

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 hicieran 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

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 reivindicaban 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 trampoline que con un leve roce de los dedos hace girar un dado

<sup>34</sup> Immanuel Kant, *The Fundamental Principles of the Metaphysics of Ethics*, traducción de O. Manteuffel (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.

<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 hipofísica o la hipofísica, por decirlo con palabras del propio Kant. Sin embargo, algunos de los más grandes científicos de nuestra época reivindicar 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 unirle 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 fisi-

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 en vuelto 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 substancia 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 Metaphysics* (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 «cinc» 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 pueril 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 afilsofíca, 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 renunciáramos a la mentalidad pueril 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, encontráremos 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.<sup>a</sup> 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.<sup>a</sup> 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* (2.<sup>a</sup> 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 desintegraran 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

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>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, ilustraba 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 Keinsysteme und erbliche Entlastung* (Munich, 1900), Georg Hirth acuñó la palabra «ekropía» 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 ekropía no hizo historia alguna.

<sup>69</sup> Werner Heisenberg, *Physics and Philosophy* (Nueva York, 1958), pp. 102 y s.

<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 positivamente con la intencionalidad o el diseño, [sin comprometerse con] el antiajar», no sugiere en modo alguno que el antiajar se encuentre ausente del mundo físico. «Al ser un agente *clasificador*, [el demonio de Maxwell] es la personificación del antiajar»<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 ac-tualmente 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 aun que 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

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.

<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.

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. Por que 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 folklore. 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 protéica 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 indiscutiblemente irreversible<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Joseph Needham, «Contributions of Chemical Physiology to the Problem of Reversibility in Evolution», *Biological Reviews*, 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 apariencias: un fenómeno puede parecer evolutivo o no, dependiendo del ángulo desde el que lo contemplamos 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 apariencias 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 fotografías inconexas. 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 esquiador 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

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. Vorontsov-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. Lemaitre, véase G. Gamow, *The Creation of the Universe* (Nueva York, 1952), en especial pp. 25-28. De acuerdo con Lemaitre, 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 cosmologiques* (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-

<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.

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 solapen 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

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.

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.

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 invasión<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 clasi- ficando 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 participen 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 super tarea 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 *ὑλὴ*, que significaba «materia, sustancia 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 neutrónes 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 pedregal 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 innumerables 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 (planteada 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 es 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 «Fss 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 cisteiniana 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). Aven-turo 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 com-partimentado 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 podrían 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.