

«El ideal del pensamiento científico es lograr una visión unificada en la imagen del Universo.»

A. EINSTEIN
Premio Nobel de Física, 1921

«Una de las grandes paradojas de la Naturaleza es que frente al número colosal de formas existentes en la misma, éstas se presentan con una extraordinaria uniformidad en su organización.»

ALBERT POLICARD

«La cristalización y la vida son dos aspectos de la organización de la materia, de la aparición del orden en el caos molecular; pero mientras que la cristalización hace aparecer una coordinación estática, la vida se muestra como una coordinación dinámica.»

A. DAUVILLIER

«La relación entre las leyes universales de la Física y los procesos biológicos permiten concluir, que el fenómeno de la vida es tan previsible como la formación de un estado sólido o cristalino.»

ILLYA PRIGOGINE
Premio Nobel de Química, 1977

Excmo. Sr. Director:

Excmos. Sres. Académicos

Sras y Sres.:

Hace poco más de un mes que un diario madrileño de la mañana, presentaba en su portada, a toda plana, la solemne entrega, realizada por el Rey Gustavo de Suecia, del premio Nobel de Química 1977, al Prof. Ilya Prigogine. Nos atrevemos a pensar, que, en esa ocasión, la mayoría de los lectores, aún algunos de los implicados en el desarrollo actual de aquella Ciencia, desconocían la personalidad del galardonado y el motivo por el cual recibía tan honrosa distinción. Pues bien, digamos que en este acto, se reconocía, públicamente, la trascendencia y originalidad de los trabajos que, desde hace años, viene efectuando el profesor belga, con un selecto grupo de colaboradores, para generalizar en profundidad la Termodinámica de los procesos irreversibles en situaciones de no equilibrio. En sus excepcionales aportaciones, aparece, incluso, la posibilidad de armonizar, adecuadamente, el desarrollo de los fenómenos que regulan el mantenimiento y evolución de los sistemas biológicos, en concordancia con las leyes físicas que gobiernan el Universo. Sus resultados, altamente positivos, le han llevado a describir con toda brillantez y por medio de un elegante planteamiento matemático, una «Termodinámica de la vida», sin tener que contradecir los principios fundamentales en que aquella rama de la Ciencia tiene su sólido asentamiento. Todo ello, consideramos que significa uno de los éxitos más espectaculares que, en estos últimos tiempos, se han obtenido para lograr una interpretación más unificada de los fenómenos de la Naturaleza.

Teniendo en cuenta, que no es ésta la ocasión más indicada para hacer un análisis pormenorizado de las ideas de Prigogine, tanto por su complejidad conceptual, como por el aparato matemático que éstas conllevan en sí mismas, nos ha parecido, que, como homenaje a su obra, podríamos intentar exponer en esta disertación, de acuerdo con esquemas ya establecidos por algunos ilustres autores, una

visión encadenada de las sutiles tramas que han envuelto a todas las creaciones originales del pensamiento científico, que tienden a una explicación fenomenológica generalizada y que son homologables entre sí, por su calidad y trascendencia, incluyendo algunos de los planteamientos y conclusiones más relevantes del citado premio Nobel.

Ante la imposibilidad de abordar todas y cada una de las elevadas cimas que se destacan en este panorama, fijaremos, tan sólo, nuestra atención, en aquellos «momentos estelares», que, en frase de Stefan Zweig, han transformado radicalmente las ideas hasta entonces vigentes, influyendo, a su vez, de manera decisiva, en los principios filosóficos de cada época, señalando asimismo, las claves de entendimiento del lenguaje de la Naturaleza que se han utilizado en cada circunstancia y, entre los cuales, ha de ocupar un lugar destacado las concepciones termodinámicas que, de los seres vivientes, ha planteado Prigogine como una de las grandes aventuras del pensamiento científico moderno.

EL PENSAMIENTO CIENTÍFICO. CLAVES INICIALES DE INTERPRETACIÓN. ESTRUCTURA DE UNA TEORÍA

En la evolución histórica del pensamiento científico, es muy difícil establecer unos límites precisos que definan aquellos períodos, más o menos largos, en los cuales, a pesar de los evidentes progresos que se producen en las diversas Ciencias individualizadas, las concepciones teóricas generales que sirven de soporte para la explicación de los mismos, permanecen inalteradas. Generación tras generación, los científicos se afanan en penetrar profundamente en los grandes misterios de la Naturaleza, sin que hayan logrado aún una decisiva clarificación unificada de los mismos y ni siquiera se puede estar seguro de que logren alcanzar una solución satisfactoria para este permanente anhelo de la Humanidad.

Sería injusto olvidar, sin embargo, que ya desde la época antigua y medieval, se han obtenido destacados éxitos en la búsqueda de claves adecuadas que permitan descifrar el lenguaje de la Naturaleza. Estos importantes hallazgos han permitido obtener progresos espectaculares en el dominio de la Ciencia, en cuyo trabajoso avance, se encuentran, a su vez, diversos modos de interpretar nuevas claves que, apareciendo sucesivamente, permiten profundizar más y más en él, casi siempre, esotérico idioma del Universo.

En la Filosofía helénica, el hombre de pensamiento, es ya un servidor de la Naturaleza, en el sentido de que su quehacer consiste en desvelar lo oculto y racionalizar la «physis» o común naturaleza de las cosas, determinando así el tránsito desde el mundo ideal de Homero, al que constituye el fundamento de la Ciencia griega, en cuyo horizonte se vislumbra la unión esencial del «logos» del hombre, y por tanto las condiciones intelectivas de su mente, con la «physis», y la relación de ésta con la ley o convención —«nomos»—. Este problema sigue siendo, más adelante, la sabia vivificadora de los presocráticos, quienes con Pitágoras, ocupan un lugar destacado al aplicar la aritmética y la geometría, como claves importantes para la comprensión del mundo, sin que ello pueda considerarse como un precedente de lo que, siglos más tarde, acontecerá con la Ciencia moderna. Posteriormente, estas ideas radicalizadas al máximo, siguen aún latiendo en el pensamiento de Sócrates y Platón.

El planteamiento unificado de la Física y la Cosmología por Aristóteles, incluyendo problemas metodológicos sobre la teoría del conocimiento y del lenguaje, produce un gran desarrollo de la actividad filosófico-científica o metafísica de aquellos tiempos, que, enriquecida con las aportaciones de Galeno, Ptolomeo, Euclides y Arquímedes, entre otros, llega, en su proyección, hasta el mundo bizantino, el cual, depositario celoso de tales saberes, permite transmitirlos, a través de la cultura islámica, hasta los umbrales de la Edad Media.

A partir del siglo XIII, el pensamiento científico, impregnado aún de una importante carga filosófica, sufre una renovadora y fecunda crisis de principios, que intenta elevar los conceptos aristotélicos a un esquema lógico de expresión de todos los fenómenos universales. Aparece así la condición de causa-efecto o principio de causalidad —clave importante en la interpretación de esa época— a partir del cual los escolásticos establecen un conjunto armónico de ideas generales, concordantes con la esencia fundamental del cristianismo. Se llega entonces, a una posible explicación del movimiento sensible, así como a los conceptos de materia y forma, entendidos a partir de las ideas de acto y potencia. Las críticas y revisiones que sufre este esquema general, en el siglo XIV, son los primeros síntomas desde los que ya se puede otear lo que después será el gran edificio de la Ciencia moderna.

El siglo XV es un período de crisis, con «inquietud parturienta», según frase de Ortega, caracterizado por una forma de pensamiento científico que parte ya de una recolección de hechos, pasando a una concepción visual de los mismos, que racionalizada, permite llegar a una comprensión intelectual de la realidad objetiva.

El asalto renacentista frente al Cosmos aristotélico se hace desde y contra la Ciencia antigua, tal como ésta había sido entendida en la Edad Media, con una marcada reviviscencia del neoplatonismo alejandrino. La necesidad natural de los griegos, se ha convertido así, en una razón matemática o ley natural. Sucesivos ataques, profundamente meditados, conducen al pensamiento científico moderno, a través de los períodos que Lain agrupa con la denominación de las culturas propias de cada momento histórico, o sea: la Ciencia del barroco, la de la ilustración, la del romanticismo y el positivismo naturalista.

En cada una de estas etapas, de relativa estabilidad, se intentaba encontrar una formulación que tuviera coherencia con las distintas claves, que en épocas pasadas, se habían mostrado bastante eficaces, en la traducción del lenguaje de la Naturaleza. A pesar de todo ello, se aceptaron en esas épocas teorías que, sin ser compatibles con todas las claves conocidas, lograron expli-

car, con cierto rigor y elegancia, determinados fenómenos naturales, aunque no se lograra con ellas una generalización total. Por eso, una teoría que se consideró perfecta en un momento dado, al querer aplicarla a hechos nuevos, no conocidos con anterioridad, resultó inadecuada, ya que, tales fenómenos no podían ser explicados por la misma.

Las etapas de estabilidad en los conceptos científicos, están separadas, en general, por períodos críticos, en los cuales, ante la avalancha de hechos hasta entonces desconocidos o inadvertidos, se ponen en discusión los principios fundamentales que se consideraban inalterables. Comienza entonces la aventura de explorar nuevas sendas de pensamiento que sean capaces de interpretar la aparición de estos impensados fenómenos de la Naturaleza, que, muchas veces, parecen completamente extraños y sin relación alguna entre sí.

En estas situaciones de crisis, no basta con una acumulación exhaustiva de datos, porque existe un momento, en el cual, ya se han reunido todos los elementos que se creen necesarios para resolver, por lo menos, una fase del problema. El investigador, como el detective experto o genial, se da cuenta de que para llegar, entonces, a su correlación, sólo es preciso pensar sobre el tema que le preocupa.

Para un detective, el crimen existe como un hecho real y planteado el problema, es necesario deducir, a partir de los datos disponibles, quién es el criminal. El científico, en cambio, comete su propio crimen y además tiene que realizar la investigación correspondiente. A mayor abundamiento, su labor no es la de explicar un caso determinado, sino la de todos los fenómenos que han sucedido, o que pueden suceder posteriormente.

En estos casos el hombre de ciencia, debe encontrar la solución él mismo, porque no puede, como hacen ciertos lectores impacientes, saltar al final del libro, para conocer el desenlace de una trama novelesca.

En consecuencia, todos los grandes progresos del pensamiento científico, deben su origen a la crisis de una teoría aceptada y al enorme esfuerzo realizado para hallar el camino que permita salir de ella. De aquí, que siempre sea necesario examinar viejas ideas y viejas teorías, porque ésta es la única manera de entender la importancia de las nuevas concepciones del pensamiento y la extensión de su validez.

Algunas veces, una simple generalización de las ideas antiguas, parece, al menos temporalmente, una buena salida. Sin embargo, en muchas ocasiones, resulta imposible remendar esa vieja concepción y las dificultades la arrastran, poco a poco, a su ocaso, provocando el nacimiento de una nueva hipótesis de trabajo y, en consecuencia, la aparición de un nueva teoría.

En la actualidad, la estructura de una teoría aparece, según Hempel, como un cuadro impresionista diseñado en la forma siguiente: «Una teoría científica puede ser comparada a una red espacial compleja: sus términos conceptuales están representados por los nudos de la red, mientras que los hilos que se entrelazan con ellos corresponden, en parte, a las definiciones o a las hipótesis, primitivas o derivadas, que confirman dicha teoría. El sistema, en su conjunto, está como flotando por encima del plano de observación, al cual se encuentra anclado por una especie de cadenas, que, no perteneciendo a la totalidad de la red, relacionan, sin embargo, ciertas partes de la misma con determinadas regiones del plano de observación. Gracias a estas relaciones, que sirven de claves interpretativas, la red puede cumplir su función de teoría científica: así a partir de ciertos hechos observados, nosotros podemos elevarnos, por medio de dichas cadenas de interpretación, a un punto preciso de la red teórica y a partir del mismo, por intermedio de las definiciones o las hipótesis, dirigirnos a otros nudos reticulares, donde, una nueva cadena de interpretación, nos permite regresar al plano de lo observable».

Las bruscas y decisivas alteraciones que en el pensamiento científico se producen, como resultado de nuevos y sorprendentes descubrimientos o investigaciones, determinan también profundos cambios en la concepción filosófica de la Naturaleza. Aunque ello afecte a cuestiones que exceden los límites de la propia Ciencia, su relación con la misma es evidente. Las generalizaciones filosóficas deben basarse, en el mundo moderno, sobre las conclusiones científicas, pero, establecidas aquéllas, las mismas influyen, a su vez, en el desarrollo del pensamiento científico, suministrando caminos originales para abordar ulteriores singladuras.

En toda la historia de la Ciencia, desde los filósofos griegos hasta la Física moderna, ha habido múltiples tentativas para explicar la complejidad de los fenómenos naturales, partiendo de un cierto número de ideas y relaciones simples y fundamentales. Este es el principio básico de toda la filosofía natural que, en los tiempos antiguos, quedó, sin embargo, nada más que como una ficción ingeniosa de la imaginación, ya que los griegos no conocían ley alguna que relacionara hechos subsiguientes.

Según Einstein, esta concepción, e incluso la posterior mecanicista, parece torpe e ingenua a un físico del siglo xx. Le asustaría pensar que la gran aventura de la investigación pudiera quedar terminada tan pronto, y le parecería poco estimulante que pudiera establecerse así, y para siempre, una imagen infalible del Universo. Por eso es comprensible que todo científico, con ansias de creación o sumergido de lleno en un ideal reflexivo, se plantee la inquietante pregunta de cómo han influido en la misma, los cambios pro-

fundos que, a lo largo de los siglos, ha venido experimentando el pensamiento científico.

La física moderna, ha atacado y resuelto algunos de los planteamientos cruciales de dicho pensamiento, pero en la dura brega para hallar soluciones fiables, se han creado nuevos y más hondos problemas. Nuestros conocimientos son ahora más amplios y profundos que los de un físico del siglo XIX, pero también son mayores nuestras dudas y dificultades, y más humilde la actitud de los pensadores científicos ante la concreta realidad.

NACIMIENTO Y DESARROLLO DEL PENSAMIENTO CIENTÍFICO MODERNO

Una de las claves más importantes descubiertas para lograr descifrar el lenguaje de la Naturaleza, y por tanto, para la evolución histórica del pensamiento científico, se debe a Galileo, al promover y utilizar el método del razonamiento científico, ya considerado por Kepler en el estudio de la teoría heliocéntrica copernicana, postulando que no debemos creer, solamente, en las conclusiones intuitivas basadas sobre la observación inmediata, pues ellas conducen, a menudo, a fatales equivocaciones.

Para los asiduos lectores de la literatura policíaca, es un hecho familiar que un indicio falso oscurece la investigación y puede retrasar la solución del problema. Los métodos de razonar, dictados por la intuición, característicos de la Ciencia antigua, es evidente que resultaron erróneos y condujeron a ideas falsas respecto al movimiento de los cuerpos, aunque las mismas fueran sostenidas durante siglos, debido a la gran autoridad de Aristóteles en la filosofía natural de la Edad Media.

Aunque la contribución de Galileo ha sido trascendente para destruir el punto de vista intuitivo, convirtiendo la Cosmografía del renacimiento en Mecánica celeste, se debe a Newton su formulación precisa, que es, no sólo un sistema fundamental de interpretación dinámico, sino una dirección segura para el desarrollo encadenado de la investigación científica. El punto clave y decisivo, para esta transición, lo constituyó el descubrimiento de que las leyes mecánicas que rigen la caída de una piedra, son las mismas que presiden el movimiento de la Luna alrededor de la Tierra y que, por tanto, aquellas leyes, se pueden aplicar también en dimensiones cósmicas.

El pensamiento humano creó entonces una imagen del Universo eternamente cambiante. El científico al ahondar en los detalles de los procesos naturales, concibió la brillante idea de poder aislarlos de las circunstancias que los rodean, para describirlos matemáticamente y así poder explicarlos con la máxima claridad, establecien-

do, así mismo, sus causas y trazando un esquema general que comprenda todos los diversos fenómenos observados.

La actitud del hombre ante la Naturaleza, en estas condiciones, no puede describirse mejor que mediante aquellas frases del propio Newton, en la que se le compara a un niño que juega en la playa, y se alegra cuando encuentra un guijarro más pulido o una concha más hermosa que de ordinario, mientras el gran océano de la verdad se extiende ante él inexplorado. No debe olvidarse, sin embargo, que, para el mismo Newton, la concha es valiosa porque ha surgido del gran océano de la verdad, y que, el hecho de contemplarla, no tiene desde luego valor en sí mismo; el estudio de la concha adquiere sentido cuando se le pone en conexión con la totalidad del Universo.

La relación que con Kepler, Galileo y Newton, se establece entre la geometría y la mecánica, es decir, entre el espacio físico dotado de ciertas propiedades geométricas, es el punto central de las diferentes interpretaciones del Universo, que se plantean hasta el siglo XIX. A. Koyré, considera que una de las características más importantes de la revolución newtoniana, es la «geometrización del espacio», es decir, la sustitución del espacio homogéneo y concreto de la geometría euclidiana, en un conjunto continuo, diferenciado, y libre de las ligaduras de la Física y de la Astronomía pre-galileanas. Esto equivale a la matematización o geometrización de la Naturaleza, y, por tanto, de la Ciencia. Esta abstracción mental, no resuelve todos los problemas, pero permite presentarlos con más claridad y coherencia.

La experiencia idealizada, ha sido, por tanto, la primera clave moderna conseguida para traducir los fenómenos de la Naturaleza y entender las bases fundamentales de la mecánica del movimiento. A su vez, la ley de la inercia, no es deducible directamente de la experiencia, sino a través de una especulación del pensamiento coherente con lo observado. Paradójicamente, el experimento ideal no puede realizarse jamás y, sin embargo, la abstracción que ello comporta, conduce a un entendimiento más profundo de las experiencias reales. Es este un «momento estelar», que corresponde al nacimiento del pensamiento científico moderno.

Así, se pudo generalizar el concepto de variación de velocidad, en un movimiento lineal o curvilíneo y relacionarlo con el vector fuerza, factor este último, que adquiere la categoría de una nueva clave indispensable para comprender, con más claridad, el problema general del movimiento y las acciones a distancia. Este análisis, es el que condujo a Newton a generalizar las ideas de Galileo, a través del camino, árido y dificultoso, que supone el someter los hechos observados al rigor del cálculo diferencial. Dicha generalización debe satisfacer, en todos los casos, un requisito esencial: todo

concepto generalizado se debe poder reducir a la idea más simple, cuando se establecen unas condiciones límites.

La historia de la Ciencia pone de manifiesto, que las generalizaciones más sencillas son a veces muy fructíferas, pero que, en otras ocasiones, quedan muy cortas como para decir, con rigor, que se ha alcanzado la condición de universalidad de las leyes obtenidas.

En nuestro empeño de concebir la realidad, nos parecemos a alguien que tratara de descubrir el mecanismo invisible de un reloj, del cual se ve el movimiento de las agujas, se oye el tic-tac, pero no es posible abrir la caja que lo contiene. Si se trata de una persona ingeniosa e inteligente, podrá imaginar un mecanismo que sea capaz de producir todos los efectos observados; pero nunca estará segura de si su imagen es la única que los pueda explicar. Jamás podrá compararla con el mecanismo real, y no puede concebir siquiera el significado de una comparación que le está vedada. Como él, el hombre de ciencia creerá ciertamente que, al aumentar su conocimiento, su imagen de la realidad se hará más simple y explicará mayor número de impresiones sensoriales. Puede creer, asimismo, en la existencia de un límite ideal del saber, al que se aproxima el entendimiento humano, y llamar a éste límite la verdad objetiva, sin que ello sea cierto.

Antes de que Newton enunciara sus célebres principios generalizados de la gravitación universal, Descartes ya había realizado diversos intentos para reducir la física a la mecánica y por tanto a la geometría, no aceptando la existencia de un espacio físico independiente, o sea, un espacio vacío; la única propiedad de la materia considerada por Descartes, correspondía a la extensión, que se considera ligada a los cuerpos, pero no se identifica con el espacio. Estas ambigüedades no fueron resueltas de ninguna manera por los cartesianos, aunque el propio autor considere el espacio como una noción fundamental en su ensayo de geometrizar la mecánica.

A partir de este momento histórico, se puede hablar, en cierto modo, de un juego dialéctico, que oscila entre una subordinación de la geometría a las propiedades de la materia o pone un énfasis especial en los aspectos geométricos de la misma. En esencia se trata de dos corrientes de pensamiento, que, constituyen, a nuestro entender, dos líneas de trabajo que convergerán, más tarde, en una nueva formulación generalizada del pensamiento científico. A pesar de todo, los conceptos newtonianos permanecen casi inalterados hasta finales del siglo XIX. Incluso se ensayará retornar al dualismo espacio estructura-materia, al formular el contexto relativista del que hablaremos más adelante, considerando que la Física es la Ciencia de las relaciones contingentes de la Natura-

leza y la Geometría expresa su descripción uniforme. Con ello se intenta mantener la antigua división entre física y geometría.

Huyghens y Leibniz llegan a una crítica más radical de la posición de Newton. Para ellos los objetos físicos y sus diversos estados se presuponen como datos y es sobre la base de las relaciones que pueden establecerse entre los mismos, como se construye el orden del tiempo y del espacio, fundamentados en el dominio de la causalidad y el determinismo. Para Leibniz, la causalidad es la relación física que conduce al orden en el tiempo, siendo el tiempo el orden de las cosas coexistentes.

Leibniz considera, asimismo, la concepción newtoniana de la gravitación inexplicable, así como la de la masa extendida. En la carta que escribe a Huyghens en octubre de 1699, indica que él «no comprende cómo concibe Newton el peso o atracción, atribuyéndoselo a una cierta virtud no corpórea como la fuerza, en lugar de intentar aplicar a estos conceptos las leyes razonables de la mecánica». Huyghens en su contestación a esta carta «no comprende cómo merece la pena efectuar tantas investigaciones y cálculos difíciles, que tienen por fundamento un principio de origen defectuoso». Desgraciadamente, Huyghens no pudo resolver por sí mismo, el problema newtoniano de la rotación absoluta.

En general, la contribución efectiva de Descartes al desarrollo de la Física, parece prácticamente nula. Su idea de la cantidad de movimiento es errónea y sus deducciones sobre el comportamiento de los sistemas mecánicos y los choques elásticos, son falsas. Sin embargo, hay que considerar con Mach, que fue uno de los científicos más implacables para juzgar sus errores, que la sistematización cartesiana debe de ocupar un lugar destacado en el desarrollo del pensamiento científico, ya que ha permitido establecer un punto de vista más completo de la mecánica racional.

Durante todo el siglo XVIII, diversos autores —Euler, los Bernoulli, Clairault, y sobre todo d'Alembert y Lagrange—, van a intentar una concepción más amplia de los esquemas científicos, entonces actuales, que permitirá salvar, elegantemente, las dificultades contenidas en la formulación newtoniana.

El programa de d'Alembert, aunque de estilo cartesiano, difiere del mismo en dos puntos fundamentales. El primero se refiere a la identificación entre la materia y la extensión, traduciendo en ecuaciones más racionales, las leyes del movimiento. La segunda divergencia, se refiere al establecimiento de una diferencia fundamental entre la geometría y la mecánica.

La línea de pensamiento de d'Alembert, será continuada por Lagrange con su mecánica analítica, considerada, por los historiadores de la Ciencia, «como la obra que resume y corona todo el es-

fuerzo del siglo XVIII, hacia la elaboración de una mecánica racional más organizada».

La noción de fuerza, aparece en las ecuaciones de Lagrange, como subsumida en un concepto más amplio, que es el de fuerza generalizada. Contrariamente a d'Alembert, no realiza ninguna crítica de los conceptos fundamentales y sus trabajos se esfuerzan en reducir la mecánica, a operaciones puramente analíticas. En consecuencia, la estructura que así resulta se separa totalmente de la tradición de Leibniz, mostrándose, indirectamente, como un cartesiano implícito.

Resumiendo, se puede considerar que las primeras claves utilizadas para una representación racional de los fenómenos de la Naturaleza, en el desarrollo histórico del pensamiento científico moderno, son los conceptos de espacio, tiempo, fuerza y masa.

Entre los siglos XIX y XX, Hertz, intenta una reconstrucción de la mecánica, utilizando solamente los conceptos independientes de tiempo, espacio y masa, conectados a una misma ley. Así podrían enunciarse, conjuntamente, los principios de inercia y de contracción de Gauss. Dicho modelo, independientemente de la experiencia, es de una evidente percepción, pero tal mecánica es difícilmente concebible en sus aplicaciones prácticas, aunque contenga pocos elementos arbitrarios.

La obra de Hertz, permanece así como una especulación académica, que puede decirse que se termina con él. El siglo XX se planteará, no solamente, la crítica de las ideas de masa y fuerza, sino también, y sobre todo, las de espacio y tiempo.

CLAVES FALSAS

La observación de los fenómenos de la Naturaleza, o los resultados de las experiencias de laboratorio, llevan a considerar, en algunas ocasiones, ciertos hechos como claves necesarias para el conocimiento de la Ciencia. Sin embargo, podemos poner de manifiesto, claramente, que, conceptos nuevos introducidos por su conexión con otros ya conocidos, pueden dar lugar a una falsa clave de interpretación.

Este es el caso ocurrido con la descripción de los fenómenos relativos al calor. Transcurrió un tiempo increíblemente largo de la historia de la Ciencia, para que calor y temperatura fueran diferenciados entre sí. Una vez establecida la distinción, el resultado fue un rápido progreso de los conocimientos científicos.

En este terreno, la teoría del calórico, interpretaba muchos fenómenos del calor y hacía inteligibles bastantes sucesos de la Naturaleza. Sin embargo, pronto se pondría de manifiesto que, la con-

cepción del calórico es una clave o pista falsa, ya que el calor no puede considerarse como una sustancia, ni siquiera imponderable.

La aparición de lo que parecía ser una nueva clave de interpretación del Universo, fue originada, según Einstein, por los experimentos u observaciones realizadas por aficionados a la Física, y no por verdaderos profesionales. Entre los más destacados, podríamos citar al escocés Black, tan vario en sus actividades; al médico alemán Mayer y al gran aventurero americano Conde de Rumford, que además de otras actividades, fue Ministro de la Guerra en Baviera. Todos ellos, sin embargo, aportaron ideas importantes estableciendo principios fundamentales para un desarrollo más armonioso del pensamiento científico, pero, en ningún caso, sus descubrimientos son una clave de traducción original y definitiva, para comprender los misterios de la Naturaleza.

Todo lo anteriormente indicado, pudiera aplicarse también al cervecero inglés Joule, quien, en sus ratos perdidos, efectuó algunos de los más destacados experimentos respecto a la conservación de la energía. De acuerdo con sus célebres trabajos, si se considera todo el Universo como un sistema cerrado, se podría enunciar pomposamente, con los físicos del siglo XIX, que la energía del mismo es invariable. Aunque parezca ilógico, este hecho no se puede considerar como clave fundamental de interpretación, incluso limitada en el tiempo, ya que este concepto fue rápidamente revisado a principios del siglo XX, por lo cual, su influencia en el pensamiento científico universal, es escasa.

Si Sadi Carnot se hubiera podido liberar de la falsa doctrina del calórico, si hubiera concebido que el calor es lo que en su máquina se transforma en trabajo, no sólo se habría remontado de este caso especial de equivalencia de las dos formas de energía, al principio general de la conservación, sino que posiblemente descubriría otra ley más oculta, que se refiere al concepto termodinámico de la entropía, de tanta trascendencia en la imagen de ordenación universal.

Por eso en la teoría cinética de la materia, que constituye una de las más grandes realizaciones de la Ciencia mecanicista, los fenómenos del calor están incluidos en ella, contribuyendo su estudio a obtener una imagen más satisfactoria de la misma, por considerarlos producidos, simplemente, por la acción de fuerzas entre partículas invariables.

UNA CLAVE INADVERTIDA

El estudio de la mecánica parecía indicar que, en esta rama de la Ciencia, todo era simple, fundamental y definitivo. La realidad de nuestro mundo exterior consistía en partículas entre las que

actuarían simples fuerzas, dependientes, únicamente, de la distancia que las separasen. Dificilmente se sospecharía que pudiera existir, hasta entonces, una clave menospreciada durante más de tres siglos, y que se relaciona con uno de los conceptos fundamentales de la misma: la masa.

Si se determina ésta como masa de inercia, o por pesada, se nos ocurre preguntar si los resultados obtenidos serán los mismos. La respuesta de la experiencia es rotunda: el valor obtenido en ambos casos es exactamente el mismo, lo cual no parece concordar con los razonamientos teóricos establecidos en aquellas épocas.

Surge entonces la cuestión de si la identidad entre ambas clases de masa es puramente accidental, o tendrá una significación más profunda. La respuesta de la física clásica es que la igualdad es accidental, no debiendo adjudicársele una trascendencia ulterior. Por el contrario, la contestación de la física moderna es diametralmente opuesta: las dos masas son idénticas.

Por eso, al cabo de tres siglos fue preciso reflexionar de nuevo sobre el problema del movimiento, y revisar los procedimientos de investigación, descubriendo claves que, hasta entonces, habían pasado inadvertidas y mediante las cuales, se pudo adquirir una nueva imagen del Universo que nos rodea.

Con esto se pone de manifiesto que no existen problemas total y definitivamente resueltos y siempre parecerá defectuoso que se expliquen los sucesos extraños como accidentes. Es, ciertamente, más satisfactorio, un relato que siga una trama racional.

En este mismo plano, hay que considerar la idea propuesta por Mach, hacia el final del siglo XIX, cuando, realizando una crítica muy profunda de los conceptos de Descartes, sobre la idea del movimiento como una pura geometría, llega a la eliminación de la noción del espacio en el fundamento de la mecánica. Descartes no tenía una idea clara de la masa, y por tanto, no había comprendido que «una mecánica no es posible, si no se consideran las situaciones de los cuerpos en una dependencia recíproca, que se determina por la relación de las fuerzas, en función del tiempo».

Según Mach, el espacio completamente vacío no tiene estructura. Las propiedades geométricas del mismo, están determinadas por la materia que lo ocupa. En cierta medida, se puede decir que aquí hay una reformulación de las ideas de Leibniz y de Riemann. Sin embargo, Mach profundiza aún más, en el análisis de estos problemas, cuestionando el concepto de inercia contenido en las leyes de Newton. La idea central de Mach, es que todas las masas están en relación mutua y que, aún en el caso más simple de la acción atractiva entre dos masas, es imposible dejar de lado el resto del Universo. Mach respondía así a una de las últimas cuestiones, que la muerte de Leibniz, había dejado pendiente.

De acuerdo con estos puntos de vista, no hay una diferencia esencial entre la gravitación y la inercia. Todas las fuerzas mecánicas, deben de interpretarse como gravitación o como inercia, de acuerdo con el sistema de coordenadas tomado como referencia. En consecuencia y contrariamente a lo que sostenía Newton, no hay ningún tipo de fuerza inercial que pueda ser tomada como indicación de un movimiento absoluto.

EL CONCEPTO DE CAMPO

En el transcurso del siglo XIX se establecen los conceptos fundamentales de la termodinámica, como una abstracción que se ocupa, exclusivamente, de la energía acumulada en los cuerpos y del trabajo y el calor que se intercambian entre ellos, lo que sirve para limitar el número de hipótesis aceptables en el desarrollo de las teorías e imágenes científicas de aquella época, pero sin indicar, de una forma unívoca, nuevas rutas a seguir, ya que la metodología termodinámica no contempla más que las apariencias globales, sin penetrar en los detalles de los procesos elementales, que, en todo caso, van apareciendo, siempre, como compatibles con la misma. A pesar del importante valor metodológico de estos nuevos planteamientos, que sujetan los procesos de la Naturaleza a unas reglas precisas y determinadas, y a que la química, la física y la biología experimentan desde entonces espectaculares avances e incluso con el descubrimiento de la radioactividad o de otros sucesos científicos de singular importancia, que van siendo observados sucesivamente, o aparecen como producto de la experimentación, la estructura del pensamiento científico, tal como se configuró en los primeros tiempos del pasado siglo, se conserva durante muchos decenios, gracias a la sencillez de su planteamiento y a su enorme capacidad de persuasión.

Sin embargo, ya en la segunda mitad del citado siglo surgen ciertas ideas revolucionarias en la física, que, poco a poco, van conformando el concepto de campo, aplicado, sobre todo, a la transmisión a distancia de las fuerzas eléctricas y magnéticas.

Se introducía así un desconocido elemento de abstracción, no intuitivo, en la imagen del Universo. Aun así, se intentó conciliar la nueva situación, con las explicaciones mecanicistas, utilizando el concepto del éter, lo que fue insostenible, aunque los campos de fuerza observables lo eran tan sólo en sus interacciones con los átomos y como engendrados por éstos.

Anotemos aquí, que todas las hipótesis referentes al éter —considerado como soporte de los fenómenos electromagnéticos—, estaban en contradicción con la experiencia. El concepto del mismo,

apenas nacido, se transformó en el «enfant terrible» de la familia de las sustancias físicas. Todos los intentos de convertirlo en una realidad mecánica, fracasaron estrepitosamente. Las tentativas de descubrir sus propiedades, condujeron a dificultades y contradicciones insalvables. Ante una experiencia tan amarga, lo más sensato parecía ser ignorarlo y no mencionar siquiera su nombre. Por eso, ahora se dice, simplemente, que: «nuestro espacio tiene la propiedad física de transmitir las ondas electromagnéticas».

Con el nuevo lenguaje del campo se comprendió que, algo, de trascendental importancia, se había producido en el contexto general del pensamiento científico, para el cual, no había lugar en la descripción puramente cartesiana del Universo, constituido por figuras y movimientos. Surge así un nuevo momento estelar en el horizonte.

La formulación matemática del campo electromagnético, contenida en las ecuaciones de Maxwell, es el acontecimiento más importante ocurrido, desde los tiempos de Newton, en el desarrollo evolutivo de la Ciencia, mostrando en seguida, tanto los méritos como las limitaciones de las teorías precedentes, lo que permitió enfocar con una nueva perspectiva, de mayor generalización, los viejos conceptos aún imperantes hasta entonces. Lentamente el concepto de campo, alcanzó una significación fundamental en la Física y continúa siendo, aún hoy, uno de los principios básicos de la misma, constituyendo, a su vez, una de las claves de interpretación del lenguaje de la Naturaleza, que ha producido resultados más fructíferos.

Las ideas de Maxwell, se confirmaron al producirse las ondas hertzianas y Lorentz consiguió introducir en el electromagnetismo maxwelliano, el concepto corpuscular de la electricidad. La contradicción del corpúsculo discreto con la concepción maxwelliana del campo continuo, llevó a la Física a situaciones conflictivas, de las que aún está lejos de salir del todo. Lorentz demostró, asimismo, la necesidad de una fundamental revisión de las ideas entonces imperantes sobre el espacio y el tiempo y consciente de su fracaso para explicar la distribución de la radiación del cuerpo negro en la totalidad del espectro, intuyó, con claridad, el razonamiento cuántico. Podemos decir que Lorentz, al introducir la carcoma de sus permanentes dudas en la concepción que del Universo se tuvo, hasta finales del siglo XIX, contribuyó, en un elevado grado, a abrir la gran crisis, de la que se han obtenido nuevas claves para una interpretación más unificada del pensamiento científico; es decir, la teoría cuántica y la relatividad.

El tiempo local y los sistemas de coordenadas que Maxwell ideó para su principio de transformación, no le parecían más que artificios de cálculo que permitían expresar, en una forma más asequible, la formulación de la teoría del campo electromagnético. Era preciso dar un paso esencial: abandonar la noción del tiempo absoluto, desechar la concepción del éter que había llegado a ser inútil e incómoda y hacer equivalentes todos los sistemas de referencia del movimiento, definiendo, para cada observador, las nociones de espacio y tiempo relativo.

Henri Poincaré, cuyo espíritu eminentemente crítico desconfiaba de las ideas «a priori», estuvo, más de una vez, a punto de llegar a este cambio decisivo, pero tanto él como Lorentz, pertenecían a una generación demasiado influida aún por la Física clásica, como para arriesgarse a semejante revolución intelectual. Fue un joven de veinticinco años, Albert Einstein, quien, en 1905, tuvo el valor y la gloria de realizar dicha revisión. He aquí un significativo momento estelar, apuntando en lontananza.

Lorentz comprendió en seguida el interés de las ideas y de los cálculos de Einstein, pero permaneció siempre un poco reticente, en cuanto a su interpretación. Esta actitud es muy frecuente en todos aquellos que, habiendo sido protagonistas principales en el progreso de la Ciencia por sus investigaciones, se consideran un poco rebasados por la actitud crítica de sabios más jóvenes.

A pesar de todas estas suspicacias, hay que dejar claro que la relatividad no contradice la transformación de Lorentz, ni anula los postulados de la Mecánica clásica. Al contrario, los conceptos clásicos se obtienen, de un modo natural, como un caso límite, al considerar pequeñas velocidades. Según el mismo Einstein, sería tan ridículo aplicar la teoría de la relatividad al movimiento de autos, barcos o trenes, como usar una compleja máquina de calcular donde resulta suficiente una tabla de multiplicar.

La teoría de la relatividad deduce de sus postulados fundamentales, así como del resultado de ingeniosos y sutiles experimentos, que toda forma de energía resiste al cambio de movimiento: es decir, la energía se comporta, por tanto, como materia ponderable. No existe, por consiguiente, una diferencia esencial entre masa y energía, que quedan así incluidas en un solo principio de conservación. El antiguo concepto de la energía como sustancia imponderable es la segunda víctima de la teoría de la relatividad. La primera fue el medio por el cual se suponía que se propagaban las ondas luminosas, es decir, el éter.

Los nuevos conceptos de la relatividad solucionaron así las dificultades y contradicciones de la teoría del campo: permitiendo formular leyes más generales de la mecánica y modificando el concepto clásico del tiempo absoluto. Además su validez no se limita a un dominio determinado de la Física, sino que constituye un esquema general que abarca todos los fenómenos de la Naturaleza, lo que la convierte en valiosísima clave de interpretación de la misma.

Por ello, se intentó ajustar la ley de la gravitación universal a la teoría de la relatividad, formulándola de tal modo que resultase invariante respecto a la transformación de Lorentz, y no a la transformación de Galileo. La solución de este problema capital, se obtuvo por medio de las llamadas ecuaciones gravitacionales de la teoría de la relatividad generalizada. En todos los casos en que la gravitación se puede despreciar, aparecen, automáticamente, las leyes de la relatividad restringida.

Las nuevas ecuaciones gravitacionales son también leyes estructurales, que contienen los cambios del campo de gravitación, y tratan de revelar las propiedades geométricas de nuestro mundo, determinadas por la distribución de la materia y su velocidad. Esquemáticamente, podríamos decir, que la transición de la ley de la gravitación de Newton al concepto de la relatividad generalizada, recuerda, en cierto modo, al cambio de la teoría de los fluidos eléctricos y de la ley de Coulomb a la teoría de Maxwell, que hemos considerado, también, como estelar, en la interpretación del lenguaje de la Naturaleza.

La síntesis más acertada de la relación entre la geometría y el mundo físico, fue hecha por Einstein al preguntarse «cómo es posible que la matemática, que es un producto del pensamiento humano e independiente de toda experiencia, se puede adaptar de una manera tan admirable a los objetos de la realidad». A esta cuestión respondió: «en tanto que las proposiciones de la matemática que se refieren a la realidad, no son ciertas y por tanto, aquellas que son ciertas, no se refieren a la realidad». En esta célebre afirmación está contenida la distinción entre geometría matemática y geometría física. Es esta última, es decir, la geometría del espacio físico, la que permanece como problema. La teoría de la relatividad, constituirá, por tanto, la más profunda revisión de sus fundamentos de toda la historia.

Einstein introduce, además, una revolución metodológica. Traduce los resultados experimentales en un principio fundamental y es, a partir de este punto, cuando reformula los fundamentos conceptuales sobre los cuales la física clásica se había construido.

En la relatividad, a su vez, el espacio y el tiempo, no juegan

papeles independientes. Según Minkowski, el espacio lo mismo que el tiempo, en sí mismos, deben situarse a la sombra, y sólo una asociación entre estos dos conceptos conserva una individualidad

Mach, en su crítica de la idea newtoniana, llegó a identificar la inercia con los efectos de la gravitación. Sin embargo, la gravitación, por sí misma, queda entonces tan incomprensible como en la formulación de Newton, en la medida en que Mach debe aún postular la acción a distancia. Einstein, conservando la idea central de la formulación de Mach, invierte los términos de la relación: es la gravitación la que será explicada, en una cierta medida, por la inercia, y no a la inversa.

Einstein intentó construir, asimismo, una teoría unificada, capaz de combinar las leyes del electromagnetismo y de la gravitación en un solo sistema. Sus esfuerzos se prolongaron durante toda su vida. Él deseaba postular una teoría unificada del campo, que incluyera incluso los resultados de la mecánica cuántica. Cuando en 1956, Einstein deja de existir, estaba aún muy alejado de una posible solución.

Sin embargo, ya en 1952, Rainich había intentado coordinar las teorías de Maxwell y las de la gravitación de Einstein, demostrando que, en condiciones muy generales, el campo electromagnético está determinado, fundamentalmente, por la curvatura del espacio-tiempo. Este trabajo, permaneció ignorado durante muchos años, hasta que Misner llega, en 1956, a los mismos resultados por otro camino, surgiendo así la geometro-dinámica, cuyas ecuaciones fundamentales, que son enteramente geométricas, pueden describir situaciones físicas, en las cuales están comprendidos tanto los campos gravitacionales como los electromagnéticos. Según la misma «no hay nada en el mundo salvo el espacio curvo vacío. Materia, carga, electromagnetismo y otros campos, no son más que manifestaciones de la curvatura del espacio».

Dejando de lado las dificultades que se encuentran cuando se intenta cuantificar la geometrodinámica, es interesante señalar que la reducción de la física relativista a una geometría del espacio curvo vacío, plantea problemas de gran interés desde el punto de vista epistemológico. Paradójicamente, aparece una fisicalización de la geometría como una nueva controversia, siendo difícil decir si se ha conseguido una geometrización completa de la mecánica o a la inversa. Parece más razonable considerar, que se trata de una convergencia de conceptos hacia una síntesis común, más bien que de un proceso de reducción de una disciplina a la otra.

En general, las observaciones que realizamos en la vida diaria, lo mismo que las más sistemáticas de la Ciencia, revelan que en el mundo exterior existen ciertas repeticiones o regularidades, cuyas expresiones más precisas constituyen las leyes que rigen dichos fenómenos. Si una regularidad dada se observa en todo tiempo y en todo lugar, entonces se habla de una ley universal. Dichas leyes sirven para explicar los hechos ya conocidos y predecir otros nuevos. Sin embargo, tales formulaciones son generalmente imprecisas, siempre que no se tenga un claro concepto de los términos de causalidad y regularidad.

En las ciencias atómicas, como en la vida normal, las leyes universales no han sido nunca explícitamente enunciadas. Se llega entonces a considerar que una explicación más correcta de los procesos de la Naturaleza, se obtiene aplicando a los mismos leyes estadísticas. Ya Leucipo y Demócrito, en su teoría atómica, admiten que los procesos de conjunto, perceptibles por los sentidos, son la colaboración de muchos pequeños fenómenos individuales, por lo que, es inevitable considerar siempre a las regularidades de la Naturaleza, como de tipo estadístico.

Aunque la explicación que se deduce de un hecho determinado a través de una ley estadística, es extremadamente frágil, no deja de ser una explicación más coherente con los conceptos de la Física moderna, que la que se obtiene del determinismo. En la actualidad, todos los científicos consideran que las leyes de la Física son de orden estadístico, y que, sin embargo, de las mismas se obtienen explicaciones perfectamente satisfactorias para conocer los procesos de la Naturaleza.

Cuando una ley se basa en el determinismo, la deducción de un hecho desconocido, comporta una operación de lógica deductiva elemental, pero cuando la ley es estadística, nos vemos obligados a utilizar una lógica diferente, que es la lógica de las probabilidades. En ella está contenido el principio de predicción, basado en la certeza matemática, que es tan necesario a la vida cotidiana como a la Ciencia. Así como todo acto humano comporta una elección deliberada, podemos decir que en ella hay una predicción. Sin predicción, la Ciencia y la vida serían igualmente imposibles. He aquí una nueva clave de entendimiento en el conocimiento científico del Universo.

Aunque el sistema matemático de formulación de las leyes universales adquirió, a partir de Gibbs y Boltzman, un carácter de probabilidad, sólo hasta que Max Planck demostró que un átomo

radiante cede su energía en forma discontinua, no se llegó a tener un concepto claro de los fenómenos estadísticos.

En la perspectiva del teorema de Boltzman, según el cual la entropía de un sistema aislado es proporcional al logaritmo de la probabilidad, el aumento de aquélla en el Universo, que predice el segundo principio de la Termodinámica, pierde su carácter misterioso, puesto que su tendencia a crecer espontáneamente pone de manifiesto el paso del sistema considerado de un estado menos probable a otro más probable. La entropía es, pues, un aspecto del azar que rige el mundo macroscópico, sometido a las leyes de los grandes números. Una o algunas moléculas individualizadas están libres de la limitación entrópica. En una palabra, la validez del citado segundo principio, no es aplicable más que a la complejidad de la materia observada a nuestra escala. Con este concepto de Boltzman se produce una clara separación, en la historia del pensamiento científico, entre las leyes microscópicas y las macroscópicas, que el siglo xx, al profundizar en el conocimiento de la estructura atómica, con su correspondiente proyección en los distintos estados de la materia, ha de tratar de generalizar.

Como la teoría de los cuantos introduce, a su vez, por vez primera, la discontinuidad de todos los procesos naturales, comprendiendo por igual transformaciones de energía y de materia, ello obligó a formular toda ley, precisamente como una ley estadística, abandonando de manera definitiva el concepto determinista. Así aparecen las relaciones de indeterminación o incertidumbre de Heisenberg, en las que, la constante de Planck, constituye el límite inferior del producto de la imprecisión de dos magnitudes observables complementarias. El concepto de complementariedad significa que diferentes imágenes intuitivas, destinadas a describir los sistemas atómicos, pueden ser todas perfectamente adecuadas a determinados experimentos, a pesar de que se excluyan mutuamente. En otras palabras, se puede decir que estas imágenes diferentes son verdaderas en cuanto se las utiliza en una situación apropiada, pero son incompatibles unas con otras conjuntamente, por lo cual se les llama, recíprocamente, complementarias.

De acuerdo con esta nueva clave de interpretación del Universo, descubierta a principios del siglo xx, en el mundo microscópico existe una imagen total de discontinuidad y la formulación de los procesos que en el mismo se producen, se realiza a través de leyes estadísticas, con probabilidades más o menos cercanas a la certeza. Cuando se opera con colectividades muy numerosas, que nos introducen ya en el terreno macroscópico, podremos hablar incluso de una regularidad determinista, puesto que, en estos casos, la probabilidad es muy elevada.

Un ejemplo muy característico de este planteamiento, es el si-

guiente: En una bomba convencional, la energía de la explosión se puede calcular previamente, si se conoce el peso y la composición química de la materia explosiva. En cambio, en una bomba atómica, lo máximo que se puede conseguir, es establecer los límites superior e inferior de la energía de la explosión, porque los principios conceptuales de dicho fenómeno, se oponen a que esta energía sea prevista con exactitud. De una forma semejante, es verosímil que en la Biología, como ha expuesto Jordán, se originen procesos que, macroscópicamente, dependan o parezcan depender de un efecto causal o determinista, cuando en su base microscópica, subyace una ley estadística, como ocurre en las mutaciones de los genes o en el proceso hereditario.

Los sucesivos trabajos de Planck, Einstein, y Bohr, sobre los cuantos, han sugerido originales puntos de vista sobre el problema de la causalidad, abriendo campos inexplorados para una comprensión más racional de la Física atómica, la distribución de la energía en el espectro, los procesos de Química nuclear, la transformación de partículas elementales y su interacción con la energía, etc. Se llega así a la conclusión de que, en el Universo, sólo existe una materia única que puede, sin embargo, presentarse en distintos estados estacionarios discretos, de los que la energía es el más importante. En definitiva, la energía cuantitativamente discontinua, es la que determina rigurosamente, todos los procesos naturales, que quedan representados o descritos exhaustivamente, a partir de las modificaciones que dichas energías sufren, tanto temporal como espacialmente. Este nuevo planteamiento del pensamiento científico, es, sin duda, un singular momento estelar, pues transforma radicalmente toda la estructura mental que del Universo se poseía hasta entonces.

En las primeras concepciones de la teoría cuántica, las condiciones de cuantificación estaban, de alguna manera, moldeadas sobre los resultados de la mecánica clásica, aunque la noción de discontinuidad presentara un extraño contraste con la naturaleza continua de los movimientos representados por la mecánica newtoniana o einsteniana. Parecía entonces evidente que era necesario llegar a construir una nueva mecánica, en la cual las ideas cuánticas constituyeran la base doctrinal de la misma y no estuvieran como superpuestas a antiguos esquemas tradicionales. La realización de este programa de trabajo tuvo lugar por dos vías totalmente diferentes: la mecánica ondulatoria y la mecánica cuántica. Su apariencia formal les hace presentarse totalmente opuestas entre sí, cuando, en realidad, pueden considerarse como idénticas, puesto que cada una de ellas no es más que la transposición matemática de la otra, expresada en un lenguaje diferente.

La mecánica ondulatoria, que fue establecida por de Broglie, inten-

ta esencialmente asociar al movimiento de todo corpúsculo la propagación de una onda determinada, planteando una regla de comportamiento dinámico general para toda radiación y que explicara, a su vez, las relaciones ya establecidas y comprobadas por Einstein entre los fotones y las ondas luminosas. La ecuación de ondas de la mecánica ondulatoria, explícitamente obtenida por Schrödinger, ha permitido deducir un método riguroso para el estudio de los problemas de la cuantificación.

En el escaso tiempo que media entre la aparición de la mecánica ondulatoria y la publicación de las memorias de Schrödinger, un grupo de la escuela de Copenhague dirigida por Bohr y formado por Heisenberg, Born y Jordán, aplicando el llamado principio de correspondencia y la teoría de matrices, establecen la mecánica cuántica. El rigor y la precisión de su formalismo, hace que diversos autores —Dirac, Fermi, Pauli, etc.—, se interesen profundamente por la misma, enriqueciéndola con originales aportaciones. Entonces se comprueba, con enorme admiración, que el método de cuantificación de la mecánica ondulatoria, conduce a los mismos resultados que los que obtiene la mecánica cuántica, cuya inspiración de conceptos es totalmente diferente. Para de Broglie este hecho no es puramente fortuito. Schrödinger considera que deber ser posible construir, por medio de las llamadas funciones de onda de la mecánica ondulatoria, un tipo de magnitudes que tengan las mismas propiedades de las matrices de la mecánica cuántica. La mecánica cuántica, por lo tanto, aparece entonces como un método que permite calcular estas magnitudes, y razonar directamente sobre ellas, sin pasar explícitamente por la función de onda intermediaria. Así se demuestra la identidad de las dos formas de expresar la nueva mecánica.

Diversas y ulteriores aportaciones en la metodología cuántica e incluso la reinterpretación de la mecánica ondulatoria, elaborada por de Broglie y sus colaboradores, en base a sus primitivas ideas, de las que se obtiene una teoría con una doble solución, que incluye el concepto de onda y corpúsculo, han permitido crear, en estos últimos años, uno de los más eficaces instrumentos de trabajo para interpretar el lenguaje de la Naturaleza a partir de una visión cuantificada general del Universo.

En todo caso, tanto el principio de incertidumbre, como el de correspondencia, ponen de manifiesto que no existe ninguna dificultad seria para un razonable acuerdo entre la nueva mecánica y la antigua. El edificio de la física cuántica aparece como construido alrededor de la física clásica y como si se hubiera englobado a esta última en una construcción mucho más amplia. Como ha ocurrido a lo largo de toda la historia de la Ciencia, el progreso se ha efectuado por aproximaciones sucesivas. En el caso de la mecánica cuántica

tica, la imprecisión de nuestras medidas macroscópicas origina las incertidumbres cuánticas y las fórmulas cuánticas coinciden, a su vez, con los esquemas clásicos, cuando nos encontramos en las situaciones límites de la observación del mundo macroscópico.

BIOENERGÉTICA Y BIOLOGÍA MOLECULAR

De forma paralela a la esperanza que late en la nueva física teórica de obtener una explicación «unitaria» de la imagen del Universo, según la cual, en frase de Rof Carballo, «lo que de él vemos no es otra cosa sino el revés confuso de un prodigioso tapiz tejido en materia por el espíritu, que asoma inesperadamente en el secreto de un tiempo y un espacio que nada parecen tener de común con el que habitualmente manejamos», la biología parece iniciar una etapa revolucionaria de refundición de todas las investigaciones que, en su inquietante y transcendental terreno, se han venido realizando hasta el presente, para contribuir así, con sus propias ideas, a lograr un panorama más coherente y unificado del pensamiento científico.

En el sentido clásico de la Bioenergética, se puede considerar, que los sistemas biológicos se mantienen en un estado de flujo continuo, que contiene un nivel muy bajo de entropía o desorden, comparado con el Universo que los rodea. Paradójicamente, en la evolución de los organismos vivos, a lo largo de millones de años, las diferentes especies tienden a ser más complejas, con lo cual parece que la entropía propia del mundo biológico tiene que disminuir de forma continua, contrariamente a lo previsto en el segundo principio de la Termodinámica. La estructura de la vida tiene por tanto, una probabilidad estadística muy baja, y según Mendelssohn es muy difícil que pueda aparecer como un proceso del azar. Más bien es una consecuencia para evadirse de los cambios físicos o químicos del entorno, de acuerdo con el simple principio de Le Chatelier-Braun.

Puede suponerse, sin embargo, que se produce un descenso de entropía en los sistemas biológicos, compensado por un aumento de la misma en el mundo que los rodea. Los organismos vivos metabolizan moléculas complejas como glucósidos, lípidos, proteínas, de bajo contenido entrópico y, a través de procesos de oxidación, producen simples moléculas, como agua y anhídrido carbónico, de elevado contenido de entropía, que son eliminados al exterior. Por esa vía los organismos vivos mantienen su mínimo valor entrópico, causando una elevación del mismo en sus alrededores, sin violar los principios generales de la Termodinámica.

La vida parece, por tanto, de acuerdo con estos conceptos, como una constante lucha contra la tendencia a producir entropía, en

los procesos irreversibles que la caracterizan. La síntesis de biopolímeros altamente ordenados y elaborados, tiene la estructura adecuada que corresponde a una máxima entropía negativa, o sea, el mayor caudal de información, producido a través de complejas conformaciones de caracteres específicos, que surgen como funciones propias del sistema. De ésta forma, se ponen en marcha poderosas fuerzas antientrópicas, pero puesto que no es posible escapar al destino que rige en todos los fenómenos de la Naturaleza, los sistemas biológicos escogen el menos dañino en este sentido: producir entropía en un valor mínimo.

Por otra parte al establecerse en 1958 el dogma central de la biología molecular, se culminaba un largo proceso de confrontación entre diversos criterios biológicos —vitalismo y mecanicismo o informacionismo y estructuralismo— que, recogiendo las aportaciones con que la habían enriquecido distintas disciplinas —física, química, matemática, etc—, permitía adoptar nuevas concepciones capaces de suministrar explicaciones originales, como el código genético, a uno de los problemas más controvertidos de todos los tiempos, cual es el origen y mantenimiento de la vida. Aunque este hecho marca una cierta etapa estelar en el pensamiento científico moderno, parece, en todo caso, que la base de la biología actual, no está sólo en su reciente descripción molecular, sino que, de hecho, hay que subsumir en la misma, todo el sustrato del pasado, con todas las posibles claves de interpretación del lenguaje de los procesos vitales, formando parte integrante de un devenir histórico de más amplios horizontes. No obstante, es preciso reconocer que, tanto desde el punto de vista epistemológico como filosófico, la biología ha experimentado, en los últimos años, una auténtica revolución científica, en la que, el tránsito de una problemática clásica a un planteamiento básico completamente nuevo, equivale a la doble revolución que se produce en la física a principios del siglo xx.

Por todo ello y de acuerdo con Calvin, nos podemos preguntar si la biología molecular, en su forma de pensamiento y en sus propias técnicas de trabajo, ¿es una vía de aproximación suficiente para explicar todos los fenómenos biológicos superiores? Las respuestas a este interrogante, son bastante heterogéneas.

SISTEMAS BIOLÓGICOS Y ESTRUCTURAS DISIPATIVAS. TERMODINÁMICA DE LA VIDA

Ante este dilema, Prigogine considera el carácter ampliamente diferenciado de los conceptos fisicoquímicos que pueden aplicarse, con cierta seguridad, a los sistemas biológicos y que son una clave fundamental para traducir y explicar todos aquellos procesos, que,

las ideas extructuralistas de la biología molecular, no terminaban de hacer comprensibles y que llevaron a algunos autores a realizar verdaderos malabarismos dialécticos y filosóficos para su justificación.

En primer lugar, es necesario tener en cuenta que las formas y funciones de los sistemas biológicos, aún con su enorme complejidad, son en sí mismas, una clase de energía y por tanto, incluíbles en un tratamiento termodinámico generalizado. Pero por otra parte, el conjunto de estructuras, como, por ejemplo, las implicadas en el transporte electrónico, es un concepto cuántico, como el indicado por Pullman y Pullman, siendo la conformación general del sistema la que gobierna dicho transporte.

En estas condiciones, cuando se desea establecer una explicación termodinámica correcta de la evolución organizativa de los sistemas biológicos, no basta con una explicación tan simple como la que hemos expuesto anteriormente, sino que es preciso incluir a los mismos entre los estados llamados abiertos, que intercambian energía y materia con el exterior, «fuera del equilibrio» y asociados a lo que se llama fenómenos disipativos, como una idea surgida de la Termodinámica de los procesos irreversibles, en la cual no rigen los principios de orden de Boltzman. El flujo entrópico podría suponerse, así, simplemente, como realizándose entre dos fases abiertas, que en su conjunto, forman un sistema cerrado. Tropezaríamos, sin embargo, entonces, con una explicación que, aún siendo más racional, presenta los mismos puntos débiles de la Bioenergética clásica. La clave de interpretación fenomenológica, en estas condiciones, no nos permitiría más que una lectura superficial.

Por eso, Prigogine, profundizando en el problema del mantenimiento de la vida, introduce una nueva clave interpretativa, que consideramos trascendental, al establecer las llamadas «estructuras disipativas», que se refieren a un estado ordenado completamente diferente del clásico y que se puede llamar orden por fluctuaciones, análogo al establecido por Bernard, en el dominio de la hidrodinámica. Esto supone un flujo de la masa total del sistema —una parte externa debida al intercambio con el exterior y una parte interna, resultante de las reacciones acopladas en el interior—, con una distribución de energía cinética a la totalidad del conjunto. En consecuencia, la energía térmica desordenada se convierte en energía mecánica, ordenada a largo alcance, que corresponde a un elevado nivel cooperativo molecular y en el que la entropía de la materia que entra en el sistema, es inferior a la cedida al exterior. Desde el punto de vista termodinámico, el sistema «degrada» la materia que recibe y esta degradación es la que mantiene un estado estacionario, en el cual la concentración de los compuestos intermedios no varía con el tiempo.

Las estructuras disipativas pueden presentarse también como estados no lineales de inestabilidad del sistema, que, situado fuera del equilibrio termodinámico, se ve sometido a determinadas fluctuaciones. Cuando estas fluctuaciones están por debajo de un determinado valor crítico, el sistema vuelve a su primitiva situación no perturbada. Por el contrario, por encima de este punto crítico, ciertas fluctuaciones se amplifican, formando un orden macroscópico, estabilizado por el intercambio de energía con el exterior. Tales sistemas no pueden olvidar la perturbación inicial y su evolución no es posible describirla en términos de ningún potencial. En estos casos la estructura molecular del sistema puede ser homogénea macroscópicamente, pero no estar en las mismas condiciones a nivel molecular. Entonces las fluctuaciones conducen, inevitablemente, a una disminución discontinua de la entropía. A su vez, la interferencia entre procesos irreversibles, sólo es posible cuando éstos se producen en la misma región del sistema. Esto corresponde a una formulación local de la segunda ley de la Termodinámica, en oposición a la formulación global clásica. Estos problemas sometidos al análisis funcional no lineal, hoy muy poco desarrollado aún o mejor a una descripción mecano-estadística, permiten ver el futuro entendimiento de las estructuras disipativas como muy prometedor.

Un caso especial a considerar es el que se refiere a la aparición de inestabilidades espaciales, que dependen de perturbaciones que conducen a estados topológicos no homogéneos. Estas inestabilidades, llamadas de «ruptura de simetría», permiten establecer una relación estrecha con las oscilaciones químicas, que aparecen en los sistemas de una Termodinámica no lineal de procesos irreversibles, como ocurre con el mecanismo de los llamados relojes biológicos o el equilibrio del punto de Curie, donde una sustancia isotrópica paramagnética se convierte espontáneamente en ferromagnética, que corresponde a un estado más ordenado.

La difusión de la materia contra su gradiente de concentración, en los sistemas biológicos, va acompañada de una producción negativa de entropía, pero este efecto es compensado por la producción positiva debida al flujo de calor. El acoplamiento termodinámico, permite a alguna de las reacciones avanzar en sentido contrario al que prescribe su propia afinidad. Si se tienen en cuenta las reacciones inversas, es posible calcular la afinidad crítica, por encima de la cual la «solución termodinámica» se hace inestable.

Las estructuras disipativas sólo se pueden modificar, como hemos visto, si hay una acusada variación en los parámetros del sistema, debido a amplias fluctuaciones, pudiendo entonces producirse diferentes situaciones estructurales, comparables a la diferencia entre distintos comportamientos estadísticamente posibles. Esta posibilidad optativa entre varias soluciones, aparece, por tanto, como un

tipo primitivo de «información», que debe ser añadido a las leyes causales que determinan las futuras conformaciones. Cuando en las condiciones iniciales del sistema se alcanza una conducta periódica, análoga a las fluctuaciones, se produce un ciclo límite, con una organización espacial específica, constituyendo lo que se conoce con el nombre de «un cierre químico».

En general, las inestabilidades del sistema, la ruptura de simetría y el cierre químico, pueden jugar un importante papel en el mantenimiento de la vida. Las distintas estructuraciones espaciales que debido a estos fenómenos se pueden presentar, se caracterizan porque determinados gradientes de potencial químico, de las sustancias que intervienen en las reacciones implicadas en los mismos, se conservan sin variación apreciable. Dichos gradientes, pueden, incluso, modificar el estado físico-químico de otros compuestos que no participan, directamente, en los procesos relacionados con la inestabilidad.

Resumiendo, se puede decir que las inestabilidades pueden conducir a una organización temporal o espacial y a un cambio en el comportamiento funcional de aquellos sistemas abiertos, en cuyo seno se producen diversas reacciones acopladas. Ello sólo es posible, a una distancia finita del equilibrio termodinámico; es decir, exigen un cierto umbral de disipación. Estructura y disipación lejos del equilibrio, aparecen así íntimamente ligadas, dentro de regiones bien delimitadas de los parámetros a que se ajusta el delicado balance requerido entre la progresión de las reacciones químicas y la difusión. Si en el sistema se introduce un elemento que pueda alterar uno de esos factores, toda la organización se desmorona. Esto se corresponde con el hecho biológico de que una célula con, prácticamente, la misma composición química, puede vivir o morir, según la situación de determinados factores sumamente delicados.

Si se considera que la síntesis por replicación de los ácidos nucleicos, sobre molde previo, no es dominante en relación con el mecanismo de polimerización lineal, más que a partir de una distancia crítica del equilibrio, esto corresponde a una primera inestabilidad. Ahora bien, los procesos de replicación, pueden presentar «errores» que corresponden, en esencia, a un nuevo tipo de fluctuación. Entonces, podría presentarse la evolución de los sistemas biológicos como una serie de rupturas de inestabilidades, es decir, debida a la amplificación de las fluctuaciones, hasta que aparece un conjunto en el que predomina un tipo de macromoléculas estables, en relación con los posibles movimientos oscilantes originados por ellas mismas. En general se pasa así de la inestabilidad de lo homogéneo, a la estabilidad de lo heterogéneo, característico de la organización biológica progresiva.

La sucesión de inestabilidades en un sistema formado únicamente

te por proteínas, se prolonga indefinidamente; en cambio, la interacción entre proteínas y polinucleótidos conduce a un estado final estable, originado por los errores en la cinética de replicación producida sobre el molde original, dando así lugar al código genético.

Se crea así una síntesis importante entre el punto de vista estático, estructuralista, clásico en la Biología molecular y el horizonte histórico que es característico de la Termodinámica, lo que, sin duda, se puede ya calificar como una situación estelar en el panorama del pensamiento científico actual. La entropía producida por unidad de masa y de tiempo, tomada como medida del metabolismo, aumenta en el primer período de los procesos biológicos, pasa por un máximo y disminuye al alcanzar finalmente el valor mínimo de un estado estacionario. El primer período puede corresponder al umbral donde la inestabilidad del sistema ha sido alcanzada, y a través de las estructuras disipativas, constituir una cadena que conduce del equilibrio termodinámico clásico al orden biológico. En efecto, se puede hablar, con todo rigor, de un nuevo estado de materia, inducida por un flujo de energía libre, alejado del equilibrio, en unas condiciones de contorno bien definidas. En este nuevo estado, rige una nueva química-física que corresponde a un nivel supramolecular, en el que se aplica la formulación de Einstein que da la probabilidad de fluctuaciones en torno a un estado macroscópico y en la cual, en cada fluctuación, la variación de entropía es negativa, mientras que todas las leyes que se aplican al nivel de las moléculas permanecen esencialmente sin cambio, incluso el principio de orden de Boltzman.

En consecuencia, los sistemas biológicos, según Eigen, lejos de tener que considerarlos como entidades especiales en lucha permanente contra el segundo principio de la Termodinámica, aparecen rigiéndose por las leyes físicas conocidas, pero con una flexibilidad especial, debida a su composición química, a las interacciones que entre sus moléculas pueden producirse y a los especiales planteamientos cinéticos que son aplicables a sus reacciones. La sucesión de inestabilidades intenta ser, por lo menos, una explicación coherente que permite establecer una línea de separación entre la materia inerte y los seres vivos. Las fluctuaciones, que sitúan al sistema fuera del equilibrio, son el elemento aleatorio, es decir, el «azar»: la inestabilidad del medio y el hecho de que estas fluctuaciones vayan creciendo, representa la «necesidad». Así, el azar y la necesidad, indicados por Monod, no se oponen, sino que se complementan y son consecuencias ineludibles de la Termodinámica de los procesos irreversibles generalizada a los sistemas biológicos. Todo ello hace suponer a algunos autores, como Prigogine y Eigen, que los fundamentos de la vida pudieran ser así deducibles, con cierta lógica, a partir de los principios universales de interpretación establecidos, hasta.

el momento, para traducir con coherencia y racionalidad el lenguaje de la Naturaleza.

PENSAMIENTO CIENTÍFICO Y REALIDAD

En la somera descripción histórica que de los momentos estelares del pensamiento científico, hemos realizado, se deduce que la verdadera realidad objetiva del Universo no es, según Bertrand Russell, «una cosa persistente, con estados que varían, sino un sistema de sucesos relacionados entre sí. Han desaparecido entonces las características que prestaban a la materia un aspecto más real que el que le asignan las diversas creaciones de la mente humana. Sin embargo, los sucesos que ocurren en nuestras mentes forman parte del curso de la Naturaleza y no sabemos que aquellos fenómenos que ocurren en otras partes sean de un género completamente distinto. En consecuencia el mundo que nos presenta una filosofía basada en la Ciencia moderna, es, en muchos aspectos, menos extraño para nosotros que el mundo material concebido en siglos anteriores».

Los intentos, que, en cada momento, se han realizado para obtener unas imágenes fiables de la Naturaleza, han sido principalmente de tres tipos: intuitivos, mecanicistas y matemáticos. A lo largo de los siglos que forman el devenir del conocimiento científico moderno, se ha llegado a concluir que la imagen matemática tiene una preeminencia notable sobre las otras dos, por el hecho de presentar los fenómenos de la Naturaleza con una verosimilitud mayor, mientras que las otras imágenes sólo proporcionan aproximaciones a la verdad.

El afirmar, sin embargo, que la realidad de la Naturaleza debe de estar más conforme con el aparato matemático, ideado para su explicación, que con el mecanicismo o la intuición, es un paso que se debe de dar con extrema precaución. No hay que olvidar que nuestra imagen de la Naturaleza debe, sin duda, algo a la realidad subyacente, ya que si ésta fuese abolida no habría fenómenos que describir; sin embargo, una parte muy importante de la visión universal de los mismos está compuesta por nuestro modo de comprenderlos. Por eso el científico debe de tener mucho cuidado en no aceptar una descripción matemática de la Naturaleza, como una verdadera imagen de la realidad, sin haber considerado antes, hasta qué grado aquella refleja sus propios atributos mentales.

De esta forma algunos consideran, con Kant, que nuestras mentes actúan como legisladores de la Naturaleza, prescribiendo al mundo exterior las maneras como sus fenómenos serán percibidos por nosotros. No obstante, se puede demostrar con múltiples ejemplos, la diferencia que hay entre las leyes introducidas subrepticamente por la ingeniosidad de los matemáticos y las que expresan propiedades verdaderas de la Naturaleza. Estas se caracterizan por

una gran sencillez, ya apuntada por Kepler, y por su capacidad de predicción, aunque a ellas se llegue por un camino fatigoso y lleno de dificultades. Como indica Einstein: «en cada progreso importante, el científico encuentra que las leyes fundamentales se simplifican, más y más, a medida que avanza la investigación experimental. Es asombroso ver el orden sublime que surge de lo que aparentaba ser un caos. Y esto no puede atribuirse a las maquinaciones de su propia inteligencia, sino que es debido a una cualidad inherente al mundo de la percepción».

Además, si los científicos se limitan a imprimir en la Naturaleza sus propias leyes matemáticas, podríamos preguntarnos con James Jeans ¿por qué no puede hacer lo mismo el artista, el poeta o el moralista y obtener un éxito igual? ¿Por qué el artista no es capaz de decir «la puesta del Sol se hace ahora un poco más verde o púrpura: esto es necesario para que se conserve perfecta mientras la luz disminuye» o «la estrella aparecerá en el centro del creciente para una luna nueva, porque esto es lo más estético? Sabemos que tales predicciones carecen de valor alguno. La nube en el horizonte no se ajusta a los cánones del arte, sino que se mueve de acuerdo con ciertos conceptos matemáticos puros y la única manera de averiguar el instante de una puesta de Sol, es resolver el problema de encontrar qué orden de hechos hace mínimo un intervalo en un continuo.

El que la matemática se ajuste a la Naturaleza de un modo tan perfecto y único como la chinela al pie de la Cenicienta, debe de considerarse según James Jeans, como un excepcional descubrimiento de la Ciencia, que supone un conocimiento de la Naturaleza, que no había sido previsto por ninguna otra clase de razonamiento.

No podemos salir del paso diciendo que nos hemos limitado a moldear el pie para que se ajuste a la chinela, ya que anteriormente se habían probado muchas otras chinelas y en ninguna se había conseguido hacer entrar el pie con tanta perfección. Incluso durante siglos, la Ciencia ha proyectado sobre la Naturaleza diversas ideas mecanicistas, fácilmente comprensibles, sin que ello sirviera para explicar todos los aspectos fenomenológicos de la misma.

En consecuencia, la matemática es el último lenguaje de la realidad o el alfabeto del lenguaje de la Naturaleza, con el que sólo se pueden descubrir realidades asociadas con un concepto mental, que trabaja únicamente con el pensamiento como materia prima, sin que pueda atribuirle solamente el simple papel de comprensión de los fenómenos naturales.

La realidad creada por la física moderna, con el lenguaje primitivo de la matemática, está ciertamente muy distante de la realidad antigua. Pero el objeto de toda teoría del conocimiento sigue siendo

el mismo. Los ulteriores avances de la ciencia pueden revestir nuestras actuales abstracciones matemáticas, con nuevas vestiduras de realidad física y hasta es posible que con sustancia material. Quizá puedan restablecerse en la Naturaleza las propiedades mecánicas o bien que nuestro conocimiento del Universo permanezca siempre análogo; un conocimiento de nuestras percepciones, expresado por un grupo o conjunto de fórmulas o ideas matemáticas. En ese caso, puede haber o no una realidad no mental detrás de la forma; si la hay, por hoy se escapa, a nuestra capacidad científica, el poder imaginarla.

Analizando, ahora, los senderos por los cuales los científicos han logrado sus triunfos más espectaculares, los hemos visto abordar con un éxito creciente el descubrimiento e interpretación de fenómenos mecánicos, ópticos, electromagnéticos y termodinámicos; entrever, a veces con vértigo, la estructura de la materia, de la electricidad y de la luz, descubriendo átomos, fotones, electrones, ondas y corpúsculos. A su vez los técnicos, para interpretar la abundante cosecha de hechos experimentales, que aumentan sin cesar, oscila, en duda permanente, entre las representaciones figuradas de estos fenómenos en el cuadro del espacio y del tiempo y unas representaciones más abstractas, en que la realidad del mundo físico parece desvanecerse tras la rígida fachada de un puro formalismo matemático.

En todo caso, la ley y el orden que encontramos en el Universo se describen y explican más fácilmente en el lenguaje del idealismo mental, que con el puro mecanicismo. De esto es un claro ejemplo, tanto la «Teoría de la relatividad» establecida por Einstein, como la «Termodinámica de la vida» construida por Prigogine, dos premios Nobel comparables por su audacia mental imaginativa. En definitiva, los dos han considerado que como el comienzo del camino del que se han valido para explorar la Naturaleza es mental, las probabilidades son de que el final sea también mental. A esto hay que añadir que en el pensamiento científico moderno ha desaparecido casi todo lo que no es abstracción y nada nuevo se ha presentado que no esté originado en una concepción mentalmente elaborada de la Naturaleza.

Sin embargo, deseáramos que los hechos observados resultaran consecuencia lógica de nuestro concepto de la realidad. Sin la creencia de que es posible asir la realidad con nuestras construcciones teóricas, sin la creencia en la armonía interna de nuestro mundo, no podría existir la Ciencia. Pero como en el lienzo de Puvís de Chavannes, situado en la Sorbona y citado por de Broglie en uno de sus ensayos, la Humanidad, aunque aparece entregada en un círculo de luz a los más elevados gozes de la inteligencia, está rodeada por el límite tenebroso de un extenso bosque, lo que indica, simbólicamente, que a pesar de las grandes conquistas del pensamiento cien-

tífico, permanecemos aún rodeados por todas partes por el misterio de la realidad.

A través de todos los esfuerzos realizados, en cada una de las dramáticas luchas entre las concepciones viejas y nuevas, hemos ido haciendo retroceder sin cesar, y cada vez más rápidamente, los límites que nos impiden satisfacer el eterno anhelo de comprender el Universo, gracias a los golpes gigantescos, que, en cada momento estelar del pensamiento científico, se abatieron sobre el enorme muro que nos oculta la realidad. Por las grietas entreabiertas se filtra y llega ahora hasta nosotros un ligero rumor del misterio escondido y su armonía nos encanta y trasciende. El mundo nos parece entonces más sencillo, más coordinado, más unido.

Sin embargo la Ciencia no ha acabado su tarea. Todavía queda más de una «sima vedada a nuestra sonda», en el oscuro bosque del misterio, más de un obstáculo que derribar. Esperemos que a pesar de todas las dificultades que rodean el mundo moderno, oigamos ya en la gran caracola de la Historia, según frase de Rof Carballo, el alborear de un nuevo momento estelar, que confirme su optimista ilusión de que estos años que vivimos son el inicio de una de las épocas más gloriosas y prometedoras de la historia de la Humanidad.

BIBLIOGRAFÍA

- ARZELIES, H.: *Thermodynamique relativiste et quantique*. Ed. Gauthier-Villars, Paris, 1968.
- BROGLIE DE L.: *Une nouvelle théorie de la lumière: la mécanique ondulatoire du photon*. Ed. Herman, t. 1, 1940.
- — *Por los senderos de la Ciencia*. Ed. Espasa Calpe, Madrid, 1963.
- — *La Thermodynamique de la particule isolée*. Gauthier-Villars, Paris, 1964.
- — y ANDRADE E SILVA, J. L.: *La reinterprétation de la mécanique ondulatoire*. Ed. Gauthier-Villars, 1971.
- BROGLIE DE L.: *La physique nouvelle et les quanta*. Ed. Flammarion, 1973.
- CARNAP, R.: *Les fondements philosophiques de la physique*. Ed. Armand Colin, Paris, 1973.
- CARERI, G.: *Theoretical Physics and Biology*. Ed. M. Marois, Amsterdam, 1969.
- CECIL DAMPIER, W.: *Historia de la Ciencia*. Ed. Aguilar, 1941.
- CORRALES, J. A.: *Termodinámica de procesos irreversibles*. «Química Física», pág. 444. Ed. Aguilar, Madrid, 1974.
- CHAMBADAL: *Evolution et applications du concept d'entropie*. Ed. Dunod, 1963.
- EDDINGTON: *The mathematical theory of relativity*. Ed. Univer. Press., 1954.
- EIGEN, M.: *Selforganisation of Matter and the evolution of biological Macromolecules*. *Naturwissenschaften*, 58, 465, 1971.
- EINSTEIN, A. e INFELD, L.: *La física, aventura del pensamiento*. Ed. Losada, Buenos Aires, 1945.
- FERMI, E.: *Thermodynamique*. Ed. Dunod, 1967.

- PIERZ, M.: *Mecánica general*. Ed. Salvat, Barcelona, 1977.
- GLANSDORFF: *Thermodynamic Theory of Structure, Stability and Fluctuations*. Ed. John Wiley, New York, 1971.
- GROOT, DE: *Termodinámica de procesos irreversibles*. Ed. Alhambra, Madrid, 1967.
- GUESSONS, A.: *Thermodynamique relativiste*. Ed. Gauthier-Villars, París, 1970.
- HAASE, R.: *Thermodynamics of irreversible processes*. Ed. Adisson-Wesley, Reading, 1969.
- HEISENBERG, P. W.: *El hombre y el átomo. El descubrimiento de Planck*. Ed. Gauthier-Villars, París, 1963.
- — *La imagen de la Naturaleza en la Física actual*. Ed. Seix Barral, 1969.
- JACOB, F.: *La logique du vivant*. Ed. Gallimard, París, 1970.
- JANCEL, R.: *Les fondements de la mécanique statistique classique et quantique*. Ed. Gauthier Villars, París, 1963.
- JAMMER, M.: *Concept of mass in classical and modern physics*. Ed. University Press., Cambridge, 1961.
- JEANS, J.: *Nuevos fundamentos de la Ciencia*. Ed. Espasa Calpe, Madrid, 1944.
- KATCHALSKY, A. y OSTER, G.: *Proceedings of the Membrane Symposium*. Derke University, 1970.
- LAÍN ENTRALGO, P. y LÓPEZ PIÑERO, J. M.: *Panorama histórico de la Ciencia moderna*. Ed. Guadarrama, 1963.
- LAÍN ENTRALGO, P.: *Breve historia de la Medicina*. Ed. Salvat, 1977.
- LEHNINGER, A. L.: *Bioenergetics*. Ed. W. A. Benjamin, New York, 1965.
- LEITE LÓPEZ: *Electrodinámica cuántica*. Ed. Salvat, Barcelona, 1977.
- LWOFF: *L'ordre biologique*. E. Laffont, París, 1969.
- MADARIAGA, S. de: *La belleza y la Ciencia*. Discurso de ingreso en la Real Academia de la Lengua. Madrid, 1976.
- MAROIS, M.: *De la Physique theorique a la Biologie*. C. N. R. S., París, 1971.
- MC. CREA: *Relativity physics*. New York, 1960.
- MONOD, J.: *El azar y la necesidad*. Ed. Barral, Madrid, 1971.
- NAGEL, E.: *The Structure of Science*. Brace and World, New York, 1961.
- NORDMANN: *Einstein y el Universo*. Ed. Hachette, París, 1922.
- NEEDHAM, J.: *Orden and Life*. M. I. T. Press., Cambridge, Londres, 1968.
- OPARÍN, A. I.: *El origen de la vida*. Ed. Losada, Buenos Aires, 1945.
- ORTEGA Y GASSET: *Vicisitudes en las Ciencias. Meditación de la técnica*. Pág. 105. Revista de Occidente, Madrid, 1961.
- OTERO AENLE, *Orden y estabilidad en los sistemas biológicos*. Discurso de ingreso en la Real Academia de Farmacia. Madrid, 1973.
- — *Biofísica en medicina, ecología y sociología*. Discurso de ingreso en la Academia de Doctores, 1975.
- — *Físico-química*. Ed. L. A. E. F., Madrid, 1977.
- PAPP, D.: *Historia de la Física*. Ed. Espasa Calpe, 1945.
- PAULI, W.: *Theory of relativity*. Londres, 1958.
- PIAGET, T. y GARCÍA, R.: *Les explications causales*. Ed. Presses Universitaires, París, 1971.

- PIVETEAU, J. y DUROUX, P. E.: *L'evolution biologique ou l'anti-chaos*. Ed. Universitaires, París, 1972.
- PLANCK, A.: *Adonde va la Ciencia*. Ed. Losada, Buenos Aires, 1945.
- PRIGOGINE, I.: *Thermodynamique de la vie. La Recherche*. 24, 547, 1972.
- — *Termodinámica de los procesos irreversibles*. Ed. Selecciones Científicas, Madrid, 1974.
- — *La Termodinámica de la vida. Biología molecular*. Pág. 199, Ed. Blume, Madrid, 1976.
- PULLMANN y B. PULLMANN: *Quantum theory of Atoms and Molecules*. Ed. Acad. Press., 1966.
- RESNICK, R.: *Relatividad y teoría cuántica*. Ed. Salvat, Barcelona, 1977.
- — *Teoría de la relatividad especial*. Ed. Salvat, Barcelona, 1977.
- REYES CHUMACERO: *Termodinámica fenomenológica*. Ed. Salvat, Barcelona, 1977.
- RINDLER, W.: *Special relativity*. Ed. Oliver and Boyd, Edimburgo, 1960.
- ROF CARBALLO: *Dos caracolas*. A B C, 1977.
- RUEFF, J.: *Visión cuántica del Universo*. Ed. Guadarrama, 1968.
- ROSTAND, J. et TETZY, A.: Ed. Larousse, París, 1962.
- SARTON, G.: *La vida y la Ciencia*. Ed. Espasa Calpe, Madrid, 1952.
- SETLOW, R. D. y POLLARD, E. C.: *Molecular Biophysics*. Ed. Addison Wesley, Londres, 1965.
- STRATTON, J. A.: *Electromagnetic theory*. Ed. Graw-Hill, 1961.
- TONNELAT, M. A.: *Les principes de la theorie electromagnetique et de la relativite*. Ed. Masson, 1959.
- ZEMANSKY, M.: *Heat and Thermodynamics*. Mc. Graw-Hill, N. Y., 1969.