

contempla como principio general de la Naturaleza, la tesis no solamente es operativamente inútil —como lo subrayó Samuelson—²⁰ sino también categóricamente incongruente. En efecto, sea $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ la expresión linealmente homogénea de una ley completa, esto es, cuando se tienen en cuenta todos los factores pertinentes $X_1, X_2, \dots, X_n$. Supongamos que X_n es el factor ignorado y que no hay errores de observación²¹. En el caso general, nuestras observaciones se dispersarán a lo largo de un campo n -dimensional del espacio ($y, x_1, x_2, \dots, x_{n-1}$) y, en consecuencia, no seremos ni siquiera capaces de sospechar la existencia de una ley. Si, no obstante, sucede que todas las observaciones se encuentran en una hipersuperficie, $y = g(x_1, x_2, \dots, x_{n-1})$, X_n es un factor espurio y la última ecuación será la ley en su totalidad. Es decir, todas las leyes observadas deben ser leyes completas y, dado que no todas las leyes observadas se expresan a través de funciones lineales homogéneas, se demuestra así lo absurdo de la tesis.

5. *Identidad y proceso*. Como continuación de las observaciones precedentes, hay que subrayar ahora una cuestión: el problema del tamaño se encuentra indisolublemente ligado a la noción de identidad, en concreto a la noción de «mismo fenómeno» o «mismo proceso». En economía, preferimos la expresión «unidad de producción» a la de «mismo proceso», con el fin de recalcar el criterio abstracto a través del cual se establece la identidad. Cualquiera que sea la expresión que utilicemos, la identidad sigue siendo fundamentalmente una noción primaria no susceptible de formalización completa. «El mismo proceso» es un tipo de acontecimientos análogos y plantea incluso más dificultades que «el mismo objeto». Ahora bien —en este caso aún menos que en otros—, no debemos permitir que nuestro análisis encalle en este tipo de dificultad. Hay muchas cuestiones que pueden explicarse provechosamente si admitimos que, pese a no ser analizable, «identidad» es en la mayoría de los casos un concepto operativo.

Así pues, sean P_1 y P_2 dos momentos distintos de un proceso. El problema del tamaño surge únicamente en aquellos casos en los que es posible englobar P_1 y P_2 *in vivo* en otro momento P_3 del *mismo* proceso. Si esto es posible, diremos que P_1 y P_2 se suman internamente y escribiremos

$$(1) \quad P_1 \oplus P_2 = P_3$$

Podemos decir también que P_3 está *dividido* entre P_1 y P_2 o que el correspondiente proceso (P) es *divisible*. A modo de ejemplo, si las masas m_1 y m_2 se transforman en las energías E_1 y E_2 , respectivamente, en dos momentos distintos P_1 y P_2 , esos momentos particulares pueden sumarse in-

²⁰ Paul A. Samuelson, *Foundations of Economic Analysis* (Cambridge, Mass., 1948), p. 84.

²¹ La última hipótesis es absolutamente necesaria para probar la tesis, que, hay que resaltarla, no tiene nada que ver con los errores de observación ni, en realidad, con la cuestión de las aproximaciones sucesivas.

ternamente porque existe un momento del mismo proceso que transforma $m_1 + m_2$ en $E_1 + E_2$. Podemos dividir también P_3 en P_1 y P_2 o incluso en dos mitades de P_3 , siempre que P no posea una unidad natural e indivisible. No es preciso decir que no podemos dividir (en el sentido estricto de la palabra) procesos del tipo de «elefante» o ni siquiera de «Harvard University».

Es evidente que la adición interna *in vivo* es lo que explica el carácter lineal de la correspondiente operación sobre el papel, porque, si bien es posible englobar P_1 y P_2 , aunque represente un momento de un proceso *diferente*, nuestras operaciones sobre el papel ponen de manifiesto un término no lineal²².

Otra cuestión que merece atención es que los procesos también pueden *sumarse externamente*. En este supuesto, P y P no precisan ni siquiera ser momentos del mismo proceso. En la adición externa,

$$(2) \quad \dot{P} + \ddot{P} = \ddot{P} \quad ,$$

$\dot{P}$ y $\ddot{P}$ conservan su individualidad (separación) *in vivo* y se agrupan únicamente en el pensamiento o en el papel. Así pues, la adición externa y la interna son dos nociones totalmente distintas.

Cuando un contable consolida varios balances en uno solo o cuando calculamos el producto nacional neto de una economía, no hacemos más que sumar externamente todos los procesos productivos. Esas operaciones sobre el papel no implican necesariamente una fusión real de los procesos afectados. En la contabilidad, todos los procesos son aditivos, razón por la que deberíamos distinguir con claridad el proceso de una unidad de producción (planta o empresa) del de la *industria*. El problema estriba en que una industria puede desarrollarse gracias al aumento de procesos de producción *inconexos*, pero el crecimiento de una unidad de producción es el resultado de un cambio morfológico interno.

De todo ello se concluye que, si las unidades externamente sumadas en el proceso contable de la industria son *idénticas*, la proporcionalidad dominará las variaciones de las variables afectadas, inputs y outputs. Así pues, la constancia de los rendimientos de escala es una propiedad tautológica de una industria granular²³. En la medida en que una industria represente un aumento de empresas prácticamente idénticas, no puede plantearse reparo

²² Este término refleja lo que podemos denominar interacción originada por la combinación de dos fenómenos individuales distintos. Para obtener una explicación instructiva, puede remitirse al lector a la interpretación que hace E. Schrödinger del término no lineal en la ecuación de la mecánica ondulatoria. E. Schrödinger, «Are There Quantum Jumps?», *British Journal for the Philosophy of Science*, III (1952), p. 234.

²³ Utilizo la expresión «industria granular» en lugar de «industria atómica» no sólo porque actualmente la última puede dar lugar a confusión sino también porque la propiedad de rendimientos de escala constantes no exige necesariamente que el número de empresas sea extraordinariamente grande.

alguno a la hipótesis de coeficientes de producción constantes en el sistema de Wassily Leontief.

Una cuestión relacionada con la argumentación anterior puede inducir a error. Puesto que he afirmado que los fenómenos que implican exclusivamente a variables cardinalmente mensurables son necesariamente indiferentes a la escala, podría sostenerse que con ello he ofrecido como mínimo el mejor argumento contra la existencia de la dimensión óptima de la planta. Así, un crítico podría preguntar: en general, ¿no son los inputs y los outputs de una planta cardinalmente mensurables?

Semejante interpretación ignoraría la auténtica esencia de mi argumentación, que dice que sólo si las variables cardinalmente mensurables se encuentran vinculadas de forma inmediata —como lo están causa y efecto en el estricto sentido de la expresión— podemos esperar que la ley se exprese a través de una fórmula lineal homogénea. Volviendo a uno de los ejemplos utilizados anteriormente, podemos esperar que la aceleración sea proporcional a la fuerza porque ésta afecta a aquella de forma directa: que sepamos, no existe entre ambas vínculo intermedio alguno. Tampoco he insinuado que la cardinalidad por sí misma baste para justificar formulaciones de leyes homogéneas y lineales. Imagino la cardinalidad como propiedad física que permite ciertas operaciones definidas ligadas a la medición y, por tanto, como propiedad establecida con anterioridad a la descripción de un fenómeno que afecta a variables cardinales. Precisamente por esa razón, no estaría de acuerdo con la opinión de Schrödinger de que la energía puede ser en unos casos «un “concepto cuantitativo” (Quantitätsgrösse)» y en otros «un “concepto cualitativo” o un “concepto de intensidad” (Intensitätsgrösse)»²⁴. Aunque puede parecer evidente hoy en día, en mi opinión la distinción debería hacerse entre procesos internamente aditivos y no aditivos, en lugar de decir que la cardinalidad de una variable cambia con el proceso en el que entra.

Por lo que se refiere al caso de una unidad de producción, todo economista desearía abandonar el complejo de flujo debería tener claro que inputs y outputs no están *directamente relacionados* y que, por consiguiente, no existe *a priori* razón alguna para esperar que la función de producción sea homogénea de primer grado. La familiar función de producción de la planta es la expresión de la adición externa de una serie de procesos físicos, perteneciente cada uno de ellos a una de las operaciones necesarias

Este número debe ser sólo lo suficientemente grande como para hacer impracticable que cualquier empresa pueda predecir el efecto *final* sobre el mercado de cualquier estrategia que pueda adoptar, es decir, lo bastante grande como para que sea infructuosa la competencia entre intraespecies. Es evidente que existe una penumbra de números que satisfacen precisamente esa condición y que su magnitud depende del estado del análisis de estrategias, del conocimiento que el empresario tenga de tal estrategia y de la información de que normalmente pueda disponer cada empresa.

²⁴ Schrödinger, «Are There Quantum Jumps?», p. 115.

para transformar en producto(s) el input de materiales. Debido a que muchos de esos procesos intermedios están relacionados con la cualidad, ningún proceso de la planta puede ser indiferente a la escala. Sabemos que el valor productivo de muchos inputs que indudablemente son cardinalmente mensurables no reside en su quantum material. Aunque los materiales se adquieren según su peso o volumen, lo que en verdad adquirimos frecuentemente es resistencia a la tensión, al calor, etc., es decir, cualidad, no cantidad. Esto es cierto sean o no tales materiales perfectamente divisibles. Por todo ello, la denominada tesis tautológica —que la perfecta divisibilidad de los factores supone rendimientos de escala constantes— es totalmente inútil; el que, pese a todo, pueda tener cierto atractivo se debe exclusivamente a que, a lo largo de la argumentación, «divisibilidad de factores» se confunde con «divisibilidad de procesos». Aunque sea así, la argumentación no es ya aplicable a la unidad de producción pues, con complicaciones innecesarias, únicamente demuestra una característica tautológica de una industria molecular.

6. *Cardinalidad y residuo cualitativo*. Posiblemente la mayor revolución en las matemáticas modernas fue causada por la noción de grupo, de Évariste Galois. Gracias a la aportación de Galois, las matemáticas cayeron en la cuenta de que una serie de propiedades, hasta entonces consideradas totalmente distintas, encajaban en el *mismo modelo abstracto*. La economía de pensamiento lograda al descubrir y estudiar otros modelos abstractos en los que podía reflejarse una multitud de situaciones es tan evidente que los matemáticos han desviado cada vez más su atención en este sentido, es decir, hacia el formalismo. Un ejemplo instructivo del poder del formalismo es el modelo abstracto que corresponde perfectamente al mismo tiempo a las relaciones punto-línea de la geometría Euclidea y a la organización de cuatro personas en clubes de dos miembros²⁵. En repetidas ocasiones, el éxito del formalismo en las matemáticas condujo a la postura epistemológica de que la base del conocimiento se compone exclusivamente de modelos formales: el hecho de que en el ejemplo recién mencionado el modelo se aplique a puntos y líneas, en un caso, y a personas y clubes, en el otro, es una cuestión totalmente secundaria. A través de un procedimiento semejante —que toda escala de medición puede convertirse en otra a través de una transformación monótona y que, en consecuencia, esta última es el modelo formal de la medición— se ha llegado a negar a la cardinalidad todo significado epistemológico. De acuerdo con esta opinión, no hay razón alguna para que un carpintero no pueda contar uno, dos, ..., 2ⁿ, al extender su medición una vez, dos veces, ..., *n* veces o, como sugiere Broglie, utilizar una regla logarítmicamente graduada.

²⁵ Véase R. L. Wilder, *Introduction to the Foundations of Mathematics* (Nueva York, 1956), pp. 10-13.

Al ser estas las objeciones típicas contra la distinción entre diversas clases de mensurabilidades, equivalen a afirmar que no existen razones objetivas para distinguir, por ejemplo, un pez de un insecto, porque ¡ambos son animales! Louis de Broglie continua aun diciendo que la cardinalidad es una idea arbitraria (como máximo, una mera convención) que refleja hábitos inconscientes e intuiciones superficiales²⁶; con lo que nos deja preguntándonos si un físico limpio de tales impurezas podría seguir llevando a cabo cualquier operación rutinaria en su laboratorio. Para demostrar así que la cardinalidad es un problema de convención, Broglie plantea el caso de dos gases que tienen el *mismo* número de moléculas. Siendo E_1 y E_2 las energías calóricas de esos gases, la relación $E_1 = kE_2$ implica, como es sabido, que las temperaturas absolutas, T_1 y T_2 , satisfacen la relación análoga $T_1 = kT_2$. Es decir, tenemos aquí una convención que transfiere la cardinalidad de la energía calórica a la temperatura absoluta. La argumentación, no obstante, logra únicamente que se sea más plenamente consciente de por qué la temperatura absoluta no es una variable cardinal. El contraste es ahora más acusado: la longitud es una variable cardinal, debido a que podemos realizar determinadas operaciones directamente con ella (podemos, por ejemplo, englobar longitudes) y no debido a que podamos hacer una convención completamente análoga a la de Broglie, tomando como base el hecho de que las longitudes de dos rectángulos de la *misma* anchura son proporcionales a las dos áreas.

Hay también economistas que han propuesto la relatividad de la medición. Apparentemente, no fueron capaces de ver que ese enfoque socava todos los cimientos sobre los que descansa la ciencia económica. En efecto, esos cimientos están formados por un puñado de principios, todos los cuales afirman que cualquier fenómeno específico está sujeto a variaciones de crecimiento o decrecimiento. No existe excepción alguna, ya pertenezca el principio a los fenómenos de consumo o a los de producción: utilidad marginal decreciente, tasa marginal de sustitución decreciente, economías internas crecientes, etc.

Es una cuestión relativamente simple ver que esos principios pierden su significado si la cardinalidad es falsa. Evidentemente, si no existe base epistemológica para medir los cereales de una u otra forma, la utilidad marginal puede estar creciendo o decreciendo libremente a lo largo de cualquier intervalo dado. Por sorprendente que pueda parecer, la relatividad de la medición daría lugar a un desastre mayor en el estudio de la producción que en el del consumo. En ese caso, podría darse a las isocuantas, a las curvas de costes, a las curvas de nivel, etc., prácticamente cualquier

pendiente que se quisiera²⁷. El problema de si la física teórica necesita una base cardinal cae fuera del alcance del presente ensayo, pero difícilmente puede haber dudas de que, debido a su carácter pedestre, la actividad económica no puede existir sin una base semejante.

Compramos y vendemos la tierra por acres debido a que frecuentemente la tierra es homogénea a lo largo de grandes extensiones; y, debido a que tal homogeneidad no es general, tenemos la renta diferencial. Imaginemos lo extraordinariamente complicada que sería la vida económica si adoptásemos una medición ordinal de la tierra, elegida de tal modo que eliminase la renta diferencial, y pensemos solamente en aplicar la misma idea a todas las variables económicas que implican variaciones cualitativas.

Dado que la cardinalidad está ligada a la total ausencia de variación cualitativa, representa una especie de origen natural de la cualidad. El hecho de eliminarla de la caja de nuestras herramientas descriptivas equivale a destruir también todo punto de referencia a la cualidad. Todo se reduciría a «esto» o «eso», idea que sería especialmente perniciosa si se aplicase en economía. Cualquiera de los principios básicos sobre los que descansa buena parte del análisis económico es en el fondo expresión de cierto residuo cualitativo derivado de la proyección sobre una cuadrícula cardinal de fenómenos relacionados con la cualidad. Por poner un ejemplo, el principio de la elasticidad decreciente de la sustitución de factores no es más que un residuo. Un examen crítico de su justificación revelaría fácilmente que los factores sustituibles pertenecen a una categoría especial mencionada anteriormente: participan en el proceso productivo a través de sus propiedades cualitativas. La otra categoría de factores, acarreados a través del proceso como meras sustancias de cualquier tipo, no puede, estrictamente hablando, originar ningún residuo cualitativo ni, por tanto, dar lugar a la sustitución; como ejemplo a este respecto, puede citarse los inputs de cobre y cinc en la producción de un latón determinado. Así pues, se llega a la conclusión de que toda relación entre dos inputs, o entre un input y el output, puede o no mostrar un residuo cualitativo según sea el tipo de papel que los correspondientes factores desempeñan en el proceso productivo. Esta diferencia es responsable de la gran variedad de modelos que puede exhibir una función de producción y que se encuentra abarcada por la noción general de la cualidad de limitación²⁸.

Muchos economistas sostienen que la economía es una ciencia deductiva. El anterior análisis del carácter de los principios básicos propios de las variaciones cuantitativas de los bienes económicos cardinalmente mensurables jus-

²⁷ Para obtener más detalles, véase mi artículo antes citado, «Measure, Quality, and Optimum Scale», pp. 234 y 246.

²⁸ Las observaciones anteriores pueden contemplarse como ideas adicionales a mi trabajo del año 1935, «Fixed Coefficients of Production and the Marginal Productivity Theory», reimpreso en *AE*, trabajo que representa sin duda el primer intento de un análisis general de la cualidad de limitación con relación al mecanismo de fijación de precios.

tifica su postura, si bien sólo en parte. Evidentemente, afirmar la existencia de un residuo cualitativo es un juicio sintético *a priori* antes que una proposición empírica, pero únicamente a través de la evidencia objetiva podemos averiguar si el residuo cualitativo está representado por variaciones crecientes o decrecientes. La cuestión parece suficientemente evidente, pero, en todo caso, deseo ilustrarla a través de un ejemplo especialmente instructivo.

Mientras tanteaba la idea de que la característica fundamental del mapa de preferencias en *un campo de bienes cardinalmente mensurables* refleja un residuo cualitativo, en un artículo del año 1954 reemplacé el principio de tasa marginal de sustitución decreciente por una nueva proposición que destaca la cualidad en primer plano. Para expresarlo de forma elemental, mi punto de partida consistió en que si *diez libras* de patatas y *diez libras* de harina de trigo pueden ser rentas equivalentes para un consumidor, una renta de *diez libras* de cualquier mezcla de patatas y harina de trigo podría no ser equivalente a ninguna de las alternativas iniciales. Esta afirmación negativa no hace más que reconocer la existencia de un residuo cualitativo en el mapa de preferencias y, por lo tanto, no precisa de apoyo empírico: es suficiente el «axioma» de que la elección se encuentra relacionada con la cualidad. Ahora bien, bajo la influencia de la noción tradicional de que las curvas de indiferencia son *evidentemente* convexas, di un paso más y afirmé que la mezcla de diez libras se prefiere (generalmente) a cualquiera de las otras dos. Por razones obvias, llamé al postulado así expuesto *Principio de Complementariedad*²⁹. Carl Kaysen puso en duda el postulado basándose en que algunos ingredientes pueden producir perfectamente una mezcla nauseabunda. En aquella época, apenas estuve preocupado por esa objeción, pues me encontraba satisfecho por la observación de que mi postulado no impulsa al individuo ni a mezclar realmente los ingredientes ni a consumirlos en un orden determinado. Fue sólo más tarde cuando caí en la cuenta de la importancia de la cuestión planteada por Kaysen, al ocurrírseme un simple contra-ejemplo del postulado: a un amigo de los animales puede serle indiferente tener dos perros o dos gatos, pero podría encontrar la vida desagradable si tuviese un perro y un gato. El ejemplo pone de manifiesto que, dado que algunos bienes pueden tener un efecto antagónico, el Principio de Complementariedad no es generalmente válido. Como ya he dicho, únicamente la evidencia objetiva puede determinar la dirección en la que el residuo cualitativo perturba la proporcionalidad, y, dado que sin especificar esa dirección los principios fundamentales de la economía carecen prácticamente de valor, la postura de que existen *a priori* verdades sintéticas sólo está justificada a medias. Al igual que en todas las medias verdades, esa postura ha tenido algunos efectos desafortunados sobre nuestros pensamientos.

²⁹ Véase la Sección II de «Choice, Expectations, and Measurability» (1954), reimpresso en *AE*.

CAPÍTULO V

NOVEDAD, EVOLUCIÓN Y ENTROPÍA: NUEVAS LECCIONES OBJETIVAS DE LA FÍSICA

1. *Teoría y novedad*. La moderna filosofía de la ciencia no presta normalmente suficiente atención al hecho de que el estudio de la materia inerte se encuentra dividido entre física y química. Probablemente se piensa que la separación de química y física es una cuestión de tradición o de división del trabajo, pero, si únicamente fueran esas la razones, la química se hubiera convertido hace ya mucho tiempo en una rama ordinaria de la física, al igual, por ejemplo, que la óptica o la mecánica. En una época en la que el credo de la ciencia unificada domina el mundo intelectual, ¿por qué siguen existiendo los puestos fronterizos? El reciente establecimiento de la química física como vínculo intermedio entre física y química pone claramente de manifiesto que la fusión completa se ve impedida por alguna razón muy profunda y que no es otra sino que la química no posee un código teórico metódico. Por lo tanto, únicamente perjuicios podrían derivarse de dejar entrar ese caballo de Troya en la ciudadela de la física¹.

Puede sentirse gran desconcierto ante la observación de que no existe una química teórica. Después de todo, la química, al igual que la física, se ocupa de cantidades y de cualidades cuantificadas. El hecho de que dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno se combinen para formar una molécula de agua es un ejemplo de proposición química cuantitativa. En realidad, la química sí estudia algunas cualidades materiales cuantificadas: color, dureza, acidez, impermeabilización, etc., pero en último término incluso esas propiedades cualitativas se expresan a través de proposiciones aritmomórficas. *Prima facie*, por tanto, nada puede evitar que pasemos todas las proposiciones químicas a través de un tamiz lógico para separarlas

¹ El lector que desee encontrar en W. Heisenberg, *Physics and Philosophy: The Revolution in Modern Science* (Nueva York, 1958), p. 101, la afirmación de que física y química «han llegado a una unión completa» deberá tener en cuenta que con ello Heisenberg únicamente quiere decir que la química trata ahora también la materia como compuesta por átomos de Bohr.

en una clase- α y una clase- β (como se sugería en el Capítulo I, Sección 5). Así pues, ¿por qué no hay una *teoría* química?

Para responder a esa cuestión, hay que observar que, a pesar de la forma estocástica de sus leyes y de la indeterminación de las observaciones instrumentales, la física sigue siendo una ciencia mecanicista, si se da a esta expresión un significado más amplio que conserve el decisivo artículo de la fe clásica. En este sentido, una ciencia es mecanicista si, en primer lugar, adopta solamente un número finito de elementos cualitativamente diferentes y si, en segundo lugar, asume un número finito de leyes fundamentales que relacionen esos elementos con cualquier otra cosa del mismo campo fenomenológico. El hecho de que las leyes fundamentales puedan ser complementarias en el sentido de Bohr no constituye un impedimento en este contexto. Ahora bien, la física puede dejar de ser mecanicista si la actual tendencia a descubrimientos de una partícula elemental tras otra lleva a la conclusión de que el número de tales partículas es ilimitado. Con una infinidad *cualitativa* a nivel elemental, el sistema de leyes fundamentales tendría que ser igualmente infinito. En ese caso, ya no sería posible lograr cualquier economía del pensamiento a través de un examen cuidadoso de todas las proposiciones. Lo más que podríamos hacer sería clasificar todas las proposiciones en un número finito de clases utilizando determinado criterio de afinidad o, lo que sería más práctico, en grupos de acuerdo con la frecuencia con que cada proposición se precisa en la actividad cotidiana.

En la actualidad, tenemos en la química una situación análoga, aunque originada por factores que proceden de otra dirección. En efecto, la química no se interesa únicamente por la forma en que el número finito de elementos químicos se combina entre sí en otras innumerables sustancias químicas. Como ya se ha indicado antes, la química se interesa también (e incluso más) por las diversas cualidades de las sustancias *en bruto*, y la cruda realidad es que muchas de esas cualidades no pueden deducirse de las propiedades simples de los elementos implicados en la fórmula química. Las reglas actualmente utilizadas para predecir las cualidades de una sustancia a partir de su fórmula química son muy desiguales; además, muchas de ellas se han establecido gracias a procedimientos puramente empíricos y, por tanto, es menos probable que tengan mucho peso más allá de los casos realmente observados. En consecuencia, desde el punto de vista del conocimiento existente, casi todo nuevo compuesto representa una *novedad* en uno u otro aspecto. Esa es la razón por la que cuantos más compuestos químicos ha sintetizado la química más desconcertante ha llegado a ser la irregularidad de la relación entre la estructura química y las propiedades cualitativas. Si esta tendencia histórica nos enseña algo es que nada nos autoriza a esperar que esa creciente irregularidad se vea reemplazada en el futuro por algunos principios simples.

Supongamos que nos hemos tomado la molestia de distribuir todas las proposiciones *conocidas* de la química en una clase- α y en una clase- β . Ahora bien, todos los días se descubren por centenares nuevos compuestos químicos². De acuerdo con el párrafo anterior, se concluye que con cada descubrimiento, incluso con el más pequeño, la clase- α ha de verse incrementada con nuevas proposiciones, a veces más numerosas que las que se añaden a la clase- β . Al ser tan numerosos los componentes conocidos, no necesitamos realmente determinar la actual clase- α de la química para comprobar que contiene un número inmenso de proposiciones, posiblemente más grande que el de la clase- β . Así pues, es evidente por qué nadie ha intentado construir una base lógica de la química. Como he afirmado en el primer capítulo del presente libro, la *raison d'être* de una construcción teórica es la economía de pensamiento a que da lugar. Si la novedad es una característica inmanente de un campo fenomenológico —como sucede en el caso de la química—, una construcción teórica, incluso aunque fuese verosímil, es antieconómica: sería absurdo edificarla.

No es preciso ver en la novedad más que un aspecto relativo del conocimiento; en este sentido, el concepto está libre de toda insinuación metafísica. Ahora bien, su importancia metodológica se extiende desde los compuestos químicos a todas las formas de la Materia: coloides, cristales, células y, finalmente, organismos biológicos y sociales; y, según vamos avanzando por esta escala, la novedad se hace todavía más llamativa. Evidentemente, todos los atributos cualitativos que configuran juntos la entidad denominada elefante, por ejemplo, son nuevos con respecto a las propiedades de los elementos químicos de los que está compuesto un cuerpo de elefante. De igual modo, lo que hace una sociedad concreta no es totalmente deducible de las propiedades biológicas de cada uno de sus miembros. Podemos explicar, por ejemplo, por qué todos los asentamientos primitivos se han encontrado cerca de algún depósito de agua fresca: el hombre biológico necesita agua. Sin embargo, no podemos explicar el mismo modo por qué las sociedades humanas han sentido la necesidad de creer en algún Dios, si por razones de ostentación, de justicia, etc. Como lo admite un número creciente de científicos de la Naturaleza, la combinación *per se* aporta algo que no puede deducirse a partir de las propiedades de los diferentes componentes³. La conclusión evidente es que las propiedades de los elementos simples, ya sean atómicos o intraatómicos, no describen la Materia de forma exhaustiva. La completa descripción de la Ma-

² En «The Significance of Chemistry», *Frontiers in Science: A Survey*, edit. por E. Hutchings, Jr. (Nueva York, 1958), p. 280, Linus Pauling estimaba «que, en la actualidad, se descubren cada año aproximadamente 100.000 nuevos hechos químicos». Y eso era hace más de diez años.

³ P. W. Bridgman, *The Nature of Physical Theory* (Princeton, 1936), p. 96; L. von Bertalanffy, *Problems of Life* (Nueva York, 1952), cap. ii.

tería incluye no sólo la propiedad del átomo de carbón, por ejemplo, sino también la de todas las organizaciones de las que el carbón es parte constitutiva.

De todo lo que he dicho hasta ahora sobre la novedad se sigue que no todos los fenómenos pueden descubrirse a golpe de lápiz, haciendo sobre el papel cálculos algebraicos o lógicos, como en el caso de la mecánica. Todos los que pueden deducirse de esta manera constituyen nuestra clase- β y cabe referirse a ellos como *fenómenos racionales de primer orden*. Otros, por el contrario, no pueden conocerse hasta no haber sido previamente observados. Evidentemente, estos últimos no violan ninguna ley establecida más de lo que un cuadrado determinado viola las leyes de la geometría por el hecho de ser amarillo; sin embargo, su racionalidad es de un tipo diferente al de los fenómenos deducibles; podemos referirnos a ella como *racionalidad de segundo orden*. Es claro que pertenecen a la clase- α . Ahora bien, según vamos ascendiendo desde el campo físico-químico al orgánico y, especialmente, al superorgánico, la novedad adquiere una nueva dimensión que plantea un problema insospechado relativo a la división de todas las proposiciones en una clase α y en otra β .

Para un químico, el comportamiento de un compuesto de nueva obtención puede mostrar muchas novedades, pero, una vez que se ha sintetizado ese compuesto químico, la próxima ocasión en que el químico lo prepare no se verá ya enfrentado a otra novedad a través de la combinación: a nivel físico-químico, la materia es uniforme. La mayoría de las veces, esa permanencia está ausente en el campo orgánico y superorgánico. Veamos un ejemplo evidente: en algunas sociedades humanas la novia se vende, en otras aporta una dote a la nueva familia y en otras, por último, no hay transacción matrimonial de ningún tipo; sin embargo, los elementos del siguiente nivel inferior, los hombres biológicos que forman por combinación cada una de esas sociedades son los mismos. Así pues, a partir de la misma base puede surgir una multiplicidad de nuevas formas. Para un ejemplo todavía más llamativo en el campo de la biología, campo en el que igualmente abunda el mismo fenómeno, no es preciso más que echar una ojeada al amplio espectro de formas de cuerno que se encuentran entre los antílopes⁴. El famoso paleontólogo francés Georges Cuvier creía, y así lo enseñaba, que se puede predecir, por ejemplo, la forma de los dientes de un animal a partir de la de sus patas. Actualmente sabemos que la ley de correlación de Cuvier está plagada de excepciones importantes. Este segundo aspecto de la novedad es mucho más importante que el primero: nos impide predecir el resultado incluso después de haber observado la misma combinación una, dos o muchas veces. Propongo que se haga refe-

⁴ Véase la ilustración que se encuentra en G. G. Simpson, *The Meaning of Evolution* (New Haven, 1949), p. 166.

rencia a esta categoría como *racional de tercer orden*. En efecto, debido a que son reales, no pueden violar ninguna de las leyes de la materia elemental (o de la orgánica, si son superorgánicas); en consecuencia, no existe razón alguna para tacharlas de irracionales⁵. En cualquier caso, no se puede dejar de subrayar que esta peculiaridad separa con trazo grueso las ciencias de las estructuras vivientes de aquellas correspondientes a la materia inerte.

La consecuencia de las últimas observaciones es que decir que la Materia tiene infinitas propiedades puede no representar toda la verdad y, consecuentemente, puede inducir a error. La única verdad es que la Materia tiene infinitas *potentiae* que son tan reales como las propiedades de la materia elemental. ¿Cómo podríamos explicar en caso contrario el hecho de que exactamente la misma serie de elementos químicos que constituyen algunos compuestos inertes puedan también encontrarse reunidos en una célula viviente que muestra una propiedad, la vida, que no posee ningún compuesto inerte? En mi opinión, la observación de Bohr⁶ de que el Principio de Complementariedad se ilustra con mayor claridad considerando cómo una célula se comporta *in vivo* y cómo su materia se comporta *in vitro* no es en absoluto adecuada. Un fotón se comporta unas veces como si fuese una onda y otras como si fuese una partícula; sin embargo, que yo sepa ningún físico ha afirmado que la partícula (o la onda) no existe ya cuando el electrón se manifiesta por sí mismo como una onda (o una partícula). Ahora bien, si no podemos completar el análisis químico de una célula viva —es decir, descubrir el comportamiento completo de su cuerpo como materia elemental— sin ocasionar en último lugar la muerte de la célula, se exige una respuesta a la cuestión ¿a dónde fue la vida? Por mi parte, no puedo pensar en ninguna otra forma científica de responderla si no es diciendo que la vida es una *potentia* permanente de la Materia y que, como tal *potentia*, se encuentra también presente en los precipitados que se observan en el tubo de ensayo. Así, Pensamiento, conciencia, el sentimiento de estar vivo, son todos *potentiae* semejantes.

Físicos y químicos pueden no desear oír hablar de *potentiae*, pero muchos de ellos estarán de acuerdo con Eddington al reconocer que el Pensamiento «es la primera y más directa cosa de nuestra experiencia; todo lo demás es inferencia remota»⁷. Algunos filósofos, no obstante, condenan esta postura por ser una «vieja falacia». Como ya hemos visto, el filósofo de Oxford, G. Ryle⁸ afirma que deberían suprimirse Pensamiento y expresiones semejantes, ya que nadie ha visto un pensamiento ni siquiera asociado

⁵ Sobre esto, más en los Capítulos VII y XI posteriores.

⁶ Niels Bohr, *Atomic Physics and Human Knowledge* (Nueva York, 1958), pp. 7-9; también Louis de Broglie, *Physics and Microphysics* (Londres, 1955), p. 139.

⁷ A. S. Eddington, *New Pathways in Science* (Ann Arbor, 1959), pp. 5 y 322.

⁸ Citado en el Capítulo III, nota 90, anterior.

a materia allí donde todo el mundo puede ver materia sin pensamiento, y no es el único en esta exageración del positivismo lógico de que todo es simplemente materia. Por esta razón, como primera medida tendríamos que dejar de hablar de energía de radiación, a la que tampoco se ha visto nunca aislada por sí sola. Es difícil imaginar qué es lo que los filósofos quieren lograr con esta postura insostenible. Todo lo que podemos asegurar es que consigue que muchos estudiosos de lo orgánico y lo superorgánico distraigan su atención de los más importantes problemas y de los métodos más adecuados en estos campos. Sin embargo, aunque la suerte esté echada, estoy seguro de que incluso aquellos que comparten la postura de Ryle están de acuerdo con la réplica de M. H. Pirenne⁹ en el sentido de que todos tienen también un pensamiento y una conciencia, y se sienten vivos.

Los estudiosos que trabajan en campos en los que está totalmente ausente el segundo aspecto de la novedad por combinación se encuentran capacitados para extrapolar esta atractiva condición más allá de sus propias esferas de actividad y, sobre esta base, para proporcionar (como algunos ya lo han hecho) un asesoramiento altamente cualificado a sus colegas de la otra orilla. Con una sonrisa iluminando su pluma, Henri Poincaré escribió que las ciencias sociales tienen «la mayoría de los métodos y los menores resultados»¹⁰. El que las ciencias sociales deban tener más métodos que las otras es una necesidad lógica: necesitan también métodos apropiados para el estudio de los fenómenos racionales de tercer orden. Desde este punto de vista, tenemos que deplorar antes que aplaudir la actual tendencia de las ciencias sociales a basarse menos en estas métodos *sui generis* y más en los importados de la físico-química o, peor aún, de la mecánica. Al igual que para cualquier estudio de las ciencias físico-químicas, para Poincaré puede ser perfectamente natural considerar como «resultados» únicamente a las proposiciones que expresan una necesidad lógica u objetiva. Debido, una vez más, a la abrumadora frecuencia de los fenómenos racionales de tercer orden, tales proposiciones constituyen más bien la excepción en las ciencias sociales, y todos aquellos a los que conocemos sugieren que nadie puede hacer nada al respecto. En realidad, basándose en todo lo que se ha llevado a cabo en estas ciencias desde hace algún tiempo, sería más apropiado decir que han obtenido demasiados resultados (y no muy pocos) del tipo apreciado por el estudioso de la materia inerte. Así pues, un número cada vez mayor de científicos sociales, a los que Jonathan Swift hubiera descrito como «suficientemente hábiles sobre un papel», producen un «resultado

⁹ M. H. Pirenne, «Descartes and the Body-Mind Problem in Physiology», *British Journal for the Philosophy of Science*, I (1950), p. 45.

¹⁰ Henri Poincaré, *The Foundations of Science* (Lancaster, Pa., 1946), p. 365.

positivo» tras otro, día tras día. Sin embargo, solamente unos pocos de esos resultados tienen relación con los fenómenos de la realidad.

La forma simple de la novedad por combinación basta para explicar por qué incluso la química o la ingeniería preocupadas por las propiedades cualitativas de la materia en general no pueden ser extensiones teóricas de la física. Un modo más adecuado de expresarlo es decir que no hay paralelismo químico-físico; mucho menos, por tanto, puede haber un paralelismo bío-, psico-, o sociológico, pues en todos estos campos la novedad por combinación aparece con su segunda dimensión, más desconcertante. Los físicos, y en especial los químicos físicos, plenamente conscientes de los límites a los que puede llegarse a partir de las propiedades de la materia inerte, no es probable que desapruében esta conclusión. En realidad, nombres famosos en la física y en la química han denunciado en los más categóricos términos el paralelismo biológico y el psicofísico¹¹. Frente a ello, muchos, posiblemente la mayoría, de los estudiosos de los fenómenos vitales se enfrentarían actualmente con enormes protestas a esa conclusión. Únicamente ahora y en estas circunstancias podemos encontrar a un biólogo como Max Delbrück —a quien se puede atribuir el haber echado a rodar la bola de la biología molecular— defendiendo continuamente la opinión de que de igual modo que algunas características del átomo «no son reducibles a mecánica, podemos encontrar características de la célula viviente... no reducibles a física atómica»¹². Y muy recientemente, comentando la reducción de una paradoja en la biología molecular, Delbrück observó muy exactamente que la reducción se basaba en una nueva ley «que nadie hubiera extraído de la mecánica cuántica sin haberla visto primeramente en funcionamiento»¹³. De acuerdo con la actual orientación «académica» de la biología molecular, la postura de Delbrück (mantenida también entonces por otros que ahora niegan haberlo hecho) representa el punto de vista «romántico». Sin embargo, la misma escuela académica de pensamiento vive no solamente de la mecánica cuántica sino también de una serie de nuevos postulados a los que no se puede clasificar como posiciones- β de esa ciencia. Y, en último término, esta escuela ha de admitir también que «existen procesos que, aunque claramente obedecen [no violan] las leyes de la física, *nunca* pueden explicarse [por la física]»¹⁴. Aho-

¹¹ Por ejemplo, C. N. Hinshelwood, *The Structure of Physical Chemistry* (Oxford, 1951), pp. 456 y 471; Max Born, *Physics in My Generation* (Londres, 1956), p. 52; Niels Bohr, *Atomic Physics*, p. 78 y *passim*.

¹² Max Delbrück, «A Physicist Looks at Biology», *Transactions of the Connecticut Academy of Arts and Sciences*, XXXVIII (1949), p. 188. [En la época en que escribí esta frase de admiración hacia el punto de vista de Delbrück todavía no había sido laureado con el premio Nobel].

¹³ Citado por G. S. Stent, «That Was the Molecular Biology That Was», *Science*, 26 de abril de 1968, p. 395, nota 11.

¹⁴ Stent, p. 395. Pueden encontrarse otros ejemplos a voluntad. Simpson (*Meaning of Evolution*, pp. 124 y ss.), tras admitir explícitamente que «es simplemente ridículo sostener que no hay diferencia

ra bien, si la frase se completa como debe ser y como lo he hecho yo, la postura no difiere ni en una coma de la que he mantenido en esta sección.

Como lo atestigua la historia, casi todas las posturas epistemológicas han aportado su grano de verdad a la ciencia. La creencia en la existencia de una relación teórica entre la biología y la mecánica cuántica no constituye una excepción, como lo demuestran ampliamente los trascendentales descubrimientos relacionados con el denominado código genético. El precio (siempre tiene que haber un precio) es el abandono de otros numerosos fenómenos que exhiben propiedades vitales tan especiales que han llevado a un consumado fisiólogo (y premio Nobel) como Charles Sherrington a maravillarse y a escribir sobre ello con inimitable penetración¹⁵.

El velo que cubría un pequeño pero importante rincón de este último campo se levantó cuando H. Driesch demostró experimentalmente que, tras haber sido mutilados a propósito de forma drástica en sus primeras fases, unos embriones se desarrollaron no obstante hasta llegar a individuos normales. Ahora bien, los trozos de una copa rota no intentarán reunirse en una copa no rota, ni un solo trozo crecerá por sí mismo para convertirse en una nueva copa. Evidentemente, Driesch exageró su caso y, como resultado de ello, se expuso a la repetida acusación de haber visto en su descubrimiento la prueba de la existencia de una fuerza vital, de una entelequia real. Sin embargo, eso no hace que su descubrimiento sea menos importante. De hecho, transfirió sus resultados al principio de *equifinidad*¹⁶. Este principio, rebautizado como principio de restitución y regulación de organismos vivos¹⁷, se ha completado posteriormente con otros conceptos relacionados más directamente con los fenómenos observados a nivel submicroscópico. Recientemente, Paul A. Weiss, quien a lo largo de la misma línea de investigación ha obtenido resultados incluso más sorprendentes que los de Driesch, reiteró la advertencia contra la esperanza de que la sintetización de una célula pudiese «dar como resultado no precisamente una construcción lógica sino una realidad físicamente demostrable»¹⁸. Sin embargo, el temple científico de nuestra época no consti-

esencial alguna entre vida y no vida», ataca el vitalismo porque todas las diferencias son inherentes «únicamente a la organización» de la vida. Si con ello quiere decir que la vida no puede explicarse sólo por las propiedades de la materia inerte, no hace más que desvirtuar verbalmente las tesis neovitalistas.

¹⁵ Charles Sherrington, *Man on His Nature* (Nueva York, 1941).

¹⁶ H. Driesch, *The Science and Philosophy of the Organism* (2 volúmenes, Londres, 1908), I, pp. 59-65 y 159-163.

¹⁷ Bertalanffy, *Problems of Life*, pp. 59, 142 y s. y 188 y s.

¹⁸ Paul A. Weiss, «The Compounding of Complex Macromolecular and Cellular Units into Tissue Fabrics», *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, XLII (1956), p. 819. Entre otros experimentos que confirman el principio de equifinidad, Weiss informa que las células de la piel de embriones de polluelo «reunidas aleatoriamente han logrado, incluso fuera del organismo, sintetizar una pluma —una unidad de orden superior— a través de una acción colectiva armónica, como en un concierto» (p. 827). Véase también el Apéndice G en el presente volumen.

tuye una excepción frente al pasado: hay un terror intelectual sin consideración con el debido proceso legal. Así, muchos biólogos intentan evitar la vergonzosa calificación de «vitalistas» utilizando ciertos timos verbales como el que se acaba de ver.

Las primeras consideraciones de esta sección implican la expectativa de que el efecto de la «postura» académica debería ser mucho más evidente en las ciencias sociales que en la biología. Y así sucede, verdaderamente. Tanto los problemas por los que estaban interesados los economistas románticos —el mejor Marx, la escuela histórica o los institucionalistas— como sus métodos de investigación se encuentran prácticamente olvidados, a menudo tratados con gran desprecio. La novedad por combinación bajo su docto aspecto no preocupa ya al economista académico; para él, únicamente lo que puede establecerse como teoría cuenta en la vida económica. Tal como lo contempla, todo es reducible a sistemas de locomoción y el hombre, como agente del proceso económico, no se guía por ningún otro principio de presunción.

2. *Novedad e incertidumbre*. Hay varias lecciones objetivas que los estudiosos de los fenómenos vitales podrían aprender a partir de la aparición de la novedad por combinación. La más importante de ellas para el científico social se refiere a aquellas doctrinas de la sociedad humana que pueden calificarse de «químicas» debido a que reconocen abiertamente a la química como modelo y fuente de inspiración. Dado que el problema planteado por esas doctrinas es de crucial importancia para la orientación de todas las ciencias sociales, especialmente la economía, merece ser discutido en detalle. Esto se hará así en una sección especial posterior, pero, en este punto, me propongo subrayar una lección objetiva que hace referencia a la diferencia existente entre riesgo e incertidumbre.

Puesto que una descripción exhaustiva de la Materia implica tanto experimentar con un conjunto esencialmente ilimitado de combinaciones (u organizaciones) materiales como estudiar tal conjunto, no es preciso decir que el destino del conocimiento humano es ser siempre incompleto. A partir del análisis llevado a cabo en la sección anterior, el significado de «incompleto» debería quedar perfectamente claro. Sin embargo, en la controversia acerca de la diferencia existente entre riesgo e incertidumbre, el conocimiento *incompleto* se ha confundido frecuentemente con lo que puede calificarse de conocimiento *imperfecto*. La cuestión consiste en que —en la terminología adoptada aquí— *incompleto* hace referencia al conocimiento como un todo, mientras que *imperfecto* se refiere a una parte específica del conocimiento existente. Algunos ejemplos pueden ayudar a aclarar la diferencia. Nuestro conocimiento es incompleto debido, por ejemplo, a que no tenemos absolutamente ninguna idea de qué tipo de especie biológica evolucionará a partir del *homo sapiens*, o incluso de si habrá alguna evolución. Por otra parte, sabemos que (si es normal) el próximo

nacimiento será un niño o una niña, pero no podemos saber con mucha anticipación qué es lo que será, pues nuestro conocimiento sobre el sexo de los futuros individuos es imperfecto, siendo la principal causa de tal imperfección la aleatoriedad intrínseca que se encuentra implícita en la determinación del sexo. El conocimiento de las leyes pertinentes —por ejemplo, la correlación del sexo de un hijo con la edad de la madre, con el sexo de sus hermanos mayores, etc.— únicamente nos permitiría adivinar correctamente¹⁹.

El riesgo describe las situaciones en las que no se conoce el resultado exacto, pero éste no representa una novedad. La incertidumbre se aplica a aquellos casos en los que la razón por la que no podemos predecir el resultado consiste en que nunca se ha observado en el pasado el mismo acontecimiento y, por tanto, puede implicar una novedad.

Dado que en otro lugar²⁰ ya he insistido sobre la necesidad de esta distinción probablemente con mayor fuerza que los autores que primero sacaron a colación esta cuestión, pueden parecer innecesarios cualesquiera nuevos comentarios al respecto. Sin embargo, puede ser instructivo ilustrar con un problema clásico la relación existente entre novedad derivada de nuevas combinaciones y del carácter de la incertidumbre.

Siendo la notación la misma que en el Capítulo II, Sección 7, anterior, sea $E_1, E_2, \dots, E_n$ la evidencia de que disponen los n miembros de un comité *antes* de reunirse en una ocasión determinada. Supongamos también que el comité no es un pseudocomité, lo que, entre otras cosas, determina la existencia de una «mejor opinión» (en todos los aspectos importantes) entre sus miembros así como la identidad completa de los mismos. En estas circunstancias, durante la discusión que antecede a la votación, parte de la evidencia inicialmente poseída por un miembro pero no por otro se combinará con la evidencia inicial del último. Al final del proceso, aumentará la evidencia poseída por todos y, por tanto, todos tendrán una nueva expectativa, $E_k(E_k)$. La nueva combinación tendría normalmente que producir alguna novedad: la decisión adoptada podría ser tal que nadie, ni un miembro ni un participante en la votación, hubiese pensado en ella antes de la reunión²¹.

¹⁹ Véase el Capítulo II, Sección 7, anterior.

²⁰ «The Nature of Expectation and Uncertainty» (1958), reimpresso en *AE*.

²¹ El hecho de que muchos (posiblemente todos) modelos del comportamiento ignoran por completo este particular efecto de grupo se explica por sí mismo: un modelo de predicción debe mantener a la novedad fuera del campo de estudio. Ahora bien, es extraordinariamente sorprendente encontrar que este punto es también ignorado por análisis de otro tipo. Un ejemplo notable es el de N. Kaldor en «The Equilibrium of the Firms», *Economic Journal*, XLIV (1934), p. 69, n.1, donde dice que «la oferta de capacidad coordinadora podría muy probablemente ampliarse disolviendo el Consejo y dejando el control al individuo más eficiente».

La cuestión se apoya en la idea original de Shackle consistente en analizar las expectativas en términos del grado de sorpresa causado por su realización, en lugar del grado de confianza en su resultado²². En un aspecto tiene la idea un mérito concreto. Mientras que la realización de cualquier acontecimiento sobre el que existe un grado de confianza *ex ante* dará lugar a un grado de sorpresa (cuanto mayor, menor es el grado de confianza), en el caso de un acontecimiento verdaderamente nuevo hay una sorpresa *ex post*, pero no una creencia *ex ante* en él. Así, al decir que todos se sorprendieron al anunciar el presidente Johnson que no pretendería ser nominado, ni aceptaría la nominación, como candidato a la presidencia en 1968, no queremos significar que la confianza *ex ante* en su decisión hubiese sido extraordinariamente pequeña: queremos decir simplemente que nadie más había pensado en ello.

La novedad por combinación, a la que me he referido en la sección anterior, no es necesariamente un acontecimiento novedoso en este sentido. Así, por ejemplo, el químico espera que un nuevo compuesto químico tenga una dureza, una solubilidad y una elasticidad determinadas, etc.; únicamente es incapaz, la mayoría de las veces, de predecir con exactitud cada una de esas numerosas cualidades. Sin embargo, los descubrimientos de importancia son también por regla general acontecimientos novedosos; en efecto, podemos estar bastante seguros de que se produjo una serie de sorpresas a continuación de la síntesis del nylon y absolutamente seguros de que cada uno de los «primeros» descubridores de la pólvora fue espantosamente sorprendido. De modo semejante, todos nosotros nos sorprendíamos de las formas de gobierno existentes en torno al año 5000 D.C., en caso de que alguien pudiese decirnoslo ahora.

3. *Histéresis e historia*. El éxito sin parangón de la física se atribuye por regla general exclusivamente al hecho de que esa ciencia estudia solamente la materia y ésta es uniforme. Sería más apropiado decir que la física estudia solamente aquellas propiedades de la Materia que son uniformes, es decir, independientes tanto de la novedad por combinación como del Tiempo, condiciones que se encuentran estrechamente relacionadas. Si la física estudiase todas las posibles novedades por combinación de la materia elemental, incluiría no sólo la química sino también la biología, la psicología, la sociología, en una palabra, todo. Estudiaría entonces propiedades que no son independientes del Tiempo. Es cierto que la física no ha sido capaz de mantener totalmente al Tiempo fuera de su campo de estudio: la termodinámica y la astrofísica se ocupan de cambios de materia en el Tiempo. Los astrofísicos especulan con que la actual forma de la materia

²² G. L. S. Shackle, *Expectation in Economics* (Cambridge, Engl., 1949); *Uncertainty in Economics and Other Reflections* (Cambridge, Engl., 1955). En lo que se refiere a una discusión de las ideas de Shackle, véase mi trabajo citado en la nota 20 anterior.

apareció por combinación a partir de una forma previa —Hylem— tan completamente diferente que nadie tiene idea de a qué se parecía.

Una definición habitual de la uniformidad de la materia dice que su comportamiento se encuentra determinado únicamente por sus *condiciones actuales*. Sin embargo, la definición no es en absoluto suficiente. En efecto, hay que añadir, en primer lugar, que ese comportamiento no depende de cuándo se localice en el Tiempo ese «actual» y, en segundo lugar, que las «condiciones actuales» han de interpretarse en sentido estricto: las que pueden establecerse «ahora» sin referencia alguna a la *historia pasada*²³. Sólo estas condiciones explícitas reflejan el hecho de que a nivel elemental un átomo de hidrógeno se comporta siempre de la misma manera, con independencia de si un instante antes se encontraba reaccionando con algún otro elemento químico. Para decirlo de forma diferente, una combinación de estados temporales no da como resultado la novedad. Indudablemente, la materia se comporta a menudo de esta manera. ¿Por qué razón tendría el universo que ser igual que ahora si las gotas de agua o los granos de sal se comportasen de manera diferente de acuerdo con sus historias individuales? Y, además, si la materia fuese indestructible —como se creía que era—, sería prácticamente imposible una ciencia física.

De cualquier modo, en algunos casos hasta el comportamiento físico depende también de la historia pasada. El ejemplo más familiar es el comportamiento de un imán o, para usar la expresión técnica, la histéresis magnética. Ahora bien, la histéresis no se encuentra limitada al magnetismo: la deformación estructural y el comportamiento de muchos coloides dependen igualmente de la historia pasada. De acuerdo con una reciente idea de David Bohm, compartida también por Louis de Broglie, la indeterminación de Heisenberg puede ser el resultado de que la historia pasada de la partícula elemental no se tiene en cuenta al predecir su comportamiento²⁴. El caso en el que todas las causas pasadas actúan de forma acumulativa en la actualidad no se encuentra, consiguientemente, limitado a los fenómenos vitales.

Existe de todos modos una diferencia importante entre la histéresis física y el factor histórico en la biología o en las ciencias sociales. Un físico puede encontrar siempre tantos trozos de hierro no magnetizado —es decir, *imanes sin historia*— como necesita para demostrar experimentalmente que los imanes con una historia idéntica se comportan de manera idéntica. Es de vital importancia observar que, si fuese imposible experimentar con ca-

sos en los que *el nivel de historia es cero*, no podríamos llegar a una ley completa de la histéresis magnética. Sin embargo, tanto en el mundo macrobiológico como en el social parece totalmente imposible llegar al nivel cero de historia, razón por la que en esos dos campos el factor histórico invita a una controversia interminable. En este contexto, hay que subrayar la observación elemental de C. S. Peirce en el sentido de que los universos no son tan comunes como los cacahuetes. Como resultado de que únicamente existe una civilización occidental, la cuestión de si su desarrollo histórico sigue simplemente una trayectoria totalmente determinada por la condición inicial o si representa un proceso de histéresis no puede resolverse ni a través de un experimento efectivo ni por medio del análisis de datos observados. Por desgracia, la respuesta a ese tipo de cuestiones posee una incalculable importancia para nuestras recomendaciones políticas, especialmente para aquellas que tienen un objetivo a largo plazo, como son las políticas de desarrollo económico.

Los físicos no solamente pueden determinar la ley que relaciona el comportamiento presente de un imán con su historia sino que también pueden hacer desaparecer la historia por medio de la desmagnetización. En otras palabras, para una historia determinada, H , hay una H' tal que $H + H' = 0$; además, H' es una historia muy corta. El movimiento de vaivén es tan fácil como en la física y, con frecuencia, incluso como en la química. Más allá de ese límite, la histéresis plantea problemas de dimensiones inabarcables en cuyas respuestas no hemos sido capaces ni siquiera de echar una ojeada. Como observó Delbrück, toda célula viva es «más un acontecimiento histórico que uno físico, (porque) lleva consigo las experiencias de mil millones de años de experimentación por sus antepasados. No se puede esperar explicar una cuestión tan antigua de forma tan sensata en pocas y sencillas palabras»²⁵. ¿Es solamente este largo tiempo astronómico lo que nos impide reproducir el proceso de histéresis por el que se ha llegado al comportamiento actual de una célula? No, mucha más importancia tiene nuestra ignorancia de cómo dar el primer paso.

De acuerdo con la opinión actualmente aceptada, las primeras células vivas surgieron *por casualidad* de un mar caliente de materia inerte que tenía las mismas propiedades que tiene la materia hoy en día²⁶. La Naturaleza puede no haber tenido otro medio de abrir la caja fuerte más que el de intentarlo, intentarlo e intentarlo aleatoriamente. Ahora que ya conoce-

²³ Delbrück, «A Physicist Looks at Biology», p. 177.

²⁶ Esta idea fue primeramente propuesta de modo sistemático por A. I. Oparin en *The Origin of Life* (Nueva York, 1938). Para una breve panorámica de elaboraciones posteriores, véase J. D. Bernal, *The Physical Basis of Life* (Londres, 1951). En lo que respecta a las argumentaciones desarrolladas —especialmente por Charles E. Guye— contra la idea de la vida surgida por casualidad, véase P. Lecomte du Noüy, *The Road to Reason* (Nueva York, 1948), pp. 123-128. También mi Apéndice F, en el presente volumen.

²³ En la jerga técnica esta idea se expresa diciendo que el comportamiento de la materia está descrito por un sistema de ecuaciones diferenciales en el que el tiempo no entra explícitamente. Así pues, si $x = f(t)$ es una solución de ese sistema, será $x = f(t - t_0)$ para todo t_0 . Véase R. B. Lindsay y H. Margenau, *Foundations of Physics* (Nueva York, 1936), p. 522.

²⁴ Véase Heisenberg, *Physics and Philosophy*, pp. 130-131. Véase también la Introducción de Broglie y el Capítulo iv en David Bohm, *Causality and Chance in Modern Physics* (Londres, 1957).

mos la combinación precisa, ¿qué es lo que nos impide abrir la caja fuerte con unos pocos giros de la mano? Porque, por citar a Francis Bacon, «si se dominan las variaciones de la Naturaleza y si la causa es evidente, será fácil llevarla artificialmente a una desviación semejante a la que alcanzó primariamente por casualidad».²⁷ ¿Se debe todo ello a que algunas *potentiae* de la Materia que desconocemos se actualizaron como ciertas formas pre-vitales solamente en ese primitivo mar de cieno caliente? Si la respuesta es afirmativa, la explicación aceptada no es explicación alguna. ¿O bien se debe a que cuando decimos «por casualidad» queremos decir que se encontraba operando un factor no reducible a una lista de instrucciones aritmomórficas a seguir por quien deseara unir las partes cuánticas en un conjunto viviente?

Únicamente podemos intuir mas no comprender por completo los problemas planteados por el carácter reproducible de la histéresis que terminó el comportamiento de organismos más complejos, del mismo hombre o de sus diversas sociedades. ¿Es posible, por ejemplo, borrar incluso una pequeña parte de la reciente histéresis del hombre, como puede llevarlo a cabo el físico en el caso de un imán, de modo que se intentase hacerle comportarse en determinado sentido elegido por nosotros? En realidad, ¿puede crearse el hombre socialista de modo que no muestre ningún rasgo de histéresis de su pasado burgués o campesino? Por muy complicados que parezcan ser este y otros problemas similares planteados por la histéresis humana, no puede eludirlos ningún intento de describir por completo los fenómenos sociales. Verdaderamente, cuanto más intensa sea nuestra intención de aplicar el conocimiento a problemas prácticos concretos —como los que se encuentran en el desarrollo económico, por poner un ejemplo de actualidad—, más urgente será enfrentarse a esos problemas.²⁸

Las dificultades de todo tipo que se plantean pueden ilustrarse, aun que solamente en parte, gracias al simple (posiblemente el más simple) ejemplo de la histéresis del consumo individual. El hecho de que el continuo ajuste del individuo a las cambiantes condiciones de precios y renta modifique sus gustos parece tan evidente que en el pasado los economistas lo mencionaban únicamente de pasada, si es que acaso lo mencionaban. En realidad, no hay absolutamente ninguna posición desde la que pudiese cuestionarse ese fenómeno. En 1950, intenté llevar a cabo una esquemática formalización del problema, con el objetivo principal de aclarar el desagradable tipo de cuestiones que acosan al enfoque de Pareto-Fisher tan pronto pensamos en el efecto de la histéresis.²⁹ Utilizando un sencillo

ejemplo analítico, demostré que para poder determinar el equilibrio del consumidor (para un presupuesto fijo y con precios constantes) precisamos conocer mucho más que su específica ley de histéresis. Peor aún, al expresar esta ley por medio de una *función estable* muy compleja, podemos escribirla sobre el papel, pero no determinarla en la práctica. Las funciones estables no pueden extrapolarse de modo adecuado, por lo que, aunque el número de observaciones sea grande, el efecto del último experimento puede conocerse únicamente tras haber observado lo que deseamos predecir. El dilema es evidente y cuán desagradable puede ser lo pone de manifiesto el caso en que también importa el orden de las observaciones. En este caso, incluso aunque se pudiese hacer que el consumidor experimentase con todas las situaciones posibles, no seríamos capaces de conocer el efecto de la ley general de la histéresis. Por todo ello, son mucho más sobresalientes las aportaciones de James Duesenberry y Franco Modigliani acerca del efecto de la histéresis sobre la tasa de ahorro.

Sin embargo, el aspecto más desagradable del problema se manifiesta en el hecho habitual de que el comportamiento sufre un impacto cualitativo —como parecía lógico— cada vez que el individuo se enfrenta a una *mercancia nueva*³⁰. Esta es la razón por la que sería completamente erróneo creer que las innovaciones tecnológicas modifican únicamente la oferta. El impacto de una innovación tecnológica sobre el proceso económico se compone tanto de una adaptación industrial como de una reorientación del consumidor, y a menudo también de un cambio estructural en la sociedad.

4. *Física y evolución*. El análisis de las dos secciones precedentes conduce a unas pocas ideas adicionales. La primera de ellas es que la historia, de un individuo o de una sociedad, parece ser el resultado de dos factores: un proceso de histéresis y la aparición de la novedad. El que la novedad sea un elemento enteramente independiente o solamente una consecuencia del proceso de histéresis es posiblemente la mayor de las cuestiones a debatir, incluso aunque a nivel del individuo sea parcialmente manejable. Indudablemente, la invención del transmisor telefónico de carbono constituyó una novedad para todos los contemporáneos de Edison, pero ¿qué sucedió en el caso del propio Edison? ¿Fue su idea una novedad también para él o fue el resultado, parcial o total, de su propio proceso de histéresis?

Sea lo que sea, no podemos dejar de admitir que los acontecimientos novedosos, empezando por la novedad de las transformaciones químicas, han acompañado la historia del universo. Las diferentes posturas filosóficas que hablan de «el avance creativo de la Naturaleza»³¹ no son por consiguiente tan completamente metafísicas o, peor aún, tan místicas como

²⁷ Francis Bacon, *Novum Organum*, libro II, Sec. 29.

²⁸ Más sobre todo lo anterior en el Capítulo XI, Sección 4, posterior.

²⁹ «The Theory of Choice and the Constancy of Economic Laws» (1950), reimpresso en *AE*.

³⁰ *Ibid.*

³¹ Los representantes más destacados de esta rama de la filosofía son Henri Bergson (*Creative Evolution*, Nueva York, 1913, pp. 104 y s. y *passim*) y Alfred North Whitehead (*An Enquiry Concerning*

muchos quisieran que creyésemos. Sin embargo, necesitamos algo más que la existencia de la novedad para sustentar la idea de una Naturaleza que avanza de un acto creador a otro. Como he intentado explicar, la novedad no precisa representar más que un aspecto relativo de nuestro conocimiento; puede surgir de nosotros sin que la Naturaleza avance a lo largo de una vía jalonada por hitos novedosos. Las obras maestras de una pinacoteca no se pintaron igual que nosotros vamos de una a la siguiente. Por otra parte, la geología, la biología y la antropología exhiben todo un mundo de evidencias poniendo de manifiesto que al menos en este planeta ha existido siempre evolución: en una época, la tierra era una bola de fuego que gradualmente se fue enfriando; los dinosaurios aparecieron, desaparecieron y, sin duda alguna, no reaparecerán nunca más; el hombre se trasladó desde las cavernas hasta los rascacielos. Por más impresionante que sea toda esta evidencia, todos los esfuerzos de biólogos y científicos sociales por descubrir una ley evolutiva en sus campos fenomenológicos han demostrado ser completamente infructuosos. Ahora bien, es posible que debamos clarificar esta afirmación definiendo una ley evolutiva.

Una ley evolutiva es una proposición que describe un atributo ordinal E de un sistema (o entidad) determinado a la vez que afirma que si $E_1 < E_2$ la observación de E_2 es posterior en el Tiempo que la de E_1 , y viceversa³². Es decir, el atributo E es un *índice evolutivo* del sistema en cuestión. Toda vía más importante es el hecho de que la medición ordinal de cualquier E semejante puede indicar incluso un pensamiento «objetivo» (esto es, uno privado de la facultad antropomórfica de sentir el Tiempo), el sentido en la que fluye el Tiempo. O bien, para emplear la elocuente expresión introducida por Eddington, podemos decir que E constituye un «vector temporal»³³. Evidentemente, E no es lo que normalmente calificaríamos de causa, o de la única causa, del cambio evolutivo. Así pues, frente a la opinión de algunos biólogos, no precisamos descubrir una única causa de la evolución para llegar a una ley evolutiva³⁴ y, de hecho, casi todas las propuestas de una ley evolutiva para el mundo biológico o para el social se han preocupa-
do por un vector temporal, no por una única causa.

De todos los vectores temporales sugeridos hasta ahora por el mundo de la biología, la «complejidad de organización» y el «grado de control sobre el entorno» parecen disfrutar de la máxima popularidad³⁵. Como quiera que sea,

the Principles of Natural Knowledge, 2ª edición, Cambridge, Ingl., 1925, pp. 63 y 98; *The Concept of Nature*, Cambridge, Ingl., 1930, p. 178; *Process and Reality: An Essay in Cosmology*, Nueva York, 1929, p. 31).

³² Debo aclarar que $E_1 < E_2$ significa que E_2 sigue a E_1 en el modelo ordinal de E .

³³ A. S. Eddington, *The Nature of the Physical World* (Nueva York, 1943), pp. 68 y s.

³⁴ Julian Huxley, *Evolution: The Modern Synthesis* (Nueva York, 1942), p. 45.

³⁵ En lo que respecta a una discusión amplia (pero no imparcial) de estos criterios, véase Huxley, *ibid.*, cap. x; también Theodosius Dobzhansky, en *Evolution, Genetics, and Man* (Nueva York, 1955),

no se precisa ser un biólogo para observar que ninguna propuesta es satisfactoria: los atributos propuestos no son ordinalmente mensurables. Habría que mencionar también la interesante, pero de nuevo muy discutible, idea de R. R. Marett de que aumentar la caridad en el más amplio sentido de la palabra constituiría el vector temporal de la sociedad humana³⁶.

Es de nuevo la física la que proporciona el único ejemplo claro de una ley evolutiva: la Segunda Ley de la Termodinámica, llamada también Ley de la Entropía. Sin embargo, la ley ha estado rodeada, y lo sigue estando, de numerosas controversias, lo que no es totalmente sorprendente. Un breve análisis de la entropía y un examen de sólo sus más importantes problemas no puede evitar ciertos tecnicismos; en todo caso, merece la pena hacerlo, pues deja al descubierto el excepcional tipo de dificultad epistemológica que se enfrenta a una ley evolutiva incluso en las circunstancias más favorables, las de un universo sin cualidad de materia elemental. A pesar de que esas dificultades se han experimentado solamente en la época más reciente y sólo de forma consecutiva, son responsables de la agitada historia de la termodinámica.

La termodinámica surgió a partir de una Memoria elaborada en 1824 por Sadi Carnot sobre la eficiencia de las máquinas de vapor³⁷. Un resultado de la Memoria fue que la física se vio impulsada a reconocer como científico un hecho elemental conocido desde hacía mucho tiempo: el calor se mueve por sí mismo desde los cuerpos calientes hacia los fríos. Y, dado que las leyes de la mecánica no pueden explicar un movimiento unidireccional, hubo que crear una nueva rama de la física que utilizase explicaciones no mecánicas. Descubrimientos posteriores pusieron de manifiesto que todas las formas conocidas de energía se mueven también en un único sentido, de un nivel superior a otro inferior. En 1865, R. Clausius fue ya capaz de dar a las dos primeras leyes de la termodinámica su formulación clásica:

La energía del universo permanece constante;

La entropía del universo se mueve en todo momento hacia un máximo.

La historia es bastante simple si ignoramos la letra pequeña. De acuerdo con la termodinámica clásica, la energía se compone de dos cualidades: (1) *libre o disponible* y (2) *disipada o latente*. La energía libre es aquella que

pp. 370 y ss., quien afirma que todos los criterios de evolución sensibles deben corroborar la superioridad del hombre. En cualquier caso, habría que tener en cuenta la objeción formulada por J. B. S. Haldane, en *The Causes of Evolution* (Nueva York, 1932), p. 153, en el sentido de que hombre quiere así «felicitar a sí mismo».

³⁶ R. R. Marett, *Head, Heart, and Hands in Human Evolution* (Nueva York, 1935), p. 40 y *passim*, y del mismo autor «Charity and the Struggle for Existence», *Journal of the Royal Anthropological Institute*, LXIX (1939), pp. 137-149. También Haldane, en *Causes of Evolution*, p. 131, afirmó que el comportamiento altruista puede representar una ventaja darwiniana.

³⁷ La traducción completa aparece en *The Second Law of Thermodynamics*, ed. y traduc. de W. F. Magie (Nueva York, 1899).

puede transformarse en trabajo mecánico. (Inicialmente, el calor libre se definió aproximadamente como el calor en que un cuerpo caliente supera a un cuerpo frío y que podría moverse por sí solo; por ejemplo, una máquina de vapor). Al igual que el calor, la energía libre se disipa siempre por sí misma (y sin pérdida alguna) en energía latente. En consecuencia, el universo material experimenta continuamente un cambio cualitativo, en concreto, una degradación cualitativa de la energía. El resultado final es un estado en el que la energía se encuentra latente, el Calor Muerto, tal como se le denominó en la primitiva teoría termodinámica.

Por razones técnicas que no nos interesan ahora, la entropía fue definida por la fórmula³⁸

$$(1) \quad \text{Entropía} = (\text{Energía Disipada})/(\text{Temperatura Absoluta}).$$

Sin embargo, la fórmula consagrada en la teoría es

$$(1a) \quad \Delta S = \Delta Q/T,$$

donde ΔS es el incremento de entropía, ΔQ es el incremento del calor transferido desde el cuerpo caliente al frío y T la temperatura absoluta a la que se lleva a cabo la transferencia de calor. Una cuestión importante, que prácticamente nunca acompaña a esta fórmula, es que los incrementos están determinados en el sentido del Tiempo, es decir, desde el momento anterior al posterior en el Tiempo. Con esta adición, la Ley de la Entropía no precisa más explicación. En todo caso, hay que subrayar que se trata estrictamente de una ley evolutiva con un vector temporal claramente definido: la entropía. Clausius parece haber pensado de manera semejante, pues acuñó «entropía» a partir de una palabra griega con significado equivalente a «evolución».

5. *Tiempo: el gran misterio.* A pesar de ser una palabra relativamente corta, Tiempo denota una complejidad extraordinaria, lo que ya se hizo evidente a partir de nuestra primitiva discusión acerca de la estructura del Tiempo. Como ya hemos visto en la Sección 4 del Capítulo III, el Tiempo no puede reconstruirse a partir del continuo aritmético de sus instantes, pero este rasgo por sí solo no basta para diferenciar el Tiempo del Espacio. La estructura del Tiempo consiste no en duraciones colindantes sino solapadas (o presentes engañosos, como se les llama con frecuencia). Además, se solapan en una estructura dialéctica, no aritmométrica. El rasgo peculiarmente único del Tiempo es su fugaz carácter combinado con su omnipresencia. El Tiempo fluye, pero está siempre presente. Esta es la razón por la que el problema del Tiempo ha torturado las mentes de todos los grandes filósofos mucho más que su correlativo, el Espacio. Para muchos

³⁸ Sobre esto, véase J. Clerk Maxwell, *Theory of Heat* (10.ª edición, Londres, 1921), pp. 189 y ss., y Max Planck, *Theory of Heat* (Londres, 1932), pp. 81 y s.

de nosotros, el Tiempo parece en verdad «mucho más misterioso que el espacio»³⁹, y nadie ha probado todavía que estemos equivocados. Ciertamente, hay algunos que sostienen que la teoría de la relatividad de Einstein ha demostrado que ellos (Espacio y Tiempo) son de hecho uno solo⁴⁰. Este tipo de argumentación ignora, no obstante, que la multiplicidad cuatridimensional de Einstein es «una cuestión puramente formal». Una operación hecha sobre el papel no puede probablemente abolir la diferencia cualitativa existente entre los elementos implícitos en ella⁴¹. Es elemental que ningún observador puede hacer anotaciones adecuadas si no distingue entre coordenadas temporales y espaciales. La multiplicidad cuatridimensional es un esquema falaz, aunque utilizable, que lleva hasta el extremo la geometrización del Tiempo y que, en palabras de Broglie, «nos oculta una parte del flujo real de las cosas»⁴².

El fugaz carácter del Tiempo ha inducido a más de un gran filósofo a pensar que el Tiempo es pura ilusión. Debido sin duda a su estructura aritmométrica, la más famosa argumentación contra la realidad del Tiempo es la de John McTaggart⁴³. Comienza señalando que «no podría haber Tiempo si nada cambiase» —una proposición difícil de negar— y se propone demostrar que el Cambio implica una contradicción lógica. «La posiciones en el Tiempo», dice McTaggart, pertenecen a una serie-*B* en la que se encuentran ordenadas por la relación dual asimétrica y transitiva «antes que». Evidentemente, esta serie no puede reflejar el cambio. Si *X* es antes que *Y*, lo sigue siendo así eternamente⁴⁴. O bien, expresados en términos de lógica, la proposición «*X* es antes que *Y*» tiene un *valor verdadero* atemporal, es decir, es verdadera o falsa en el mismo sentido en el que lo son «3 es un número primo» o «5 es un número impar».

De hecho, la serie-*B* es una imagen geométrica de la eternidad, totalmente análoga a la trayectoria dibujada en el espacio por un objeto en mo-

³⁹ Eddington, *Nature of Physical World*, p. 51.

⁴⁰ Por ejemplo, H. Margenau, *The Nature of Physical Reality* (Nueva York, 1950), pp. 149 y ss.

⁴¹ Véase P. W. Bridgman, *The Logic of Modern Physics* (Nueva York, 1928), p. 74; *Reflections of a Physicist* (2.ª edición, Nueva York, 1955), p. 254. En otro lugar, *The Intelligent Individual and Society* (Nueva York, 1938), p. 28, Bridgman denuncia incluso la tesis de la fusión como «tonterías».

⁴² Louis de Broglie, *Physique et microphysique* (París, 1947), p. 196 (la traducción es mía). También E. A. Milne, *Relativity, Gravitation and World-Structure* (Oxford, 1935), pp. 18 y s.

⁴³ John M. E. McTaggart, *The Nature of Existence* (2 vols., Cambridge, Engl., 1927), II, capítulos xxxiii y li. El sistema filosófico de McTaggart es, posiblemente, todavía más complejo e intrincado que el de Hegel. El lector interesado en seguir la argumentación de McTaggart sobre el Tiempo puede encontrar más manejable la elaboración crítica de C. D. Broad en *Examination of McTaggart's Philosophy* (2 vols., Cambridge, Engl., 1933-1938), II, parte I.

⁴⁴ Una argumentación típica, y por supuesto errónea, de McTaggart, en *Nature of Existence*, II, pp. 241-246, que implica que toda variable ordinal tiene una medida cardinal débil (en el sentido del Capítulo IV, Sección 2, anterior), justifica la forma fuerte utilizada por Broad en *Examination*, II, pp. 290 y 298: «Si *X* alguna vez precede a *Y* en una cierta cantidad (algebraica), entonces siempre precede a *Y* exactamente en esa cantidad». Sin embargo, no hay necesidad de asumir un quantum entre *X* e *Y*; en lugar de ello, bastaría un conjunto ordinal para la forma fuerte.

vimiento. Una vez trazada, sobre esta trayectoria hay únicamente «inmovilidades», como lo expresó Bergson⁴⁵. Al igual que el de Bergson, el punto de vista de McTaggart de que los acontecimientos representados por posiciones en la serie-*B* son inmovilidades y de que, por consiguiente, no pueden proporcionar una base para el Cambio está fuera de duda. El contenido de un acontecimiento —por ejemplo, la muerte de Napoleón— es absolutamente inmutable. Esto es totalmente cierto y tendríamos que tenerlo en cuenta también para acontecimientos futuros una vez se han manifestado; así pues, es completamente inútil la objeción de que en el tiempo en que esto se ha escrito nadie sabe si «la unificación de Europa en un Estado» representa un acontecimiento.

Habría que estar también de acuerdo con la opinión de McTaggart de que la única base para el Cambio que podemos encontrar en los acontecimientos es *en sí mismos* es el hecho de que todo acontecimiento que actualmente es Presente, fue Futuro y será Pasado. Con respecto a estos atributos, los acontecimientos forman otra serie, la serie-*A*, que está constituida por acontecimientos «tal como los observamos». No veo razón alguna para no aceptar también su siguiente opinión de que la serie-*A* es fundamental, mientras que la serie-*B* es una derivación secundaria de aquella. Nuestras mentes ordenan los acontecimientos en la eternidad de acuerdo con la serie-*A*; no tenemos otra forma *directa* de conocer cuál de dos elementos es anterior. Incluso un geólogo, por ejemplo, al explicar que una determinada formación es anterior a otra, dice implícitamente que cuando la primera era Presente, la segunda era Futuro (o, alternativamente, cuando la segunda era Presente, la primera era Pasado).

A partir de aquí, McTaggart afirma que la serie-*A* es espuria. Por una parte, Pasado, Presente y Futuro deben «pertenecer a cada acontecimiento», porque nada relativo a los acontecimientos puede cambiar; por otra parte, hay «determinaciones incompatibles»⁴⁶. Evidentemente, podemos contestar que, frente a lo que sucede con «3 es un número primo», «*X* es presente» es verdadero en un determinado momento y falso en todos los demás⁴⁷. Una vez más, no puedo ver nada erróneo en la lógica de McTaggart de que esta respuesta no hace más que esconder la contradicción: tenemos ahora una segunda serie-*A* (la de *momentos*) tan contradictoria como la de acontecimientos y si intentamos evitar esta nueva contradicción por el mismo procedimiento entramos en una regresión infinita. Sobre esta base —que la serie-*A* es ilusoria y que sin ella no podemos explicar el Cambio— McTaggart concluye que el pro-

⁴⁵ Henri Bergson, *Matter and Memory* (Londres, 1913), pp. 246 y ss.

⁴⁶ McTaggart, *Nature of Existence*, II, p. 20.

⁴⁷ Como ya hemos visto (Capítulo III, Sección 5), Bertrand Russell utiliza esta verdad temporal para reducir el Cambio a una estructura aritmética.

pio Tiempo no es real. Según él, la fuente de nuestra ilusión del Tiempo es una serie-*C* atemporal relacionada con nuestra comprensión y ordenada por la relación «inclusión», relación que confundimos con «antes que»⁴⁸.

La tesis de McTaggart ha sido criticada de diferentes modos. Al igual que todas las controversias sobre el carácter del Tiempo, la que rodea a esta tesis es solamente instructiva, no decisiva. Así, se ha sacado a la luz la diferencia esencial entre la cópula ordinal «es» y la cópula temporal «es ahora», o entre el Devenir Absoluto, como en «este acontecimiento devino presente», y el Devenir Cualitativo, como en «esta agua devino caliente»⁴⁹. Se han puesto igualmente de manifiesto pruebas en apoyo de la tesis de San Agustín de que no puede discutirse el Tiempo sin referirse al Tiempo.

Y, sobre todo, se ha fortalecido la opinión, a la que han acabado llegando un físico eminente tras otro, de que no hay otra base para el Tiempo sino «la forma primitiva de la corriente de la conciencia»⁵⁰. De hecho, las leyes temporales de cualquier ciencia exigen una distinción entre antes y después que sólo puede hacer la conciencia⁵¹. La Ley de la Entropía es un excelente ejemplo al respecto. En términos formales, la ley dice: sean $E(T_1)$ y $E(T_2)$ las entropías del universo en dos momentos diferentes en el Tiempo, T_1 y T_2 , respectivamente; si $E(T_1) < E(T_2)$, entonces T_2 es posterior en el Tiempo que T_1 , y a la inversa. Ahora bien, evidentemente, si no supiéramos todavía lo que significa «posterior», la afirmación sería tan vacua como «el ganso es el macho de la oca y la oca es la hembra del ganso». El significado exacto de la ley es que la entropía del universo aumenta *al fluir el Tiempo a través de la conciencia del observador*. El Tiempo se deriva de la corriente de la conciencia, no del cambio en la entropía, ni, en este caso, del movimiento de un reloj. En otras palabras, la relación existente entre Tiempo y cualquier «reloj de arena» es exactamente la inversa de aquella en la que generalmente tendemos a pensar. Si sabemos que la muerte de Napoleón sucedió después del asesinato de César se debe exclusivamente a que los dos acontecimientos han sido abarcados por la conciencia histórica de la humanidad, conciencia formada por la unión de la

⁴⁸ McTaggart, II, p. 271.

⁴⁹ Broad, *Examination*, II, pp. 272 y 280 y s. Broad tiene razón al decir que el Devenir Cualitativo implica el Devenir Absoluto, pero no parece tenerla al decir que el Devenir Absoluto (que se refleja en la serie-*A*) basta para explicar el Tiempo. ¿Qué podría devenir absolutamente en un universo idéntico a sí mismo? En mi opinión, el error básico en la argumentación de McTaggart consiste en que considera el Cambio únicamente en relación con acontecimientos, mientras que sólo los Objetos son susceptibles de Cambio. Un Ser deviniente tiene sentido; un Devenir deviniente, no.

⁵⁰ H. Weyl, *Space, Time, Matter* (Nueva York, 1950), p. 5; Milne (citado en la nota 42 anterior), p. 14; Arthur H. Compton, «Time and the Growth of Physics», en *Time and Its Mysteries*, edit. por H. Shapley (Nueva York, 1962), p. 166.

⁵¹ Tampoco sobre este punto hemos sido capaces de ir más allá de las enseñanzas de Aristóteles: *Physics*, 219^a, pp. 22 y ss., 223^a, pp. 25 y ss.

conciencia de sucesivas generaciones⁵². Al dar un paso más y extrapolar en el pensamiento tal conciencia colectiva, llegamos a la noción de Eternidad, sin principio ni fin. Esta es la base del Tiempo.

Todo lo anterior no significa que se resuelvan así todos los misterios del Tiempo. Se puede estar de acuerdo con McTaggart cuando afirma que si el desayuno de esta mañana es «antes que» el almuerzo de hoy se debe a que nuestras comprensiones del desayuno están incluidas en las del almuerzo. En base a este reconocimiento, si todas las comprensiones de una persona en cada momento se escribiesen en una tarjeta distinta y se barajasen todas esas tarjetas, otra persona podría volver a disponerlas rápidamente en el orden «correcto». Así pues, no presenta gran dificultad entender cómo las escalas de Tiempo de dos personas que se comunican entre sí se empalman consistentemente en ambas direcciones. Sin embargo, la tesis de McTaggart no explica por qué en las comprensiones de cada persona, por separado, ver el relámpago es «antes que» oír el trueno, o la baja entropía es «antes que» la alta entropía. En este contexto, es muy interesante mencionar la interpretación de la irreversibilidad de la entropía sugerida por una autoridad de la termodinámica. De acuerdo con D. ter Haar, el fundamento de la irreversibilidad es «psicológico», pues se deriva del hecho de que «tenemos una memoria del pasado y podemos poseer así conocimiento de lo que sucedió en un tiempo anterior, pero no de lo que sucederá en un momento posterior»⁵³. La Ley de la Entropía sería así también una faceta de la propiedad de inclusión de nuestra comprensión y, consiguientemente, no podría proporcionar una raíz objetiva en la Naturaleza para nuestro sentido del Tiempo.

Semejante idea repugna, no obstante, a muchos que creen en un mundo exterior independiente de si hay un observador. Consideran que se ha ido demasiado lejos en hacer a la más importante coordenada del conocimiento y de la existencia depender de la conciencia humana, mejor dicho, de la uniformidad de la conciencia para todas las personas. Tiene que haber, dicen, al menos un rasgo de la Naturaleza que iguale (si no la guía también) la conciencia de cada persona en la percepción de la dirección del Tiempo. Como ya hemos visto, Eddington afirma que el sentido objetivo del Tiempo, el vector temporal, se encuentra indicado por el inevitable incremento de la entropía, una postura opuesta a la de McTaggart, Haar y la moderna teoría de la termodinámica. Otros, representantes de la escuela realista, sostienen que ni el Tiempo ni el universo son subjetivos. Tal como lo percibe la conciencia individual, el sentido temporal corres-

⁵² Véanse las observaciones de Bridgman, en *Reflections*, pp. 320 y s., relativas a la necesaria continuidad al observar un fenómeno físico.

⁵³ D. ter Haar, «Foundations of Statistical Mechanics», *Review of Modern Physics*, XXVII (1955), p. 292.

ponde al hecho de que «en el universo (objetivo) hay, por una parte, concatenación causal y, por la otra, sucesión unidireccional, temporal»⁵⁴. Sin embargo, esta idea tiene incluso menos posibilidades de ser admitida en los grandes círculos de filósofos para los que la propia causalidad es una construcción de nuestras mentes sin raíz alguna en la realidad. Una argumentación de importancia capital en apoyo de esta tesis es que la reversibilidad del tiempo *dinámico* (del que nos vamos a ocupar seguidamente) echa por tierra inmediatamente la noción de causalidad temporal.

6. *Tiempo y «Tiempo»*. La palabra «tiempo» se emplea frecuentemente con muchos significados, algunos de los cuales pueden parecer bastante sorprendentes. Así, por ejemplo, la afirmación de que «el tiempo y los medios para lograr los fines (humanos) son limitados» sugiere que la expresión se utiliza para representar no un flujo infinito sino un caudal limitado⁵⁵. La economía abunda en similares usos imprecisos de «tiempo». Un ejemplo más convincente es el uso de «adición a lo largo del tiempo» para describir la operación por la que se calcula la edad media de una población dada. Por muy sorprendente que pueda parecer, esa licencia terminológica tuvo su origen en la física, ciencia en la que tanto un momento en el Tiempo como el intervalo entre dos de tales momentos continuaba siendo indicado imprecisamente por la misma expresión, incluso después de que se hiciese imprescindible la distinción entre los dos significados. La historia de cómo se puso de manifiesto esa necesidad es altamente instructiva.

La aceptación aparentemente inocua de que la afirmación «el calor se mueve siempre por sí mismo desde los cuerpos más calientes a los más fríos» es una ley física provocó una de las mayores crisis de la física, crisis que además no está totalmente resuelta. La crisis se derivó a partir del hecho de que la mecánica no puede tener en cuenta el movimiento unidireccional del calor, ya que, de acuerdo con la mecánica, todos los movimientos deben ser reversibles. La Tierra, por ejemplo, podría perfectamente haberse movido en el sentido opuesto sobre su órbita sin contradecir por ello ninguna de las leyes de la mecánica⁵⁶. Es evidente que esta peculiaridad de los fenómenos mecánicos se corresponde con el hecho de que las ecuaciones de la mecánica son invariantes con respecto al signo de la varia-

⁵⁴ L. Susan Stebbing, «Some Ambiguities in Discussions Concerning Time», en *Philosophy and History*, edit. por R. Klibansky y H. J. Paton (Nueva York, 1963), p. 122.

⁵⁵ Lionel Robbins, *An Essay on the Nature and Significance of Economic Science*, 2.ª edición, Londres, 1948), p. 12. La argumentación de que «hay sólo veinticuatro horas en el día» (*ibid.*, p. 15) aumenta la dificultad del lector para entender la postura de Robbins. El hecho de que existe un millón de micras en un metro, ¿haría abundante el espacio (terreno)?

⁵⁶ Es instructivo resaltar que, mucho antes de que surgiera la crisis en la física, G. W. F. Hegel, en *The Phenomenology of Mind* (2.ª edición, Nueva York, 1931), pp. 204 y s., observó que la misma explicación científica serviría para un mundo invertido.

ble t , que indica el «tiempo». Es decir, el mismo sistema de ecuaciones «predice» indiferentemente la posición que la Tierra ocupará dentro de cien años y la que tenía cien años atrás. Esta es la base sobre la que la filosofía positivista proclama que la causalidad temporal es falsa. Algunos han llevado la cuestión tan lejos como para afirmar que es igualmente justo (pero igualmente sin sentido) decir que la caída de Roma causó el descubrimiento de América como decir que lo último fue la causa de lo primero⁵⁷. Naturalmente, se ignora por completo la cuestión fundamental, esto es, si los acontecimientos *históricos* están relacionados entre sí por medio de un sistema de ecuaciones invariantes con respecto al signo del tiempo. La postura anterior ha llevado a la idea de que en realidad hay dos Tiempos: un Tiempo reversible en el que tienen lugar los fenómenos mecánicos y un Tiempo irreversible relacionado con los fenómenos termodinámicos. Evidentemente, la dualidad del Tiempo es un disparate; el Tiempo se mueve siempre hacia adelante y todos los fenómenos tienen lugar en el mismo único Tiempo⁵⁸.

Tras la idea de la dualidad del Tiempo se encuentra la confusión entre los conceptos que he denotado por T y t , una confusión inducida por la práctica de emplear para ambos la misma expresión, «tiempo». De hecho, T representa el Tiempo, concebido como la corriente de conciencia o, si se quiere, como una sucesión continua de «momentos», pero t representa la medición de un intervalo (T' , T'') por un *reloj mecánico*. O bien, para relacionar esta descripción con nuestra anterior discusión de la mensurabilidad (Sección 2 del Capítulo IV), T es una variable ordinal, en tanto que t es una variable cardinal. El hecho de que pueda construirse para T una escala cardinal débil sobre la base de $t = \text{Mensur.}$ (T' , T'') no significa que no sea necesario distinguir entre t y T , incluso aunque debamos rechazar la dualidad del Tiempo.

Es la diferencia esencial que existe entre las leyes temporales que son funciones de T y las que lo son de t lo que exige una distinción entre ambos conceptos. Si por casualidad vemos una película que muestre junglas pantanosas llenas de dinosaurios, sabemos que el acontecimiento que intenta describir la película tuvo lugar antes de la fundación de Roma, por ejemplo. La razón que se invoca en este caso es que la ley que rige tales acontecimientos —suponiendo que exista tal ley— es, al igual que la Ley de la Entropía, una función de T . Por otra parte, una película de un fenómeno puramente mecánico no ayuda en absoluto a situar el acontecimiento

en el Tiempo, porque un péndulo se mueve y una piedra cae de la misma forma, con independencia de cuándo ocurrió el acontecimiento en el Tiempo. Las leyes mecánicas son únicamente funciones de t y, por tanto, son invariables con respecto al Tiempo. En otras palabras, *los fenómenos mecánicos son Eternos, pero no eternos*.

Debido a que, entre todas las ramas de la física, únicamente en la termodinámica las leyes son funciones de T , la física no se vio obligada a la fuerza a eliminar el ambiguo uso de «tiempo». Sin embargo, es difícil de entender por qué otras ciencias en las que la situación no es la misma que en la física han ignorado por completo el problema. A la vista de esa situación, tanto mayor parece el mérito de Schumpeter al haber resaltado, en sus últimas obras, la diferencia entre el tiempo *histórico* y el *dinámico*, expresiones por las que entendía T y t , respectivamente⁵⁹. Ahora bien, la raíz de la distinción no descansa en las ciencias históricas (evolutivas) sino, como ya hemos visto, en el corazón de la física, entre la mecánica y la termodinámica.

7. *Predicción temporal y tiempo de reloj*. Desde que los antiguos astrónomos lograron prever los eclipses, nuestra admiración por la precisión con la que la física —entendiendo este término en sentido estricto, excluida la termodinámica— puede predecir acontecimientos futuros ha ido aumentando sin cesar. Con todo, las razones por las que solamente la física posee ese poder siguen siendo oscuras. La explicación habitual de que el futuro está determinado exclusivamente por sus condiciones iniciales (presentes) y de que entre todas las ciencias únicamente la física ha logrado averiguar esas condiciones a través de mediciones plantea más preguntas que las respuestas que proporciona. En cualquier caso, nos lleva a una confusa controversia sobre determinismo estricto para lo que todavía no estamos preparados⁶⁰.

La razón inmediata por la que las leyes temporales de la física son predictivas es el hecho de que todas ellas son funciones de t , es decir, de la medida de Tiempo como intervalo a través de un *reloj mecánico*. Lo que en esencia nos dice una de tales leyes es lo siguiente: se pone el reloj mecánico en «cero» en el momento exacto en que se tira una moneda desde lo alto de la torre de Pisa; la punta de la aguja del reloj alcanzará la señal t_0 exactamente en el mismo momento en que la moneda llega al suelo. Como pone de manifiesto este ejemplo, toda ley temporal de la física pura no es más que la enunciación de un paralelismo temporal entre dos fenómenos mecánicos, uno de los cuales es un reloj mecánico, de lo que se sigue que todos los fenómenos mecánicos, incluyendo el del reloj, son paralelos en su

⁵⁹ Joseph A. Schumpeter, *Essays*, edit. por R. V. Clemence (Cambridge, Mass., 1951), p. 308, y, especialmente, su *History of Economic Analysis* (Nueva York, 1954), p. 965n5.

⁶⁰ Véase el Capítulo VII posterior.

⁵⁷ Véase, por ejemplo, W. F. G. Swann, «What Is Time?», en *Time and Its Mysteries*, pp. 135 y s.

⁵⁸ Véase Bridgman, *Logic of Modern Physics*, p. 79. Quizá deba explicar también que la imposibilidad de que dos observadores sincronizen sus relojes no prueba la multiplicidad del Tiempo. Como todos pueden constatar, esa imposibilidad no puede explicarse sin referir los acontecimientos de los dos sistemas a una base de Tiempo común.

conjunto. Consecuentemente, en principio podríamos elegir cualquiera de esos fenómenos para que sirviese de base común para la enunciación del paralelismo. En parte lo hemos hecho así.

La cuestión que deseo resaltar es que la predicción física es una relación simétrica: podemos decir perfectamente que el «cuerpo que cae» predecir el «reloj», o para el caso cualquier otro fenómeno mecánico. ¿Por qué preferimos entonces un mecanismo de relojería a todos los restantes fenómenos mecánicos como referencia normalizada?

A partir de los pocos físicos que se preocuparon por analizar el problema del «reloj», sabemos que la elección está determinada por la condición de que el mecanismo concreto debe estar libre, en la medida de lo posible, de la influencia de factores no puramente físicos, lo que significa que el reloj debe ser casi Eterno o, en otras palabras, casi insensible a la marcha de la entropía. Como lo observó acertadamente Eddington, cuanto mejor es el «reloj», menos muestra el paso del Tiempo⁶¹. Esta es la razón por la que Einstein consideraba la vibración del átomo como el más adecuado mecanismo de relojería para la física⁶².

Podemos entender perfectamente que si la física pura debe ser un sistema cerrado necesite un reloj puramente mecánico, pero esa necesidad interna no explica también por qué asociamos el flujo del Tiempo con el movimiento de las estrellas, de la arena en un reloj de arena o de un péndulo, todos ellos relojes mecánicos. Esa asociación antecede en milenios a las modernas ideas sobre los relojes. Por otra parte, la física no ofrece prueba alguna de que la hora de reloj recién transcurrida sea igual a la que empieza en ese momento⁶³. Los intervalos de Tiempo no pueden superponerse de forma que podamos descubrir *directamente* si son iguales; sin embargo, como lo creía Newton, tenemos la profunda sensación de que lo son, de que el Tiempo fluye de forma constante hora tras hora. Posiblemente, la razón por la que sentimos que el reloj muestra la rapidez con la que fluye el Tiempo sea la sugerida por Karl Pearson: en cada hora de reloj se contiene «la misma cantidad de conciencia»⁶⁴. La sugerencia, no obstante, podría aceptarse en todo caso exclusivamente para dos intervalos infinitesimales consecutivos. Existe cierta evidencia de que las horas parecen más cortas según nos vamos haciendo más viejos, porque —como se ha sugerido— la capacidad de nuestra conciencia aumenta a una tasa decrecien-

te. En base a la evidencia actualmente disponible, esto es posiblemente todo lo que podemos decir respecto de la parecida admiración que científicos y profanos muestran hacia la predicción de acontecimientos futuros por medio de un tiempo de reloj.

Sin embargo, una y otra vez la admiración legítima se ha convertido en evaluación parcial. Así, podemos detectar a veces un intento de desaprobar en la afirmación de que la termodinámica no posee capacidad predictiva. La realidad desnuda es que la Ley de la Entropía nos dice únicamente que, por ejemplo, en una hora de reloj a partir de este momento la entropía del universo será mayor, pero no en cuanto⁶⁵. Esta imperfección puede ser perfectamente la consecuencia de que insistimos en referirnos al tiempo de reloj. En los campos fenomenológicos en los que (como sucede en la termodinámica) todas las leyes temporales son únicamente funciones de T , la simple regularidad sin la cual ninguna ley puede ser estrictamente operativa en la predicción puede no existir si los fenómenos correspondientes están correlacionados con el tiempo de reloj, pero no veo razón alguna por la que debamos creer que en tales campos no puede haber una predicción exactamente del mismo carácter que a través del tiempo de reloj de la física.

En efecto, supongamos que conocemos una Cuarta Ley de la termodinámica (que es concebible que pueda descubrirse algún día). Supongamos que esa ley expresa el hecho de que determinada nueva variable de estado, por ejemplo, I , es una función de T . En este caso, podríamos tomar bien esta nueva ley o la Ley de la Entropía como «reloj termodinámico» y formular la otra ley exactamente en la misma forma predictiva en que hemos emitido antes la ley de la caída de los cuerpos: cuando el reloj termodinámico indique I_0 , la entropía del sistema alcanzará simultáneamente el nivel E_0 . Este ejemplo muestra que, a menos que se justifique la explicación sugerida por Pearson de la tasa constante de flujo del Tiempo, no puede haber diferencia alguna entre predicción a través del tiempo de reloj y predicción por medio de un vector temporal. (E incluso aunque pudiese

⁶⁵ Véase W. J. Moore, *Physical Chemistry* (2.ª edición, Englewood Cliffs, N. J., 1955), p. 23; Margenau, *Nature of Physical Reality*, pp. 210 y s.; Philipp Frank, «Foundations of Physics», *International Encyclopedia of Unified Science* (Chicago, 1955), I, parte 2, p. 449. Podría afirmarse que la Primera Ley es en todo caso predictiva por medio de tiempo de cronómetro, pero la constancia de la energía total representa un caso bastante vacío de ley de tiempo de cronómetro. Quizá debiera explicar también que la Tercera Ley, denominada habitualmente Ley de Nernst, afirma en esencia que nunca puede alcanzarse el cero de temperatura absoluta. Ahora bien, «nunca» es también una noción temporal que no necesita un reloj. Dicho sea de paso, la implicación obvia de la Ley de Nernst es que, al igual que el Tiempo, la energía es una variable cardinal débil y, por consiguiente, lo que llamamos energía en el universo podría ser un océano sin fondo del que únicamente podemos observar de modo efectivo las ondas de su superficie. Creo que la misma idea se encuentra implícita en la observación de Bridgman de que energía y entropía solamente pueden medirse si puede alcanzarse de nuevo la misma situación (*Reflections of a Physicist*, p. 331). Véase, no obstante, el Capítulo VI, nota 8, posterior.

⁶¹ Eddington, *Nature of Physical World*, p. 99.

⁶² En lo que respecta a varias observaciones sobre el problema del «reloj», véase Bridgman, *Nature of Physical Theory*, p. 73; Erwin Schrödinger, *What Is Life?* (Cambridge, Engl., 1944), pp. 84 y ss.; Weyl, *Space, Time, Matter*, pp. 7 y s.

⁶³ Karl Pearson, *The Grammar of Science* (edición de Everyman's Library, Londres, 1937), pp. 161 y s.; Henri Poincaré, *The Foundations of Science*, pp. 224 y s.

⁶⁴ Pearson, *Grammar of Science*, p. 159. Esta cuestión recuerda la postura de McTaggart en el sentido de que las diferencias de comprensiones son cardinalmente mensurables (nota 44 anterior).

probarse que la idea de Pearson tiene una base real, la superioridad de la predicción a través del tiempo de reloj tendría exclusivamente una justificación puramente antropológica). Si, pese a todo, alguien ha llegado a la opinión contraria de que la termodinámica no tiene valor predictivo alguno, se debe sin duda a que la cuestión se encuentra oscurecida por otro factor: en la termodinámica, hay *sólo una* verdadera ley temporal, la Ley de la Entropía. Ahora bien, es evidente que una sola ley es inútil para la predicción: ninguna ley puede ser su propio «reloj». La dificultad es del mismo carácter que todo lo inherente a cualquier definición implícita.

Por otra parte, no existe absolutamente ninguna razón por la que en todos los campos de la investigación los fenómenos tengan que ser paralelos a los de un reloj mecánico. Únicamente el dogma de que todos los fenómenos son en el fondo mecánicos podría suministrar tal razón, pero, como ya he subrayado en repetidas ocasiones, el dogma mecanicista ha sido abandonado hasta por la ciencias físicas. Por todo ello, deberíamos considerar como un signo de madurez la reorientación de cualquier ciencia lejos de la creencia de que todas las leyes temporales deben ser funciones del tiempo de reloj. Donde ha tenido ya lugar, tal reorientación ha producido dividendos inesperados. Así, por ejemplo, se ha descubierto que muchos fenómenos biológicos, que parecían ser extremadamente irregulares en tanto se proyectaban sobre una escala de tiempo de reloj, obedecen a reglas muy simples cuando se les compara con ciertos fenómenos biológicos que actúan y sirven de «reloj»⁶⁶.

En la esperanza de que el presente libro logre uno de sus principales objetivos, el de probar que el proceso económico como un todo no es un fenómeno mecánico⁶⁷, he de observar en este momento que el abandono de la fórmula de Clément Juglar relativa a los ciclos económicos ha representado un paso en la dirección correcta. En efecto, esa fórmula implica la existencia de un estrecho paralelismo entre la actividad económica y un reloj mecánico, el movimiento de las manchas solares. Por otra parte, el Barómetro Económico de Harvard, a pesar de su triste destino final, refleja un enfoque más adecuado del mismo problema, porque en un análisis elemental cualquier tipo similar de barómetro afirma una relación paralela entre varios fenómenos económicos, uno de los cuales sirve de «reloj», es decir, un reloj económico. De hecho, muchos estudios posteriores de los ciclos económicos han adoptado el mismo punto de vista. Los resultados palpables pueden no ser suficientemente impresionantes, debido a lo cual no están fuera de lugar las dudas relativas a la existencia de un *paralelismo invariante* entre los diversos aspectos de la actividad económica. Sin em-

bargo, la idea alternativa de que la marcha de todo el proceso económico puede describirse a través de un sistema de ecuaciones diferenciales con el tiempo de reloj como variable independiente (idea que subyace a muchos modelos macrodinámicos) está muy probablemente viciada *ab ovo*.

Es perfectamente comprensible que nos sintamos inclinados a pensar en la predicción únicamente por medio de un tiempo de reloj: ajustamos nuestra actividad diaria al reloj, porque todos los relojes, al ser sistemas mecánicos, *se predicen entre sí*. Sin embargo, la evidencia de fenómenos que no son esclavos del reloj mecánico es tan abrumadora que debemos concluir que las leyes de la mecánica no determinan todas las formas de existencia de la Naturaleza. Entre lo que de esta manera permanece indeterminado en la Naturaleza, pueden estar actuando leyes de esencia diferente sin contradecirse entre sí y, por tanto, sin ser capaz cada una de ellas por sí misma de eliminar toda la indeterminación. Que tal idea no es una mera ilusión, se pone claramente de manifiesto por la Ley de la Entropía, que hasta ahora es la única ley que sabemos con certeza que no está ligada al tiempo mecánico. En consecuencia con todo ello, no deberíamos sorprendernos de ver que la conexión entre la Ley de la Entropía y las ciencias de los fenómenos vitales (en las que los intentos de una explicación mecanicista se han enfrentado constantemente a fracasos) aumenta con fuerza día a día. Pero hay también otras razones más sustanciales para tal conexión.

⁶⁶ Véase P. Lecomte du Noüy, *Biological Time* (Nueva York, 1937), pp. 156 y ss.

⁶⁷ Si en este punto estoy luchando contra un espantajo, será mucho mejor para mis otras tesis que dependan de la validez de la cuestión.

CAPÍTULO VI

ENTROPÍA, ORDEN Y PROBABILIDAD

1. *Entropía: orden y desorden.* A fin de actuar de forma sistemática, hasta ahora he considerado únicamente aquellas lecciones que un científico social puede aprender de la termodinámica clásica, pero la historia tiene un epílogo muy importante.

Les fue muy difícil, no sólo a los físicos sino también a otros científicos, resignarse al golpe asestado por la ciencia del calor a la supremacía de la mecánica. Debido a que la única forma en que se puede actuar directamente sobre la materia es empujando o tirando, no podemos imaginar fácilmente ningún agente del universo físico que tuviese un poder diferente. Como lo puso de relieve Lord Kelvin, sobre todo, la mente humana puede comprender con claridad un fenómeno únicamente si puede representar tal fenómeno por medio de un *modelo mecánico*. No hay que sorprenderse, por tanto, de que, incluso desde que apareció en escena la termodinámica, los físicos dirigiesen sus esfuerzos a reducir los fenómenos calóricos a locomoción. El resultado de todo ello es una nueva termodinámica, más conocida por el nombre de mecánica estadística.

En primer lugar, tendríamos que comprender que en esta nueva disciplina las leyes de la termodinámica se han conservado exactamente en la misma forma en que las formuló Clausius; solamente se ha modificado de forma radical el significado de los conceptos básicos y la explicación del equilibrio termodinámico. Si se ignoran los refinamientos técnicos, el nuevo fundamento racional es relativamente simple: el calor se compone del movimiento *irregular* de partículas y el equilibrio termodinámico es el resultado de un proceso *de mezcla* (de partículas y de sus velocidades) que marcha por sí mismo. Tengo que resaltar, no obstante, una dificultad inicial que sigue constituyendo el escollo principal de la mecánica estadística: nunca se ha definido de modo apropiado la mezcla espontánea. En un intento de explicar el significado del término, se han utilizado analogías como el barajar de naipes o el batido de huevos. Por una analogía más llamativa, se ha comparado el proceso con la total devastación de una biblioteca

por una turba *desenfrenada*¹. Nada se destruye (Primera Ley de la Termodinámica), pero todo se dispersa a los cuatro vientos.

En consecuencia, de acuerdo con la nueva interpretación, la degradación del universo es incluso más extensa que la contemplada por la termodinámica clásica: abarca no solamente la energía sino también las estructuras materiales. Como los físicos lo expresan en términos no técnicos,

En la Naturaleza hay una tendencia constante a que el orden se convierta en desorden.

Por tanto, el desorden aumenta continuamente: el universo tiende así al Caos, imagen mucho más impresionante que la del Calor Muerto.

Dentro de este marco teórico, es natural que la entropía tenga que volverse a definir como medición del grado de desorden². Ahora bien, como de forma similar han subrayado varios filósofos y físicos, el desorden es un concepto muy relativo, si no totalmente inexacto: algo se encuentra en desorden sólo con respecto a algún objetivo, mejor dicho, propósito³. Un montón de libros, por ejemplo, puede estar en perfecto orden para los vendedores de una librería, pero no para el departamento de catalogación de una biblioteca. La idea de desorden surge en nuestras mentes cada vez que encontramos un orden que no satisface el propósito específico que tenemos en ese momento. Desde el punto de vista defendido en este libro, asociamos el orden aleatorio al desorden debido a que no corresponde al orden analítico que esperamos encontrar en la Naturaleza. Esta se encuentra ordenada sólo en la medida en que nuestro Entendimiento puede captar analíticamente sus formas de ser. En menor medida aún podemos ver cómo el desorden puede ser ordinalmente mensurable. La mecánica estadística evita la dificultad por medio de dos principios básicos:

- A. *El desorden de un microestado se mide habitualmente por el del correspondiente macroestado.*
- B. *El desorden de un macroestado es proporcional al número de los correspondientes microestados*⁴.

Un microestado es un estado cuya descripción exige que se identifique a todo individuo implicado. «El Sr. X en el salón, el Sr. y la Sra. Y en el cuarto de estar» es un ejemplo de microestado. El macroestado corresponde a una descripción inidentificada. Así, el ejemplo anterior corresponde al

macroestado «Un hombre en el salón, un hombre y una mujer en el cuarto de estar». Esta observación muestra que el grado de desorden calculado de acuerdo con la regla B (que no es otra cosa sino la vieja regla de Laplace) depende del modo en que los microestados se agrupan en macroestados. Un segundo factor que afecta a la propia medición es el criterio que determina si ha de tenerse o no en cuenta un microestado determinado. Por ejemplo, con respecto a la ilustración utilizada más arriba, importa saber si Concha Alonso considera que «La Sra. Y en el salón, el Sr. X y la Sra. Y en el cuarto de estar» es un microestado imposible en una sociedad bien educada.

Dado que la termodinámica estadística se ocupa exclusivamente de coordenadas mecánicas (posición y momento) de las partículas, todas las partículas se tratan como individuos sin cualidades, distinguibles únicamente por sus nombres. El concepto de macroestado, en el que no se utilizan nombres de partículas, corresponde al hecho evidente de que las propiedades físicas de una colección de partículas no dependen de qué partícula en concreto ocupe un determinado estado, es decir, tenga una determinada posición y un determinado momento. Cada combinación «personal» de partículas en un macroestado dado constituye un microestado. Sin embargo, el criterio por el que dos combinaciones constituyen dos microestados diferentes es una convención adicional que varía de uno a otro enfoque; y, como se insinuó antes, lo mismo sucede con el criterio de lo que constituye un macroestado aceptable.

En el enfoque más primitivo, pero que sigue siendo el básico, de Ludwig Boltzmann, dos combinaciones constituyen dos microestados diferentes si, y sólo si, los nombres de las partículas en cierto(s) estado(s) no son los mismos. Además, no se impone ninguna restricción al número de partículas que tengan el mismo estado. Así, por ejemplo, sean U, X, Y, Z cuatro partículas y A, B, C, D, E los posibles estados. Como se pone de manifiesto en la Tabla 1, en la estadística de Boltzmann al macroestado «dos partículas en A , dos partículas en B » corresponden seis microestados. De acuerdo con las normas establecidas antes, la medición ordinal del desorden de cualquiera de esos microestados así como del macroestado ($N_A = N_B = 2, N_C = N_D = N_E = 0$) es 6. En general, si hay m estados y N partículas, la medición del desorden del macroestado ($N_1, N_2, \dots, N_m$), $\sum N_i = N$, viene dado por la fórmula familiar del cálculo combinatorio

$$(1) \quad W = \frac{N!}{N_1! N_2! \dots N_m!}$$

Para cinco estados y cuatro partículas, el mayor desorden, $W = 4! = 24$, corresponde al macroestado ($N_1 = N_2 = N_3 = N_4 = 1, N_5 = 0$) o a sus correlativos. El menor desorden, $W = 1$, corresponde al tipo ($N_1 = 4, N_2 = N_3 = N_4 = N_5 = 0$).

¹ Erwin Schrödinger, *Science, Theory, and Man* (Nueva York, 1957), pp. 43 y s.

² En lo que se refiere a una discusión autorizada de esta cuestión, véase P. W. Bridgman, *The Nature of Thermodynamics* (Cambridge, Mass., 1941), pp. 166 y ss.

³ Henri Bergson, *Creative Evolution* (Nueva York, 1913), pp. 220 y ss. y *passim*; Bridgman, *Nature of Thermodynamics*, p. 173; Jacques Hadamard, revisión de J. Willard Gibbs, «Elementary Principles in Statistical Mechanics», en *Bulletin of the American Mathematical Society*, XII (1906), pp. 207 y s.

⁴ Véase H. Margenau, *The Nature of Physical Reality* (Nueva York, 1950), pp. 279 y ss.