecta de este principio (corregido por un sistema represor-desrepresor) dice que «nadie será capaz jamás de resolver todos los detalles químicos» del desarrollo somático y que seguimos siendo incapaces «de estudiar la diferenciación fuera de un organismo intacto»<sup>49</sup>. De este modo, únicamente logramos velar la verdad, que consiste en que el desarrollo de un organismo no puede reducirse a una biología de la célula individual. El desarrollo es un proceso que implica a todas las partes (no sólo al ADN cromosomático) del huevo y, posteriormente, a todas las células somáticas.

<sup>47</sup> En lo que respecta a este sistema y al problema de la diferenciación somática, véase Watson, caps. 14 y 15. En los últimos años, las pruebas (en relación con los bacteriófagos y las bacterias) se han visto enriquecidas con el exitoso aislamiento de algunos «represores». Véase, por ejemplo, W. Gilbert y B. Müller-Hill, «Isolation of the *Lac* Repressor», *Proceedings of the National Academy of Sciences*, LVI (1966), pp. 1.891-1.898, y, de los mismos autores, «The *Lac* Operator Is DNA», *ibid.*, LVIII (1967), pp. 2.415-2.421.

<sup>48</sup> Klein (citado en la nota 37), p. 94. Con respecto a esta duda, podemos resaltar el hecho recientemente constatado de que las células de un organismo femenino no son genéticamente idénticas: existe una notable diferencia entre los dos cromosomas X de unas células y los de otras. Watson, p. 419.

<sup>49</sup> Watson, pp. 418 y 438.

En mi opinión, se trata de un juicio sintético y, como tal, no precisa contrastación. Sólo una filosofía ultramecanicista pudo hacernos rechazar este juicio. Así, actualmente consideramos cada contrastación de su validez llevada a cabo en el laboratorio aún más valiosa de lo que en otro caso justificaría su contenido específico<sup>50</sup>.

El Principio de Suficiencia Cromosomática plantea también un difícil problema en relación con los resultados de Briggs-King. Si el citoplasma no desempeña un papel definido en el desarrollo, ¿por qué un núcleo somático provocaría el desarrollo *sólo si se trasplantase dentro del citoplasma de un huevo*? Que yo sepa, ningún biólogo ha considerado jamás este problema. Creo que la explicación es bastante sencilla, además de muy esclarecedora.

Fascinados como están por el álgebra combinatoria del modelo mendeliano simple y, más recientemente, por códigos y codones, ninguno de los biólogos modernos parece comprender que es mucho más importante saber qué es lo que «hace» que una mata de guisantes *tenga flores* que saber qué es lo que «hace» que sus flores *sean rosas*<sup>51</sup>. Es curioso observar cómo un biólogo tras otro niegan toda simpatía por el idealismo a la vez que hablan de *forma sin sustancia*, es decir, sólo acerca de los determinantes de los caracteres. Incluso aquellos biólogos que no reducen la biología a fenómenos moleculares, nos enseñan que lo que heredamos es exclusivamente la potencialidad de desarrollar este o aquel carácter<sup>52</sup>. De esta forma, no se llega a plantear la muy simple cuestión: ¿por qué un huevo fertilizado de un ratón *blanco* no se desarrolla en un conejo *blanco* o, incluso, en un oso *blanco*? Ahora bien, para hablar acerca del cuerpo material, no sólo sobre caracteres, hay que admitir que también el citoplasma desempeña un papel definido tanto en la herencia como en el desarrollo somático. El problema reside en que ese papel, pese a que ya no puede ponerse en duda, no encaja en el modelo mendeliano<sup>53</sup>. Darlington pone el dedo en la llaga de la

<sup>50</sup> Esto no implica que algunas pruebas de la interacción celular no sean muy interesantes por sí mismas. En lo que se refiere a tales pruebas, véase, por ejemplo, W. R. Loewenstein, «Communication through Cell Junctions: Implications in Growth Control and Differentiation», en *Developmental Biology*, 1968, Supl. 2, pp. 151-183.

<sup>51</sup> El modelo mendeliano simple supone que cada carácter tiene solamente dos formas —por ejemplo, rosa y blanca— que están controladas por un par de alelomorfos con independencia de otros caracteres. Sin embargo, la mayoría de las veces un gen controla varios caracteres (pleiotropismo) y un carácter es controlado por varios genes (poligenia). Además, la forma en que actúan los poligenes sigue siendo un gran misterio, hecho que plantea una drástica limitación a las prácticas eugenéticas. Véase P. B. Medawar, *The Future of Man* (Nueva York, 1960), pp. 54 y s.; Theodosius Dobzhansky, «Human Genetics - An Outsider's View», *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology*, XXIX (1964), p. 3. La cuestión afecta a la visión eufenésica, antes mencionada, que está basada en la idea de que solamente un gen es responsable de los defectos innatos.

<sup>52</sup> Por ejemplo, C. H. Waddington, *Nature of Life*, p. 29.

<sup>53</sup> En lo que respecta al papel de los plasmagenes (los elementos activos del citoplasma) en la herencia, hay que recurrir normalmente a la literatura especializada, por ejemplo, Harris, pp. 2 y

biología del ADN cuando observa que los plasmagenes (los poco conocidos determinantes del citoplasma) se nos escapan debido sencillamente a que son «la mismísima vida de las células»<sup>54</sup>.

Todo tiende a indicar que debemos desechar también el Principio de Suficiencia Cromosómica. Sin embargo, en este caso, se puede legítimamente dudar de que los individuos desarrollados por el trasplante de Briggs-King sean auténticos clones, es decir, hermanos gemelos idénticos, del donante del núcleo; algunos de sus caracteres deben proceder del donante del huevo. Se trata aquí de un problema importante que ningún biólogo parece haber planteado. Pero no se puede culpar a nadie. Como consecuencia de las infinitas cualidades y formas desplegadas por el estado vivo, en biología existe siempre un número inusualmente grande de problemas que nos asedian. Es inevitable que en todo momento pasemos por alto muchos de tales problemas, posiblemente aún más que aquellos con los que estamos luchando enérgicamente. Tal como la he intentado perfeccionar en este apéndice, la imagen que se nos presenta alcanza dimensiones supercósmicas, pero con unos contornos definitivos enormemente deficientes. Ambas características van de consuno.

95-113. Para una presentación menos técnica, véase Darlington, pp. 146-149 y 157-163. Supongo que el papel del citoplasma en el desarrollo está demostrado por los resultados de Briggs-King.

<sup>54</sup> Darlington, p. 153.

## ÍNDICE ONOMÁSTICO

- Abelson, P. H., 142  
 Anaxágoras, 115, 276  
 Anaximandro, 78  
 Aristóteles, 72, 78 y s., 86, 110, 113 y s., 118, 187, 246, 409, 459, 461, 464  
 Arquímedes, 372  
 Arrhenius, Svante, 253, 273  
 Asch, Solomon E., 403  
 Ashby, W. R., 135, 137, 139, 144  
 Atwood, K., 427, 429, 438  
 Auerbach, Felix, 250, 266  
 Ayer, A. J., 131, 419  
 Ayres, Eugene, 377  
 Azaïs, Hyacinthe, 464, 498, 502
- Babbage, Charles, 134  
 Bacon, Francis, 86, 180  
 Bailey, Cyril, 86  
 Ball, W. W. Rouse, 141  
 Barnard, Christiaan, 436  
 Bauer, S., 87  
 Becquerel, A. H., 81  
 Bell, E. T., 451  
 Benedetti, C., 220  
 Bentham, Jeremy, 115, 150, 153, 412, 486  
 Bergson, Henri, 55, 111, 115, 119 y s., 181, 186, 198, 252-254  
 Berkeley, George, 450, 463  
 Bernal, J. D., 179  
 Bernoulli, Johann, 451  
 Bertalanffy, L. von, 90, 169, 174, 251, 266  
 Bertrand, Joseph, 105, 499  
 Binet, Alfred, 137  
 Birkhoff, G. D., 114, 212-214, 493 y s.
- Black, Max, 91  
 Blum, H. F., 266, 268  
 Bohm, David, 72, 103, 106-109, 111, 118, 121, 126, 178, 235, 500  
 Bohr, Niels, 54, 82, 118, 171, 173, 236, 242 y s., 245, 252, 276, 419  
 Bois-Reymond, Paul du, 458  
 Boltzmann, Ludwig, 51, 52, 199, 203-209, 216 y s., 219-227, 248-250, 253 y s., 260, 263, 491 y s., 500 y s.  
 Bolzano, Bernhard, 70  
 Bondi, H., 263  
 Borel, Émile, 105, 117 y s., 207, 371, 449, 453-455, 459, 463 y s., 501  
 Born, Max, 173, 216, 233 y s.  
 Bortkiewicz, L. von, 333  
 Boulding, Kenneth E., 301  
 Bowden, B. V., 134  
 Bowley, A. L., 284  
 Bradley, F. H., 120  
 Brain, Walter Russell, Lord, 435  
 Bridgman, P. W., 70, 82, 85, 89, 92, 100 y s., 109, 111, 118 y s., 124 y s., 130, 132, 148, 156, 169, 185, 188, 190, 192 y s., 198, 249, 262, 269, 350, 400, 408, 411, 417-419, 423 y s., 442, 492, 500 y s.  
 Briggs, R., 427 y s., 516 y s.  
 Brillouin, L., 249, 481-486  
 Broad, C. D., 119, 185-187  
 Broglie, Louis de, 72, 82 y s., 103, 113-115, 121, 125, 153, 164, 171, 178, 185, 227, 231 y s., 235 y s., 245, 419, 486  
 Burbury, S. H., 206  
 Burnet, John, 78, 82, 85, 109  
 Butler, Samuel, 143

- Campos, Roberto de Oliveira, 389  
Cantor, Georg, 92, 113 y s., 155, 447, 450 y s., 455, 463  
Carnot, Sadi, 183, 347  
Cépède, M., 369, 374  
Chamberlin, E. H., 311  
Chargaff, Erwin, 503-505, 507, 511-513  
Childe, V. Gordon, 440  
Clapham, J. H., 399  
Clark, Colin, 66, 435 y s.  
Clausius, Rudolf, 49, 183, 197, 369  
Cobb, J. A., 392  
Comfort, Alex, 515  
Compton, Arthur H., 180  
Coon, Carleton S., 433  
Cournot, A., 410  
Crick, F. H. C., 431 y s.  
Croce, Benedetto, 85  
Cuvier, Georges, 72, 170, 271  
D'Alembert, J. L., 498, 501 y s.  
Darlington, C. D., 422, 504, 509, 517, 519, 520  
Darwin, Charles, 86, 96, 112, 132  
Davis, Harold T., 62 y s.  
Davis, Ruth, 77  
Dedekind, R., 113, 456  
Delage, Yves, 125  
Delbrück, Max, 173, 179, 245  
Demaria, G., 410  
DeMars, Robert, 514  
Descartes, René, 134  
Diderot, Denis, 426, 428, 431  
Djilas, Milovan, 386  
Dobzhansky, Theodosius, 127, 182, 433, 435, 519  
Doob, Leonard, 440  
Dorfman, R., 327  
Driesch, Hans, 174, 403, 516  
Duesenberry, James, 181  
Durant, Will, 98  
Eckert, J. P., 143  
Eckstein, O., 323  
Eddington, A. S., 171, 182, 185, 188, 192, 223, 236 y s., 242, 245, 249-252, 260, 269, 403  
Edgeworth, F. Y., 153, 411  
Ehrenfels, C. von, 403  
Ehrenfest, Paul y Tatiana, 203, 206 y s., 218, 254, 487  
Einstein, Albert, 82, 84, 88, 227, 234, 249, 262, 269, 406  
Engels, Friedrich, 85, 299, 314, 332, 374, 385, 387, 391  
Eucken, Walter, 401, 404  
Euclides, 73  
Eves, H., 451  
Fermi, E., 212  
Ferns, H. S., 83  
Fetter, Frank, 355  
Fink, D. G., 138  
Fisher, Irving, 45, 62, 285, 289, 355, 398, 409  
Fisher, R. A., 393  
Foner, Philip S., 314  
Frank, Ilya M., 251  
Frank, Philipp, 193, 222, 226, 254, 499  
Frege, Gottlob, 116  
Friedman, Milton, 408  
Frisch, Ragnar, 409  
Furtado, Celso, 385  
Gabor, D., 482  
Galbraith, J. K., 417  
Galileo Galilei, 60, 149, 158  
Galois, Évariste, 163  
Galton, Francis, 392 y s.  
Gambs, John G., 396, 407  
Gamow, G., 111, 215, 263  
Gelbaum, B. R., 453  
Gelernter, H., 144  
Getschenkron, A., 389  
Gibbs, J. Willard, 62, 203, 217, 219, 221 y s.  
Gilbert, W., 518  
Glass, B., 428  
Glassman, James K., 436, 513  
Gold, T., 263  
Graves, L. M., 94  
Green, P., 402  
Grond, L., 369  
Grünbaum, A., 121, 459  
Guardia, J. M., 134  
Guilford, J. P., 133, 137  
Gunton, G., 314  
Gurney, R. W., 203  
Guye, Charles E., 179  
Haar, D. ter, 161 y s., 188, 204, 212, 218 y s., 487, 500  
Hadamard, Jacques, 84, 86, 92, 198, 218  
Haldane, J. B. S., 90, 158, 182 y s., 371, 393, 427, 431 y s., 434  
Halévy, Élie, 150  
Halmos, P. R., 213, 215  
Halstead, W. C., 137, 139  
Hardy, G. H., 459  
Harris, Morgan, 427-429, 509, 515 y s., 519  
Hartley, R. V. L., 472, 478  
Hausdorff, F., 454  
Hayek, F. A., 411, 442  
Hegel, G. W. F., 79, 92, 98, 112, 122, 130, 132, 156, 189, 238, 241, 275, 404, 410, 413  
Heisenberg, Werner, 82, 130, 156, 167, 178, 242, 250, 417-419  
Helm, G., 354  
Helmholtz, Hermann, 250  
Heráclito, 109  
Hicks, J. R., 284, 287, 317, 338  
Hilbert, David, 456  
Hinshelwood, C. N., 173  
Hirth, Georg, 250  
Hobson, E. W., 116, 449-452, 463 y s.  
Hocking, William Ernest, 80  
Homan, Paul T., 396, 409  
Hotchkiss, R. D., 516  
Houtart, F., 369  
Hoyle, Fred, 263, 273  
Hume, David, 95  
Husserl, Edmund, 70, 127  
Huxley, Aldous, 426  
Huxley, Julian S., 86, 182, 431, 434  
Infeld, L., 88  
Ingram, V. M., 504  
Jeans, James H., 56, 218  
Jeffrey, Harold, 128  
Jenócrates, 97  
Jenofonte, 364, 387  
Jevons, W. Stanley, 45, 47, 51, 88 y s., 368-370, 378, 398, 409 y s., 412  
John, E. Roy, 139  
Jourdain, Philip E. B., 92, 450  
Jruschev, Nikita, 425  
Juglar, Clément, 194  
Kaldor, Nicholas, 176  
Kant, Immanuel, 83, 234, 238, 240-242, 464  
Kapp, Reginald O., 263  
Kautsky, Karl, 382  
Kaysen, Carl, 166  
Kelvin, William Thomson, Lord, 197, 367  
Kendrew, J. C., 507  
Kepler, Johannes, 110  
Keynes, John Maynard, 417  
Khinchin, A. I., 202 y s., 215 y s., 218-220  
King, T. J., 427 y s., 516 y s.  
Kipling, Rudyard, 405  
Klein, Felix, 458  
Klein, G., 429, 515 y s., 518  
Knight, Frank H., 47, 85, 89, 99, 111, 395, 398 y s., 414, 418  
Koestler, A., 134, 246  
Koffka, K., 403  
Köhler, Wolfgang, 403  
Konenkov, S. T., 440 y s.  
Koopman, B. O., 218  
Koopmans, T. C., 284, 298, 394, 417  
Koprowski, Hilary, 435  
Korsch, Karl, 396  
Krönig, A., 219  
Kuznets, Simon, 363, 417  
Laing, Richard, 144  
Laplace, P. S. de, 87, 108, 147, 229  
Lashley, K. S., 139 y s.  
Lawrence, W., 392 y s.  
Lederberg, Joshua, 371, 426-430, 434, 438, 509, 515



Leibnitz, G. W. von, 141  
 Lenin, V. I., 384, 425  
 Leonardo da Vinci, 134  
 Leontief, Wassily, 162, 284, 287, 294, 321-323, 326-329, 339-343, 414  
 Leucipo, 78, 110  
 Levan, A., 512  
 Lévy, Paul, 454  
 Lewis, G. N., 222, 225 y s., 250, 260, 467 y s., 472, 485  
 Liebig, Justus von, 378  
 Lindsay, R. B., 178, 501  
 Linneo, Carolus, 126 y s.  
 Lisman, J. H. C., 62 y s.  
 Loeb, Jacques, 516  
 Loewenstein, W. R., 519  
 Lorentz, H. A., 156  
 Loschmidt, J., 206, 248  
 Lotka, Alfred J., 56, 85, 94, 254, 259, 355, 380 y s.  
 Lovelace, Augusta Ada King, Lady, 143  
 Lowe, Adolph, 424 y s.  
 Lucrecio, 226  
 Luria, S. E., 428, 504, 516  
 Luxemburg, Rosa, 420  
 Lysenko, T. D., 430

Mach, Ernst, 75, 79, 85, 109  
 Magendie, François, 87  
 Malthus, Thomas, 369, 392  
 Mandeville, Bernard, 389  
 Mangelsdorf, Paul C., 509  
 Mannheim, K., 440  
 Marbe, Karl, 464, 498, 502  
 Marett, R. R., 183, 433  
 Margenau, H., 103, 178, 185, 193, 198, 236, 263, 442, 501  
 Marshall, Alfred, 56, 351, 353, 396 y s., 399 y s., 406 y s., 411, 413, 417  
 Marx, Karl, 46, 85, 238, 276, 281, 294 y s., 299, 310-312, 314, 321, 330-336, 360-362, 380 y s., 385, 387, 391, 394, 396, 399 y s., 406 y s., 413 y s.  
 Maxwell, J. Clerk, 194, 205, 209, 248, 251  
 Mayer, Robert, 132

McCrea, W. H., 263  
 McCullock, W. S., 137, 140  
 McTaggart, J. M. E., 122, 185-188  
 Medawar, P. B., 74, 127, 133, 266 y s., 373, 402, 428 y s., 433 y s., 436, 519  
 Mendelssohn, K., 204, 499 y s.  
 Menger, Carl, 89  
 Mettrie, Julien de La, 134  
 Michurin, I. V., 430  
 Mill, John Stuart, 79, 398  
 Miller, S. L., 508  
 Milne, E. A., 157, 185, 187  
 Mises, Richard von, 221, 230 y s., 463  
 Mitchell, Wesley C., 394  
 Modigliani, Franco, 181  
 Moore, W. J., 193  
 Morgan, Lewis H., 374  
 Moro, Tomás, 376  
 Muller, Cornelius, 131  
 Muller, H. J., 431, 513  
 Müller-Hill, B., 518

Nagel Ernest, 104, 229, 496  
 Needham, Joseph, 253, 258  
 Neumann, John von, 82, 103, 137-140, 142, 144, 222, 230, 284  
 Newcomb, S., 285  
 Newell, A., 138, 144  
 Newsom, C. V., 451  
 Noüy, P. Lecomte du, 179, 194, 243, 501

Olmsted, J. M. D. y E. M., 87  
 Olmsted, J. M. H., 453  
 Onicescu, Octav, 468  
 Oparin, A. I., 179  
 Orcutt, G. H., 416  
 Ostwald, Wilhelm, 255  
 Oxtoby, J. C., 215

Painlevé, Paul, 242  
 Pareto, Vilfredo, 92, 384, 386, 393-395, 398, 408-411, 420, 442  
 Parménides, 82, 112  
 Pascal, Blaise, 100, 130, 499  
 Pauling, Linus, 77, 169

Peano, G., 448, 450  
 Pearson, Karl, 75, 192, 259  
 Peierls, R. E., 82, 90  
 Peirce, C. S., 179  
 Penfield, W., 246  
 Pereira, Gómez, 134  
 Perrin, Jean, 499 y s.  
 Perutz, Max, 507  
 Petty, William, 334, 352, 374, 413  
 Pierce, J. R., 76  
 Pierson, N. G., 414  
 Pigou, A. C., 293 y s., 317, 393, 430  
 Pincus, G., 435  
 Pirenne, M. H., 172  
 Pirie, N. W., 432, 505  
 Pitts, W., 137, 140  
 Planck, Max, 82, 88, 133 y s., 184, 200, 202, 217, 231-240, 242-244, 246 y s., 403, 410, 419, 442  
 Platón, 71 y s., 79, 86, 93, 96 y s., 100, 110, 112, 115, 129, 402, 410, 413, 426, 432-434  
 Poincaré, Henri, 72, 86, 94, 103, 106, 108, 111, 113 y s., 117, 172, 192, 208, 227, 250, 263, 273, 393, 402, 417, 419, 446, 495  
 Poisson, S. D., 451  
 Polya, G., 142  
 Pontecorvo, G., 428, 512, 515 y s.  
 Popper, Karl R., 89, 124, 265, 272, 406  
 Postnikov, A. G., 220

Quesnay, François, 332, 334

Rademacher, H., 142  
 Ramsey, F. P., 153 y s.  
 Raymond, R. C., 481  
 Reichenbach, H., 226, 496  
 Rheinstein, Max, 98  
 Ricardo, David, 360-362  
 Robbins, Lionel, 189, 393, 397, 410, 414  
 Robinson, Joan, 155  
 Rosenstein-Rodan, P. N., 440  
 Ross, W. D., 73, 86  
 Ruskin, John, 387  
 Russell, Bertrand, 100, 113 y s., 122 y s., 130, 152, 403, 446, 450, 459, 462, 465

Ryle, G., 134, 171

Samuel, A. L., 141, 143  
 Samuelson, Paul A., 160, 284, 301, 317, 327, 407  
 San Agustín, 98, 187  
 Sanger, F., 506  
 Sargan, J. D., 343  
 Say, Jean Baptiste, 396  
 Schaff, Adam, 361  
 Schlick, Moritz, 99  
 Schrödinger, Erwin, 55, 90, 119, 125, 130, 161 y s., 192, 198, 203, 252 y s., 353, 417-419  
 Schultz, Theodore W., 314  
 Schumpeter, Joseph A., 89, 95, 191, 285, 362, 389, 394-397, 407, 410, 422  
 Schützer, W., 107 y s.  
 Schwartz, H. A., 142  
 Scitovsky, T., 357  
 Selfridge, Oliver, 142  
 Shackle, G. L. S., 177, 231, 473  
 Shannon, C. E., 469, 478-480, 484  
 Shapiro, James, 436  
 Shaw, Bernard, 240  
 Sherrington, Charles, 174  
 Simon, H. A., 138, 144  
 Simpson, G. G., 170, 173, 266, 272 y s.  
 Sismondi, J. C. L. Simonde de, 387  
 Slater, John C., 232  
 Smith, Adam, 285, 316, 319, 383, 385  
 Solow, Robert M., 327  
 Sombart, Werner, 407  
 Sonneborn, T. M., 428, 509  
 Sorel, Georges, 386, 440  
 Spencer, Herbert, 158  
 Spengler, J. J., 440  
 Spengler, Oswald, 75  
 Stace, W. T., 86  
 Stebbing, L. Susan, 189  
 Stent, G. S., 173  
 Stevens, S. S., 412  
 Stigler, George J., 89, 284, 317  
 Süßmilch, Johann, 354  
 Swann, W. F. G., 190  
 Sweezy, Paul, 331-333

Swift, Jonathan, 172, 375  
Szent-Györgyi, Albert, 504-506  
Szilard, L., 249, 471 y s.

Takakusu, Junjiro, 79  
Tatum, E. L., 509, 514  
Tales, 78  
Theil, H., 49  
Thoday, J. M., 434  
Thompson, D'Arcy W., 158  
Thomson, G. P., 90  
Thomson, J. F., 459 y s.  
Thurnwald, Richard, 440  
Tjio, J. H., 512  
Tobin, James, 417  
Toeplitz, O., 142  
Turing, A. M., 135-138, 140, 144

Ulam, S. M., 215  
Urey, Harold C., 506, 508

Vaucouleurs, G. de, 273  
Veblen, Thorstein, 362, 396, 440  
Veronese, G., 452, 456  
Vigneaud, Vincent du, 507  
Vorontzov-Velyaminov, A., 263

Waddington, C. H., 372 y s., 504, 519  
Waismann, F., 103, 226  
Wald, A., 495 y s.  
Wald, George, 58

Walras, Léon, 45, 47, 88, 285, 290,  
362, 410, 414  
Watling, J., 462  
Watson, James D., 429, 504-509, 511,  
516-518

Weaver, W., 469, 478-480  
Weber, Max, 387, 406  
Weierstrass, Karl, 113  
Weiss, Paul A., 174  
Wertheimer, Max, 403  
West, Q. M., 369  
Weyl, Hermann, 113 y s., 187, 192,  
236, 247, 403  
Whitehead, Alfred North, 61, 86, 89 y  
s., 92, 118-122, 125, 132, 141, 181,  
274, 396, 462  
Wicksell, Knut, 89, 417  
Wicksteed, P. H., 300  
Wiener, Norbert, 135, 138, 142 y s.,  
249-252, 437, 472-474, 478, 481,  
486

Wilder, R. L., 92, 163, 447 y s., 451,  
455  
Wing-tsit, Chan, 78  
Winiarski, L., 355  
Wittgenstein, Ludwig, 130, 141  
Woodbury, M. A., 323  
Woytinsky, W. S., 314

Zenón, 112 y s., 120, 461 y s.  
Zermelo, Ernst, 114, 208, 218

## BIBLIOGRAFÍA

(Selección de Jacques Grinevald)

### I. Bibliografía de Nicholas Georgescu-Roegen

- 1930a: «Sur un problème de calcul des probabilités avec application à la recherche des périodes inconnues d'un phénomène cyclique», *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, París, 191, 7 de julio, pp. 15-17.
- 1930b: «Le problème de la recherche des composantes cycliques d'un phénomène», *Journal de la Société de Statistique de Paris*, octubre, pp. 5-52 (tesis doctoral).
- 1932: «Further contributions to the sampling problem», *Biometrika*, 24, pp. 65-107.
- 1933: *Metoda Statistica*, Bucarest: Biblioteca Institutului Central de Statistica, 506 p.
- [No se mencionan aquí numerosos textos publicados en: *Bulletin de la Société Roumaine des Sciences*, *Buletinul Statistic al României*, *Analele Institutului Statistic al României*, *Enciclopedia Romnâniei*, *Gazeta Matematica*].
- 1935a: «Note on a proposition of Pareto», *Quarterly Journal of Economics*, 49, pp. 706-714.
- 1935b: «Fixed coefficients of production and the marginal productivity theory», *Review of Economic Studies*, 3, pp. 40-49.
- 1936a: «Marginal utility of money and elasticities of demand», *Quarterly Journal of Economics*, 50, pp. 533-539.
- 1936b: «The pure theory of consumer's behaviour», *Quarterly Journal of Economics*, 50, pp. 545-593. (reedit. en *Analytical Economics*).
- 1950a: «The theory of choice and the constancy of economic laws», *Quarterly Journal of Economics*, 64, pp. 125-138 (reedit. en *Analytical Economics*).
- 1950b: «Leontief's system in the light of recent results», *Review of Economics and Statistics*, 32, pp. 214-222.
- 1951a: (coeditor con T.C. Koopmans et al.), *Activity Analysis of Production and Allocation*, Nueva York: Wiley, xiv, 404 p.
- 1951b: «The aggregate linear production function and its application to von Neumann's economic model», en T. C. Koopmans et al., eds., *Activity Analysis of Production and Allocation*, Nueva York: Wiley, pp. 98-115.

- 1951c: «Relaxation phenomena in linear dynamic models», en T. C. Koopmans et al., eds., *Activity Analysis of Production and Allocation*, Nueva York: Wiley, pp. 116-131 (reedit. en *Analytical Economics*).
- 1951d: «Some properties of a generalized Leontief model», en T. C. Koopmans et al., eds., *Activity Analysis of Production and Allocation*, Nueva York: Wiley, pp. 165-173 (reedit. en *Analytical Economics*).
- 1952a: «A diagrammatic analysis of complementarity», *Southern Economic Journal*, 19, pp. 1-20 (reedit. en *Energy and Economic Myths*).
- 1952b: «Toward partial redirection of econometrics», *Review of Economics and Statistics*, 34(3), pp. 206-211 (reedit. en *Energy and Economic Myths*).
- 1954a: «Choice and revealed preference», *Southern Economic Journal*, 21, pp. 119-130 (reedit. en *Analytical Economics*).
- 1954b: «Choice, expectations and measurability», *Quarterly Journal of Economics*, 68, pp. 503-534 (reedit. en *Analytical Economics*).
- 1955: «Limitationality, limitativeness, and economic equilibrium», *Proceedings of the Second Symposium in Linear Programming*, Washington, D.C.: National Bureau of Standard, vol. I, pp. 295-330 (reedit. en *Analytical Economics*).
- 1958: «The nature of expectation and uncertainty», en Jean Mary Bowman, ed., *Expectations, Uncertainty and Business Behavior*, Nueva York: Social Science Research Council, cap. 1, pp. 11-29 (reedit. en *Analytical Economics*).
- 1960a: «Economic theory and agrarian economics», *Oxford Economic Papers*, 12, pp. 1-40 (reedit. en *Analytical Economics* y en *Energy and Economic Myths*; en C. Eicher y L. Witt, eds., *Agriculture in Economic Development*, Nueva York: McGraw-Hill, 1964, pp. 144-169; en Tara Shukla, ed., *Economics of Underdeveloped Agriculture*, Bombay: Vora and Co., 1969, pp. 318-373; en Gerald M. Meier, ed., *Leading Issues in Economic Development: Studies in International Poverty*, Nueva York: Oxford University Press, 1970, pp. 68-72).
- [Traducción española: «Teoría Económica y Economía Agraria», *El Trimestre Económico*, XXXIV (1967), pp. 589-638].
- 1960b: «Mathematical proofs of the breakdown of capitalism», *Econometrica*, 28, pp. 225-243. [número especial en honor de Ragnar Frisch] (reedit. en *Analytical Economics*).
- 1963: «Some thoughts on growth models: a reply», *Econometrica*, 31, pp. 230-236, 239.
- 1964: «Measure, quality, and optimum scale», en C. R. Rao, ed. *Essays in Econometrics and Planning: Presented to Professor P.C. Mahalanobis on his 70th Birthday*, Oxford: Pergamon Press, pp. 231-256.
- 1966a: *Analytical Economics: Issues and Problems*, prefacio de Paul A. Samuelson, Cambridge, Mass.: Harvard University Press, xvi, 434 p.
- 1966b: «Further thoughts on Corrado Gini's *Dellusioni dell'econometria*», *Metron*, (25)104, pp. 265-279. [International Symposium on Statistics as Methodology in the Social Sciences, A Symposium in Honor of Corrado Gini, Roma, marzo 1966] (reedit. en *Energy and Economic Myths*).
- [Traducción española en Camilo Dagum, ed., *Metodología y crítica económica*, México: Fondo de Cultura Económico, 1978, pp. 503-515].
- 1967a: «Chamberlin's new economics and the unit of production», en R.E. Kuenne, ed., *Monopolistic Competition: Studies in Impact: Essays in Honor of Edward H. Chamberlin*, Nueva York: Wiley, pp. 31-62.
- 1967b: «An epistemological analysis of statistics as the science of rational guessing», *Acta Logica*, 10, pp. 61-91.
- 1968a: «O estrangulamento: inflação estrutural e o crescimento econômico», *Revista Brasileira de Economia*, 22, pp. 5-14.
- 1968b: «Utility», *International Encyclopedia of the Social Sciences*, Nueva York: Free Press, vol. 16, pp. 236-267.
- [Traducción española: «Utilidad», en *Enciclopedia Internacional de las Ciencias Sociales*, Madrid: Ed. Aguilar, sin fecha, 11 tomos].
- 1968c: «Revisiting Marshall's constancy of marginal utility of money», *Southern Economic Journal*, 35, pp. 176-181.
- 1969a: «Process in farming versus process in manufacturing: a problem of balanced development», en Ugo Papi and Charles Nunn, eds., *Economic Problems of Agriculture in Industrial Societies* [Actas de una Conferencia de la International Economic Association, Roma, septiembre, 1965], Londres: Macmillan, y Nueva York: St. Martin's Press, pp. 497-528 (reedit. en *Energy and Economic Myths*).
- 1969b: «The institutional aspects of peasant communities: an analytical view», en Clifton R. Wharton, jr., ed., *Subsistence Agriculture and Economic Development* [Seminario sobre Subsistence and peasant agriculture, Honolulu, marzo, 1965], Chicago: Aldine, 1969, pp. 61-99 (reedit. en *Energy and Economic Myths*).
- 1969c: «A critique of statistical principles in relation to social phenomena», *Revue internationale de sociologie* [Actas del XXII Congreso del Institut international de sociologie], 5(3), pp. 347-370.
- 1970a: «Structural inflation-lock and balanced growth», *Economies et sociétés, Cahiers de l'Institut de science économique appliquée*, 4(3), pp. 557-605 (reedit. en *Energy and Economic Myths*).
- 1970b: «The Economics of Production [The 1969 Richard T. Ely Lecture]», *American Economic Review*, mayo, 60(2), pp. 1-9 (reedit. en *Energy and Economic Myths*).
- 1971a: *The Entropy Law and the Economic Problem*, Department of Economics, The Graduate School of Business and Office for International Programs, The University of Alabama. [Distinguished Lecture Series,

- no. 1, pronunciada el 3 de diciembre de 1970] (reedit. en *The Ecologist*, julio 1972; en H. Daly, ed., *Toward a Steady-State Economy*, San Francisco: Freeman, 1973, pp. 37-49; en *Energy and Economic Myths*; en Stephen Lyons, ed., *Sun! A Handbook for the Solar Decade*, San Francisco: Friends of the Earth, 1978, pp. 170-184; en Joan Dye Gussow, ed., *The Feeding Web: Issues in Nutritional Ecology*, Palo Alto, Cal.: Bull Publishing Co., 1978, pp. 280-284; y en Herman E. Daly y Kenneth N. Townsend, eds., *Valuing the Earth: Economics, Ecology, Ethics*, Cambridge, Mass.: MIT Press).
- [Traducción española: «La ley de la entropía y el problema económico», *Ciencia y Desarrollo*, N° 18, Enero-Febrero 1978, pp. 64-70].
- 1971b: *The Entropy Law and the Economic Process*, Cambridge, Mass.: Harvard University Press, xv+457p.
- [Trad. española: Madrid, Fundación Argentaria/Visor Distribuciones, Colec. «Economía y Naturaleza», 1996].
- 1972a: «Process analysis and the neoclassical theory of production», *American Journal of Agricultural Economics*, 54(2), pp. 279-294. [Comunicación presentada al 1971 Annual Meeting of the American Association of Agricultural Economics] (reedit. en *Energy and Economic Myths*).
- 1972b: «Analysis versus dialectics in economics», en Micea Buescu, ed., *Ensaïos Economicos, Homagem a Octavio Gouvea de Bulhoes*, Rio de Janeiro: APED, pp. 251-278.
- 1973a: «Utility and value in economic thought», *Dictionary of the History of Ideas*, Nueva York: Charles Scribner's, vol. IV, pp. 450-458.
- 1973b: *Analisi economica e processo economico*, introducción de G. Becattini, Florencia: Sansoni.
- 1974a: «Toward a human economics», *American Economic Review*, 64(2), pp. 449-450 [redactado con K. Boulding y H. Daly y firmado por más de 200 economistas] (reedit. en Hugh Nash, ed., *Progress as If Survival Mattered*, San Francisco: Friends of the Earth, 1977, pp. 182-183).
- 1974b: «L'economia politica come estensione della biologia», *Note economiche* (Monte dei Paschi di Siena), 2, pp. 5-20 [conferencia pronunciada en la Universidad de Florencia el 14 de mayo de 1974].
- 1974c: «Mechanistic dogma and economics», *Methodology and Science*, 6(3), pp. 174-184.
- 1974d: «Dynamic models and economic growth», *Economie appliquée*, 27(4), pp. 529-563 [actas de una Conferencia organizada por el Institute for Advanced Studies, Viena, Austria, 3-5 de julio de 1974] (reedit. en *Energy and Economic Myths*; en *World Development*, 1975, 3(11-12), pp. 765-783; en Gerhard Schwödiauer, ed., *Equilibrium and Disequilibrium in Economic Theory*, Dordrecht: Reidel, 1977, pp. 413-449).

- [Traducción española: «Los modelos dinámicos y el crecimiento económico», en Camilo Dagum, ed., *Metodología y Crítica Económicas*, México: Fondo de Cultura Económico, 1978, pp. 503-515].
- 1974e: «Fisiología do desenvolvimento economico», en *Plainéis internacionais sobre desenvolvimento socioeconómico* [coloquio internacional en el 21 aniversario de la BNDE], Rio de Janeiro, APEC Editora, pp. 335-347.
- 1975a: «Energy and economic myths», *Southern Economic Journal*, 41, pp. 347-381 (reedit. en *Energy and Economic Myths*, cap.1; en *The Ecologist*, junio y agosto-septiembre de 1975, 5(5), pp. 164-174, y 5(7), pp. 242-252).
- [Trad. española: en *El Trimestre Económico*, 1975, 42, pp. 779-836, y en *Información Comercial Española*, n° 501, mayo 1975, pp.94-122].
- 1975b: «Bio-economic aspects of entropy», en Libor Kubat y Jiri Zeman, eds., *Entropy and Information in Science and Philosophy*, Praga: Academia, y Amsterdam: Elsevier, pp. 125-142.
- 1975c: «Technology and economic policy», en Howard L. Hartman, ed., *Proceedings of Centennial Symposium on Technology and Public Policy*, Vanderbilt University, 6-7 noviembre de 1975, Nashville: Vanderbilt University, pp. 43-50.
- 1975d: «Vilfredo Pareto and his theory of ophelimity», en *Convegno Internazionale Vilfredo Pareto* (Roma, 25-27 octubre de 1973), Roma: Accademia Nazionale dei Lincei, pp. 223-265 (reedit. en *Energy and Economic Myths*).
- 1975e: *Economics or Bioeconomics*, American Economic Association Meetings, Dallas, 29 de diciembre de 1975.
- 1976a: *A Different Economic Perspective*, Symposium: Solar Energy, An Interdisciplinary Societal Opportunity, AAAS Annual Meeting, Boston, 21 de febrero de 1976.
- 1976b: «Economic growth and its representation by models», *Atlantic Economic Journal*, 4, pp. 1-8.
- 1976c: «Economics and educational development», *Journal of Education Finance*, 2, pp. 1-15.
- 1976d: *Energy and Economic Myths: Institutional and Analytical Essays*, Nueva York: Pergamon Press, xxviii+380p.
- 1976e: «Economics and mankind's ecological problem», en *U.S. Economic Growth from 1976 to 1986: Prospects, Problems, and Patterns*, vol. 7, «The Limits to Growth», Joint Economic Committee, Congreso de los Estados Unidos, Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office, pp. 62-91.
- 1976f: «Commentaire», en *Sadi Carnot et l'essor de la thermodynamique* (París, Ecole Polytechnique, 11-13 junio de 1974), París: Editions du CNRS, partie IV, «Thermodynamique et économie», pp. 349-355.

- 1976g: *Is the perpetual motion of the third kind possible?*, Coloquio del I.R.S.-E.N.S.T. sobre la Crisis, Universidad de París IX-Dauphine, 19 noviembre de 1976.
- 1977a: «Matter matters, too», en Kenneth D. Wilson, ed., *Prospects for Growth: Changing Expectations for the Future*, Nueva York: Praeger, pp. 293-313.
- 1977b: *Discours de clôture*, Coloquio internacional de econometría aplicada, Estrasburgo, 17-18 febrero de 1977, *Bulletin* no. 1, mayo, 1977, pp. 23-27.
- 1977c: «What thermodynamics and biology can teach economists», *Atlantic Economic Journal*, 5, pp. 13-21 [Atlantic Economic Association, Washington, D.C., 15 octubre de 1976].
- 1977d: «The steady state and ecological salvation: a thermodynamic analysis», *BioScience*, 27, pp. 266-270.
- 1977e: «Bioeconomics: a new look at the nature of economic activity», en Louis Junker, ed., *The Political Economy of Food and Energy*, Ann Arbor: University of Michigan, Michigan Business Papers, n.º 62, pp. 105-134.
- 1977f: «Inequality, limits and growth from a bioeconomic viewpoint», *Review of Social Economy*, 35, pp. 361-375 (reedit. en Martin Pfaff, ed., *Grenze der Umverteilung* [DGF Symposium, Augsburg, 30 junio-4 julio 1976], Berlín: Duncker & Humblot, 1978, pp. 39-49).
- 1977g: «Toward a human economics», en Hugh Nash, ed., *Progress As If Survival Mattered*, San Francisco: Friends of the Earth, 1977, pp. 182-183.
- 1977h: *A New Wood Age for Mankind?*, Discurso inaugural del Third Annual General Meeting and Conference of the Solar Energy Society of Canada, Edmonton, Alberta, 22-24 de agosto de 1977.
- 1977i: «The measure of information: a critique», en J. Rose y C. Bilciu, eds., *Modern Trends in Cybernetics and Systems* [Actas del Third International Congress of Cybernetics and Systems, Bucarest, Rumanía, 25-29 agosto 1975], Berlín: Springer Verlag, vol. 3, pp. 187-217.
- 1978a: «De l'économie politique à la bioéconomie», *Revue d'économie politique*, 88(2), pp. 337-382.
- 1978b: «Technology assessment: the case of the direct use of solar energy», *Atlantic Economic Journal*, 6(4), pp. 15-21.
- 1978c: «Mechanistic dogma in economics», *British Review of Economic Issues*, 2, pp. 1-10.
- 1978d: *Energy, Technology and Society*, Primer Seminario sobre Energy Planning, Carballada, Venezuela, 4 abril de 1978.
- 1979a: «Myths about energy and matter», *Growth and Change*, 10(1), pp. 16-23.
- 1979b: «Energy analysis and economic valuation», *Southern Economic Journal*, 45(4), pp. 1.023-1.058.
- 1979c: «Methods in economic science», *Journal of Economic Issues*, 13 de junio, pp. 317-328.
- 1979d: «Comments on the papers by Daly and Stiglitz», en V. Kerry Smith, ed., *Scarcity and Growth Reconsidered*, Resources for the Future, Baltimore: Johns Hopkins University Press, pp. 95-105.
- 1979e: «The role of matter in the substitution in energies», en Antoine Ayoub, ed., *Energie: Coopération internationale ou crise*, Quebec: Presses de l'Université Laval, pp. 119-131 [tercer coloquio del Groupe de recherche en économie de l'énergie (GREEN), Université Laval, Québec, 3-5 novembre 1977].
- 1979f: «Energy and matter in mankind's technological circuit», en Peter N. Nemetz, ed., *Energy Policy: The Global Challenge*, Publicación del Institute for Research on Public Policy, Toronto: Butterworth, pp. 107-127.
- 1979g: «Worldization of resources and common properties of the world: an evolutionary view», *Journal of the Japan Economic Research Center*, 1 de septiembre, pp. 19-24. [Conferencia pronunciada en Tokio, el 2 de agosto de 1979].
- 1979h: «Energy, matter, and technological assessment», *Renaissance Universal Journal*, 1, pp. 151-169.
- 1979i: *Demain la décroissance : entropie-écologie-économie*, prefacio y traducción de Ivo Rens y Jacques Grinevald, Lausana: Pierre-Marcel Favre, 157 p.
- 1980a: «Matter: a resource ignored by thermodynamics», en L. E. St-Pierre y G.R. Brown, eds., *Future Sources of Organic Raw Materials*, CHEMRAWN I, Oxford: Pergamon Press, pp. 79-87 [conferencia Mundial sobre Future Sources of Organic Raw Materials, Toronto, 10-13 de julio de 1978].
- 1980b: «General reflections on the theme of innovations», en T. D. Guyenne y G. Levy, eds., *Economic Effects of Space and Other Advanced Technologies*, Noordwijk, Países Bajos: ESTEC, pp. 47-51 [coloquio internacional, Estrasburgo, 28-30 de abril de 1980].
- 1980c: «Afterword», en Jeremy Rifkin, *Entropy: A New World View*, Nueva York: Viking Press, pp. 261-269 (2ª edición aumentada: *Entropy into the Greenhouse World*, Nueva York: Bantam Books, 1989, pp. 299-307). [Traducción española: *Entropía*, Ed. Urano, 1990].
- 1980d: (con Jean-Paul Fitoussi) «Structure and involuntary unemployment», en E. Malinvaud y J.-P. Fitoussi, eds., *Unemployment in Western Countries*, Londres: Macmillan, pp. 206-266.
- 1980e: *The crisis of resources: its nature and its unfolding* [conferencia pronunciada en la reunión «Toward Ecological Economy» de ECOROPA, Kassel, 18-20 de septiembre de 1980].

- 1980f: «Mankind at a bioeconomic crossroads», en Norberto A. Quezada y Cristian Reyna T., eds., *Caribbean Consultation on Energy and Agriculture*, Santiago, República Dominicana: Instituto Superior de Agricultura, pp. 488-499.
- 1980g: *Entropy and the Economic Process*, A Seminar-Science Council of Canada, Ottawa: The Publications Office of Science Council of Canada, 107p.
- 1980h: «The present crisis in the historical perspective of technology», *Renaissance Universal Journal*, vol. 1, n.º 2. [Seminario sobre la historia de la energía en América, octubre de 1978].
- 1981a: «Neo-populism and Marxism: a comment on Utsa Patnaik», *Journal of Peasant Studies*, 8(2), pp. 242-243. [A propósito de U. Patnaik, «Neo-populism and Marxism: the Chayanovian view of the agrarian question and its fundamental fallacy», *Journal of Peasant Studies*, 1979, 6(4), pp. 375-420.] U. Patnaik, «Reply to Nicholas Georgescu-Roegen», *Journal of Peasant Studies*, 8(2), pp. 244-246.
- 1981b: «The entropy law and the economic process: a global viewpoint», en *Proceedings of the Conference on The Entropy Paradigm: a New Pattern for Understanding Economics*, Glassboro, N. J.: Glassboro State College [8 de abril de 1980], pp. 1-19.
- 1981c: «The crisis of natural resources», *Challenge*, 24(1), pp. 50-56.
- 1981d: «The methods in economic science: a rejoinder», *Journal of economic issues*, 15, pp. 188-193 [respuesta a Rashid 1981].
- 1981e: «Energy, matter, and economic valuation: where do we stand?», en Herman E. Daly y Alvaro F. Umaña, eds., *Energy, Economics, and the Environment: Conflicting Views of an Essential Interrelationship* [AAAS Selected Symposium 6, San Francisco, 3-8 enero de 1980], Boulder, Co.: Westview Press, pp. 43-79 [«Reply», pp. 193-200].
- 1981f: *Economics of Natural Resources: Myths and Facts*, Tokyo: Toyo Keizai.
- 1982a: «Utility», en Douglas Greenwald, ed., *Encyclopedia of Economics*, Nueva York: McGraw-Hill, pp. 934-941.
- 1982b: «The crisis of resources: its nature and its unfolding», en Gregory A. Daneke, ed., *Energy, Economics, and the Environment: Toward a Comprehensive Perspective*, Lexington, Mass.: Lexington Books, pp. 9-24.
- 1982c: «Energy analysis and technology assessment», en William C. Schieve y Peter M. Allen, eds., *Self-Organization and Dissipative Structures: Applications in the Physical and Social Sciences* [actas de un grupo de trabajo en honor de Ilya Prigogin, Austin, Texas, 1978], Austin: University of Texas Press, pp. 313-322.
- 1982d: «Energetic dogma, energetic economics, and viable technologies», en John R. Moroney, ed., *Advances in Economics of Energy and Resources*, vol.4, Greenwich, Conn.: JAI Press, pp. 1-39.
- 1982e: «La dégradation entropique et la destinée prométhéenne de la technologie humaine», *Economie appliquée*, 35(1-2), pp. 1-26 [coloquio internacional «Thermodynamique et sciences de l'homme», Universidad de París XII, 22-23 de junio de 1981] (reedit. en *Entropie*, número fuera de serie «Thermodynamique et sciences l'homme», 1982, pp. 76-86).
- 1982f: *The energetic theory of economic value: a topical economic fallacy*, Nashville, TN., Vanderbilt University, Working Paper n.º 82-W16. [Traducción española: «La Teoría Energética del valor económico: un sofisma económico particular», *El Trimestre Económico*, vol. 50, abril/junio 1983, pp. 829-860].
- 1982g: *Energia e miti economici*, introducción de Stefano Zamagni, Turín: Boringhieri, 293 p.
- 1983a: «An epistemological analysis of statistics: the science of collective description and of rational guessing», en M.C. Demetrescu y M. Iosifescu, eds., *Studies in Probability and Related Topics: Papers in Honour of Octav Onicescu on his 90th Birthday*, Milán: Nagard, pp. 221-259.
- 1983b: «The Promethean condition of viable technologies», *Materials and Society*, 7(3-4), pp. 425-435 [y en Arthur L. Donovan, ed., *Energy in American History*, Nueva York: Pergamon Press, 1983].
- 1983c: «Hermann Heinrich Gossen: his life and work in historical perspective», en H.H. Gossen, *The Laws of Human Relations and the Rules of Human Action Derived Therefrom* [1854, trad. y edit. por Rudolph C. Blitz], Cambridge, Mass.: MIT Press, pp. xi-cxlv.
- 1983d: *La loi de l'entropie et l'évolution économique*, Congreso de Economistas de lengua francesa, Estrasburgo, 7 de junio de 1983.
- 1983e: *Bioeconomics and Ethics*, Tercer Congreso Mundial de Economía Social, Fresno, California, 17 de agosto de 1983.
- 1984a: «Feasible recipes versus viable technologies», *Atlantic Economic Journal*, 12, pp. 21-31. [Conferencia pronunciada en la 16 Atlantic Economic Conference, Filadelfia, 6-9 de octubre de 1983].
- 1984b: «Time and value in economics and Gossen's system», *Revista Internazionale de Scienze Economiche e Commerciali*, 32(12), pp. 1121-1140.
- 1984c: «Are there minds that think above their time? The case of Hermann Heinrich Gossen», *Revista Internazionale de Scienze Economiche e Commerciali*, (31)12, pp. 1.141-1.161.
- 1985a: *Evolution: a tangled notion*, 14 Conferencia Internacional sobre la Unidad de la Ciencia, 28 de nov.-1 de dic. de 1985.
- 1986a: «Man and production», en Mauro Baranzini y Roberto Scazzieri, eds., *Foundations of Economics*, Oxford: Blackwell, pp. 247-280.
- 1986b: «The entropy law and the economic process in retrospect», *Eastern Economic Journal*, 12(1), pp. 3-33.



- 1987a: «Entropy», en Eatwell, J. et al., eds., *The New Palgrave: A Dictionary of Economics*, Londres: Macmillan, vol. 2, pp. 153-156.
- 1987b: «Manoilescu, Mihail (1891-1950?)», en Eatwell, J. et al., eds., *The New Palgrave: A Dictionary of Economics*, Londres: Macmillan, vol. 3, pp. 299-301.
- 1987c: «Ophelimity», en Eatwell, J. et al., eds., *The New Palgrave: A Dictionary of Economics*, Londres: Macmillan, vol. 3, pp. 716-717.
- 1987d: «Oppenheimer, Franz (1864-1943)», en Eatwell, J. et al., eds., *The New Palgrave: A Dictionary of Economics*, Londres: Macmillan, vol. 3, pp. 717-718.
- 1988a: «The interplay between institutional and material factors: the problem and its status», en J.A. Kregel, Egon Matzner y Alessandro Roncaglia, eds., *Barriers to Full-Employment*, Londres: Macmillan, pp. 297-326 [conferencia sobre Barriers to Full Employment, International Institute of Management, Berlín, 1-3 de octubre de 1985].
- 1988b: «Closing remarks: about economic growth-a variation on a theme by David Hilbert», *Economic Development and Cultural Change*, 36, supl. 3, pp. 291-307.
- 1988c: «An emigrant from a developing country: autobiographical notes-I», *Banca Nazionale del Lavoro Quarterly Review*, 164, pp. 3-31 (reedit. en Jan A. Kregel, *Recollections of Eminent Economists*, Londres: Macmillan, y Nueva York: New York University Press, vol. 2, 1989, pp. 99-127).
- 1990a: «Thermodynamics, economics, and information», en M. Alonso, ed., *Organization and Change in Complex Systems*, Nueva York: Paragon House.
- 1990b: «Production process and dynamic economics», en Mauro Baranzini y Roberto Scazzieri, eds., *The Economic Theory of Structure and Change*, Cambridge, Ingl.: Cambridge University Press, pp. 198-226.
- 1992a: «Nicholas Georgescu-Roegen», en Philip Arestis y Malcolm Sawyer, eds., *A Biographical Dictionary of Dissenting Economists*, Aldershot: Edward Elgar, pp. 179-187.
- 1992b: «Nicholas Georgescu-Roegen about himself», en Michael Szenberg, ed., *Eminent Economists: Their Life Philosophies*, Cambridge, Ingl.: Cambridge University Press, pp. 128-159.
- [Traducción española: *Grandes economistas de hoy*, Madrid: Ed. Debate, 1994, pp. 149-186].
- 1993a: «Looking back», en J.C. Dragan et al., eds., *Entropy and Bioeconomics*, [Actas de la Primera Conferencia Internacional de la E.A.B.S., Roma, 28-30 de noviembre de 1991], Milán: Nagard, pp. 11-21.
- 1993b: «Thermodynamics and we, the humans», en J. C. Dragan et al., eds., *Entropy and Bioeconomics* [actas de la Primera Conferencia Internacional de la E.A.B.S.], Roma, 28-30 de noviembre de 1991], Milán: Nagard, pp. 184-201.

- 1993c: «An emigrant from a developing country: autobiographical notes-II», *Banca Nazionale del Lavoro Quarterly Review*, 184, pp. 3-20.
- 1995a: «Time in economics», en H. Hagemann y O. F. Hamouda, eds., *The Legacy of Hicks: His contribution to economic analysis*, Londres: Routledge.
- 1995b: *La décroissance: entropie-écologie-économie*, presentación y traducción de Jacques Grinevald e Ivo Rens, París: Sang de la Terre, 254 p.

## II. Textos sobre N. Georgescu-Roegen (por orden cronológico)

- ADELMAN, Frank L., 1972: «The Entropy Law and the Economic Process, by N. Georgescu-Roegen», *Journal of Economic Literature*, junio, 10(2), pp. 458-460.
- BOULDING, Kenneth, 1972: «Search for time's arrow», *Science*, 175, pp. 1.099-1.100.
- CAMENSON, Herbert S., 1972: «The Entropy Law and the Economic Process, by Nicholas Georgescu-Roegen», *The Library Journal*, 15 de mayo, p. 152.
- JOSEPH, S. C., 1972: «Entropy and the economic process. Economic process as entropic», *Industrial Economic Journal*, 12, pp. 2-24.
- GUITTON, Henri, 1972: «Economie et entropie», *Revue d'économie politique*, 6, pp. 1.184-1.187.
- NICOLLS, William H., 1972: «Nicholas Georgescu-Roegen, Distinguished Fellow of the American Economic Association», *American Economic Review*, junio, 62(3), frontispicio.
- SILK, Leonard, 1972: «Growth vs. environment», *The New York Times*, 20 de diciembre.
- BECATTINI, Giacomo, 1973: «Presentazione», en N. Georgescu-Roegen, *Analisi Economica e Processo Economico*, Florencia: Sansoni, pp. VII-XV.
- GREEN, M. J., 1974: «The Entropy Law and the Economic Process, de N. Georgescu-Roegen», *Revue Economique*, 25(5), pp. 842-845.
- GRINEVALD, J., 1974: «L'économiste Georgescu-Roegen: intégrer l'économie dans la problématique énergétique et écologique», *Uni information*. Servicio de prensa e información de la Universidad de Ginebra, junio-julio, 36, pp. 28-29.
- MEYER, Willi, 1974: «Erkenntnis und Dialektik: Zur Ökonomie und Wissenschaftsphilosophie von Georgescu-Roegen», *Zeitschrift für die gesamte Staatswissenschaft*, abril, 80, pp. 335-349.
- SOLOW, Robert A., 1974a: «Arithmomorphism and entropy», *Economic Development and Cultural Change*, 22, pp. 510-517 [crítica de *The Entropy Law and the Economic Process*].

- 1974b. «Georgescu : a prophet of energy economics», *Business Week*, 24 de marzo de 1975, pp. 108-109.
- 1974c: «The Entropy Law and the Economic Process, by N. Georgescu-Roegen», *The CoEvolution Quarterly*, invierno de 1975.
- JENKIN, Phyllis, 1975: *Structure and Contradiction in Scientific Development: The Case of Nicholas Georgescu-Roegen and the Entropy Law*, University of Manchester, Faculty of Sciences, 143 p., inédito.
- WADE, Nicholas, 1975: «Nicholas Georgescu-Roegen: entropy the measure of economic man», *Science*, 190, pp. 447-450 (reedit. en Hugh Nash, ed., *Progress as If Survival Mattered*, San Francisco: Friends of the Earth, 1977, pp. 198-201).
- GRINEVALD, Jacques, 1976: «La révolution carnotienne: thermodynamique, économie et idéologie», *Revue européenne des sciences sociales*, 36, pp. 39-79.
- TANG, Anthony M.; Fred M. WESTFIELD y James S. WORLEY, eds., 1976: *Evolution, Welfare and Time in Economics: Essays in Honor of Nicholas Georgescu-Roegen*, Lexington, Mass.: D.C. Heath, xi+182p.
- CLOUD, Preston, 1977: «Entropy, materials, and prosperity», *Geologische Rundschau*, 66(3), pp. 678-696 [«dedicated with appreciation to Nicholas Georgescu-Roegen, distinguished economist, realist among cornucopians»].
- COLVIN [Jenkin], Phyllis, 1977: «Ontological and epistemological commitments and social relations in the sciences: the case of the arithmomorphic system of scientific production», en Everett Mendelsohn, Peter Weingart y Richard Whitley, eds., *The Social Production of Scientific Knowledge*, Dordrecht: Reidel, pp. 103-128.
- GRINEVALD, J., 1977: «Révolution industrielle, technologie de la puissance et révolutions scientifiques: essai de bibliographie critique», en *La fin des outils: technologie et domination*, Cahiers de l'I.U.E.D., 5, Ginebra y París: PUF, pp. 147-202.
- KOIDE, Kounosuke, 1978: «Nicholas Georgescu-Roegen: his life and work», *Oriental Economist*, Tokio, 20, enero, pp. 147-149.
- CANTERBURY, E. Ray, 1979: «Energy and Economic Myths, by N. Georgescu-Roegen», *Southern Economic Journal*, octubre, 46(2), pp. 655-657.
- DASGUPTA, K. K., 1979: «Nicholas Georgescu-Roegen and the methodology of economic science», *Artha Vijnana*, Poona, India: 21 de marzo, pp. 40-55.
- GALLACHER, C. C., 1979: «Economists and Energy: Nicholas Georgescu-Roegen's unanswered propositions», *The Chartered Mechanical Engineer*, Londres, febrero, pp. 61-63.
- LEPKOWSKI, Wil, 1979: «The social thermodynamics of Ilya Prigogin», *Chemical and Engineering News*, 16, abril, pp. 30-33.

- RENS, Ivo y Jacques GRINEVALD, 1979: «Jalons pour une histoire de l'écologie politique», *Cadmos*, Ginebra, 5, pp. 18-26.
- WAGENSBERG, Jorge, 1979: «Nicholas Georgescu-Roegen: ante la oscura incertidumbre de la historia», *Algo*, revista de información científica, técnica y cultural, Barcelona, septiembre, 345, pp. 81-94.
- ZAMAGNI, Stefano, 1979: *Georgescu-Roegen: i fondamenti della teoria del consumatore*, Milán: Etas Libri, «Gli economisti», vi+258p.
- GRINEVALD, J., 1980a: «Le sens bioéconomique du développement humain: l'affaire Nicholas Georgescu-Roegen», *Revue européenne des sciences sociales*, 51, pp. 59-75.
- 1980b: «La perspective bioéconomique de Nicholas Georgescu-Roegen», *Cahiers du GERMES*, París, junio, n.º 4, «Questions à la bioéconomie», pp. 27-44.
- LANTZ, Pierre. 1980. «La valeur chez Georgescu-Roegen», *Cahiers du GERMES*, París, junio, n.º 4, «Questions à la bioéconomie», pp. 51-61.
- RIFKIN, Jeremy, 1980: *Entropy: A New World View*. Epílogo del Dr. Nicholas Georgescu-Roegen, Nueva York: Viking Press, 305 p. (2.ª edición ampliada: *Entropy into the Greenhouse World*, Nueva York, Bantam Books, 1989, 354p).
- [Traducción española: *Entropía*, Ed. Urano, 1990].
- SAMUELS, Warren J., ed., 1980: *The Methodology of Economic Thought*. Critical papers from the Journal of Economic Review, New Brunswick y Londres: Transactions Books, 603 p. (cuatro artículos críticos sobre *The Entropy Law and the Economic Process*, pp. 187-216).
- SCIENCE COUNCIL OF CANADA, 1980: *Entropy and the Economic Process*. A Seminar-Science Council of Canada, Prólogo de James M. Gilmor, Ottawa: The Publications Office of Science Council of Canada, 107 p.
- THEYS, Jacques, et al., eds., 1980: *Questions à la Bioéconomie*, París: Cahiers du GERMES, n.º 4., junio, 146p.
- WAGENSBERG, Jorge, 1980: «Conversaciones con Nicholas Georgescu-Roegen», *Nosotros y La Ciencia*, Barcelona: Antoni Bosch, pp. 157-177.
- ARROUS, Jean, 1981: «L'entropie est-elle un principe universel d'explication?», *Fundamenta Scientiae*, 2(3-4), pp. 345-366.
- DELAUNAY, Janine, 1981: «Nicholas Georgescu-Roegen et l'importance de la décroissance», *Le Monde*, París, 31 de mayo, pp. ix-x.
- GRINEVALD, J., 1981a: *Le développement et la révolution carnotienne*, Rio de Janeiro: Universidad Federal do Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ, PDD 03-81, 78p.
- 1981b: «Energy and Economic Myths, by Nicholas Georgescu-Roegen», *Technology and Culture*, 22, pp. 655-658.
- HUETTNER, David A., 1981: «Energy, entropy, and economic analysis: some new directions», *The Energy Journal*, 2, pp. 123-130.

- RASHID, Salim, 1981: «Methods in economic science: comment», *Journal of Economic Issues*, 15, pp. 183-188.
- GRINEVALD, J., 1982a: «La thermodynamique, la révolution industrielle et la révolution carnotienne», *Entropie*, número especial sobre «Thermodynamique et sciences de l'homme», pp. 21-28.
- 1982b: «Nicholas Georgescu-Roegen: un économiste contre les naufrageurs du temps», *CoEvolution*, 7, pp. 13-18.
- GUITTON, Henri, 1982: «Haute et basse entropie en économie», *Entropie*, número especial sobre «Thermodynamique et sciences de l'homme», pp. 87-90.
- WEINBERG, Alvin M., 1982: «Avoiding the entropy trap», *Bulletin of the Atomic Scientists*, octubre, pp. 32-35.
- ZAMAGNI, Stefano, 1982: «Introduzione», pp. 9-21, en N. Georgescu-Roegen, *Energia e miti economici*, Turín: Boringhieri, 293 p.
- BLAUG, Mark y Paul STUGES, eds., 1983: «Georgescu-Roegen, Nicholas», en *Who's Who in Economics: A Biographical Dictionary of Major Economists 1700-1981*, Nueva York: Wheatsheaf Books, pp. 131-132.
- GRINEVALD, Jacques, 1983: «Nicholas Georgescu-Roegen, Energia e miti economici», *Pandora*, 22, pp. 29-31.
- ANDREW, Frank C., 1984: «There is no entropy trap», *Environment*, 26(2), pp. 4-5, 42.
- AYRES Robert U. e Indira NAIR, 1984: «Thermodynamics and economics», *Physics Today*, 37(11), pp. 62-71.
- BELL, Peter, 1984. *The Immaterial Flux: An Examination and Critique of the Ideas of Nicholas Georgescu-Roegen*, Sydney, Australia, University of New South Wales, tesis doctoral en M.A., inédita.
- GRINEVALD, J., 1984: «N. Georgescu-Roegen: Energia e miti economici», *Note economiche*. Monte dei Paschi di Siena, 2, pp. 173-177.
- BLAUG, Mark, 1985: «Georgescu-Roegen, Nicholas (1906- )» en *Great Economists since Keynes*, Nueva York y Harvester: Wheatsheaf, pp. 71-72.
- BRESSO, Mercedes, 1985: «Nicholas Georgescu-Roegen: l'economista del sole e della vita», *Mondo Economico*, 31 de octubre, pp. 60-61.
- DE GLERIA, Sylvana, 1985: «La penombra dialettica. Legge di entropia e processo economico nel pensiero di Georgescu-Roegen», *QualEnergia*, 11-12, pp. 58-62.
- MIERNYK, Philip, 1985: «Bioeconomics: a realistic appraisal of future prospects», en H.F. Didsbury, ed., *The Global Economy: Today, Tomorrow, and the Transition*, Bethesda, Maryland: World Future Society, pp. 334-352.
- Van GOOL; W. y J. J. C. BRUGGINK, eds., 1985: *Energy and Time in the Economic and Physical Sciences*, Amsterdam: North-Holland, 389 p.
- BLAUG, Mark, ed., 1986: «Georgescu-Roegen, Nicholas», en *Who's Who in Economics. A Biographical Dictionary of Major Economists 1700-1986*, Cambridge, Mass.: MIT Press, 2.ª ed., pp. 308-309.

- DRAGAN, Joseph C., y Mihai C. DEMETRESCU, 1986: *Entropy and Bioeconomics: The New Paradigm of Nicholas Georgescu-Roegen*, Milán: Nagard, 240 p. (2.ª ed. 1991).
- MOLESTI, Romano, 1986: «I fondamenti scientifici dell'economia ambientale: l'opera di N. Georgescu-Roegen», *Economia e Ambiente*, 5(3), pp. 17-40.
- NORGAARD, Richard B., 1986: «Thermodynamics and economic concepts as related to resource-use policies: synthesis», *Land Economics*, 62(3), pp. 325-328.
- CHRISTENSEN, Paul P., 1987: «Classical roots for a modern materials-energy analysis», *Ecological Modelling*, 38, pp. 75-89.
- CLEVELAND, Cutler J., 1987: «Biophysical economics: historical perspective and current research trends», *Ecological Modelling*, 38, pp. 47-73.
- DALY, Herman E., 1987: «The economic growth debate: what some economists have learned but many have not», *Journal of Environmental Economics and Management*, 14, pp. 323-336.
- FABER, M.; H. H. NIEMES, y G. STEPHAN, 1987: *Entropy, Environment and Resources: An Essay in Physico-Economics*, Berlín: Springer Verlag, 205 p.
- GRINEVALD, Jacques, 1987: *Vernadsky and Lotka as source for Georgescu-Roegen's bioeconomics*, 2.ª Vienna Centre Conference on Economics and Ecology, Barcelona, 26-29 de septiembre.
- [Traducción española: «Vernadsky y Lotka como fuentes de la bioeconomía de Georgescu-Roegen», *Ecología Política*, n.º 1, 1990, pp. 99-112].
- MARTÍNEZ-ALIER, Juan y Klaus SCHLÜPMANN, 1987: *Ecological Economics: Economics, Environment, Society*, Oxford: Basil Blackwell, 286 p. (2.ª ed., con nuevo prefacio, 1990).
- [Traducción española: *La ecología y la economía*, México: Fondo de Cultura Económico, 1991].
- NAREDO, José Manuel, 1987: *La economía en evolución. Historia y perspectivas de las categorías básicas del pensamiento económico*, Madrid, Siglo XXI, 538 p. (2.ª edición actualizada, 1996).
- PERRINGS, Charles, 1987: *Economy and Environment: A Theoretical Essay on the Interdependence of Economic and Environmental Systems*, Cambridge, Engl.: Cambridge University Press, 179 p.
- ZAMAGNI, Stefano, 1987: «Georgescu-Roegen, Nicholas (1906- )», en Eatwell et al., eds., *The New Palgrave: A Dictionary of Economics*, Londres: Macmillan, vol. 2., pp. 515-516.
- GLASBY, Geoffrey P., 1988: «Entropy, pollution and environmental degradation», *Ambio*, 17(5), pp. 330-335.
- MIROWSKI, Philip, 1988: «Energy and energetics in economic theory: a review essay», *Journal of Economic Issues*, 22(3), pp. 811-830.
- MOLESTI, Romano, 1988: *Economia dell'ambiente*, prefacio de N. Georgescu-Roegen, Pisa: IPEM Edizioni.

- AYRES, Robert U., 1989: «Industrial metabolism and global change», *International Social Science Journal*, 121, pp. 363-373.
- CHRISTENSEN, Paul P., 1989: «Historical roots for ecological economics: biophysical versus allocative approaches», *Ecological Economics*, 1, pp. 17-36.
- DALY, Herman E. y John COBB, Jr., 1989: *For The Common Good: Redirecting the Economy Toward Community, the Environment, and a Sustainable Future*, Boston: Beacon Press, 482 p.
- [Traducción española: *Por el bien común*, México: Fondo de Cultura Económico, 1993].
- FORCE, Michel, 1989: *L'ordre improbable: Entropie et processus sociaux*, París: PUF, 258p.
- KÜMMEL, R., 1989: «Energy as factor of production and entropy as a pollution indicator in macroeconomic modelling», *Ecological Economics*, 1, pp. 161-180.
- MIROWSKI, Philip, 1989: *More Heat Than Light: Economics as social physics; physics as nature's economics*, Cambridge, Engl.: Cambridge University Press, 450 p [«To the most profound economic philosophers of the 20th century: Thorstein Veblen, Nicholas Georgescu-Roegen»].
- PROOPS, John L. R., 1989: «Ecological economics: rationale and problem areas», *Ecological Economics*, 1, pp. 59-76.
- GRINEVALD, J., 1990: «L'effet de serre de la Biosphère: de la révolution thermo-industrielle à l'écologie globale», *Stratégies énergétiques, Biosphère et Société*, Ginebra, 1, pp. 9-34.
- KHALIL, E. L., 1990: «Entropy law and exhaustion of natural resources: is Nicholas Georgescu-Roegen's paradigm defensible?», *Ecological Economics*, 2, pp. 163-178.
- DALY, Herman E., 1991: «Is the entropy law relevant to the economics of natural resources scarcity?-yes, of course it is!», *Journal of Environmental Economics and Management*, 23, pp. 91-95.
- DE ROOSE, Frank y Philippe VAN PARIJS, eds. 1991: «Georgescu-Roegen, Nicholas», en *La pensée écologiste*, Bruselas: De Boeck Université, pp. 80-81.
- KHALIL, E. L., 1991: «Entropy law and Georgescu-Roegen's paradigm: a reply», *Ecological Economics*, 3, pp. 161-163.
- LOZADA, Gabriel A., 1991: «A defense of Nicholas Georgescu-Roegen's paradigm», *Ecological Economics*, 3, pp. 157-160.
- MAYUMI, Kozo, 1991a: «A critical appraisal of two entropy theoretical approaches to resources and environmental problems, and a search for an alternative», en C. Rossi y E. Tiezzi, eds., *Ecological Physical Chemistry*, Amsterdam: Elsevier, pp. 109-130.
- 1991b: «Temporary emancipation from land: from the industrial revolution to the present time», *Ecological Economics*, 1991, 4, pp. 35-56.

- VIVIEN, Frank-Dominique, 1991: *Sadi Carnot économiste, enquête sur un paradigme perdu: économie-thermodynamique-écologie*, Tesis para el doctorado en ciencias económicas, Universidad de París I Panthéon-Sorbonne, inédita.
- YOUNG, Jeffrey T., 1991: «Is the entropy law relevant to the economics of natural resource scarcity?», *Journal of Environmental Economics and Management*, 21, pp. 167-179.
- ARESTIS, Philip y Malcolm SAWYER, eds., 1992: *A Biographical Dictionary of Dissenting Economists*, Aldershot: Edward Elgar.
- DALY, Herman E., ed., 1992: *Steady State Economics*, segunda edición con nuevos ensayos, Londres: Earthscan, 297 p.
- [Traducción española: *Economía, ecología y ética. Ensayos hacia una economía en estado estacionario*, México: Fondo de Cultura Económico, 1989].
- DYKE, C., 1992: «From entropy to economy», *Advances in Human Ecology*, 1, pp. 149-176.
- GOODY, John M., 1992: «Economic growth vs. the environment», *Environmental Conservation*, 19(2), pp. 102-104.
- GRINEVALD, J. 1992: «La révolution bioéconomique de Nicholas Georgescu-Roegen», *Stratégies énergétiques, Biosphère et Société*, Ginebra, octubre, pp. 23-34.
- MAYUMI, Kozo, 1992: «The new paradigm of Georgescu-Roegen and the tremendous speed of increase in entropy in the modern economic process», *Journal of Interdisciplinary Economics*, 4, pp. 101-129.
- MIROWSKI, Philip, 1992: «Nicholas Georgescu-Roegen», en Warren J. Samuels, ed., *Research in the History of Economic Thought and Methodology*, A Research Annual, Greenwich, Conn., y Londres: JAI, pp. 86-105.
- SZENBERG, Michael, ed., 1992: *Eminent Economists: Their Life Philosophies*, Cambridge, Engl.: Cambridge University Press.
- [Traducción española: *Grandes economistas de hoy*, Madrid: Ed. Debate, 1994].
- BEAUD, Michel y Gilles DOSTALER, 1993: *La Pensée économique depuis Keynes. Historique et dictionnaire des principaux auteurs*, París: Seuil.
- BIANCARDI, C.; A. DONATI y S. ULGIATI, 1993: «On the relationship between the economic process, the Carnot cycle and the entropy law», *Ecological Economics*, 8(1), pp. 7-10.
- CRIVELLI, Riccardo, 1993: «Hysteresis in the work of Nicholas Georgescu-Roegen», en J. C. Dragan et al., eds., *Entropy and Bioeconomics*, Milán: Nagard, pp. 107-129.
- DALY, Herman E. y Kenneth N. TOWNSEND, eds., 1993: *Valuing the Earth: Economics, Ecology, Ethics*, Cambridge, Mass.: MIT Press, 387 p.

- DOPFER, Kurt, 1993: «The generation of novelty in the economic process: an evolutionary concept», en J.C. Dragan et al., eds., *Entropy and Bioeconomics*, Milán: Nagard, pp. 130-153.
- DRAGAN, J. C.; E. K. SEIFERT, y M. C. DEMETRESCU, eds., 1993: *Entropy and Bioeconomics*. Actas de la Primera Conferencia Internacional de la E.A.B.S., Roma, 28-30 de noviembre de 1991, Milán: Nagard, 552 p.
- FERRARI, Sylvie, 1993: «Esquisse d'un sentier énergétique pour un développement durable dans une perspective bioéconomique», *Stratégies énergétiques, Biosphère et Société*, Ginebra, 1993-1994, pp. 81-91.
- GIAMPIETRO, Mario, 1993: «Escaping the Georgescu-Roegen paradox on development: equilibrium and non-equilibrium thermodynamics to describe technological evolution», en J.C. Dragan et al., eds., *Entropy and Bioeconomics*, Milán: Nagard, pp. 202-229.
- GOWDY, John M., 1993: «Georgescu-Roegen's utility theory applied to environmental economics», en J. C. Dragan et al., eds., *Entropy and Bioeconomics*, Milán: Nagard, pp. 230-240.
- GRINEVALD, J., 1993a: «The Biosphere and the Noosphere revisited: Biogeochemistry and Bioeconomics», en J.C. Dragan et al., eds., *Entropy and Bioeconomics*, Milán: Nagard, pp. 241-258.
- 1993b: «Notes marginales sur l'approche bioéconomique de Sylvie Ferrari», *Stratégies énergétiques, Biosphère et Société*, Ginebra, 1993-1994, pp. 93-102.
- 1993c: «Georgescu-Roegen: Bioéconomie et Biosphère», *Silence*, Lyon, abril, 164, pp. 4-14.
- HINTERBERG, Friedrich, 1993: «A note on sociobiology: Schumpeter, Georgescu-Roegen and beyond», en J.C. Dragan et al., eds., *Entropy and Bioeconomics*, Milán: Nagard, pp. 282-310.
- HODGSON, Geoffrey M., 1993: *Economics and Evolution: Bringing Life Back into Economics*, Londres: Polity Press, 381 p. [«To Nicholas Georgescu-Roegen and Richard R. Nelson, and to the memory of George L.S. Shackle, who moved us from equilibrium and showed us the way to evolution»].
- [Traducción española: *Economía y Evolución*, Madrid: Ed. Celeste y Colegio de Economistas de Madrid, 1995].
- Krabe, Jacob J., 1993: «Quantifying sustainability: the entropy approach», en J. C. Dragan et al., eds., *Entropy and Bioeconomics*, Milán: Nagard, pp. 380-388.
- LOZADA, Gabriel A., 1993: «Georgescu-Roegen's critique of statistical mechanics revisited», en J.C. Dragan et al., eds., *Entropy and Bioeconomics*, Milán: Nagard, pp. 389-398.
- MAYUMI, Kozo, 1993: «Georgescu-Roegen's 'fourth law of thermodynamics' and the flow-fund model», en J.C. Dragan et al., eds., *Entropy and Bioeconomics*, Milán: Nagard, pp. 399-413.

- MOLESTI, Romano, 1993: «The scientific fundamentals of environmental economy: the work of Nicholas Georgescu-Roegen», en J. C. Dragan et al., eds., *Entropy and Bioeconomics*, Milán: Nagard, pp. 38-47.
- RUTH, Matthias, 1993: *Integrating Economics, Ecology and Thermodynamics*, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 251 p.
- VATIN, François, 1993: *Le travail. Economie et physique 1780-1830*, Paris: PUF, «Philosophies», 127 p.
- ERKMAN, Suren, 1994: *Ecologie industrielle, métabolisme industriel, et société d'utilisation*. Ginebra, Estudio realizado para la Fondation pour le progrès de l'homme, 276 p.
- GOODY, John, 1994: *Coevolutionary economics: the economy, society and the environment*, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 246 p.
- MATARASSO, Pierre, 1994: «Quelles modélisations des rapports hommes-nature? L'apport de Georgescu-Roegen», en *Modèles de développement soutenable. Des approches exclusives ou complémentaires de la soutenabilité?*, C3E, Université Panthéon-Sorbonne, AFCET, Simposio internacional. París, 16-18 de marzo, vol. II, pp. 847-858.
- NASAR, Sylvia, 1994: «Nicholas Georgescu-Roegen, leading economist, dies at 88», *New York Times*, 5 de noviembre, p.42.
- SARAPH, Anupam y Malcolm SLESSER, 1994: «Sadi Carnot and economic engines», *Technological Forecasting and Social Change*, 46(3), pp. 259-268.
- VIVEN, Frank-Dominique, 1994a: «Bioeconomics and sustainable development», en *Modèles de développement soutenable. Des approches exclusives ou complémentaires de la soutenabilité?*, C3E, Université Panthéon-Sorbonne, AFCET, Simposio internacional. París, 16-18 de marzo de 1994, vol. II, pp. 875-886.
- 1994b: *Economie et écologie*, Paris: La Découverte, col. «Repères», 124 p.
- DALY, Herman E., 1995: «On Nicholas Georgescu-Roegen's contributions to economics: an obituary essay», *Ecological Economics*, 13, p. 149-154.
- DE GLERIA, Sylvana, 1995: «Nicholas Georgescu-Roegen: a mind that thought above his time», *Economia Internazionale*, 48 (3), p. 317-346.
- FAUCHEUX, Sylvie y Jean-François NOËL, 1995: *Economie des ressources naturelles et de l'environnement*, Paris: Armand Colin, 370 p.
- GRINEVALD, Jacques, 1995a: «In memoriam Nicholas Georgescu-Roegen (1906-1994)», *Ecologie politique*, París, 13, p. 149-150.
- 1995b: «Hommage à Nicholas Georgescu-Roegen (1906-1994)», *Stratégies énergétiques, Biosphère et Société*, Ginebra, p. 146-151.
- LOZADA, Gabriel A., 1995: «Georgescu-Roegen's defense of classical thermodynamics revisited», *Ecological Economics*, 14, p. 31-44.
- MAYUMI, Kozo, 1995: «Nicholas Georgescu-Roegen (1906-1994). An admirable epistemologist», *Structural Change and Economic Dynamics*, 6 (3), p. 261-265.