

Ilya Prigogine

El desorden creador
y otros textos



Biblioteca Virtual
OMEGALFA
2023

Se han reunido aquí nueve textos breves
recogidos de diversas webs por Internet

INDICE

El desorden creador	-3-
Tan sólo una ilusión	-9-
La última frontera	-21-
Filosofía de la inestabilidad	-27-
El universo y el tiempo	-42-
Redescubrimiento del tiempo	-53-
Qué es lo que no sabemos	-68-
Ciencia y azar entrevista	-96-
¿Nuevos paradigmas?	-104-

EL DESORDEN CREADOR |*|

Ilya Prigogine

Las opiniones sobre la noción de tiempo son, frecuentemente, variadas y contradictorias. Un físico dirá que ha sido introducida por Newton y que el problema que esa noción plantea ha sido globalmente resuelto. Los filósofos piensan de manera muy diferente: relacionan el tiempo con otras nociones, como el devenir y la irreversibilidad. Para ellos, el tiempo sigue siendo una interrogación fundamental. Me parece que esta divergencia de puntos de vista es la cesura más neta dentro de la tradición intelectual occidental. Por un lado, el pensamiento occidental ha dado nacimiento a la ciencia y, por consiguiente, al determinismo; por otro lado, este mismo pensamiento ha aportado el humanismo, que nos remite, más bien, hacia las ideas de responsabilidad y creatividad.

Filósofos como Bergson o Heidegger han planteado que el tiempo no incumbe a la física, sino a la metafísica. Para ellos, el tiempo pertenece claramente a un registro diferente, sobre el que la ciencia no tiene nada que decir. Pero estos pensadores disponían de menos herramientas teóricas de las que tenemos hoy.

Personalmente, considero que el tiempo brota de lo complejo. Un ladrillo del paleolítico y un ladrillo del siglo XIX son idénticos, pero las edificaciones de las que formaban parte no tienen nada en común: para ver aparecer el tiempo hay que

*Fuente: [Ciencia Popular](#)

tomar en consideración el todo.

El no-equilibrio, fuente de estructura

Los trabajos que he realizado hace una treintena de años han demostrado que el no-equilibrio es generador de tiempo, de irreversibilidad y construcción. Hasta entonces, durante el siglo XIX y gran parte del XX, los científicos se habían interesado, sobre todo, en los estados de equilibrio. Después han comenzado a estudiar los estados cercanos al equilibrio. Así, han evidenciado el hecho de que, desde el momento en que se produce un pequeño alejamiento del equilibrio termodinámico, se observa la coexistencia de fenómenos de orden y fenómenos de desorden. No se puede, por tanto, identificar irreversibilidad y desorden.

El alejamiento del equilibrio nos reserva sorpresas. Nos damos cuenta de que no se puede prolongar lo que hemos aprendido en estado de equilibrio. Descubrimos nuevas situaciones, a veces más organizadas que cuando hay equilibrio: se trata de lo que yo llamo puntos de bifurcación ⁽¹⁾, soluciones a ecuaciones no lineales. Una ecuación no lineal admite frecuentemente varias soluciones: el equilibrio o la proximidad al equilibrio constituye una solución de esa ecuación, pero no es la única solución.

Así, el no-equilibrio es creador de estructuras, llamadas disipativas porque sólo existen lejos del equilibrio y reclaman para sobrevivir una cierta disipación de energía y, por tanto, el mantenimiento de una interacción con el mundo exterior. Al igual que una ciudad que solamente existe en cuanto que funciona y mantiene intercambios con el exterior, la

¹ Los puntos de bifurcación son puntos singulares que corresponden a cambios de fase en el no-equilibrio.

estructura disipativa desaparece cuando deja de ser "alimentada".

Ha sido muy sorprendente descubrir que, lejos del equilibrio, la materia tiene propiedades nuevas. También asombra la variedad de los comportamientos posibles. Las reacciones químicas oscilantes son una buena muestra de ello. Por ejemplo, el no-equilibrio conduce, entre otras cosas, a fenómenos ondulatorios, en los que lo maravilloso es que están gobernados por leyes extremadamente coherentes. Estas reacciones no son patrimonio exclusivo de la Química: la hidrodinámica o la óptica tienen sus propias particularidades.

***En el equilibrio, la materia es ciega;
lejos del equilibrio la materia ve***

Finalmente, las situaciones cercanas al equilibrio están caracterizadas por un mínimo de alguna cosa (energía, entropía, etc.), al que una reacción de pequeña amplitud las hace retornar si se alejan un poco de él. Lejos del equilibrio, no hay valores extremos. Las fluctuaciones ya no son amortiguadas. En consecuencia, las reacciones observadas lejos del equilibrio se distinguen con más nitidez, y por tanto, son mucho más interesantes. En el equilibrio, la materia es ciega, mientras que lejos del equilibrio la materia capta correlaciones: la materia ve. Todo esto conduce a la paradójica conclusión de que el no-equilibrio es fuente de estructura.

El no-equilibrio es un *interface* entre ciencia pura y ciencia aplicada, aunque las aplicaciones de estas observaciones a la tecnología estén solamente en sus inicios. Actualmente, empieza a comprenderse que la vida es, probablemente, el resultado de una evolución que se dirige hacia sistemas cada vez más complejos. Es cierto que no se conoce exactamente el

mecanismo que ha producido la primeras moléculas capaces de reproducirse. La naturaleza utiliza el no-equilibrio para sus estructuras más complejas. La vida tiene una tecnología admirable, que muy frecuentemente no llegamos a comprender.

Pensar en términos de probabilidades, no de trayectorias

El no-equilibrio no puede ser formalizado a través de ecuaciones deterministas. En efecto, las bifurcaciones son numerosas y, cuando se repiten las experiencias, el camino seguido no es siempre el mismo. Por tanto, el fenómeno es determinista *entre* las bifurcaciones, pero es totalmente aleatorio *en* las bifurcaciones. Entra en directa contradicción con las leyes de Newton o de Einstein, que niegan el indeterminismo. Evidentemente, esta contradicción me ha preocupado mucho. ¿Cómo superarla? La actual teoría dinámica nos ofrece herramientas particularmente interesantes al respecto.

Contrariamente a lo que pensaba Newton, ahora se sabe que los sistemas dinámicos no son todos idénticos. Se distinguen dos tipos de sistemas, los sistemas estables y los sistemas inestables. Entre los sistemas inestables, hay un tipo particularmente interesante, asociado con el caos determinista. En el caos determinista, las leyes microscópicas son deterministas pero las trayectorias toman un aspecto aleatorio, que procede de la "sensibilidad a las condiciones iniciales": la más pequeña variación de las condiciones iniciales implica divergencias exponenciales. En un segundo tipo de sistemas, la inestabilidad llega a destruir las trayectorias (sistemas no integrables de Poincaré). Una partícula ya no tiene una trayectoria única, sino que son posibles diferentes trayectorias, cada una de ellas sujeta a una probabilidad.

Agruparemos estos sistemas bajo el nombre de caos. ¿Cómo tratar este mundo inestable? En vez de pensar en términos de trayectorias, conviene pensar en términos de probabilidades. Entonces, se hace posible realizar predicciones para grupos de sistemas. La teoría de caos es algo semejante a la mecánica cuántica. Es necesario estudiar en el ámbito estadístico las funciones propias del operador de evolución (hacer su análisis espectral correspondiente). En otros términos, la teoría del caos debe formularse a nivel estadístico, pero esto significa que la ley de la naturaleza toma un nuevo significado. En lugar de hablar de certidumbre, nos habla de posibilidad, de probabilidad.

La flecha del tiempo es, simultáneamente, el elemento común del universo y el factor de distinción entre lo estable y lo inestable, entre lo organizado y el caos. Para ir más lejos en esta reflexión, es necesario extender los métodos de análisis de la física cuántica, especialmente saliendo del espacio euclideo (el espacio de Hilbert, en sentido funcional) en cuyo seno está definida. Afortunadamente, matemáticos franceses, ante todo Laurent Schwartz, han descrito una nueva matemática, que permite aprehender los fenómenos de caos y describirles en el ámbito estadístico.

Pero el caos no explica todo. La historia y la economía son inestables: presentan la apariencia del caos, pero no obedecen a leyes deterministas subyacentes. El simple proceso de la toma de decisión, esencial en la vida de una empresa, recurre a tantos factores desconocidos que sería ilusorio pensar que el curso de la historia puede modelizarse por medio de una teoría determinista.

El segundo tipo de sistemas inestables evocados más arriba es conocido bajo la denominación de sistemas de Poincaré. Los fenómenos de resonancia juegan en ellos un papel funda-

mental, pues el acoplamiento de dos fenómenos dinámicos da lugar a nuevos fenómenos dinámicos. Estos fenómenos pueden ser incorporados en la descripción estadística y pueden conducir a diferencias con las leyes de la mecánica clásica newtoniana o la mecánica cuántica. Estas diferencias se ponen de manifiesto en los sistemas en los que se producen colisiones persistentes, como los sistemas termodinámicos. La nueva teoría demuestra que se puede tender un puente entre dinámica y termodinámica, entre lo reversible y lo irreversible.

La inestabilidad no debe conducirnos al inmovilismo

Nos encontramos en un período "bisagra" de la ciencia. Hasta el presente, el pensamiento ponía el acento sobre la estabilidad y el equilibrio. Ya no es así. El propio Newton sospechó la inestabilidad del mundo, pero descartó la idea porque la encontró insoportable. Hoy, somos capaces de apartarnos de los prejuicios del pasado. Debemos integrar la idea de inestabilidad en nuestra representación del universo. La inestabilidad no debe conducir al inmovilismo. Al contrario, debemos estudiar las razones de esta inestabilidad, con el propósito de describir el mundo en su complejidad y comenzar a reflexionar sobre la manera de actuar en este mundo. Karl Popper decía que existe la física de los relojes y la física de las nubes. Después de haber estudiado la física de los relojes, ahora debemos estudiar la física de las nubes.

La física clásica estaba fundada sobre un dualismo: por un lado, el universo tratado como un autómatas; por otro lado, el ser humano. Podemos reconciliar la descripción del universo con la creatividad humana.

*TAN SÓLO UNA ILUSIÓN**

Ilya Prigogine¹

1.

Empezaré con una anécdota del joven Werner Heisenberg^[2], en cierta ocasión, cuando paseaba con Niels Bohr durante una visita al castillo de Kronberg^[3]. Heisenberg pone en boca de Bohr la siguiente reflexión:

«¿No es extraño cómo cambia este castillo al recordar que Hamlet vivió en él? Como científicos, creemos que un castillo es una simple construcción de piedra y admiramos al arquitecto que lo proyectó. Las piedras, el tejado verde con su pátina, las tallas de la capilla, es lo que forma el castillo. Nada debería cambiar por el hecho de que Hamlet viviera en él y, sin embargo, cambia totalmente. De pronto, muros y almenas hablan otro lenguaje... Y, en definitiva, de Hamlet sólo sabemos que su nombre figura en una crónica del siglo XIII... pero

* Fuente: <http://www.upv.es/laboluz/rev/rev-2/prigo.htm>

¹ Conferencias Tanner en la Jawaharlal Nehru University, Nueva Delhi, 18 de diciembre de 1982.

² Werner Karl Heisenberg (1901-1979). Fue uno de los fundadores de la mecánica cuántica, autor del célebre principio de incertidumbre que lleva su nombre. Premio Nobel de Física 1932.

³ Gordon Mills, Hamlet's Castle, University of Texas Press, Austin, Texas, 1976.

nadie ignora los interrogantes que Shakespeare le atribuye, los arcanos de la naturaleza humana que con él nos abre, y para ello tenía que situarle en un lugar al sol, aquí en Kronberg».

Esta historia plantea sin más una cuestión tan vieja como la humanidad: *el significado de la realidad*.

Cuestión indisociable de otra: *el significado del tiempo*. Para nosotros, tiempo y existencia humana, y en consecuencia, la realidad, son conceptos indisociables. Pero ¿lo son necesariamente? Citaré la correspondencia entre Einstein y su viejo amigo Besso^[4]. En sus últimos años, Besso insiste constantemente en la cuestión del tiempo. ¿Qué es el tiempo, qué es la irreversibilidad? Einstein, paciente, no se cansa de contestarle, la irreversibilidad es una ilusión, una impresión subjetiva, producto de condiciones iniciales excepcionales.

La correspondencia quedaría interrumpida por la muerte de Besso, unos meses antes que Einstein. Al producirse el óbito, Einstein escribió en una emotiva carta a la hermana y al hijo de Besso:

«Michele se me ha adelantado en dejar este extraño mundo. Es algo sin importancia. Para nosotros, físicos convencidos, la distinción entre pasado, presente y futuro es solo una ilusión, por persistente que ésta sea.»

«Sólo una ilusión»... Debo confesar que la frase me impresionó enormemente. Creo que expresa de un modo excepcionalmente notable el poder simbólico de la mente.

En realidad, Einstein, en la carta, no hacía más que reiterar lo que Giordano Bruno escribiera en el siglo XIV y que, durante

⁴ Einstein-Besso. Correspondence, Ed. P. Speziali, Herman, París 1972.

siglos, sería el credo de la ciencia^[5]:

«El universo es, por lo tanto, uno, infinito e inmóvil. Una, digo; es la posibilidad absoluta, uno el acto, una la forma del alma, una la materia o el cuerpo, una la cosa, uno el ser, uno lo máximo y lo óptimo, lo que no admite comprensión y, aun, eterno e interminable, y por eso mismo infinito e inacabable y, consecuentemente, inmóvil. No tiene movimiento local, porque nada hay fuera de él que pueda ser trasladado, entendiéndose que es el todo. No tiene generación propia, ya que no hay otra cosa en la que pueda desear o buscar, entendiéndose que posee todos los seres. No es corruptible, ya que no hay otra cosa en la que pueda tornarse, entendiéndose que él es toda cosa. No puede disminuir ni aumentar, entendiéndose que es infinito, y, por consiguiente, aquello a nada puede añadirse y nada abstraerse, ya que el universo no tiene partes proporcionales. No es alterable en ninguna otra disposición, porque no tienen nada externo por lo que pueda surgir y a través de lo cual pueda ser afectado».

Durante mucho tiempo la concepción de Bruno dominaría el pensamiento científico de Occidente, del que se derivaría el concepto mecanicista del mundo con sus dos elementos básicos ^[6]:

- a) sustancias inmutables, átomos, moléculas o partículas elementales;
- b) locomoción. Naturalmente, con la teoría cuántica se produjeron muchos cambios, y volveremos a ello, pero, aun así, perviven hoy día no pocos rasgos básicos de semejante concepción. Entonces, ¿cómo entender esa naturaleza sin

⁵ G. Bruno, "De la causa", Opere Italiane, 5º diálogo, I. Bari, 1907.

⁶ I. Leclerc, The Nature of Physical Existence, George Allen and Unwin Ltd., Londres, 1972.

tiempo que excluye al hombre de la realidad que describe? Como ha puesto de relieve Carl Rubino, La *Ilíada* de Homero gira en torno al problema del tiempo. Aquiles parte en busca de algo permanente e inmutable, «pero la enseñanza de La *Ilíada*, amarga lección que el héroe Aquiles aprende demasiado tarde, es que sólo se logra tal perfección a costa de la humanidad del individuo: éste tiene que perder la vida para acceder a ese plano de gloria. Para los seres humanos, hombres y mujeres, para nosotros, ser inmutables, estar exentos de cambio, tener seguridad total y permanecer inmunes a los veleidosos altibajos de la vida, sólo es factible al dejar este mundo, al morir, o al convertirnos en dioses. Horacio nos dice que los dioses son los únicos seres que llevan una vida sin riesgos, exenta de angustia y cambio» [7].

La *Odisea* representa el contrapunto dialéctico de La *Ilíada*[8]. Odiseo puede elegir, y su fortuna es poder optar entre la eterna juventud y la inmortalidad, siendo para siempre amante de Calipso, o el regreso a la humanidad y, en definitiva, a la vejez y a la muerte. Sin embargo, elige el tiempo por la eternidad, el destino humano por el destino de los dioses.

Sigamos con la literatura, pero más próximos a nuestra época. Paul Valéry, [*Cimetière marin*], describe la lucha del hombre que se enfrenta al tiempo duración que, ilimitada, se extiende ante nosotros. En sus *Cahiers*[9] -esa serie de volúmenes de notas que el poeta solía redactar al amanecer-, vuelve una y otra vez sobre el problema del tiempo: Tiempo, ciencia por

⁷ Carl Rubino, *Winged Chariots and black Holes: some Reflexions on Science and Literature*, manuscrito.

⁸ J. P. Vernant, "Le refus d'Ulisse", *Le temps de la reflexion*, III, 1982.

⁹ P. Valéry, *Cahiers*, I. *Bibliothèque de la Pléiade*. Ed. Gallimard, 1973; *Cahiers*, II, idem, 1974.

construir. Hay en Valéry un profundo sentimiento por lo inesperado; ¿por qué las cosas suceden así? Está claro que no podrían satisfacer a Valéry simples explicaciones como los esquemas que implican un determinismo universal en el que se da por supuesto que en cierto modo todo está dado. Escribe Valéry:

«El determinismo -sutil antropomorfismo- dice que todo sucede como en una máquina, tal como yo la concibo. Pero toda ley mecánica es, en el fondo, irracional, experimental» (...) «El significado del término determinismo es tan vago como el de la palabra libertad» (...) «El determinismo riguroso es profundamente deísta. Ya que haría falta un dios para percibir esa absoluta concatenación infinita. Hay que imaginar a un dios, un cerebro de dios para imaginar tal lógica. Es un punto de vista divino. De manera que al dios atrincherado en la creación del universo lo restablece la comprensión de ese universo. Se quiera o no, el pensamiento determinista contiene necesariamente a un dios -y es una cruel ironía».

La observación de Valéry es importante, y volveré a ella. El determinismo sólo es concebible para un observador situado fuera del mundo, cuando lo que nosotros describimos es el mundo desde dentro.

Esta preocupación de Valéry por el tiempo no es un fenómeno aislado a comienzos de nuestro siglo. Podemos citar, sin orden ni concierto, a Proust, Bergson^[10], Teilhard, Freud, Pierce o Whitehead^[11].

Como hemos dicho, el veredicto de la ciencia parecía inapelable. A pesar de ello, una y otra vez se formulaba la pregunta

¹⁰ H. Bergson (1859-1941), filósofo francés. "L'élan vital" y "la durée" son los conceptos más importantes introducidos por él.

¹¹ A.N.Whitehead (1861-1947), filósofo neorealista inglés.

¿cómo es así? ¿Debemos realmente elegir dramáticamente entre la realidad atemporal que conduce a la alienación humana y a la afirmación del tiempo que parece desafiar la racionalidad científica?

Casi toda la filosofía europea desde Kant a Whitehead se nos muestra como un intento de superar de una u otra forma el imperativo de esta elección. No podemos entrar en detalles, pero resulta evidente que la distinción kantiana entre el mundo del numen y el mundo del fenómeno fue un paso en este sentido, del mismo modo que el concepto de Whitehead sobre la filosofía del proceso. Ninguno de estos intentos ha alcanzado un éxito definitivo. Como consecuencia, hemos asistido a una decadencia progresiva de la «filosofía de la naturaleza». Estoy totalmente de acuerdo con Leclerc cuando dice:

«En el siglo actual, sufrimos las consecuencias del divorcio entre ciencia y filosofía que siguió al triunfo de la física newtoniana en el siglo XVIII. Y no es sólo el diálogo entre ciencia y filosofía el que se ha resentido».

Esta es una de las raíces de la dicotomía en “dos culturas”. Existe una oposición irreductible entre la razón clásica, que es una visión atemporal, y nuestra existencia, con la consiguiente interpretación del tiempo a modo del torbellino descrito por Nabokov en *Mira los arlequines*^[12].

Pero algo realmente espectacular está sucediendo en la ciencia, algo tan inesperado como el nacimiento de la geometría y la grandiosa visión del cosmos, expresada en la obra de Newton. Poco a poco, somos cada vez más conscientes del hecho de que, a todos los niveles, desde las partículas elementales hasta la cosmología, la ciencia redescubre el tiempo.

¹² V. Nabokov, *Mira los arlequines*, Ed. Edhasa, Barcelona, 1980.

Aún estamos inmersos en el proceso de reconceptualización de la física y todavía no sabemos adónde nos llevará. Pero sin duda se abre con él un nuevo capítulo del diálogo entre el hombre y la naturaleza. En esta perspectiva, el problema de la relación entre ciencia y valores humanos, el tema central de este ciclo de Conferencias Tanner, puede contemplarse desde una nueva óptica.

Un diálogo entre ciencias naturales y ciencias humanas, incluidas arte y literatura, puede adoptar una orientación innovadora y quizá convertirse en algo tan fructífero como lo fuera durante el período griego clásico o durante el siglo XVII con Newton y Leibniz.

2

Para entender los cambios que se avecinan en nuestra época, puede servirnos efectuar un balance previo de la herencia científica del siglo XIX. Considero que este legado contenía dos contradicciones básicas o, cuando menos, dos cuestiones básicas que quedaron sin respuesta.

Como es sabido, el siglo XIX fue fundamentalmente el siglo del evolucionismo. Baste con citar los trabajos de Darwin en biología, de Hegel en filosofía o formulación en física de la famosa ley de la entropía.

Empecemos por Darwin, de cuya muerte se cumple este año el centenario. Aparte de la importancia de *El origen de las especies*, publicado en 1859, en el ámbito estricto de la evolución biológica, existe un elemento general implícito en el

enfoque darwiniano que quiero poner de relieve^[13]. En su concepción, se combinan dos elementos: por un lado, la asunción espontánea de fluctuaciones en las especies biológicas, las que posteriormente, merced a la selección del medio, conducen a la evolución biológica irreversible. Por lo tanto, su modelo combina dos elementos que mencionaremos con frecuencia: la idea de fluctuaciones o azar, de procesos estocásticos y la idea de evolución, de irreversibilidad. Pongamos de relieve que, a nivel biológico, de esta asociación resulta una evolución que corresponde a una complejidad creciente y a la autoorganización.

Es totalmente lo contrario al significado que generalmente se atribuye a la ley de aumento de entropía, tal como la formuló Clausius en 1865. El elemento básico en dicha ley es la distinción entre procesos reversibles e irreversibles. Los procesos reversibles ignoran una dirección privilegiada del tiempo. Piénsese en un muelle que oscila en un medio libre de fricción o en el movimiento planetario. Por el contrario, los procesos irreversibles implican una flecha temporal. Si juntamos dos líquidos, tienden a mezclarse, pero esta mezcla no se observa como un proceso espontáneo. Toda la química se basa en procesos irreversibles. Esta distinción se halla contenida en la formulación de la segunda ley, que postula la existencia de una función, la entropía (entropía, en griego, significa evolución), que, en un sistema aislado, sólo puede aumentar debido a la presencia de procesos irreversibles, mientras que se mantiene constante durante los procesos reversibles. Por lo tanto, en un sistema aislado, la entropía alcanza al final un valor máximo cuando el sistema llega al equilibrio y cesa el proceso irreversible.

¹³ M. Peckham, Ch. Darwin, *The Origin of Species*, in the *Variorum Text*, University of Pennsylvania. Philadelphia, 1959.

El trabajo de una vida de uno de los más grandes físicos teóricos de todos los tiempos, Ludwig Boltzmann, fue hacer la primera interpretación microscópica de este aumento de entropía. Estudió la teoría cinética de los gases, convencido de que el mecanismo de cambio, de «evolución» se describiría en términos de colisión molecular. Su principal conclusión fue que la entropía S está estrechamente relacionada con la probabilidad P . Todos han oído hablar de la célebre fórmula:

$$S = k \ln P$$

grabada en la lápida de Boltzmann tras su trágico suicidio en 1906. En ella, k es una constante universal a la que Planck asoció el nombre de Boltzmann. De igual modo que en el caso de Darwin, evolución y probabilidad, azar, están estrechamente relacionados. Sin embargo, el resultado de Boltzmann es distinto al de Darwin, e incluso contradictorio. La probabilidad alcanza el máximo cuando se llega a la uniformidad. Piénsese en un sistema constituido por dos recipientes que se comunican por un pequeño orificio. Es evidente que el equilibrio se alcanza cuando en cada compartimento hay igual número de partículas. Por lo tanto, la aproximación al equilibrio corresponde a la destrucción de condiciones iniciales prevalentes, al olvido de las estructuras primitivas; contrariamente al enfoque de Darwin, para quien evolución significa creación de nuevas estructuras.

Por lo tanto, con esto, volvemos a la primera cuestión, a la primera contradicción heredada del siglo XIX: ¿cómo pueden tener razón a la vez Boltzmann y Darwin? ¿Cómo podemos describir a la vez la destrucción de estructuras y los procesos que implican autoorganización?

Sin embargo, como he señalado antes, ambos procesos

contienen elementos comunes: la idea de probabilidad (expresada en la teoría de Boltzmann en términos de colisiones entre partículas) y de irreversibilidad que se desprende de esta descripción probabilística. Antes de explicar cómo tanto Boltzmann como Darwin tienen razón, veamos en que consiste la segunda contradicción.

3

Entramos ahora en una problemática mucho más arraigada que la oposición entre Boltzmann y Darwin. El prototipo de la física clásica es la mecánica clásica, el estudio del movimiento, la descripción de trayectorias que trasladan un punto de la posición A a la posición B. Una de las propiedades básicas de la descriptiva dinámica es su carácter reversible y determinista. Dadas unas condiciones iniciales apropiadas, podemos predecir con exactitud la trayectoria. Además, la dirección del tiempo no desempeña papel alguno. Predicción y retropredicción son idénticas. Por lo tanto, en el nivel dinámico fundamental no parece existir lugar para el azar ni la irreversibilidad. Hasta cierto punto, la situación es la misma en física cuántica. En ella, no se habla de trayectorias, sino de funciones de ondas. También aquí la función de onda evoluciona con arreglo a leyes reversibles deterministas.

Como consecuencia, el universo aparece como un vasto autómatas. Ya hemos mencionado que, para Einstein, el tiempo, en el sentido de tiempo direccional, de irreversibilidad, era una ilusión. En términos bastante generales, la actitud clásica en relación con el tiempo era una especie de desconfianza, como puede comprobarse en numerosos libros y publicaciones. Por ejemplo, en su monografía, *The ambidextrous Universe*, Martin Gardner dice que la segunda ley únicamente hace

improbables ciertos procesos, pero no imposibles. En otras palabras, la ley de aumento de entropía sólo se referiría a una dificultad práctica sin fundamento profundo.

De igual modo, en su famoso libro *El azar y la necesidad*, Jacques Monod^[14] expone la tesis de que la vida es un simple accidente en la historia de la naturaleza. Es decir, sería un tipo de fluctuación que, por algún motivo no muy claro, es capaz de mantenerse.

Es cierto que, independientemente de nuestra apreciación final de estos complejos problemas, el universo en que vivimos posee un carácter plural y complejo. Desaparecen estructuras, como en los procesos de difusión, pero aparecen otras estructuras, como en biología y, con mayor claridad aun, en los fenómenos sociales. Por lo que sabemos, algunos fenómenos están adecuadamente descritos por ecuaciones deterministas como sucede con los movimientos planetarios, pero otros, como la evolución biológica, implican procesos estocásticos. Incluso un científico convencido de la validez de estas descripciones deterministas dudaría seguramente en inferir que, desde el momento primigenio de la Gran Explosión cósmica, esta conferencia estaba ya escrita en las leyes de la naturaleza.

¿Cómo superar, entonces, la aparente contradicción entre estos conceptos? Vivimos en un universo único. Como veremos, comenzamos a apreciar el significado de estos problemas; se empieza a ver que la irreversibilidad, la vida, están inscritas en las leyes básicas, incluso a nivel microscópico. Además la importancia que atribuimos a los diversos fenómenos que observamos y describimos es bastante distinta, yo diría incluso que opuesta, a lo que sugiere la física clásica. En ella, como dije, los procesos básicos se consideraban deterministas y

¹⁴ J.Monod, *El azar y la necesidad*, Ed. Tusquets. Barcelona 1981.

reversibles.

Los procesos que implican azar o irreversibilidad eran considerados excepciones, meros artefactos. Hoy, vemos por doquier el papel de los procesos irreversibles, de las fluctuaciones. Los modelos considerados por la física clásica nos parecen corresponder únicamente a situaciones límite que nosotros podemos crear artificialmente, como es el ejemplo de introducir materia en un recipiente y esperar que alcance el equilibrio.

Lo artificial es determinista y reversible. Lo natural contiene elementos esenciales de azar e irreversibilidad. Esto llama a una nueva visión de la materia en la que ésta ya no sea pasiva como la descrita en el mundo del concepto mecánico, sino asociada a actividad espontánea. Este cambio es tan profundo que creo que podemos hablar con justicia de un nuevo diálogo del hombre con la naturaleza. ■

Ilya Prigogine

En este siglo, el mundo ha experimentado la mayor expansión de su población y de su capacidad productiva hasta la fecha, lo cual ha supuesto una expansión de envergadura de todas las actividades humanas.

Otro elemento es la reafirmación de los pueblos no europeos del mundo. En todos los campos, tenemos que superar tradicionales perspectivas eurocéntricas. En el siglo XIX también presenciábamos la fragmentación de las ciencias humanas en economía, ciencias políticas y sociología. Ahora, parece evidente que tenemos que superar estas barreras. Además, se han puesto en duda las ideologías tradicionales en todos los ámbitos. La humanidad es una época de transición. En este breve artículo, quiero subrayar que la ciencia también es una época de transición. En este sentido, también tenemos que superar el punto de vista eurocéntrico y la fragmentación heredada del pasado.

Muchos historiadores coinciden en que la visión teológica según la cual Dios era concebido como legislador omnipresente desempeñó un papel esencial en el nacimiento de la ciencia occidental predominante desde el siglo XVII.

El modelo de la ciencia fue la física newtoniana, en la que hay una completa simetría entre pasado y futuro. Esta era una

* Fuente: El País, 20 mayo 1996 pag. 329/30.

visión casi teológica: igual que Dios, no necesitamos distinguir entre pasado y futuro, también como el, podemos alcanzar certezas. Por consiguiente, el descubrimiento de las leyes deterministas de la naturaleza, ya sean las leyes de la física clásica de Newton o la física cuántica de Schrodinger, acerca el conocimiento humano al punto de vista divino y atemporal.

Pero este concepto del mundo como autómeta llevo al dualismo que todavía invade la cultura occidental.

Como reconciliar el punto de vista newtoniano con la experiencia humana?

Este es el origen de las dos culturas descritas por Snow. El concepto de una naturaleza pasiva sometida a leyes deterministas y reversibles en el tiempo es bastante específica del mundo occidental.

En China y Japón, naturaleza significa lo que es por sí mismo. Importantes científicos japoneses como H. Yukawa siempre se sintieron extrañados a la hora de enfrentarse al punto de vista occidental sobre la naturaleza.

En octubre de 1944, apareció un número extraordinario de *Scientif American* dedicado a la vida en el universo. En todos los niveles, ya sea en cosmología, química, biología o en las sociedades humanas, vemos inestabilidades, fluctuaciones y evolución.

Quien habría sonado a principios de este siglo con que la mayor parte de las partículas elementales son inestables, con que nuestro universo tiene una historia?

La ciencia también se encuentra en periodo de transición. Pasamos del punto de vista geométrico clásico a una descripción de la naturaleza en la que el elemento narrativo es esencial. La naturaleza nos cuenta una historia.

Pero esto exige nuevas herramientas, nuevos puntos de vista sobre el espacio y el tiempo. Creo que empezamos a ver la dirección en la que tenemos que ser capaces de incluir estos nuevos aspectos narrativos en nuestra descripción fundamental de naturaleza.

Un campo de estudio relevante es la física del no equilibrio. Cerca del equilibrio, un sistema es estable -un ejemplo sencillo es un péndulo de fricción-. Cuando lo tocas, vuelve al estado de energía potencial mínima, que es su estado de equilibrio. Pero, en muchos campos, ya sea la química o el estudio de los fluidos, nos interesan las condiciones de no equilibrio.

Hay fuerzas que impiden que el sistema alcance el equilibrio. Un ejemplo sencillo es la ecosfera. La radiación solar impide que alcance el equilibrio.

El punto importante es que lejos del equilibrio, ya no existe ninguna garantía de que el sistema vuelva a su estado inicial cuando se le toca. Por el contrario, el sistema empieza a explorar nuevas estructuras, nuevas clases de organizaciones espacio- tiempo que yo llamo estructuras de dispersión. Aparece una nueva cohesión que lleva, por ejemplo, a propiedades semejantes a las de las ondas, como las que se aprecian en las reacciones químicas oscilantes. En estas, todas las moléculas se vuelven azules a la vez y después todas se vuelven rojas, y así sucesivamente.

Esto es sorprendente porque, para ver este cambio de color, hacen falta procesos de cohesión que implican miles de millones de partículas.

A menudo, describo este comportamiento diciendo que la materia cerca del equilibrio esta ciega: cada partícula solo puede ver a sus vecinas. Sin embargo lejos del equilibrio, hay correlaciones de largo alcance que son esenciales para construir nuevas estructuras.

La vida sería imposible sin estos procesos de no equilibrio. Ahora, incluso podemos ir más lejos y clarificar la imagen atómica o molecular que lleva a estos fenómenos.

La física tradicional centraba la investigación en trayectorias individuales (o funciones de onda en la teoría cuántica). Ahora, tenemos que recurrir a las poblaciones. Las poblaciones de trayectorias adquieren nuevas propiedades. En este sentido, una vez más, el total es mayor que la suma de las partes. En el nivel de las poblaciones surge la distinción entre pasado y futuro, la flecha del tiempo. Pero entonces las leyes de la naturaleza ya no hablan de certezas sino de posibilidades.

Desde el amanecer de la racionalidad, los filósofos han discutido la imagen de la naturaleza en la que estamos inmersos.

Somos, como imagino acertadamente K. Popper, espectadores de una película que se hizo de una vez para siempre? Nosotros no sabemos quién será el asesinado ni quien será el asesino. Pero el productor sí' lo sabe. O estamos en un mundo en el que el futuro no ha sido dado, en el que el futuro es una construcción que siempre está en marcha?

Creo que los últimos avances a los que he hecho referencia demuestran que la segunda idea es la correcta. Pero eso significaría que ahora podemos vencer el dualismo al que me he referido antes.

Esto reduce la distinción entre las ciencias puras, con su pretensión de certeza, y las ciencias humanas, con sus límites a la previsibilidad. Esta reducción de contradicciones no implica, como ocurrió a menudo en los intentos de unificación emprendidos en el pasado, una concepción de las humanidades como mecánicas, sino más bien una concepción de la naturaleza como activa y creativa.

En este sentido, esta formulación de la ciencia va más allá del punto de vista eurocéntrico y lleva un mensaje más universal y más aceptable a otras culturas.

También creo que el paso de un punto de vista determinista a otro que reconozca el papel central de la probabilidad y la irreversibilidad va asociado a un punto de vista más optimista sobre la naturaleza y sobre el papel de los seres humanos.

En un momento dado, Einstein plantea la intrigante pregunta de quién debería hacer ciencia. Su respuesta fue la gente a quien no le gusta vivir en ambientes muy poblados, la gente a quien le gusta ir a las montañas altas para disfrutar del aire fresco y estar en armonía con la naturaleza. Para Einstein, el principal representante de la ciencia clásica, esta era la manera de trascender a la tragedia del tiempo.

Einstein vivió en un momento histórico difícil, marcado por las guerras y el antisemitismo. Para él, la ciencia era una forma de escapar a las desgracias de la historia.

Sigue siendo ese el papel de la ciencia? No consiste el papel de la ciencia actualmente en limpiar las ciudades contaminadas más que en escapar a las montañas?

Cuál es entonces el papel de la ciencia en la actualidad?

Permítanme terminar con un comentario muy utópico y también muy personal. Siempre me han interesado las civilizaciones neolíticas. Cuando las civilizaciones neolíticas evolucionaron y se convirtieron en civilizaciones históricas, tuvo lugar no solo la aparición del gran arte, sino también la división del trabajo y un aumento de la violencia y la desigualdad. Esto queda de manifiesto en la naturaleza de las tumbas. En tiempos neolíticos, había las mismas tumbas para todo el mundo. Comparen esta uniformidad con las pirámides de los faraones

o las cámaras mortuorias de los emperadores de China de tiempos históricos.

En cierto sentido, la civilización siempre ha estado marcada por un doble aspecto: crear valores que son beneficiosos pero que parecen haber sido posibilitados únicamente por el establecimiento de un sistema de violencia sistemática. Este problema no se ha solucionado todavía.

Espero, y no dependerá únicamente de la ciencia, que gracias a la ciencia y gracias al perfeccionamiento de las comunicaciones podamos construir un mundo que muestre menos desigualdad, menos violencia inherente y que, al mismo tiempo, conserve las ventajas de la civilización.

Ilya Prigogine
Físico, químico y profesor de la
Universidad Libre de Bruselas.
Premio Nobel de Química
en 1977.

Prigogine, Ilya

El término “inestabilidad” ha tenido un destino singular. Ha alcanzado amplia utilización hace poco tiempo y se utiliza con un matiz negativo, además por lo general, para expresar un contenido que debería ser excluido de la descripción verdaderamente científica de la realidad. Para ilustrar lo anterior en el material de la física, veamos un fenómeno elemental, conocido, a todas luces hace más de mil años: el péndulo simple, cuyos extremos se unen por una varilla rígida, uno de los extremos está fijo y el otro puede oscilar con una amplitud variable. Si movemos ese péndulo de la posición de equilibrio, al tocar su peso, al fin y al cabo el péndulo se detendrá en la posición inicial (la inferior). Este es un fenómeno estable bien conocido. Si a diferencia de lo anterior colocamos el péndulo de tal modo que el peso se encuentre en el punto opuesto a la posición inferior, tarde o temprano él caerá hacia la derecha o hacia la izquierda, y además, basta una pequeña vibración para dirigir su caída en una y no en otra dirección. Así, la posición superior (inestable) del péndulo prácticamente nunca se ha colocado en el centro de atención de los investigadores,

* *Voprosy Filosofii*, No.6 de 1999, pp. 46-52. *La traducción de este trabajo se realizó desde el idioma ruso, sin revisión autoral especializada, exclusivamente para uso docente.*

¹ Prigogine, I. The philosophy of instability – “Futures”, August, 1989, p.396-400.

y esto sin tomar en cuenta que desde los primeros trabajos en mecánica el movimiento del péndulo se ha estudiado minuciosamente. Se puede decir, que el concepto de inestabilidad estaba, en cierto sentido, ideológicamente prohibido. Y el asunto radica precisamente en que el fenómeno de la inestabilidad de modo natural conduce a problemas muy serios y nada triviales, el primero de los cuales es el problema de la predicción.

Si tomamos un péndulo estable y lo hacemos oscilar, el curso ulterior de los acontecimientos pueden predecirse unívocamente: el peso alcanzará el estado de oscilación mínima, es decir, el estado de reposo. Si por el contrario el peso se encuentra en el punto superior no se puede predecir si caerá hacia la derecha o hacia la izquierda. La dirección de la caída depende esencialmente en este caso de las fluctuaciones. De este modo, en un caso la situación es en principio predecible, y en el otro no lo es, y en este punto se eleva en toda su estatura el problema del determinismo. En condiciones de pequeñas oscilaciones el péndulo es un objeto determinista, y nosotros con exactitud sabemos que deberá ocurrir. Por el contrario, los problemas relacionados con un péndulo puesto de cabeza –si es válida esta expresión--, nos presentan un objeto no determinista.

Esta diferencia entre leyes deterministas de la naturaleza y leyes, que no son deterministas, nos conduce a problemas más generales, los cuales quisiera discutir aquí brevemente.

El hombre y la naturaleza

Ante todo, preguntémos: ¿por qué precisamente ahora en las ciencias naturales se habla de la inestabilidad, cuando antes predominaba el punto de vista del determinismo? La cuestión es que la idea de la inestabilidad no sólo en cierto sentido

ha estrechado el determinismo teóricamente; ella además, ha permitido incluir en el campo de atención de las ciencias naturales la actividad humana, haciendo posible así, incluir de un modo más completo al hombre en la naturaleza. Correspondientemente, la inestabilidad, la predictibilidad y en última instancia, el tiempo como variable esencial, comenzaron a un papel importante en la superación de la separación que siempre existió entre las investigaciones sociales y las ciencias de la naturaleza.

¿Pero en que radica el sentido de los cambios que han tenido lugar (en el plano que nos interesa) en las relaciones del hombre con la naturaleza? En el mundo determinista la naturaleza se somete al control total por parte del hombre, siendo un objeto inerte de sus deseos. Pero si a la naturaleza le es inherente la inestabilidad como una característica esencial, entonces el hombre no está simplemente obligado a relacionarse de una forma más cuidadosa y delicada con el mundo que lo rodea – aunque sólo fuera por su incapacidad para predecir unívocamente lo que ocurrirá en el futuro.

Además, al incorporar en la ciencia la idea de la inestabilidad, alcanzamos un comprensión de la esencia de la propia ciencia. Hemos comenzado a comprender, que la ciencia occidental, en aquella forma en que ha existido hasta hace muy poco tiempo, está condicionada por el contexto cultural del siglo XVII, --el período de nacimiento de la ciencia natural contemporánea, y que esta ciencia es limitada. Como resultado comienza a establecerse una comprensión más general de la ciencia el conocimiento en general, una comprensión que responde a las tradiciones culturales no sólo de la civilización occidental.

Lamentablemente, es necesario reconocer, que la vida cultural contemporánea está extremadamente desmembrada

incluso dentro de la civilización occidental. En un libro, que hace poco tuvo mucho éxito en los Estados Unidos, Alan Bloom afirma, que la ciencia es un fenómeno materialista, reduccionista, determinista, que excluye totalmente el tiempo.^[2] Pero si la objeción de Bloom es justo con relación a la ciencia de hace 20 o 30 años, con relación a la ciencia actual estas características no son adecuadas, --ella no es reducible ni al materialismo, ni al determinismo.

Leibniz: exclusión de la inestabilidad

Para comprender los procesos que tienen lugar en la ciencia contemporánea, es necesario tomar en cuenta que la ciencia es un fenómeno cultura, que se constituyó en determinado contexto cultural. Esto se puede ilustrar por ejemplo, con la discusión entre Leibniz y Clarck, quien representaba en la discusión los puntos de vista de Newton. Leibniz le reprocha a Newton que su representación del universo presupone la intromisión periódica de Dios en la constitución del orden del mundo para mejorar su funcionamiento. Newton, según su criterio, no respeta suficientemente a Dios, puesto que la maestría del Creador Supremo según él, es inferior incluso a la maestría del relojero, que es capaz de proveer a su mecanismo movimiento de una vez y para siempre, y hacerlo trabajar sin reconstrucciones complementarias. ^[3]

² Véase: Bloom, A. The closing of the American mind. N.Y., 1987.

³ Aquí es oportuno mostrar una de las expresiones del propio Leibniz al respecto: “Yo no digo, que el mundo corpóreo sea una máquina o un mecanismo de relojería, que trabaja sin *intromisión* de Dios; yo subrayo suficientemente, que las creaciones necesitan su influencia permanente. Mi afirmación consiste en que este mecanismo de relojería, que trabaja sin necesitar de *correcciones* de su Dios; en el caso contrario deberíamos decir que Dios cambió de alguna manera sus

Las representaciones de Leibniz sobre el universo vencieron a las newtonianas. Leibniz apeló a la omnisciencia del Dios omnipresente, quien no tiene ninguna necesidad de prestar una atención especial a la Tierra. Y creía que la ciencia en algún momento sería capaz de alcanzar esa omnisciencia –el científico se aproximaría a un conocimiento equivalente al divino. Para el conocimiento divino no existe diferencia entre el pasado y el futuro, ya que todo está presente en la razón que lo contiene todo. El tiempo, desde este punto de vista, se elimina inevitablemente, y el hecho mismo de su exclusión es muestra de que el hombre se aproxima a un conocimiento cuasidivino.

Las afirmaciones expresadas por Leibniz pertenecen al nivel básico de la ideología de la ciencia clásica, la que convirtió precisamente el péndulo estable en objeto de interés científico, el péndulo inestable en el contexto de esta ideología aparece como una formación no natural, que se recuerda sólo como algo interesante y curioso (y en la medida de lo posible –excluíble de los exámenes científicos). Pero la concepción de la eternidad expuesta tenía el pecado de no dejar espacio para acontecimientos únicos (así como en el enfoque de Newton no había espacio para la innovación). La materia, según esta concepción, es una masa en eterno movimiento, carente de acontecimientos e historia. La historia se ubica fuera de la materia. Así, la exclusión de la inestabilidad, el acercamiento al determinismo y la negación del tiempo produjeron dos modos contrapuestos de ver el universo:

- el universo como mundo exterior, el cual es al fin y al cabo un autómatas regulado (así lo suponía precisamente Leibniz), el cual se encuentra en constante movimiento;

decisiones. Dios lo previno todo, y se preocupó de antemano por todo. (Leibniz, Obras t.1, 1982, p.436) (Traducción aproximada).

- el universo como mundo interior del hombre, tan diferente del exterior que ello le permitió a Bergson decir sobre él: “Yo supongo que los impulsos creadores acompañan cada instante de nuestra vida” |4|

En realidad, cualquier interacción social y humana, así como toda la actividad literaria son expresión de la indeterminación con relación al futuro. Pero ahora, cuando los físicos tratan de incluir la inestabilidad de forma constructiva en el cuadro del universo, se observa el acercamiento de los mundos interior y exterior, lo que probablemente constituye uno de los acontecimientos culturales de nuestro tiempo.

Nuevos descubrimientos

Se sobreentiende que la introducción de la inestabilidad no sólo es resultado de las particularidades ideológicas de la historia de la ciencia en el siglo XX. Ella ha sido realidad sólo gracias a la conjugación de varios descubrimientos científicos experimentales y teóricos. En primer lugar el descubrimiento de estructuras lejanas del equilibrio, las que surgen como resultado de procesos irreversibles y en las cuales las relaciones sistémicas se establecen por sí mismas; en segundo lugar, la idea del papel constructivo del tiempo, la que emana del descubrimiento de las estructuras alejadas del equilibrio; y finalmente, la aparición de ideas nuevas con relación a los sistemas dinámicos, inestables, ideas que cambian totalmente nuestras representaciones sobre el determinismo.

En 1986 Sir James Lighthill, quien fuera posteriormente presidente de la Unión Internacional de matemática pura y

⁴ Véase: Bergson, Henri. The creative mind. Totowa (NJ, USA), 1975.

aplicada, hizo una declaración asombrosa; se disculpó en nombre de sus colegas debido a que “en el transcurso de tres siglos el público culto fue conducido a equivocación por la apología del determinismo, basado en el sistema de Newton, cuando puede considerarse demostrado, por lo menos desde 1960, que este determinismo es una posición errónea” [5]

¿No es cierto que se trata de una declaración inesperada? Nosotros todos cometemos errores y los reconocemos, pero es algo extraordinario que alguien se disculpe en nombre de toda una comunidad científica por la difusión por esta última de ideas equivocadas durante tres siglos. Claro está, es imposible no reconocer que esas ideas aunque equivocadas, desempeñaron un papel fundamental en todas las ciencias –puras, sociales, económicas, y hasta en la filosofía (si consideramos que en sus marcos se conformó la problemática kantiana). Además, estas ideas dieron tono a prácticamente todo el pensamiento occidental, el cual se escindió entre dos modelos: el mundo exterior determinista, y el mundo interior indeterminista.

Y finalmente, continuando el listado de descubrimientos que realizamos antes, es necesario recordar los descubrimientos en el área de las partículas elementales, los que han demostrado la inestabilidad fundamental de la materia, así como los descubrimientos cosmológicos, que han constatado que el universo tiene historia (cuando el punto de vista tradicional excluía cualquier historia del universo, ya que el universo se examinaba como totalidad portadora de todo, lo que hacía insensata la idea misma de la historia).

Observemos, además, que el más simple de los descubri-

⁵ Lighthill, J. Proceedings of the Royal Society, A 407, London, Royal Society, 1986, p.35-50.

mientos relacionados es accesible a nosotros, pues pertenecen a la esfera de los fenómenos macroscópicos, químicos y atmosféricos. Así, por ejemplo, la ley del aumento de la entropía se formuló en el siglo XIX. Otra cosa es que sobre la base de la presunción excluyente del tiempo de la descripción científica, ella se analizaba sólo como ley del crecimiento del desorden, y la presunción nos presenta un ejemplo evidente del carácter ideológico de los juicios científicos. En fin, que hoy nosotros podemos concordar: la ciencia en cierto sentido es ideología –puesto que ella también está enraizada en la cultura. Y por esto no existe nada asombroso en el hecho de que las nuevas cuestiones que traen a la ciencia fuerzas nuevas, con frecuencia parten de tradiciones de cuestionamiento que están enraizadas en otras culturas totalmente diferentes. Y el hecho de que hoy las formaciones culturales más diversas participan en el desarrollo de la cultura científica es para nosotros una fuente de nuevas esperanzas. Nosotros creemos –que se formularán otras preguntas, que conducirán a nuevas direcciones de la actividad científica.

Orden y desorden

Hoy sabemos que el aumento de la entropía no es reducible al incremento del desorden, pues el orden y el desorden surgen y existen simultáneamente. Por ejemplo, si en dos recipientes unidos colocamos dos gases, supongamos que hidrógeno y nitrógeno, y después calentamos uno de los recipientes y enfriamos el otro, como resultado, debido a la diferencia de temperatura, en uno de los recipientes habrá más hidrógeno y en el otro más nitrógeno. En este caso estamos ante un proceso disipativo, el cual, por una parte, crea desorden y simultáneamente, por otra parte, el flujo de calor crea orden: el hidrógeno en un recipiente y el nitrógeno en el otro. Orden y

desorden, de este modo, están estrechamente ligados, uno incluye en sí al otro. Y esta constatación puede ser valorada como el cambio principal que tiene lugar en nuestra percepción del universo hoy.

Durante mucho tiempo nuestra visión del mundo fue incompleta. Incompleta, digamos, como la vista que podemos obtener desde la ventanilla de un avión cuando nos acercamos a Venecia: mientras en nuestro campo visual se encuentran las grandiosas edificaciones y plazas, no nos abandona la imagen de una estructura perfecta, ordenada y grandiosa. Al llegar a la ciudad descubrimos un agua no muy limpia que digamos, y las mosquitas inoportunas, pero precisamente por este camino ante nosotros se presentan ambos lados del objeto. En cuando a la visión del mundo contemporánea, es interesante señalar que la cosmología ahora concibe todo el orden del mundo como desordenado en gran medida, --y yo diría, un medio esencialmente desordenado--, en el cual cristaliza el orden. Las investigaciones más recientes muestran, que por cada millar de fotones calóricos, que se encuentran en desorden, se encuentran por lo menos una partícula elemental, que es capaz de estimular en cada conjunto de fotones la transición hacia una estructura ordenada. Así, el orden y el desorden coexisten como dos aspectos de una totalidad y nos aportan una diversa visión del mundo.

Nuestra percepción de la naturaleza se torna dualista, y el momento que verticaliza esta percepción está constituido por la representación sobre el desequilibrio. Además, un desequilibrio que conduce no sólo hacia el orden y el desorden, sino una que abre también la posibilidad de surgimiento de acontecimientos únicos, debido a que el espectro de los modos posibles de existencia de los objetos se amplía enormemente en este caso (en comparación con las propias de un mundo equilibrado). En una situación alejada del equilibrio las

ecuaciones diferenciales, que modelan un determinado proceso natural, se tornan no lineales, y una ecuación no lineal normalmente tiene más de un tipo de solución. Por esto en cualquier momento de tiempo puede surgir un nuevo tipo de solución, no reducible al anterior, y en los puntos de cambio de los tipos de solución –en los puntos de bifurcación--, puede ocurrir la transformación de la organización espacio-temporal del objeto.

Ejemplo de surgimiento de una estructura espacio-temporal nueva son lo llamados relojes químicos –un proceso químico, en el transcurso del cual la solución periódicamente cambia su coloración de azul a rojo. Parece, como si las moléculas, que se encuentran en secciones diversas de la solución, pudiesen de alguna manera comunicarse entre sí. En cualquier caso, es evidente, que en situaciones alejadas del equilibrio la coherencia en la conducta de las moléculas aumenta en gran medida. En equilibrio, la molécula “ve” sólo a sus vecinos inmediatos, y se “comunica” sólo con ellos. Al estar alejada del equilibrio, cada parte del sistema “ve” todo el sistema en su conjunto. Se podría decir, que en equilibrio la materia es ciega, y fuera de equilibrio adquiere visión. En correspondencia, sólo en sistemas en desequilibrio pueden acontecer sucesos únicos y fluctuaciones, capaces de posibilitar dichos sucesos, y también tiene lugar la ampliación de las dimensiones del sistema, la elevación de su sensibilidad hacia el mundo exterior y, finalmente, surge la perspectiva histórica, es decir, la posibilidad de surgimiento de otras formas de organización, que pueden ser más perfectas. Y además de esto, surge una nueva categoría de fenómenos denominados atractores.

Volvamos a nuestro ejemplo con el péndulo. Si movemos el peso del péndulo no muy lejos de la posición inferior, al fin y al cabo, el volverá al punto de partida –esto es un tractor puntual. Los relojes químicos constituyen atractores periódicos.

Más adelante fueron descubiertos atractores más complicados (atractores extraños), que corresponden a un conjunto de puntos. En un atractor extraño el sistema se mueve de un punto a otro de forma determinada, pero la trayectoria del movimiento al fin y al cabo se confunde tanto, que no es posible predecir el movimiento del sistema en su totalidad –es una mezcla de estabilidad e inestabilidad. Esta circunstancia provoca un interés elevado de muchos físicos, químicos, meteorólogos, especialistas en ecología. Los objetos señalados están determinados por atractores extraños, y correspondientemente, por una mezcla de estabilidad e inestabilidad, lo que dificulta enormemente la predicción de su conducta futura.

Una nueva relación hacia el mundo

No hemos elegido el mundo que debemos estudiar; hemos nacido en este mundo y debemos percibirlo tal cual existe, adaptando a él en cuanto sea posible, nuestras representaciones a priori. Es cierto, el mundo es inestable. Pero esto no significa, que no es posible estudiarlo científicamente. El reconocimiento de la inestabilidad –no es una capitulación, por el contrario--, es una invitación a realizar nuevas investigaciones experimentales y teóricas, que tomen en cuenta el carácter específico de este mundo. Sólo es necesario echar a un lado la representación de que supuestamente este mundo es nuestro sirviente incondicional. Debemos relacionarnos con el mundo con respeto. Debemos reconocer que no podemos controlar totalmente el mundo exterior de fenómenos inestables, del mismo modo que no podemos controlar totalmente los procesos sociales (aunque la extrapolación de la física clásica a la sociedad durante mucho tiempo nos convocaba a creer esto).

El descubrimiento de estructuras en desequilibrio, como sabemos, estuvo acompañada de una revolución en el estudio de

las trayectorias. Resultó que las trayectorias de muchos sistemas son inestables, y esto significa que podemos hacer predicciones certeras sólo en pequeños intervalos de tiempo. La brevedad de estos intervalos (denominados horizonte temporal o exponente Liapunov) significa, que pasado cierto período de tiempo la trayectoria inevitablemente se alejará de nosotros, es decir, seremos privados de información sobre ella. Esto es además, un recordatorio de que nuestro conocimiento es tan sólo un pequeño ventanillo en el universo, y que debido a la inestabilidad del mundo debemos renunciar incluso al sueño del conocimiento acabado. Al echar una mirada por el ventanillo, podemos, por supuesto, extrapolar el conocimiento alcanzado más allá de las fronteras de nuestra visión y construir suposiciones acerca de cómo puede ser el mecanismo que dirige la dinámica del universo. No obstante, no debemos olvidar, que aunque en principio podríamos conocer las condiciones iniciales en un conjunto infinito de puntos, el futuro sin embargo, continuará siendo impredecible por principio.

Además, señalemos que la nueva relación hacia el mundo presupone un acercamiento entre las actividades del científico y el escritor. Una obra literaria por lo general comienza con la descripción de una situación inicial, lo que se hace con una cantidad finita de palabras, además en esta parte la narrativa está todavía abierta a numerosas líneas diversas de desarrollo de la trama. Esta particularidad de la obra literaria es lo que hace la lectura entretenida –siempre es interesante cuál de las posible variantes de desarrollo de la situación inicial será realizada. Así ocurre también en la música –en las fugas de Bach, por ejemplo, cada tema siempre permite un gran número de continuaciones, de las cuales el compositor genial escogió lo que consideró necesario. Ese universo de la creación artística es bastante diferente de la imagen clásica del mundo, pero es

muy fácil de correlacionar con la física y la cosmología contemporáneas. Se dibujan los marcos de una racionalidad nueva, hacia la que nos conduce la idea de la inestabilidad. Esta idea pone fin a las pretensiones de un control absoluto sobre cualquier esfera de la realidad, pone fin a cualquier posible sueño acerca de una sociedad controlable de forma absoluta. La realidad en realidad no es controlable en el sentido, en el cual se le proclamaba por la ciencia precedente.

La narrativa en la ciencia

La ciencia contemporánea en su totalidad se hace cada vez más narrativa. Antes existía una férrea dicotomía: las ciencias sociales preferentemente narrativas, --de una parte, y las ciencias propiamente dichas, orientada hacia la búsqueda de las leyes de la naturaleza, --de otra. Hoy esta dicotomía se destruye.

En la ideología de la ciencia anterior los acontecimientos únicos --fuesen estos el surgimiento de la vida o del universo --se representaban casi anticientíficamente. Esto se puede ilustrar con la conocida narración de Isaac Asimov. Una civilización altamente desarrollada le pregunta a una computadora cómo refutar el segundo principio de la termodinámica. La computadora se apoya en los insuficientes datos iniciales y comienza sus cálculos, que se dilatan millones y millones de años, hasta que no desaparece todo, excepto la gigantesca máquina de cálculo, que extrae los datos directamente del espacio y el tiempo. Finalmente, la computadora esclarece cómo refutar el segundo principio. En ese instante nace un nuevo mundo. Hoy, no obstante, sabemos mejor como el elemento de narrativa (o el elemento del acontecimiento) se incluye en nuestra visión de la naturaleza.

En correspondencia con la conocida fórmula de Freud, la historia de la ciencia es la historia de una enajenación progresiva —los descubrimientos de Galileo demostraron, que el hombre no es centro del sistema planetario, Darwin mostró que el hombre es sólo una de los múltiples especímenes que habitan la tierra, y como dijo Freud, hasta nuestra propia conciencia es sólo una parte de su inconsciente que lo abarca todo. Una idea análoga acerca de la que historia de la ciencia no es más que enajenación, podemos encontrarla también en un de los trabajos de Jacques Monod.^[6] No obstante, las representaciones de la realidad que analizamos en este artículo presuponen lo contrario: en un mundo basado en la inestabilidad y la creatividad, la humanidad se encuentra nuevamente en el centro de las leyes del universo.

Tal comprensión del universo se convierte en un factor fundamental, que posibilita el fin de la época del desmembramiento cultural de la civilización. Por ejemplo, en China se desarrolló una ciencia impresionante, la cual sin embargo, nunca se planteó la pregunta acerca de cómo cae una piedra, --la idea de las leyes de la naturaleza en esa forma jurídica que nosotros la comprendemos, era ajena a la civilización china. Para el chino el Universo era una formación coherente en el cual todos los acontecimientos están relacionados. Yo tengo la esperanza, que la ciencia del futuro, conservando la exactitud analítica de su variante occidental, se preocupe también por lo global, por la mirada totalizadora sobre el mundo. Al hacerlo, ante ella se abrirán las perspectivas de traspasar los límites impuestos por la cultura occidental clásica.

⁶ Véase: Monod, J. *Chance and necessity*. N.Y., 1972.

Riesgo y responsabilidad

En el mundo determinista el riesgo no existe, puesto que el riesgo existe sólo allí, donde el universo se abre hacia algo multivariado, semejante a la esfera del ser del hombre. Yo no tengo la posibilidad de discutir detalladamente aquí este problema, pero me parece evidente, que precisamente esa visión multilateral del mundo, colocada en los fundamentos de la ciencia, por necesidad devela ante la humanidad la posibilidad de elección –elección que implica también determinada responsabilidad ética. Alguna vez Valeri con razón, -desde mi perspectiva-, señaló que “el tiempo es una construcción”. Ciertamente, el tiempo no es algo preparado, que se presenta en formas terminadas ante la razón hipotética sobrehumana. ¡No! El tiempo es algo que se construye en cada momento dado. Y la humanidad puede participar en el proceso de esta construcción. ■

El Universo y el Tiempo *

Ilya Prigogine

Lamento muchísimo no poder hablar en español, y siento gran pena por ello. Voy a hablar en el inglés "quebrado" que los científicos usan y espero que así seré mejor comprendido.

Déjenme decirles, en primer lugar, que tanto yo como mi esposa guardaremos en la memoria el recuerdo de esta visita a La Plata por mucho tiempo. No sólo hemos visto objetos extraordinarios, hermosos y de muchísimo significado, sino también hemos sido recibidos con cordialidad y afecto, lo que recordaremos por muchos años.

Esta es una visita especial en mi vida, porque combina dos de mis intereses: el interés por la universidad, el contacto con ella y con la ciencia; y el interés por objetos extraordinariamente preciosos, es decir, el interés por la arqueología.

Desde mi punto de vista, no hay contradicción alguna entre el hecho de que yo, como físico, esté también interesado por la historia de la humanidad.

* Fuente: Conferencia del Prof. Ilya Prigogine en el Museo de La Plata (24 de octubre de 1991)

Nota:

El texto es una traducción libre basada en la grabación realizada durante la conferencia. Se publica sin que haya sido revisada por el Prof. Prigogine, aunque con su consentimiento.

En esencia, para mí, la ciencia es un diálogo con la naturaleza y este dialogo es continuado. La ciencia busca comprender los principios en los que se basa el complejo mecanismo de la naturaleza. Por lo tanto, es interesante preguntar cómo los hombres empezaron a observar el mundo a su alrededor miles de años atrás. Siempre me ha fascinado el neolítico, particularmente porque el neolítico es el período en que se observa una mayor producción de obras de arte, y es en este período donde podemos ver la diferencia entre varios puntos de vista; y ya se aprecia la riqueza de la visión humana de la naturaleza. Se puede comparar, por ejemplo, el neolítico chino con el europeo y el precolombino. Por supuesto sabemos muy poco pues no hay documentos escritos, pero parece haber una diferencia. La diferencia está, tal vez, en el concepto de la estabilidad del universo y el significado del tiempo. Para los griegos, el universo era eterno. Las civilizaciones precolombinas no confiaban en el universo: el universo podía existir pero también podía desaparecer, oponiéndose a la idea de la estabilidad del universo. Esta concepción está relacionada con la idea de movimiento y del tiempo. Para los griegos, el movimiento era automático; ésta fue también la visión de la mecánica clásica, para la cual el movimiento de la Tierra alrededor del sol era un movimiento de equilibrio dinámico entre gravitación y fuerza centrífuga.

Por otro lado, se puede observar una idea diferente del tiempo y del movimiento. Si pensamos en seres vivos y biológicos, entonces el tiempo no es estático. Para tener funciones, para existir, debemos recibir energía. El tiempo en esta concepción podría referirse a una forma de tiempo biológico. En el último siglo se ven ambas teorías en la civilización occidental: la idea de un universo atemporal, eterno, y la idea de una evolución del universo, no necesariamente estable.

Los problemas a los que se enfrentaba el hombre del neolítico

son en cierta medida los problemas que enfrentan los científicos modernos. Por supuesto, nuestra perspectiva ha cambiado; la perspectiva de la ciencia respecto de la naturaleza ha cambiado enormemente en las últimas décadas.

Cincuenta años atrás, la mayoría de la gente estaba convencida de saber las leyes fundamentales de la naturaleza; que éstas estaban todas comprendidas. Recuerdo a Faber. Se lee en un texto de un conocido sociólogo y antropólogo francés, Levy Bruhl:

"Ya no nos sorprende nada pues sabemos las leyes básicas de la naturaleza y cuando vemos algo que no entendemos, no dudamos de que con un poco de inteligencia lo podemos reducir a las leyes que conocemos".

Y un gran filósofo ha dicho que la naturaleza es descolorida y sin sentido. Hoy no creo que haya mucha gente que piense así. Nos sorprende la complejidad de la naturaleza y la relación entre esa búsqueda de la complejidad de la naturaleza y el problema cósmico. Estamos sorprendidos por la simplicidad y la complejidad simultáneas de la estructura intermedia, la estructura biológica.

Por lo tanto, podemos entender mejor y compartir el asombro que el hombre del neolítico expresó en las hermosas obras de arte que nos ha legado. No quiero cansarlos con un discurso complejo ni con fórmulas matemáticas. Déjenme explicarles cuál es la dirección de mis investigaciones y los problemas en los que he estado trabajando en mi vida científica durante dos décadas.

Siempre he estado fascinado por el problema del tiempo y con los años he comprendido mejor la naturaleza del concepto de tiempo. Creo que hay tres períodos en las civilizaciones occidentales, que se pueden distinguir cuando hablamos del tiempo.

1) El reconocimiento de la existencia de un problema; el reconocimiento de lo que llamo la paradoja del tiempo. Hay un consenso, que el tiempo es una forma de conciencia humana, que el tiempo no está en la naturaleza. Esto es precisamente lo que llamo la paradoja del tiempo. El tiempo está en nosotros, es una dimensión interna. ¿Cómo es posible que existamos sin tiempo? Sin embargo, la extraña conclusión a la que se llegó a principios de siglo es que el tiempo es una ilusión humana. Esta extraña conclusión fue unánimemente aceptada y es aún aceptada por la mayoría de los científicos contemporáneos.

Stephen Hawking ha dicho en su libro *Breve historia del tiempo*: "Estamos cerca del momento en el que llegaremos a la mente de Dios." Esto significa llegar al estadio donde no hay diferencias entre pasado y futuro; una forma de geometría atemporal; una forma de eternidad.

2) El redescubrimiento del problema en la última década. El descubrimiento de que el tiempo es una flecha irreversible, y que tiene un rol creativo y constructivo, en la física del mundo microscópico, en química, en hidrodinámica, en biología.

3) Entender la relación entre el rol constructivo del tiempo en nuestro entorno y la formulación de las leyes básicas de la naturaleza (las leyes de Newton, de Einstein, la relatividad) que son deterministas. Creo que habrá una nueva revolución científica cuando se hayan adaptado esas leyes a la dirección de la flecha del tiempo, a este rol constructivo de la irreversibilidad del tiempo que vemos a nuestro alrededor.

Déjenme decirles algunas palabras sobre cada una de estas tres etapas:

Hagamos referencia a las leyes del movimiento de Newton. Una característica de las leyes básicas de movimiento es que

se puede cambiar la flecha, no se reconoce dirección preferencial del tiempo. Pasado y futuro juegan el mismo papel, como en un péndulo, donde no se puede decir qué viene antes y qué viene después. En el movimiento más simple no hay dirección preferencial del tiempo. En esencia, el problema del movimiento del péndulo, del movimiento de la tierra alrededor del eje, son ejemplos de leyes básicas de la naturaleza, modelos que contienen tiempo.

Y por siglos la gente decía que no había dirección del tiempo; que el movimiento de la tierra no reconocía dirección del tiempo. Por lo cual el mundo no conoce dirección del tiempo, el tiempo es una ilusión. Pero no es así. Esto surge de la idea de que el movimiento del péndulo o de la tierra son movimientos demasiado simples. El tiempo emerge al discutir problemas con una complejidad mínima que los mencionados no poseen. En el siglo XIX surgieron ideas sobre evolución con Darwin y sobre la entropía y reversibilidad. Entre otros grandes físicos, Boltzmann trató de introducir la irreversibilidad en la física básica. Pero fue derrotado. La gente le demostró que estaba equivocado. Pero él sabía que aunque la situación básica de Newton era temporalmente reversible, había de todos modos una evolución del universo. Este era un momento en que todos estaban convencidos que el tiempo era una ilusión. Lo dijo Einstein, los filósofos, los científicos. Y así fue por 50 años.

Una de las cosas para aprender cuando observamos la historia de la ciencia es que la historia de la ciencia es impredecible. Parece andar como una máquina en una dirección, pero no es así. Nadie pudo predecir la obra de Miguel Ángel, ni la de Mozart, ni la de Einstein. Einstein empujó la ciencia en una dirección definida, pero se dio cuenta que esta dirección tenía límites. Este es un aspecto interesante de la ciencia. La ciencia es un diálogo. Se pueden inventar teorías, pero la naturaleza

puede decir sí o no. En esencia, la grandeza de Einstein fue la dirección en que trató de empujar a la ciencia (hacia la naturaleza) y el reconocer que había límites al ideal que él seguía.

En cuanto al segundo período de la paradoja del tiempo, se llega al descubrimiento del rol creativo y constructivo del tiempo a través de la termodinámica del no equilibrio y de sorprendentes avances en la mecánica clásica. La termodinámica del no equilibrio es el estudio de los sistemas que no presentan un equilibrio donde nada pasa, sino sistemas que están sometidos a leyes de flujo de energía donde pasa algo muy diferente. Todos están familiarizados con las estructuras de equilibrio como las de los cristales, que tienen una organización hermosa, pero los cristales están muertos, no necesitan ningún flujo de energía para existir. Pero hay otras estructuras que existen sólo si se les da energía. Por ejemplo, una ciudad existe si se le da energía o material; hay un intercambio entre la ciudad y el trabajo a su alrededor.

Si se aísla la ciudad, ésta desaparece, como si aislamos a un ser viviente, éste muere. En física, en química, hay muchas de estas estructuras de no equilibrio que se han estudiado desde hace treinta años, no más, pues hasta entonces la gente estaba convencida que las únicas estructuras eran las de equilibrio.

El no equilibrio lleva al desorden, al caos, a la turbulencia. La gente piensa que la turbulencia es desorden. Pero no es así, la turbulencia es un estado altamente organizado, donde millones de moléculas se siguen unas a otras en un espectro complejo. Es en el no equilibrio donde tenemos el trabajo autoorganizativo de las estructuras.

El campo del no equilibrio es usado por la naturaleza para crear complejidad. Experimentalmente se descubren más y más tipos de situaciones de no equilibrio; por ejemplo los cristales del no equilibrio, en los que un componente tiene

máxima concentración de componentes regulares y el otro componente tiene un máximo de concentración de componentes irregulares. Las situaciones de no equilibrio son el resultado de reacciones químicas, de actividad química. Recientemente se han observado en laboratorios este tipo de cristales de no equilibrio. La diferencia es que en los cristales de equilibrio la distancia entre dos grupos iónicos es de pocos angstroms. Pero en los cristales de no equilibrio la distancia puede ser de milímetros o fracciones de centímetros. Es una organización bastante diferente.

En cuanto a la regularidad e irregularidad, en el no equilibrio, dos partículas próximas divergen en tiempo introduciendo una forma de inestabilidad o inconstancia.

Todo esto introduce una nueva visión en muchos campos alrededor nuestro. Una nueva visión se ve en el campo de la biología: en biología hay muchas situaciones regulares, que deben ser regulares para no ser alteradas, como las regulaciones metabólicas, que deben ser confiables ya que se necesita cierto control; y esos mecanismos de control son generalmente mecanismos de retroalimentación, que pueden ser parte de un equilibrio que controla reacciones químicas.

Por otra parte hay estructuras irregulares de no equilibrio, como por ejemplo el cerebro, que pareciera trabajar sólo si las señales son altamente irregulares, y son caóticas cuando el cerebro está trabajando. Lo mismo sucede con el ecosistema.

La biosfera es un sistema altamente irregular e inestable. Como saben, los períodos geológicos han sido distribuidos en forma irregular.

En cuanto al tercer período, cómo entender la aparición del tiempo, la existencia de su flecha. Hay sistemas, como el movimiento de la Tierra alrededor del sol, que son regulares. Pero hay otras estructuras dinámicas que son inestables. Y

estos tipos de sistemas rompen la simetría entre las dos direcciones del tiempo entre el futuro y el pasado.

Todos han escuchado que hay materia y antimateria, electrones negativos y positivos, protones y antiprotones. Desde el punto de vista de la teoría básica, la materia y la antimateria son equivalentes. Nuestro universo no es simétrico en materia y antimateria. Contiene más materia. Esto es un ejemplo de ruptura de simetría.

La irreversibilidad del tiempo es una ruptura de situaciones simétricas donde las dos direcciones del tiempo jugarían el mismo rol. Esto se aplica también a la cosmología. Dije que Einstein observó la compleja idea de la naturaleza y quiso describir el Universo en términos geométricos, en términos en los que el tiempo como flecha fuera eliminado.

Su idea era relacionar la materia y la estructura de espacio-tiempo. Aplicó estas ideas a la cosmología y el modelo de Universo que introdujo fue un universo estático.

Entonces, sucedieron muchas cosas inesperadas: surgió la convicción de que el universo no era estático sino que estaba expandiéndose y que las soluciones estáticas de Einstein eran inestables, eran las soluciones de expansión las estables.

Surgió un nuevo aspecto, el de que todas las soluciones de expansión tenían una singularidad en su origen: el Big Bang. La gente especulaba si el Big Bang era imaginario o verdadero. Cuando se descubrió la radiación residual que apareció en los primeros momentos luego del Big Bang, se demostró que el universo era evolución. Es como dijo Darwin, que fue el padre de la teoría de la evolución del universo.

Tenemos dos posiciones *a priori*. O que el mundo es un sistema geométrico, reversible; o que el mundo es un sistema desordenado y en evolución, muy similar en cierto sentido a

la evolución biológica.

Entonces, ¿cuál es el significado del Big Bang? Yo no lo considero como una singularidad, sino como pura inestabilidad, como una transición de un estado previo del universo al universo como lo vemos hoy. En este cuadro incluimos luego la creación de la materia, como ya dije antes, Einstein habla de la materia en relación con el tiempo espacial. Si incluimos la creación de la materia en este cuadro, volvemos al problema de la inestabilidad y el problema que se mencionó antes, el rol creativo de la irreversibilidad, que creó al principio tanto desorden (la radiación cósmica) como orden (las partículas elementales). Las partículas elementales son partículas fósiles, que nos conducen a la materia y a la vida.

Einstein dijo que el tiempo debía ser real, y me sorprendió encontrar una reacción similar en un texto del grandioso escritor argentino Jorge Luis Borges: "El tiempo es una sustancia de la que estoy hecho; el tiempo es un río que me lleva, pero yo soy el río; es un tigre que me destruye, pero yo soy el tigre; es un fuego que me consume, pero yo soy el fuego". ■

Coloquio posterior a la Conferencia: Respuestas a preguntas del público presente:

1) Pregunta:

¿Evolucionan las leyes físicas?

Respuesta:

Una posibilidad es que las leyes físicas evolucionan porque el universo evoluciona constantemente. Un aspecto más

importante y tal vez más profundo es saber qué son las leyes de física. Si se considera una ley de física como teoría básica de la que se puede deducir todo, es difícil imaginar que esta ley evolucione. Sin embargo, creo que tenemos que cambiar nuestra idea de ley de física. Debemos entender que las leyes básicas de física tan sólo están descubriendo posibilidades, no lo que pasa, sino lo que pasaría. Las leyes básicas son sólo un lienzo, donde luego aparecen otras cosas. En esencia, llegamos al concepto de leyes básicas que es similar a las situaciones axiomáticas en el campo de las matemáticas. Lo que es axiomático, no es nunca completo. Y en este sentido yo creería que la evolución de leyes es más la evolución de la realización de las potencialidades de las leyes más básicas.

2) Pregunta:

¿Tienen aplicaciones económicas las nuevas concepciones físicas?

Respuesta:

La economía clásica estaba más influida por las leyes newtonianas y muy interesada por la idea de equilibrio. Hoy por supuesto, la mayor parte de la economía está influida por la Interacción no lineal, las fluctuaciones. La economía recibe influencias de los aspectos sociales, políticos. No podemos hablar de economía en el mismo sentido que la economía clásica. Vemos también el rol del tiempo en la economía. Por ejemplo, el problema de las fluctuaciones. Las fluctuaciones del mercado son más complejas hoy en día.

3) Pregunta:

¿Hay también aspectos sociológicos en esta nueva visión de la Física?

Respuesta:

Hay muchos nuevos aspectos. Uno de los elementos principales es lo que me gustaría llamar retroalimentación cognitiva. Los seres humanos no se comportan como moléculas. Las acciones de los hombres en un determinado tiempo dependen de la visión humana del universo y de las posibilidades que existen en el futuro. Cuando las gentes de Massachusetts emigraron a Texas, no lo hacían por lo que el mercado de empleo presentaba en ese momento, sino por las posibilidades de este mercado unos años después.

En esencia, las acciones humanas son como la intersección de la realidad posibilidad. Me gustaría destacar el rol de las utopías. Las utopías son Ideas generales de nuevas posibilidades. Son importantes para el futuro de la humanidad.

4) Pregunta:

¿Puede hacer alguna aplicación a la Psicofonía de estas ideas?

Respuesta:

La ciencia moderna nos ha liberado de la idea de que somos máquinas, autómatas. Y nos ha liberado de la Idea de que el universo es autómatas. Ha acercado aún más la relación entre hombre y naturaleza. Me gustaría creer que la ciencia tiene un rol futuro importante, que esta nueva cara de la ciencia va a impedir la fragmentación, permitiendo así cercano de todas las ciencias

El redescubrimiento del tiempo |*|

Ilya Prigogine

Desde el origen, la física y la historia parecen oponerse como la ley y el acontecimiento. Sin embargo, igual que los historiadores, los físicos se enfrentan a un mundo en devenir, donde diferentes escalas de tiempo se encabalgan, donde unos acontecimientos crean diferencias irreductibles entre pasado y porvenir. Hoy, la física se hace capaz de comprender este mundo en su carácter temporal, y reconocer que las leyes físicas fundamentales que negaban la irreversibilidad del tiempo, y por ende, a fortiori, el devenir, eran de validez limitada, relativa a objetos excepcionales por su simplicidad. Quizá la renovación conceptual de la física, en la que se inventa una relación no contradictoria entre ley y acontecimiento, sea capaz

* Fuente: *L'Homme*, 1988, n° 108: 5-26.

Conferencia Marc Bloch pronunciada el 10 de junio de 1987 en el Gran Anfiteatro de la Sorbona. Agradezco a Isabelle Stengers la ayuda que me ha aportado en la redacción de esta exposición. Mi límite aquí a indicar el origen de las citas aparecidas en mi texto. En lo concerniente a las referencias científicas, el lector consultará *La Nouvelle alliance* (París, Gallimard, 1979) [hay traducción en castellano: *La nueva alianza*, Madrid, Alianza, 1990], *Physique, temps et devenir* (París, Masson, 1982), así como el nuevo libro, *Entre le temps et l'éternité* (París, Fayard, 1988) [en castellano, *Entre el tiempo y la eternidad*, Madrid, Alianza, 1990], escritos en colaboración con Isabelle Stengers.

de contribuir a una coherencia nueva entre los diferentes saberes, tanto científicos como prácticos.

Es para mí un placer y un honor haber sido invitado a dar hoy la conferencia Marc Bloch. He releído recientemente algunos textos de este gran historiador y me ha sorprendido la convergencia entre la transformación del "oficio de historiador" que describe y la de la física que nosotros conocemos hoy. La historia, nos dice Marc Bloch, es "una ciencia en la infancia [...] O, para decirlo mejor, envejece bajo la forma embrionaria del relato, obstruida mucho tiempo por ficciones, aún más tiempo unida a los acontecimientos inmediatamente más aprehensibles, ella es, como empresa razonada de análisis, muy joven"⁽¹⁾.

Es probable que, hablando de la historia como de una ciencia "joven", Marc Bloch pensaba en la física como una ciencia "madura". No señala por otra parte en el mismo texto que la imagen de las ciencias físicas en el siglo XIX fascinó a ciertos historiadores hasta tal punto que éstos "creyeron posible instituir una ciencia de la evolución humana" que excluiría "muchas realidades muy humanas, pero que les parecían desesperadamente rebeldes a un saber racional. Este residuo era lo que llamaban, desdeñosamente, el acontecimiento" ⁽²⁾. El hecho de que el modelo de la física haya podido inspirar un desprecio del acontecimiento me parece traducir en cambio la "juventud" de esta ciencia. Se puede decir de la física que durante mucho tiempo también ha sido "obstaculizada por ficciones", ciertamente no unida a acontecimientos inmediatamente aprehensibles sino a un modelo de inteligibilidad en cuyo nombre ha creído, por el contrario, poder negar la

¹ M. Bloch, *Apologie de l'histoire ou Métier d'historien*, París, Armand Colin, 1949: XIV.

² *Ibid.*: XV.

realidad inmediatamente aprehensible, el carácter aleatorio de una tirada de dados o la naturaleza intrínsecamente irreversible de un proceso como la difusión del calor, por ejemplo.

En relación con la cita de Marc Bloch, querría remitirme al testimonio de un especialista de la más antigua de las ciencias físicas, la mecánica racional, Sir James Lighthill, presidente, en el momento en que hacía esta declaración, de la International Union of Theoretical and Applied Mechanics:

"Aquí, debo pararme y hablar en nombre de la gran fraternidad de los que practican la mecánica. Somos muy conscientes hoy de que el entusiasmo que alimentaban nuestros predecesores por el éxito maravilloso de la mecánica newtoniana les ha llevado a generalizaciones en el dominio de la predicción [...] que ahora sabemos que son falsas. Queremos, colectivamente, presentar nuestras excusas por haber inducido a error al público cultivado recogiendo, a propósito del determinismo de los sistemas que satisfacen las leyes newtonianas del movimiento, ideas que se han revelado, desde 1960, como incorrectas" (3).

He aquí una declaración que bien se puede llamar rompedora. Los historiadores de las ciencias están acostumbrados a "revoluciones" en el curso de las cuales una teoría es vencida, abandonada, mientras otra triunfa. ¡Pero es raro que los especialistas de una teoría reconozcan que, durante tres siglos, se han equivocado en cuanto a la inclinación y a la significación de su teoría! Y ciertamente, la renovación que conoce desde algunas décadas la dinámica es un acontecimiento único en la historia de la ciencia. El determinismo, que aparecía como la consecuencia ineluctable de la inteligibilidad

³ J. Lighthill, "The Recently Recognized Failure of Predictability in Newtonian Dynamics", en *Proceedings of the Royal Society*, Londres, A 407, 1986: 35-50.

dinámica, se encuentra hoy relegado a una propiedad válida sólo en casos particulares.

Es evidente que, desde el punto de vista del ideal del determinismo, la noción misma de historia está desprovista de sentido. Las trayectorias celestes no tienen historia, por ello podemos predecir indiferentemente un eclipse en el futuro y en el pasado. Pero la difusión del calor que ya he citado como ejemplo de proceso irreversible tampoco constituye una historia. Un proceso que nivela progresivamente una diferencia de temperatura no se narra, se prevé; sin tales procesos de uniformización, la vida sobre la tierra sería en verdad imposible, así como la mayor parte de nuestras técnicas. ¡Es suficiente imaginar lo que sería un mundo donde las diferencias de temperatura aumentarían espontáneamente! Pero la vida sobre la tierra comienza cuando el calor se ha implicado en otros procesos diferentes a éste. Cómo no pensar aquí en estas teorías recientes sobre el origen de la vida según las cuales es alrededor de las fuentes calientes submarinas que proliferan a lo largo de las dorsales activas donde la vida habría aparecido. ¡El agua, cargada de metales, brotando de esas fuentes con una presión de unas 275 atmósferas y una temperatura que puede alcanzar 350°C en contacto con el agua muy fría del océano! Ciertamente, el agua hirviendo se enfría, y esta uniformización forma parte del envejecimiento progresivo de la Tierra, pero quizá la actividad físico-química intensa que se desarrolló alrededor de chimeneas hidrotermales hoy fósiles, olvidadas en alguna parte a lo largo de una dorsal, ha producido los primeros actores de la historia de la vida.

La heterogeneidad, el contraste entre diferentes escalas de tiempo, la de la Tierra, la de la existencia de una boca hidrotermal, la de los primeros "vivos" que, quizá, proliferaron allí, ¿no recuerdan las tres "historias" a las que Fernand Braudel consagraba las tres partes de su gran obra?: "La primera

propone una historia casi inmóvil, la del hombre en sus relaciones con el medio que le rodea; una historia lenta en fluir y en transformarse, hecha muy a menudo de retornos incesantes, de ciclos recomenzados sin fin... Por encima de esta historia inmóvil, una historia lentamente ritmada, diríamos gustosamente, si la expresión no hubiera sido desviada de su sentido pleno, una historia social, la de los grupos y de los individuos. Finalmente la tercera parte, la de la historia tradicional, si se quiere, de la historia a la dimensión no del hombre sino del individuo, la historia del acontecimiento de François Simiand..." (4).

Sin duda, las relaciones entre las "tres" historias braudelianas están más imbricadas de lo que acabo de evocar. Los seres vivos, incluso los hombres, son impotentes para parar los procesos radioactivos cuyo calor disipan las bocas hidrotermales, mientras que la actividad de los grupos sociales ha modificado profundamente la historia "inmóvil" de las relaciones del hombre con su medio, y la historia de las ciencias, historia hasta hace poco de un número bastante reducido de individuos, es sin duda el mejor ejemplo del modo como, en ciertas circunstancias, la historia "del acontecimiento" puede jugar un papel determinante en la "historia social". Sin embargo, esta diferencia es secundaria en relación al abismo que separa estos dos "relatos" del modo de inteligibilidad a que se ha identificado la física durante mucho tiempo. En la perspectiva de la física tradicional, *incluso el envejecimiento progresivo de la Tierra no es más que una apariencia*, ligada a nuestras aproximaciones prácticas. Es más allá de este mundo fenomenal donde debemos buscar una verdad esencialmente atemporal que niega tanto la irreversibilidad como el

⁴ F. Graudel, *La Méditerranée et le monde méditerranéen à l'époque de Philippe II*, Paris, Armand Colin, 1949 (préface).

acontecimiento.

Lo he dicho al comienzo de esta exposición, la física se reencontra hoy como una ciencia joven. Desde que Laplace, se dice, afirmó a Bonaparte que no habría un "segundo Newton", porque no había más que un solo mundo que descubrir, son numerosos los físicos que han pensado que su ciencia estaba en vías de finalizar. Un problema más a resolver, y todo se aclarará, al menos al nivel de los principios. Hoy, podemos afirmar por el contrario que el mundo de los procesos físicos y químicos, lejos de ser comprendido "en su principio", queda todavía por descubrir ampliamente. La irreversibilidad, el acontecimiento ya no son para los físicos la marca de la apariencia que las leyes de la física permiten rebasar. Caracterizan de manera intrínseca un mundo cuyas preguntas comenzamos a comprender solamente.

Esta transformación del juicio que una ciencia puede hacer sobre su propia historia es, creo, por su naturaleza de interés para los especialistas de las ciencias humanas en al menos tres planos: primero, en tanto que la física es una historia humana; después porque el modelo que constituía la física de ayer ha jugado, como Marc Bloch lo señalaba, un papel en el desarrollo mismo de las ciencias humanas; finalmente porque la física de hoy, en la medida en que se descubre ciencia del devenir físico-químico y no de las leyes intemporales que harían de ese devenir una apariencia, reencuentra en su propio dominio algunos de los problemas que han llevado hasta ahora a dudar de la "cientificidad" de las ciencias humanas.

En *La nueva alianza*(5), hemos descrito la "crisis" de las dos culturas. ¿Cómo comprender la historia humana si la

⁵ La edición de bolsillo de *La nouvelle alliance*, aparecida en la colección "Filio-Essais" en 1986, fue aumentada con un prefacio y dos apéndices, el segundo de los cuales profundiza algunos aspectos de este problema.

comprensión se identifica con la búsqueda de leyes que reducen toda la historia al encadenamiento indiferente de causas y de efectos? Es curioso por otra parte que la historia haya sido dos veces la víctima de este conflicto. Así, para hacer frente al modo de inteligibilidad físico, es más allá de la historia de los hombres como Kant buscó un fundamento a sus prácticas.

El hombre atemporalmente libre, respondiendo a un imperativo ético que trasciende la historia, dominando por el conocimiento una naturaleza sumisa a leyes que ignoran toda posibilidad de historia: cómo sorprenderse de que este cara a cara inestable haya puesto en cuestión sus dos términos, la libertad y el conocimiento. Cada conquista en la inteligibilidad del hombre, venga de la antropología, de la historia o de las ciencias biológicas, ha podido ser vista como una amenaza de "reducción" del hombre a un fenómeno como los otros. Y el conocimiento científico mismo ha sido, muy recientemente todavía, asociado a la "barbarie". "Por qué y cómo cierto tipo de saber, aparecido en la época de Galileo y considerado después como el único saber, produce, según las vías de una necesidad localizable y plenamente inteligible, la subversión de todos los demás valores, tanto de la cultura como de la humanidad del hombre, es perfectamente posible de comprender - a poco que se disponga de una teoría de la esencia de todo saber posible y de su fundamento", escribe Michel Henry (6).

No corresponde a un físico discutir con un filósofo de "la esencia y del fundamento de todo saber posible", ni sustituir a los historiadores para evaluar la "necesidad plenamente inteligible" que lleva a un saber a subvertir la humanidad del hombre. Sin embargo, en tanto que físico, me está permitido sospechar que se ha producido una amalgama demasiado rápida. La

⁶ M. Henry, *La Barbarie*, Paris, Grasset, 1987: 10.

física de hoy es en efecto heredera de este saber "aparecido en la época de Galileo", pero no implica y sobre todo no justifica la subversión de la cultura. Permite correlativamente afirmar que la racionalidad puesta en cuestión por Michel Henry es no "la" racionalidad científica sino una imagen histórica, cargada de cultura, de esta racionalidad.

Del mismo modo, en un libro reciente, Allan Bloom (7) ha recordado la crítica que Swift dedicó a la racionalidad científica. Los habitantes de Laputa, perfectos cartesianos, tienen un ojo girado hacia el cielo, cuyas leyes matemáticas descifran, y el otro girado hacia el interior, hacia su subjetividad egoísta. Y la isla volante de Laputa domina la Tierra gracias al poder técnico fundado sobre el descubrimiento de principios físicos. La ciencia sería por tanto la aliada natural del poder, que domina lo que ella decide ignorar, los hombres que no son ni figuras geométricas ni pura subjetividad reflexiva.

El problema promovido por Swift es grave, y no es de esos que una simple transformación teórica puede resolver. Sin embargo, en la medida en que el modelo de la física ha servido históricamente de referencia y de garante a las lecturas de la racionalidad científica, podemos decir hoy que esta racionalidad ya no puede ser invocada para justificar que los científicos sigan el modelo de los habitantes de Laputa. El enfrentamiento entre el objeto sometido a leyes intemporales y el sujeto libre, dominando el mundo pero despojado de los lazos múltiples que éste teje con él, ya no puede en lo sucesivo decirse "racional" en el sentido de que sería racional oponer el mundo "verdadero", "legal", descifrado por la ciencia, al turbio mundo donde vive el científico.

El ideal clásico de la ciencia, el descubrimiento de un mundo

⁷ A. Bloom, *L'ame désarmée*, Paris Julliard, 1987

inteligible pero sin memoria, sin historia, remite a la pesadilla anunciada por Kundera, Huxley y sobre todo Orwell: en 1984 la lengua misma ha sido aislada de su pasado, y por tanto también de su poder de invención de los futuros; contribuye a apresar a los hombres en un presente sin salida ni alternativa. Esta pesadilla es sin duda la del poder. Pero la supresión de la memoria, la eliminación de los relatos, la reducción de la imaginación ya no pueden prevalecer como el ideal de inteligibilidad que encarnaba la física para pretender ser el precio "racional" a pagar por la constitución de la sociedad en objeto "científico". Muy al contrario, el ejemplo de la física conduciría, como veremos, a definir los juicios a priori a propósito de lo que pueden los hombres, y a propósito de los modelos múltiples sobre los cuales el pasado y el futuro se penetran entre sí en sus presentes, así como en mutilaciones, destructoras de lo que se busca comprender.

Puede parecer extraño que el desarrollo de la física que, ayer, había llevado a Kant a concluir que lo científico no debe "aprender" de la naturaleza sino dirigirse a ella como juez, sabiendo de antemano cómo debe responder, a qué principios está sometida, pueda hoy llevarnos a conclusiones opuestas, a la imposibilidad de juzgar a priori lo que es la descripción racional de una situación, a la necesidad de aprender de ella cómo podemos describirla. Ahí está pues la consecuencia no de un retroceso de la física, sino de su progreso. En la medida en que la física de hoy es susceptible de construir una descripción inteligible del devenir de la materia sin reducirlo a una apariencia, descubre un mundo abierto cuya diversidad no puede ser reducida por ningún esquema racional único. La física, hoy, ya no es la ciencia de un Universo infinito pero cerrado en cuanto a sus comportamientos y sus modos de conocimiento posibles. Es descubrimiento de un mundo marcado por la emergencia de lo nuevo.

Del mundo cerrado al Universo infinito: es así como Alexander Koyré había caracterizado la transformación cosmológica fundamental que implica y explicita la física moderna. Retrospectivamente, comprendemos mejor los límites de la explicitación por las leyes físicas de este infinito abierto por la destrucción de las certidumbres aristotélicas. Mientras que el descubrimiento de lo infinito, de la proliferación de los posibles, del carácter arbitrario de todo límite, iba a penetrar en todos los dominios de la cultura, la física reducía el infinito a la repetición infinita de lo mismo. Esto era así porque los objetos que privilegiaba guardaban por modelo común los movimientos periódicos de los planetas que constituyeron su primer campo de exploración.

Entramos aquí en la descripción del desarrollo teórico de la física contemporánea. Mi último enunciado tiene en efecto un sentido técnico preciso. Todo sistema dinámico "integrable", es decir, cuyas trayectorias se pueden calcular de manera exacta, puede efectivamente por definición ser representado en términos de movimientos periódicos independientes los unos de los otros. Toda trayectoria dinámica tiene por verdad fundamental la periodicidad de los movimientos planetarios.

Esta verdad la volvemos a encontrar en la definición misma de la trayectoria dinámica. Toda trayectoria dinámica es por definición determinista y reversible: define el futuro y el pasado como equivalentes e idénticamente deducibles del presente. De igual modo que las leyes de la dinámica no nos permitirían decir a priori en qué sentido gira la Luna alrededor de la Tierra, no establecen ninguna diferencia intrínseca entre una evolución que parte de un estado inicial hacia un estado situado en el futuro y la evolución que partiría de este estado futuro hacia el estado inicial. Si imagináramos la velocidad de la Luna instantáneamente invertida, veríamos a ésta "remon-tarse" hacia su pasado. Igualmente, si invirtiésemos

instantáneamente todas las velocidades de un sistema de cuerpos en movimiento, este sistema recorrería en sentido inverso la sucesión de todos los estados que le han llevado al momento de la inversión.

La reversibilidad de las leyes dinámicas, así como de las leyes de las dos ciencias fundamentales creadas en el siglo XX, la mecánica cuántica y la relatividad, traducen una negación del tiempo tan radical como ninguna cultura, ningún saber colectivo jamás había imaginado. Muchas especulaciones han cuestionado la idea de novedad, han afirmado el inexorable encadenamiento de las causas y de los efectos. Muchos saberes místicos han negado la realidad de este mundo cambiante e incierto y han definido el ideal de una existencia que permite escapar al dolor de la vida. Conocemos por otra parte la importancia, en la Antigüedad, de la idea de un tiempo circular, que vuelve periódicamente a sus orígenes. Pero el mismo eterno retorno está marcado por la flecha del tiempo, como el ritmo de las estaciones o el de las generaciones humanas. Ninguna especulación, ningún saber afirmó nunca la equivalencia entre lo que se hace y lo que se deshace, entre una planta que crece, florece y muere y una planta que resucita, rejuvenece y vuelve a su grano primitivo, entre un hombre que madura y aprende y un hombre que, progresivamente, se vuelve niño, después embrión, después célula.

Y por ello, desde su origen, la dinámica era portadora de esta negación, la teoría física que se identifica con el triunfo mismo de la ciencia. Históricamente, es notable que los físicos no hayan tomado consciencia de esta consecuencia de las leyes dinámicas antes de ser constreñidos por ellas. Laplace había anunciado el determinismo de un mundo sometido a las leyes de la dinámica: su demonio, contemplando un instante del Universo, podría deducir de él indiferentemente el pasado y el porvenir en sus menores detalles. Pero es solamente al final

del siglo XIX cuando aparece el "demonio de Maxwell", el cual, capaz de observar y de modificar el curso individual de las moléculas, podría luchar contra la irreversibilidad, y para quien no tiene sentido intrínseco la diferencia entre pasado y futuro que permite definir el segundo principio de la termodinámica.

Sería por tanto un error de perspectiva ver en la negación de la flecha del tiempo por la física una "conquista conceptual", similar por ejemplo a la negación hecha por la relatividad de la simultaneidad absoluta de dos acontecimientos distantes. Por el contrario, la formulación por Clausius del famoso "segundo principio de la termodinámica", "la entropía del Universo crece hasta su máximo", marca la importancia que los físicos del siglo XIX atribuyeron al hecho de que la física, finalmente, al igual que otras ciencias de la época, podía describir un mundo "histórico".

Ciertamente, la historia termodinámica del mundo parecía deber resumirse en una evolución fatal hacia la "muerte térmica", hacia la nivelación definitiva de todas las diferencias que alimentan los procesos irreversibles. La producción de entropía que define la irreversibilidad de un proceso termodinámico define en efecto a éste por la destrucción progresiva que opera de sus propias condiciones. El flujo de calor tiene por condición una diferencia de temperatura y anula sin retorno esta diferencia. Sin embargo, para ciertos físicos tales como Planck y Boltzmann, lo esencial era que la naturaleza perdía, con el segundo principio, la *indiferencia* que parecía conferirle la dinámica. El segundo principio traducía, como dijo Planck, que la naturaleza no es indiferente, que tiene "propensiones", "preferencias" por ciertos estados. La física de los sistemas disipativos, productores de entropía, ha recogido esta concepción de Planck bautizando los regímenes finales de una evolución irreversible con el nombre de

"atractor".

La física, a finales del siglo XIX, ha conocido una crisis profunda con el descubrimiento del carácter intrínsecamente irreconciliable de las leyes de la dinámica y de la irreversibilidad termodinámica. No puedo entretenerme aquí sobre el dramático fracaso de Boltzmann, que creyó poder dar una interpretación puramente dinámica al crecimiento de la entropía y se vio progresivamente forzado a negar el carácter intrínseco de la irreversibilidad, y a definirla como relativa al nivel macroscópico donde se sitúan nuestras observaciones. Se puede ver en la transformación de este fracaso en triunfo el verdadero nacimiento de la física de comienzos del siglo XX, esta física de la que Einstein ha constituido el mejor símbolo y que se atribuyó como vocación descubrir, más allá de los fenómenos cambiantes, una verdad intemporal. ¿Tuvo Dios la menor opción, en el momento de crear el Universo?: esta es, dijo un día Einstein, la única pregunta que debería interesar verdaderamente a un físico.

Hoy, la física a reencontrado una nueva coherencia orientada no sobre la negación del tiempo, sino sobre el descubrimiento del tiempo en todos los niveles de la realidad física. Consagrará la segunda parte de mi exposición a las perspectivas que abre esta nueva coherencia.

* * *

Comencemos por esta física de los sistemas disipativos, de los sistemas caracterizados por "atractores" en la que Boltzmann y Planck habían visto el anuncio de una física del devenir. Sabemos hoy que su esperanza estaba justificada. La evolución irreversible de un sistema hacia su estado atractor no puede ser identificada con una evolución hacia la uniformidad más que en el caso de que el atractor sea el estado de equilibrio

termodinámico. Lejos del equilibrio, la irreversibilidad, la producción de entropía pueden ser definidas como *fuentes de orden*.

Consideremos una situación experimental muy simple: la experiencia de termodifusión. Tenemos dos recintos unidos por un canal y llenos de una mezcla de dos gases, por ejemplo de hidrógeno y de nitrógeno. Partimos de una situación de equilibrio: los dos recintos están a la misma temperatura, a la misma presión, y contienen la misma mezcla homogénea de los dos gases. Establezcamos ahora una diferencia de temperatura entre los dos recintos. La desviación del equilibrio que constituye esta diferencia de temperatura no puede ser mantenida más que si es alimentada por un flujo de calor que compense los efectos de la difusión térmica. No estamos pues en un sistema "aislado", sino en un sistema "cerrado", donde uno de los recintos es calentado permanentemente mientras que el otro es enfriado. Así pues, la experiencia muestra que, unido al proceso de difusión de calor, se produce un proceso de *separación de los dos gases*. Cuando el sistema haya alcanzado su estado estacionario, tal que, para un flujo de calor dado, la diferencia de temperatura ya no varíe en el curso del tiempo, habrá más, digamos, hidrógeno en el recinto caliente, y más nitrógeno en el frío, siendo la diferencia de concentración proporcional a la diferencia de temperatura.

Vemos que, en este caso, la actividad productora de entropía no puede ser asimilada a una simple nivelación de las diferencias. Ciertamente, la difusión térmica juega este papel, pero el proceso de separación de los gases mezclados que se produce por acoplamiento con la difusión es un proceso de creación de diferencia, un proceso de "anti-difusión" que mide una contribución *negativa* a la producción de entropía.

Este simple ejemplo muestra hasta qué punto es necesario

que nos liberemos de la idea de que la actividad productora de entropía es sinónimo de degradación, de nivelación de las diferencias. Pues, si es cierto que debemos pagar un precio entrópico por mantener en su estado estacionario el proceso de termodifusión, también es cierto que este estado corresponde a una creación de orden. Una nueva mirada se vuelve ahora posible: podemos ver el "desorden" producido por el mantenimiento del estado estacionario como lo que nos permite crear un orden, una diferencia de composición química entre los dos recintos. El orden y el desorden se presentan aquí no como opuestos el uno al otro sino como indisociables.

¿A qué llamamos orden? ¿A qué llamamos desorden? Cada uno sabe que las definiciones varían y traducen frecuentemente juicios sobre la belleza, la utilidad, los valores. Por tanto, estos juicios se enriquecen también de lo que aprendemos. Durante mucho tiempo, la turbulencia se nos ha impuesto como el ejemplo por excelencia de desorden. Por el contrario, el cristal ha aparecido como la figura del orden. En adelante estamos en condiciones de complicar este doble juicio. Sabemos hoy que debemos comprender el régimen turbulento como "ordenado": los movimientos de dos moléculas situadas a distancias macroscópicas, que se miden en centímetros, están correlacionados. Por el contrario, los átomos que forman un cristal vibran alrededor de su posición de equilibrio de forma incoherente: el cristal está desordenado desde el punto de vista de sus modos de excitación.

Pero el ejemplo de la termodifusión va más lejos de *articular* "orden" y "desorden", y plantea el problema del "precio" de la creación de orden. La separación química entre los dos gases, que no es una selección ejecutada de una vez por todas sino un proceso permanente, tiene por precio una creación de "desorden", la nivelación también permanente de la diferencia de temperatura que mantiene el flujo de calor.

Encontramos una articulación parecida en el metabolismo vi-
viente, donde la construcción de las moléculas biológicas
compuestas se acompaña de la destrucción de otras moléculas,
correspondiendo la suma de los procesos, por supuesto, a
una producción de entropía positiva. Pero ¿podemos prolongar
esta idea allí donde la termodinámica ya no puede guiarnos,
allí donde se trata en particular de las relaciones de los
hombres entre ellos y con la naturaleza? La intensificación de
las relaciones sociales que favorece la vida urbana, por ejemplo,
¿no ha sido al mismo tiempo fuente de despilfarro, de población,
y de invenciones, prácticas, artísticas, intelectuales? La analogía
es fecunda puesto que articula lo que demasiado a menudo
estamos tentados a oponer, pero no funda, hay que decirlo,
ningún juicio en cuanto a los valores respectivos de lo que es
creado y destruido, y sobre todo no legitima nuestra historia
como necesaria u óptima. El ejemplo de la física puede alumbrar
el problema planteado a los hombres, no resolverlo.

Volvamos a la físico-química. El fenómeno de termodifusión
es un fenómeno continuo: la separación de los dos gases es
proporcional a la diferencia de temperatura. Pero, en otros
casos, nos encontramos con fenómenos bruscos, espectaculares,
con la aparición de nuevos regímenes de funcionamiento,
cualitativamente diferentes, que se producen a una distancia
determinada del equilibrio, es decir, a partir de un umbral de
intensidad de los procesos irreversibles cuyo asiento es el sistema.

No nos entretendremos aquí en el descubrimiento de las "estructuras
disipativas". Tomemos, para iluminar la sorpresa que han constituido,
el ejemplo célebre de la "inestabilidad de Bénard". Una delgada
capa líquida es sometida a una diferencia de temperatura entre
la superficie inferior, calentada permanentemente, y la superficie
superior, en contacto con el

entorno exterior. Para un valor determinado de la diferencia de temperatura, el transporte de calor por conducción, donde el calor se transmite por colisión entre las moléculas, pasa a un transporte por convección, donde el calor se transmite por un movimiento colectivo de las moléculas. Se forman entonces torbellinos que distribuyen la capa líquida en "celdas" regulares. Miles de millones de moléculas que, antes, tenían un movimiento desordenado, participan ahora en un comportamiento colectivo. La formación de las celdas de Bénard constituye verdaderamente la emergencia de un fenómeno macroscópico, caracterizado por dimensiones del orden de un centímetro, a partir de una actividad microscópica que no implicaba más que longitudes del orden del angstrom (10^{-8} cm). ¿Cómo habríamos podido creer posible la emergencia de este comportamiento colectivo si la experiencia no lo hubiera impuesto?

De igual modo, hizo falta que la experiencia nos permita observar "relojes químicos" para que nos pudiéramos creer que de millones de colisiones aleatorias que se producen en cada segundo entre las moléculas y en ocasión de las cuales se producen las reacciones químicas pueda nacer un ritmo macroscópico. Con una periodicidad del orden del minuto, el medio reaccional cambia, sin embargo, de color, como si un misterioso director de orquesta señalara los momentos en que las reacciones deben hacer variar la composición química del medio. Pero sabemos que no hay director de orquesta aquí, como tampoco hay, en los torbellinos de Bénard, un agente puesto al frente de la circulación de moléculas. Los procesos disipativos que conducen, lejos del equilibrio, a la formación de estructuras disipativas son los mismos que aquéllos que se compensan mutuamente en el equilibrio.

De hecho, es el mismo estado de equilibrio, no los regímenes de funcionamiento de la materia lejos del equilibrio, el que

puede aparecer en adelante como singular en cuanto permite describir los procesos haciendo abstracción del tiempo. En cada instante, en el equilibrio, las consecuencias de un acontecimiento, por ejemplo una reacción química, son anuladas por otro acontecimiento. Por esto no existe ninguna diferencia entre diferentes sistemas químicos en equilibrio, ya sean los mecanismos de reacción lineales o no lineales (el producto de una reacción cataliza ésta reacción u otra, por ejemplo). Por el contrario, lejos del equilibrio, las consecuencias de una reacción no son inmediatamente anuladas sino que son susceptibles de propagarse y, si existen mecanismos no lineales, favorecer o inhibir otras reacciones, lo que en consecuencia...

La lógica de la descripción de los procesos lejos del equilibrio no es ya una lógica de balance, sino una lógica narrativa (si..., entonces...). La actividad coherente de una estructura disipativa es en sí misma una *historia*, que tiene por materia el envite mutuo entre acontecimientos locales y la emergencia de una lógica coherente global que integra la multiplicidad de esas historias locales.

El descubrimiento de estos regímenes colectivos de actividad asocia lo que propondré definir como los tres elementos mínimos que exige toda historia: la irreversibilidad, las probabilidades, la posible emergencia de novedades coherentes. El movimiento (idealmente) reversible de la Luna alrededor de la Tierra no es una historia, pero la toma en consideración de los rozamientos que alejan imperceptiblemente la Luna de la Tierra cada año no basta tampoco para construir una historia. Para que ésta tome un sentido, hace falta que podamos imaginar que lo que ha tenido lugar hubiera podido no producirse, hace falta que unos acontecimientos sólo probables jueguen un papel irreductible. Pero una sucesión de tiradas de dados no es tampoco una historia. Falta aún que algunos de esos acontecimientos tengan una apuesta, que sean

susceptibles de abrir a posibilidades que ellos condicionan sin -claro está- bastar para explicarlas.

Irreversibilidad y probabilidades caracterizan todo sistema químico, esté o no en equilibrio, pero es lejos del equilibrio donde algunos acontecimientos locales pueden dejar de ser insignificantes. donde una fluctuación local de concentración puede arrastrar a un nuevo tipo de régimen de funcionamiento. Un sistema cada vez más desviado del equilibrio puede, de bifurcación en bifurcación, conocer una sucesión de esos regímenes, pasar de la regularidad del reloj químico al "caos", donde su actividad puede definirse como lo inverso del desorden indiferente que reina en el equilibrio: ninguna estabilidad asegura ya la pertinencia de una descripción macroscópica, todas las posibilidades se actualizan, coexisten e interfieren, el sistema es "al mismo tiempo" todo lo que él puede ser.

¿Qué pasará si...? ¿Qué habría pasado si...? Son éstas preguntas no sólo de historiador, sino también de físico frente a un sistema que ya no puede representarse como manipulable y controlable. Estas preguntas no remiten a una ignorancia contingente y superable sino que definen la singularidad de los puntos de bifurcación, donde el comportamiento del sistema se vuelve inestable y puede evolucionar hacia varios regímenes de funcionamiento estables. En tales puntos, un "mejor conocimiento" no nos permitiría deducir lo que ocurrirá, sustituir la certidumbre a las probabilidades. Es pues el "diagrama de las bifurcaciones", el "mapa de los posibles" que explora un sistema cuando se ha apartado progresivamente del equilibrio por una modificación de sus relaciones con su medio, el que determina en cada caso lo que será previsible, y lo que sólo seremos capaces de constatar y contar.

Igualmente lejos del equilibrio, un sistema puede volverse

sensible a algunos aspectos de su propia realidad que eran insignificantes en equilibrio. Es el caso, como hemos visto, de la no-linealidad de los procesos que se producen en dicho sistema, pero es igualmente el caso para una fuerza tal como la fuerza de gravitación. Ésta no tiene efecto observable en un sistema en equilibrio, pero sin ella las celdas de Bénard no se formarían. Es pues la actividad disipativa misma quien determina lo que, en la descripción de un sistema físico-químico, es pertinente o puede ser despreciado.

¿A qué es sensible un ser? ¿Por qué puede ser afectado? ¿De qué le hacen capaz sus relaciones con su mundo? Tales cuestiones toman ya sentido para "seres" tan simples como los sistemas físico-químicos. ¿Por qué no se plantearían más urgentemente aún a los que estudian los seres vivos, dotados de memoria, capaces de aprender y de interpretar? ¿Cómo no encontrarían un sentido aún más crucial cuando se trata de hombres a los que el lenguaje hace sensibles a la indefinida multiplicidad de sus pasados, de los futuros que pueden temer o esperar, de las lecturas divergentes que estallan desde el presente? ¿No son las ciencias, ellas mismas, uno de los vectores de esta sensibilidad? Para los hombres de hoy, el "big bang" y la evolución del Universo forman parte del mundo, con el mismo derecho que, ayer, los mitos del origen. ¿Cómo juzgar a priori lo que "es" el hombre, cuáles son los conceptos pertinentes para definir su identidad si ya la identidad de un sistema físico-químico es relativa a su actividad? ¿Cómo un físico, después del descubrimiento del papel crucial de las relaciones lineales en física, podría ignorar la singularidad de la historia de los hombres donde tales relaciones son omnipresentes, enredando puntos de vista locales, visiones globales, representaciones divergentes del pasado, del presente y del porvenir?

Los instrumentos conceptuales producidos por la física de los

sistemas disipativos ya no son los instrumentos de un juicio, destinado en principio a diferenciar entre las apariencias anecdóticas, circunstanciales, y una verdad general. Son instrumentos de exploración, susceptibles de engendrar nuevas cuestiones, de suscitar distinciones inesperadas. Así ocurre por ejemplo con el descubrimiento de la gran diversidad de los atractores. Ya he aludido a los atractores "puntuales", el estado de equilibrio principalmente, a los atractores periódicos, que traducen los "relojes químicos". Pero conocemos desde hace algunos años atractores caóticos que confieren a un sistema, descrito sin embargo por ecuaciones deterministas, un comportamiento errático. ¿Qué pertinencia tendrán tales instrumentos en la exploración de esta realidad múltiple, concreta, que es la de la naturaleza y la historia de los hombres? No puedo detenerme aquí para describir los temas donde ya intervienen, el de la meteorología o el del origen de la vida, principalmente. El punto esencial, me parece, es que el ejemplo de la física ya no puede arrastrar a otras ciencias a "fiscalizar" su objeto, sino que debe, por el contrario, abrirlas al problema que comparten con la física, el problema del devenir.

* * *

Llego ahora a la última parte de mi exposición, al problema de la coherencia de la física misma. La convicción de Boltzmann, para quien la irreversibilidad debía estar en el centro de la física, está hoy comprobada: la irreversibilidad abre la física al problema del devenir. Pero las leyes fundamentales de la física condenarían esta irreversibilidad como determinada por un modo de descripción aproximativo. Sería porque ignoramos el movimiento de cada molécula individual y porque caracterizamos un sistema en términos de variables

macroscópicas por lo que observamos una evolución irreversible, la evolución hacia el estado macroscópico más probable, la que realiza la inmensa mayoría de las configuraciones microscópicas a priori posibles. Las probabilidades y la irreversibilidad no tendrían pues más que una significación negativa, traducirían la distancia entre el observador humano y aquel que podría observar un sistema de miles de millones de moléculas como nosotros observamos el sistema planetario.

En mecánica cuántica, la situación es más compleja. Todos saben que la mecánica cuántica no puede predecir más que probabilidades. Sin embargo la ecuación fundamental que está en el centro de la mecánica cuántica - la ecuación de Schroedinger - describe una evolución determinista y reversible. Es el acto de medida, irreversible, lo que introduce las probabilidades en mecánica cuántica. Esta estructura dual propia de la mecánica cuántica - la evolución de la función de onda inobservable en el espacio de Hilbert y su "reducción", que permite determinar las probabilidades de los diferentes tamaños observable - ha hecho correr ríos de tinta. Es ella la que ha llevado a ciertos físicos a afirmar que, en el fondo, es la conciencia humana quien es responsable de la posibilidad de caracterizar el mundo cuántico en términos de probabilidad de observación.

Como ya señalamos en *La nueva alianza*, el formalismo actual de la mecánica cuántica traduce por su singularidad misma su solidaridad profunda con el modo de conceptualización clásico de la física, y hace aparecer de manera explícita los límites de éste. Toda descripción física se refiere a observaciones, a medidas, y no existe medida sin marca, sin producción irreversible de un rastro. Naturalmente, en astronomía por ejemplo, podemos olvidar que si se puede observar una estrella lejana es porque arde irreversiblemente y porque los fotones que emite impresionan la retina del astrónomo o

su placa fotográfica. Pero cuando se trata de "observar" el mundo cuántico, nuestro único acceso experimental es el acontecimiento, colisión, emisión o absorción de fotones, desintegración, etc. Ahora bien, al igual que la mecánica clásica, la mecánica cuántica no puede dar sentido intrínseco al acontecimiento. Les remito aquí a la célebre parábola del "gato de Schroedinger":

Una partícula radiactiva está encerrada en una caja con un gato. Si se desintegra provocará la rotura de un frasco de veneno que causará la muerte del gato. La mecánica cuántica nos prohíbe, frente a la caja cerrada, decir: ora la partícula está intacta, ora se ha desintegrado; ora el gato está vivo, ora está muerto. Sólo cada vez que abrimos la caja, cuando observamos el gato, podemos decir, eventualmente, "está muerto, luego la partícula se ha desintegrado".

Es la observación lo que da sentido al acontecimiento, y no a la inversa.

Según algunas representaciones filosóficas de la historia de las ciencias, éstas progresarían por la negación. El progreso de la "razón" científica exigiría entonces que confiáramos al dominio de la opinión incompetente la idea de una distinción intrínseca entre pasado y futuro, como hemos abandonado la idea de causa final o de simultaneidad absoluta de acontecimientos distantes. Esta representación del progreso científico me parece peligrosa. Desprecia el hecho de que, en materia científica, negación y afirmación son indisociables. El fracaso de Boltzmann, y la negación de la flecha del tiempo que de él se deriva, supone que queda demostrada la validez general de la noción de trayectoria dinámica. Recordemos aquí la declaración de Sir James Lighthill: el determinismo reversible en cuyo nombre la flecha del tiempo fue negada era una creencia que se revela hoy ilegítima. El descubrimiento de los límites

de validez de la noción de trayectoria abre por tanto el espacio conceptual donde puede construirse un sentido dinámico intrínseco de la flecha del tiempo.

De hecho, desde 1892, estos límites estaban definidos. Poincaré demostró que la mayor parte de los sistemas dinámicos no pueden ser definidos en términos de "invariantes del movimiento", es decir, ser representados en términos de estos movimientos periódicos independientes a los que, como ya he dicho, la descripción de un sistema dinámico integrable puede ser referida. La razón de esta imposibilidad es el fenómeno de "resonancia", es decir, la transferencia de energía y de cantidad de movimiento entre dos movimientos periódicos.

Desde un punto de vista histórico, es interesante constatar que la "catástrofe de Poincaré" no tuvo consecuencias. El ideal de un mundo descrito en términos de trayectorias dinámicas -o de funciones exactas cuánticas- continuó dominando el pensamiento. Es sólo en el transcurso de estos últimos años cuando el desarrollo de la "dinámica cualitativa", al que se asocian los nombres del llorado Kolmogorov, de Arnold y de Moser, ha terminado definitivamente con la creencia según la cual, ya que responden a un mismo tipo de ecuaciones, los sistemas dinámicos pertenecen a una clase homogénea.

Los sistemas dinámicos estudiados por Poincaré se caracterizan por puntos de resonancia escasos, como son escasos los números racionales respecto a los números irracionales. Sin embargo, para los "grandes" sistemas (cuyo volumen tiende a infinito) sabemos que la situación se invierte. Las resonancias se acumulan por todas partes en el espacio de las fases, se producen a partir de ahora no ya en cualquier punto racional sino en cualquier punto real. A partir de entonces, los comportamientos no periódicos dominan. El sistema dinámico se caracteriza entonces por un comportamiento *caótico*.

El sistema caótico pone en cuestión la noción misma de causalidad. La idea de causa ha estado siempre, más o menos explícitamente, asociada a la noción de "mismo", necesaria para dar a la causa una capacidad operativa. "Una *misma* causa produce, en circunstancias *semejantes*, un *mismo* efecto". "Si preparamos dos sistemas semejantes de la misma manera, obtendremos el mismo comportamiento". Incluso los historiadores, cuando invocan una relación de causalidad, se arriesgan a pensar que si las circunstancias hubieran sido ligeramente diferentes, si el viento hubiera soplado menos fuerte, si tal persona hubiera elegido llevar una ropa diferente, la situación que analizan, en lo esencial, no se habría modificado. Este riesgo es el de toda descripción, el de toda definición. Tanto las palabras como los números tienen una precisión finita. Toda descripción, verbal o numérica, define una situación no como idéntica a sí misma, sino como perteneciente a una clase de situaciones todas compatibles con la misma descripción. Así, si observamos un sistema caótico partiendo de dos estados iniciales tan semejantes como queramos, veremos evoluciones que divergen con el paso del tiempo de forma exponencial. El comportamiento de un sistema caótico, a pesar de ser descrito por ecuaciones deterministas, es esencialmente no reproducible.

Cada estado de un sistema dinámico integrable contiene, ya lo he señalado, su pasado y su futuro. El comportamiento caótico nos lleva a *situar* el presente, a caracterizar lo que el presente puede decirnos del futuro por su *horizonte temporal*. Sea cual sea la precisión de la definición de un estado, existe un tiempo de evolución después del cual esta definición habrá perdido toda pertinencia: más allá de este horizonte, la noción de trayectoria individual pierde su sentido. Como un verdadero horizonte, el horizonte temporal de los sistemas caóticos diferencia entre lo que podemos "ver" desde donde estamos y

el más allá, la evolución que ya no podemos describir en términos de comportamiento individual sino sólo en términos de comportamiento errático, común a todos los sistemas caracterizados por el atractor caótico. Por supuesto, podemos intentar "ver más lejos", prolongar el tiempo durante el cual podemos prever una trayectoria, aumentando la precisión de su definición, restringiendo la clase de los sistemas que consideramos como "los mismos", pero el precio a pagar se vuelve rápidamente desmesurado: así, para multiplicar por diez el tiempo durante el cual la evolución se mantiene previsible a partir de sus condiciones iniciales, debemos aumentar la precisión de la definición de estas condiciones hasta un factor de *e10*.

La descripción de los sistemas dinámicos caóticos impone una renovación del lenguaje mismo de la dinámica. Éste, en la medida en que supone un conocimiento infinitamente preciso del estado de un sistema dinámico, oculta de hecho la diferencia cualitativa entre sistemas dinámicos. Confiere al físico un punto de vista infinito a partir del cual es invisible el horizonte temporal que caracteriza los comportamientos caóticos, punto de vista que permite olvidar los límites de todo conocimiento concebible, es decir, finito. El ideal de conocimiento que implica el lenguaje de la dinámica clásica es pues ilegítimo, en el sentido de que, en el caso de los sistemas caóticos, no respeta el límite que define las condiciones de nuestro modo de conocimiento, históricamente contingentes, sino del conocimiento en general.

Desgraciadamente no me es posible describir aquí con detalle el nuevo lenguaje dinámico, que, hoy, nos permite integrar esta limitación, y dar incluso un sentido intrínseco, y no ya determinado por nuestra falta de conocimiento, a las probabilidades que había introducido Boltzmann para articular dinámica y termodinámica. Debemos precisar que este lenguaje

sustituye el estado dinámico clásico, y a la ley de evolución reversible que parecía permitir deducir indiferentemente de este estado el pasado y el futuro, por un estado y una ley de evolución de simetría temporal rota. Esta doble ruptura de simetría expresa de manera positiva lo que la noción de horizonte temporal expresaba como un límite: la noción de un presente abierto sobre un futuro intrínsecamente aleatorio.

Esta transformación de la dinámica constituye, me parece, un ejemplo privilegiado del carácter abierto, inventivo, de la construcción de la inteligibilidad físico-matemática. El lenguaje de la dinámica clásica estaba marcado por una incoherencia implícita: ¿cómo aceptar que sea nuestra falta de conocimiento lo que da sentido a la irreversibilidad, sin la cual, por no hablar de nuestra vida misma, es inconcebible la actividad de medida que presupone toda teoría física? Ahora bien, no es abandonando la dinámica sino comprendiéndola, comprendiendo al mismo tiempo las razones y los límites de sus éxitos, como el problema ha podido ser resuelto. Por esta razón la significación que podemos dar hoy a la flecha del tiempo se dirige a la vez hacia el pasado y hacia el futuro de la dinámica. Hacia el pasado, ya que concebimos la irreversibilidad como la traducción de la progresiva pérdida de pertinencia de todo conocimiento, de todo poder de control, determinada por el carácter caótico del sistema, y expresamos así en su definición misma las razones del abandono del ideal clásico. Hacia el futuro, dado que la nueva descripción dinámica renueva nuestra mirada y nuestros instrumentos conceptuales. En particular, transforma la idea que nos hacemos de la irreversibilidad macroscópica.

Esta irreversibilidad ha sido siempre definida como relativa a las condiciones macroscópicas de no-equilibrio. El estado de equilibrio sería indiferente a la flecha del tiempo. Hoy, la relación entre microscópico y macroscópico se encuentra

invertida: en un sistema susceptible de una evolución irreversible hacia el equilibrio, *la diferencia entre pasado y futuro persiste en el nivel microscópico incluso en un sistema en equilibrio*. No es el no-equilibrio lo que crea la flecha del tiempo, es el equilibrio lo que impide a la flecha del tiempo, siempre presente en el nivel microscópico, tener efectos macroscópicos. El no-equilibrio no crea la flecha del tiempo, pero le permite aparecer en el nivel macroscópico, manifestarse ahí no sólo por la evolución hacia el equilibrio sino también, como hemos visto, por la creación de comportamientos colectivos coherentes.

Sin embargo, la dinámica no es hoy la teoría de la realidad microscópica. Llegamos así al problema de la mecánica cuántica.

Aunque ha sido cuestionada por muchos de sus intérpretes, desearía subrayar que, para la mayoría de los físicos, la mecánica cuántica es la más potente de las teorías jamás construida por la física. En el ámbito experimental, sus predicciones han sido confirmadas con una precisión extraordinaria. Sin duda por eso la mayor parte de las críticas han intentado transformar la interpretación que damos a este formalismo sin modificarlo. Ahora bien, nuestra perspectiva implica una modificación de este formalismo.

Karl Popper escribía a propósito de la mecánica cuántica: "Mi propio punto de vista es que *el indeterminismo es compatible con el realismo*, y que la aceptación de este hecho permite adoptar una epistemología objetivista coherente, una interpretación objetivista del conjunto de la teoría cuántica, y una interpretación objetiva de la probabilidad" [\(8\)](#). Pero él sabía

⁸ K. Popper, *Quantum Theory and the Schism in Physics*, Totowa, NJ, Rowman & Littlefield, 1982: 175.

que este punto de vista revelaba un "sueño metafísico". En efecto, la mecánica cuántica actual no se limita, como la dinámica clásica, a someter la evolución de la función de onda a una ley reversible y determinista. Su formalismo ha tomado por modelo la descripción de los sistemas dinámicos *integrables*. Presupone la posibilidad de representar el comportamiento de un sistema en términos de movimientos periódicos independientes, posibilidad que, como demostró Poincaré, estaba restringida a una clase de sistemas dinámicos muy particular.

Aquí, una vez más, me es imposible entrar en detalles. El nuevo formalismo al que recientemente hemos llegado acentúa el carácter probabilista de la descripción cuántica, y confiere a las probabilidades una significación intrínseca, independiente de la medida. Siendo más precisos, este formalismo no toma por objeto privilegiado al átomo aislado, caracterizado en términos de estados estacionarios estables, sino al átomo en interacción con el campo que induce. Es por la resonancia entre el átomo y este campo por lo que, desde 1928, Dirac había explicado la inestabilidad de los estados estacionarios excitados, el hecho de que el átomo recupera espontáneamente su estado fundamental emitiendo uno (o varios) fotones. Sin embargo, el tiempo de vida de los estados excitados no pudo, en la mecánica cuántica usual, recibir una significación precisa, no pudo ser definido más que respecto a un tratamiento aproximado (regla de oro de Fermi). Ya lo he señalado, la mecánica cuántica actual, contrariamente a la primera teoría cuántica de Bohr, Sommerfeld y Einstein, no permite describir el acontecimiento que constituye la transición de un átomo hacia su estado fundamental con emisión de un fotón, y hace que las nociones de acontecimiento, de tiempo de vida y de probabilidad sean relativas al acto de observación.

Hemos mostrado que es de hecho imposible definir un átomo

en interacción con su campo en términos de invariantes, es decir, describirlo por una función de onda sometida a la ecuación de Schroedinger. El teorema de imposibilidad de Poincaré puede así ser aplicado a la mecánica cuántica y permitir asimismo una clasificación cualitativa de los sistemas cuánticos. El nuevo formalismo que proponemos sustituye la evolución reversible de Schroedinger por una evolución de simetría temporal rota que confiere una significación exacta al tiempo de vida, al acontecimiento probabilista, y da sentido al hecho de que es en el futuro que compartimos con el átomo excitado donde éste recupera su estado fundamental. Este formalismo permite nuevas previsiones en relación con la mecánica cuántica. Conduce entre otras cosas a prever un desplazamiento de los niveles energéticos del átomo. En el caso de las experiencias usuales, este desplazamiento es demasiado ligero para ser observado, lo que es coherente con el éxito predictivo de la mecánica cuántica actual. Pero hemos comenzado a imaginar, en colaboración con los experimentadores, el tipo de situación experimental que permitiría refutar o confirmar nuestras previsiones, y, con ellas, la nueva representación que proponemos de un átomo intrínsecamente marcado por la flecha del tiempo.

Llegamos así a una "síntesis" entre la primera teoría cuántica, que fue alimentada esencialmente por la termodinámica estadística, y la segunda, que buscó dar una interpretación puramente mecánica a los procesos resultantes del acoplamiento entre un átomo y un campo electromagnético. El átomo reversible de la mecánica cuántica es una idealización, la definición intrínseca del átomo es relativa al *proceso disipativo* que resulta del acoplamiento con su campo. Las leyes reversibles aparecen a partir de ahora referidas a lo sumo a casos límites. Pero esta síntesis no es más que un primer paso. Queda un terreno enorme por explorar. El mundo cuántico es un mundo

de procesos, cuya descripción debería, como en el caso del acoplamiento entre el átomo y su campo, hacer explícita la flecha del tiempo. En todos los niveles, nuestras descripciones actuales hacen intervenir las nociones de resonancia y de colisión, y podemos así esperar encontrar fenómenos intrínsecamente irreversibles. La reacción química, de la que la teoría actual no da más que una representación fundamentalmente estática, deberá sin duda ser redefinida de forma radical, así como las interacciones fuertes estudiadas por la física de altas energías.

Como hemos subrayado, el carácter reversible de la ecuación de Schroedinger ha conducido a una pérdida del realismo físico. Conforme al "sueño metafísico" de Karl Popper, encontramos aquí una forma de realismo, centrado no alrededor de la noción de evolución determinista sino alrededor de la de *acontecimiento*. Son los acontecimientos los que permiten nuestro diálogo experimental con el mundo microscópico, es a ellos a quienes una teoría realista del mundo cuántico debe dar un sentido para escapar de las paradojas que han obsesionado a la mecánica cuántica desde su creación.

Para terminar esta muy rápida aproximación a la profunda transformación conceptual que conoce hoy la física, cómo evitar la cuestión que fascina tanto a los físicos como al público, la del origen del Universo.

Para muchos físicos continúa siendo inimaginable aún hoy que la física pueda tomar al Universo por objeto y aventurarse, con la cuestión del "Big Bang", en un ámbito hasta entonces reservado a las especulaciones religiosas y filosóficas: la "cosmogonía". Sin embargo, este desarrollo inesperado de la física parece irreversible. La alianza entre teoría y observación ha transformado ya de manera intrínseca el pensamiento cosmológico, imponiéndole mutaciones inesperadas.

Cuando, en 1917, Einstein propuso el primer modelo del Universo, se trataba de un Universo estático, eterno, expresión físico-matemática de la tautología parmenidiana "el ser es". Desde 1922, estaba claro para los matemáticos que las soluciones naturales a las ecuaciones de Einstein designaban un Universo no eternamente idéntico a sí mismo, sino ya en contracción, ya en expansión, y la observación de las galaxias lejanas concluyó: estas galaxias se alejan de nosotros a un ritmo tanto más rápido cuanto más alejadas están, es decir que las observamos tal y como fueron en un pasado más distante. Nuestro Universo está por tanto en expansión. Pero es el descubrimiento de la radiación fósil, en 1965, lo que, según palabras de Wheeler, confrontó a la física con la más grande de sus crisis, es decir, forzó a los físicos a tomarse en serio la consecuencia de un Universo en expansión: en el origen de esta expansión, hace quince mil millones de años, se piensa hoy, toda la materia y la energía que constituye nuestro Universo ha debido estar concentrada en un punto sin dimensión. Con la radiación "fósil", los ecos del "Big Bang", como lo había denominado con burla Fred Hoyle, llegaban hasta nosotros.

Los fotones de longitud de onda centimétrica que bañan la totalidad del Universo observable son para los astrofísicos el testimonio de que la materia, que es el objeto de las leyes físicas actuales, no es un "dato", sino el producto de una historia que ha acompañado a la expansión del Universo y cuyos fotones, productos residuales inertes, permiten medir el coste entrópico: en el seno de nuestro Universo hay alrededor de 10 o 10 fotones por un barión, una partícula material de estructura compleja como el protón o el neutrón.

Universo inmutable o Universo destinado a la muerte: si bien estas dos concepciones se inspiran en la ciencia, sus raíces se remontan mucho más lejos en la historia del pensamiento humano. En cambio, quién hubiera podido imaginar que

podamos vernos abocados a situar la "muerte térmica" del Universo no en el final de su historia sino en su origen, a concluir que el orden que caracteriza nuestro Universo actual no es un orden superviviente de la degradación progresiva, sino un orden producido durante una explosión entrópica original. Y esta "explosión" podría traducir el *nacimiento* mismo de nuestro Universo. En efecto, según un argumento reciente, la singularidad inicial del "Big Bang" podría sustituirse por la inestabilidad de un espacio-tiempo original "vacío" en el sentido de la mecánica cuántica. Es en términos de producción irreversible de la materia-energía de nuestro Universo, y no de su concentración infinita, como deberíamos pensar el origen del Universo.

Podemos constatar aquí también el cambio de sentido del segundo principio de la termodinámica. Esta "muerte térmica", esta producción masiva de entropía que situamos en los orígenes de nuestro Universo ya no es, con toda seguridad, una muerte. Marca por el contrario el paso de un Universo vacío a un Universo poblado de energía y de materia actuales, evalúa el precio del paso a la existencia de nuestro Universo.

En cada nivel de la física, encontramos el tiempo irreversible asociado al devenir de la materia allí donde ayer leyes atemporales reducían este devenir a la repetición de lo mismo. Se podría tratar de ir más lejos, plantear la pregunta: ¿de dónde viene la flecha del tiempo? ¿Surgió con la ruptura primordial de simetría del "vacío cuántico"? Nada de eso: esta ruptura de simetría eventual, así como las condiciones de no-equilibrio en el mundo que conocemos, revela la existencia de la flecha del tiempo, pero no la crea. En efecto, nos hace falta presuponer ya la existencia de esta flecha del tiempo para demostrar la inestabilidad del Universo vacío, la posibilidad de que ciertas fluctuaciones desencadenen el mecanismo cooperativo que habría creado simultáneamente la materia y la curvatura

del espacio-tiempo.

De manera más general, creo que hay que resistir la tentación de "explicar" la flecha del tiempo. Podemos hablar del tiempo de nuestro nacimiento, del de la caída de Troya, del tiempo de la desaparición de los dinosaurios, e incluso del tiempo del nacimiento del Universo, pero la pregunta "cuándo, o por qué, ha comenzado el tiempo" escapa a la física, así como a las posibilidades de nuestro lenguaje y de nuestra imaginación. El tiempo irreversible, la diferencia entre el pasado y el futuro, precede y condiciona tanto la realidad física como las preguntas del físico.

Marc Bloch había opuesto las ciencias, que, dividiendo el tiempo en fragmentos artificialmente homogéneos, lo reducen a una medida, y la historia: "Realidad concreta y viva, entregada a la irreversibilidad de su impulso, el tiempo de la historia, por el contrario, es el plasma mismo donde se producen los fenómenos y el lugar de su inteligibilidad" (9).

Sin duda alguna, la distinción entre física e historia permanece, en el sentido de que la inteligibilidad física implica la identificación de objetos de comportamiento reproducible. Por supuesto, como ya he dicho, el comportamiento caótico no es reproducible individualmente, pero sabemos cómo producir un sistema de comportamiento caótico. Igualmente, podemos en lo sucesivo concebir una "receta" para crear un Universo y quizá en un futuro lejano, la expansión del Universo volverá a crear las condiciones de inestabilidad del vacío primordial. Por el contrario, una situación histórica no se prepara ni se reproduce. Sin embargo, esta distinción ya no es una oposición. Y ello porque la nueva coherencia que se perfila hoy en el interior del campo físico y, espero, entre los

⁹ M. Bloch, *op. cit.*: 5.

diferentes campos científicos, tiene por principio este tiempo irreversible del que hablaba Marc Bloch, productor de existencias nuevas caracterizadas por tiempos cualitativamente nuevos.

La física, como dije al comienzo de mi conferencia, se ve hoy como una ciencia joven, liberada de un modelo de inteligibilidad que, aunque ha podido fascinar a las otras ciencias, las enfrentaba con la física. Quizá por este cambio se encuentra por fin liberada de la relación estrecha que mantuvo desde su origen con el problema filosófico y teleológico de la Creación, de las "razones" últimas, intemporales, que darían su inteligibilidad al mundo. La transformación de la física que acabo de esbozar aquí traduce el carácter profundamente histórico de esta ciencia: al mismo tiempo solidaria con una tradición que seleccionó y privilegió una clase particular de objetos, y abierta, susceptible de construir a partir de los límites de esta tradición el sentido de lo que negaba. La física, incluso cuando ha sido llevada por su historia a plantear la pregunta del "origen del Universo", intenta, como las otras ciencias, construir el sentido de aquello de lo que no puede dar cuenta, ese tiempo irreversible que constituye a la vez la condición de sus objetos y de sus preguntas. ■

¿Qué es lo que no sabemos?|*|

Ilya Prigogine

Traducción: Rosa María Cascón

¿Qué es lo que no sé? Esta pregunta me hace pensar en otra pregunta, que se puede considerar complementaria: “¿qué es lo que sé?”. Mi respuesta a esta pregunta está clara: muy poco. No digo esto por modestia excesiva, sino por una convicción profunda: nos encontramos al final de esa era de la historia de la ciencia que se abrió con Galileo y Copérnico. Un período glorioso en verdad, pero que nos ha dejado una visión del mundo demasiado simplista. La ciencia clásica enfatizaba los factores de equilibrio, orden, estabilidad. Hoy vemos fluctuación e inestabilidad por todas partes. Estamos empezando a ser conscientes de la complejidad inherente del universo. Esta toma de conciencia, estoy seguro, es el primer paso hacia una nueva racionalidad. Pero sólo el primer paso.

Para los padres fundadores de la ciencia occidental, como Leibniz y Descartes, el objetivo a conseguir era la certeza. Y todavía es la ambición de los grandes físicos contemporáneos, Einstein o Hawking, alcanzar la certeza mediante una teoría unificada, una descripción geométrica del Universo. Una vez conseguido este objetivo, seremos capaces de deducir a partir de nuestro modelo todos los distintos aspectos de la naturaleza.

* Conferencia pronunciada en el Forum Filosófico de la UNESCO en 1995 <http://www.unesco.org/phiweb/uk/lrpu/nobel/presnobel.html>

Sin embargo, cuanto más exploramos el universo, más nos tomamos con el elemento narrativo, presente a todos los niveles. Es inevitable pensar en Sheherezade, que sólo interrumpía una historia para empezar otra más hermosa si cabe. También la naturaleza nos presenta una serie de narraciones inscritas unas dentro de las otras: la historia cosmológica, la historia a nivel molecular y la historia de la vida y del género humano hasta llegar a nuestra propia historia personal. En cada nivel asistimos al surgimiento de lo nuevo, de lo inesperado.

Por otro lado, desde Newton a Schrödinger y Einstein, la ciencia se ha basado en leyes deterministas en las que el pasado y el futuro juegan papeles simétricos. Entonces, ¿cómo podemos encajar el elemento narrativo que acabo de describir dentro de un contexto gobernado por tales leyes? Muchos investigadores han tratado de evitar este problema invocando a las aproximaciones que se introducen en las leyes de la naturaleza siempre que se aplican a sistemas complejos. Pero esta solución siempre me ha parecido extraña. Porque, si las cosas fueran así, seríamos el “padre” del tiempo, en vez de su “hijo”.

Es cierto que la herencia científica del siglo veinte tiene dos aspectos diferentes. Por un lado, las leyes de la naturaleza, y por otro, la descripción termodinámica de fenómenos asociados con el aumento de la entropía. Ciertamente, esta es una concepción del mundo en evolución. Pero entonces, ¿cómo encaja en la descripción fundamentalmente atemporal que dan “las leyes de la naturaleza”? Además, existe otro problema, ya que el aumento de entropía está normalmente asociado a un desorden creciente. ¿Cómo podría, entonces, un proceso de esas características producir estructuras complejas como la vida, en particular la vida humana?

Estas son las preguntas cuyas respuestas no hemos hecho más que empezar a imaginar. Aquí entran en juego dos campos

científicos de desarrollo reciente: la física del desequilibrio, y la teoría del “caos”, asociados a sistemas dinámicos inestables.

Consideremos en primer lugar la física del desequilibrio. Aquí lo sorprendente es lo que sucede si se obliga a un sistema a alejarse mucho de su equilibrio (y las condiciones de nuestro propio sistema planetario e incluso de nuestra situación cosmológica son tales que prácticamente todos los sistemas que nos rodean están muy lejos de encontrarse en equilibrio; un buen ejemplo es la ecosfera): aparecen nuevas estructuras en los puntos de “bifurcación”. Así hablamos de una auto-organización que conduce a la formación de estructuras “disipativas”.

Tomemos como ejemplo la química. En este campo podemos ver la auto-organización en acción en el surgimiento de estructuras espacio-temporales relacionadas con rupturas de simetría. Un ejemplo que ha sido bien estudiado es el de las reacciones oscilantes. Las condiciones para que surjan estas estructuras inestables vienen dadas por el carácter no lineal de las ecuaciones que gobiernan los procesos químicos. Como es bien sabido, las ecuaciones no lineales tienen más de una solución. La solución que corresponde a estas “estructuras disipativas” se da en un estado que dista mucho de la posición de equilibrio. Además, estos procesos son necesariamente auto-catalizadores. Es la vieja historia del huevo y la gallina. La gallina pone huevos, que, a su vez, se convierten en gallinas. La auto-catalización es típica de aquellos fenómenos biológicos en los que los ácidos nucleicos codifican el proceso de síntesis de proteínas, que, a su vez, cataliza la replicación de ácidos nucleicos. La aparición de tales estructuras demuestra el papel constructivo que juega la irreversibilidad temporal. Lejos de una posición de equilibrio, la materia adquiere nuevas propiedades que permanecen ocultas a nuestros ojos

mientras nuestra atención se ciña a los estados estables.

En un reciente informe, C.K. Biebricher, G. Nicolis y P. Schuster escriben: “El mantenimiento de la organización de la naturaleza no se consigue –ni se puede conseguir– con una dirección central; el orden sólo se puede mantener mediante la auto-organización. Los sistemas auto-organizativos permiten adaptarse a (...) las condiciones externas. Hay que destacar la superioridad de los sistemas auto-organizativos sobre la tecnología humana convencional (...). Un ejemplo que ilustra esta superioridad son los sistemas biológicos en los que se pueden formar productos complejos con el máximo de precisión, eficacia y rapidez.

Pero todavía queda mucho por hacer, tanto en matemáticas no lineales como en investigación experimental, antes de que podamos describir la evolución de sistemas complejos fuera de ciertas situaciones sencillas. Los retos aquí son considerables. En particular, es necesario superar el actual desfase en nuestra comprensión entre las estructuras físico-químicas complejas y los organismos vivos por simples que estos sean.

Por mucho que se avance en esta dirección, una conclusión ya está clara: la dirección del tiempo, el elemento “narrativo” ha de jugar un papel esencial en la descripción de la naturaleza. Sentada esa premisa, el tiempo narrativo debe entonces incluirse en nuestra formulación de las leyes de la naturaleza. Estas leyes, tal y como Newton las formuló, pretendían expresar certezas. Ahora debemos hacer que expresen “posibilidades” que pueden o no llegar a realizarse en el futuro. En este punto es donde tenemos que acudir a la teoría del caos, asociada con las estructuras dinámicas inestables.

Un ejemplo típico es el caso del “caos determinista”. En tales sistemas, dos trayectorias tan cercanas entre sí como uno pueda imaginar, con el tiempo divergen exponencialmente:

esto se llama “sensibilidad a las condiciones iniciales”. Como nunca poseemos sino un conocimiento limitado de las condiciones iniciales, la previsibilidad que definía la mecánica clásica es insostenible.

Existen formas de inestabilidad más pronunciada incluso, relacionadas con la aparición de las “resonancias” (fenómeno descubierto por Henri Poincaré). Todo el mundo tiene una idea intuitiva de lo que es resonancia. Cuando tocamos una nota en un piano, oímos los armónicos, como el octavo o el quinto. En las mecánicas clásica y cuántica, las resonancias hacen posible el acoplamiento entre fenómenos dinámicos. Este es un tema muy técnico, pero podemos resumir sus resultados principales. Tradicionalmente hay dos formulaciones de las leyes de la naturaleza: una en términos de trayectorias (mecánica clásica) o funciones de onda (mecánica cuántica), y la otra en términos de teoría de conjuntos. Esta segunda formulación es de naturaleza estadística. Para sistemas estables, estas dos formulaciones son equivalentes. Para sistemas inestables, que son la mayoría de los que observamos, éste ya no es el caso. La inestabilidad sólo puede incorporarse a nivel estadístico. Así pues, es este modelo el que puede permitirnos expresar las leyes de la naturaleza de manera que incluyan a la flecha del tiempo, y que describan posibilidades más que certezas.

A primera vista, esta conclusión puede parecer revolucionaria, pero en realidad responde a una necesidad histórica. Cuando grandes científicos como Gibbs y Einstein introdujeron por primera vez la teoría de conjuntos en la física, fue para poder formular leyes termodinámicas a nivel dinámico microscópico, tanto para casos de equilibrio como de desequilibrio. Para ellos, este recurso a la teoría establecida era simplemente el signo de una falta de información sobre las condiciones iniciales. Pero ¿no había una razón más profunda para

actuar de este modo? Si así fuera, entonces los fenómenos descritos por la termodinámica tales como la transición de fases, se deberían, en última instancia, sólo a nuestra falta de información, a nuestras aproximaciones. Una vez más, esta es una visión antropomórfica difícil de aceptar. Porque, si es así, ¿por qué conjuntos y no trayectorias o funciones de onda? Esta es la pregunta que empieza a responder la dinámica de sistemas inestables.

Es imposible, en un artículo tan breve, describir la reformulación que necesitan las leyes de la naturaleza cuando se amplían para cubrir sistemas dinámicos inestables. Sólo señalaré, por ejemplo, su aplicación en casos como el de un líquido o gas en el que se producen interacciones continuamente. Si pudiéramos observar a los átomos o a las moléculas implicados, veríamos un movimiento perpetuo que no responde a un orden concreto. Es este movimiento “caótico” lo que confiere a dichos sistemas tanto su naturaleza escasamente predecible como su capacidad de auto-organización.

Para la concepción clásica del mundo, la ciencia iba de la mano de la certeza. La gloria suprema de la mente humana parecía depender de la posibilidad de alcanzar la certeza. Sin embargo, yo creo que, por el contrario, la idea de certeza lleva a contradicciones, a una división irreconciliable en nuestra visión del mundo. Comparto la opinión de Karl Popper, que escribió en su libro “El Universo Abierto –un Argumento para el Indeterminismo”: “Considero tal determinismo Laplaciano –por mucho que parezca confirmado por las teorías a primera vista deterministas de la física, y por su maravilloso éxito– como el obstáculo más sólido y grave para la explicación y la defensa de la libertad, la creatividad y la responsabilidad humanas”.

Desde los primeros tiempos, el pensamiento de los griegos

contenía dos aspectos principales: la comprensión de la naturaleza, y la construcción de una democracia basada precisamente en las ideas de libertad y responsabilidad. Durante mucho tiempo se sostuvo que estos dos proyectos sólo podían coexistir en una concepción dualista de la naturaleza, ya fuera el dualismo Cartesiano, los mundos nouménico y fenoménico de Kant, o, más recientemente, la introducción del “principio antrópico” en la cosmología.

Los elementos de progreso que he resumido aquí nos permiten ir más allá de esta dualidad y de las contradicciones que contiene.

Collingwood tenía razón cuando escribió en su trabajo “El Concepto de Naturaleza”: “(El nuevo) concepto de naturaleza, que comienza a encontrar su expresión hacia el final del siglo dieciocho y que, desde entonces hasta nuestros días no ha parado de tomar fuerza para establecerse con más seguridad, se basa en la analogía entre los procesos del mundo natural tal y como los estudian los científicos, y las vicisitudes de los asuntos humanos tal y como las estudian los historiadores”.

Desde este punto de vista, actualmente estamos entrando en una nueva fase de nuestra descripción del concepto de naturaleza, una fase que transformará los mismos cimientos de nuestro proyecto científico. A mi amigo Leon Rosenfeld, el más estrecho colaborador de Nils Bohr, siempre le gustaba decir que uno entendía una teoría física si asía sus límites. Se ha tardado casi tres siglos en alcanzar los límites de los conceptos clásicos mediante el descubrimiento de la inestabilidad. Como subrayé al comienzo de este artículo, no hemos hecho más que empezar a explorar el complejo mundo que hemos descubierto. Pero podemos tener ya la certeza de que el carácter temporal y evolutivo de este mundo ocupará de ahora en adelante un lugar central en su descripción física, como así

ha sucedido en las ciencias biológicas desde los tiempos de Darwin. Estamos redescubriendo el tiempo, pero es un tiempo que, en lugar de enfrentar al hombre con la naturaleza, puede explicar el lugar que el hombre ocupa en un universo inventivo y creativo. ■

I.Prigogine: Las ciencias están hoy inmersas en un proceso de reconstrucción conceptual. En lo que toca a la materia, los atomistas griegos nos legaron un proyecto: intentar conciliar la permanencia y el cambio. De ahí la idea de combinaciones temporarias de elementos permanentes: antiguamente los átomos y moléculas, hoy las partículas elementales. Ahora bien, uno de los descubrimientos fundamentales de la ciencia en los últimos años es justamente la inestabilidad de las partículas elementales. Si las experiencias actualmente en marcha son confirmadas estaremos obligados a concluir que el proyecto atomista, por más fecundo que haya sido, llega hoy a sus límites.

Antes se buscaba, también, simetrías en el universo: el caso más impresionante es el de la mecánica cuántica relativa a las partículas y antipartículas. Como estas últimas son un producto de laboratorio, nos vemos llevados a concluir que esta simetría no es necesaria en nuestro medio cosmológico. Vivimos por lo tanto en un universo no simétrico, extraño a la armonía geométrica ideal de la física clásica.

* Entrevista realizada por Christian Delacampagne “Recherche” (1985).
Edição Guinefort, 2007

Reconstrucciones fundamentales también nos esperan en lo que se refiere al espacio y al tiempo. Este ya no es más el parámetro externo de la dinámica clásica, utilizado apenas para balizar una trayectoria. El tiempo presenta ahora características diferentes, más ligadas a la irreversibilidad y, en consecuencia, a la historia en todos los niveles, desde las partículas hasta la cosmología. En la época en que la mecánica clásica imperaba de manera indiscutida podía hablarse de un nivel fundamental. Hoy la física está más abierta y estamos obligados a considerar una pluralidad de niveles interconectados, sin que ninguno pueda ser considerado prioritario o fundamental.

Que piensa Ud. entonces de la hipótesis de Einstein, según la cual el campo es la única realidad?

Cada vez es más difícil aceptar que un sólo concepto pueda relegar o contener las diferentes facetas del universo. Aunque si quisiéramos citar un concepto que traspase las separaciones clásicas de la ciencia yo propondría el redescubrimiento del tiempo. Se dice frecuentemente, y con razón, que nuestro siglo fue marcado en la física por dos revoluciones: la de la mecánica cuántica y la de la relatividad. En un principio estas teorías fueron formuladas como simples correcciones de la mecánica clásica. Pero actualmente la mecánica cuántica se transformó en la teoría que da las leyes de transformación de las partículas elementales. En cuanto a la relatividad, esta constituye el cuadro de la histórica térmica del universo. En otras palabras esas dos materias se “temporalizan”.

De que manera la visión determinista de la ciencia clásica puede enfrentar el impacto del azar?

Tal vez podamos primero evocar el diablo de Laplace. Ud. sabe que bastaba proveerle las informaciones necesarias

sobre un sistema dinámico para que este fuera capaz de calcular cualquier estado pasado o futuro de ese sistema. En el universo descrito por las ciencias modernas el azar tiene un papel cada vez mayor. La visión probabilística surgió primero en las tentativas de explicación microscópicas de la entropía, lo que fue hecho por la importante obra de Boltzman. Después vino la mecánica cuántica; a pesar de las innumerables tentativas para retornar a la ortodoxia determinista las estadísticas siguen desempeñando allí un papel irreductible.

En nuestra escala de seres vivos, de compuestos macroscópicos, parecía que la ley de los grandes números podía restablecer el esquema determinista. Pero es que surge lo probalístico, lo estadístico, con mucha fuerza también en este nivel: este es uno de los aspectos del descubrimiento de la auto estructuración de los sistemas macroscópicos lejos del equilibrio. Lo que los vincula a lo aleatorio depende de la variedad de formas que, de una experiencia a otra, esos mecanismos de estructuración puedan desarrollar a pesar de los más rigurosos controles de las condiciones de experimentación. Aquí ya no se trata de fenómenos calculables por medio de leyes generales: cerca del estado de equilibrio las leyes de la naturaleza son universales; lejos del estado de equilibrio las leyes son específicas. Esas inestabilidades exigen un flujo de energía, disipan energía. De ahí el nombre de “estructuras disipativas” que di a esas inestabilidades.

Desde diversas perspectivas se cuestiona fuertemente el sentido de lo aleatorio y del azar. Debe pensarse que este es inherente a la naturaleza o a nuestro modo de descripción?

Esta cuestión, desde que la mecánica cuántica fue formulada, ha suscitado controversias exacerbadas. Sin duda es posible que un observador situado fuera de la naturaleza pueda ver

un mundo distinto y haga de él una descripción distinta. Pero se trata en realidad de un pseudo-problema, pues creo que la ciencia se interesa por los modelos de la realidad que nosotros elaboramos inmersos en este mundo. Los descubrimientos de este siglo –desde la mecánica cuántica a las inestabilidades hidrodinámicas– muestran que los esquemas deterministas nos son inaccesibles. La investigación actual se orienta hacia la incorporación cada vez mayor de elementos aleatorios. Esto se verifica tanto en la cosmología relativista de Hawking como en los estudios de los “insectos sociales”, donde autores tan competentes como P. Grassé o Remy Chauvin insisten en el papel de lo azaroso en la organización social.

Si su “escucha poética” de la naturaleza reintegra al hombre en el mundo que él observa, en que esta visión responde a las afirmaciones de Jacques Monod según quien la “antigua alianza está rota, el hombre sabe hoy que está sólo en la inmensidad indiferente del universo?”

Monod tuvo una conciencia notable de las propiedades de la vida que, a primera vista, parecían oponer lo vivo a lo no-vivo. Según él la vida está al margen de la física: es una fluctuación, es el resultado de un azar milagroso que se perpetúa. Pero en el universo estructurado que acabo de mencionar la vida es menos milagrosa. Esta busca raíces profundas en propiedades de la materia que sólo fueron puestas en evidencia recientemente. Es interesante notar que, lejos del equilibrio, la materia adquiere propiedades nuevas, lo cual es ilustrado por el ejemplo de los relojes químicos: una sensibilidad intensa a variaciones mínimas, comunicación a distancia entre moléculas, efectos de memoria de los caminos recorridos.

Desde el principio del siglo ya sabíamos que la materia presenta propiedades ondulatorias en nivel microscópico: es la

dualidad onda- partícula de la mecánica cuántica; pues no es que la materia, en su nivel macroscópico, tal como la encontramos en las reacciones químicas, puede adquirir ese carácter ondulatorio? Es en este sentido que la famosa oposición entre los defensores de la interpretación reduccionista y una holista está superada.

Si el conocimiento científico depende del tipo de cultura, que está influenciada por la ideología específica de una sociedad, que tipo de dialéctica puede instaurarse entre ciencia y sociedad?

El redescubrimiento del tiempo es tal vez un elemento de unidad entre ciencia, cultura y sociedad. Antiguamente la ciencia nos hablaba de leyes eternas. Hoy nos habla de historia del universo o de la materia - de ahí su aproximación evidente con las ciencias humanas. Además de eso la aproximación se produce en un momento en que la explosión demográfica está transformando las relaciones entre el hombre con los otros hombres y la naturaleza. Dentro de esta perspectiva la relación entre ciencia, naturaleza y sociedad toma nuevas formas. O, tomando la idea de Serge Moscovici, la ciencia se torna menos esotérica, menos ocupada con piezas de museo. Se encuentra más ligada al destino del hombre, integrándose ahora en todas las expresiones de la inventividad humana.

Justamente su concepción de las estructuras disipativas sorprende por la riqueza de la extrapolaciones a múltiples campos. ¿Sería ese el nuevo paradigma delineado en el famoso coloquio de Stanford?

No me gusta mucho la palabra paradigma. Es verdad que en la física clásica había una especie de paradigma, un esquema único y fundamental: el de la dinámica, al cual todas las otras áreas debían ser reducidas. Mientras que hoy el mundo de la

física tiene al mismo tiempo modelos como el del péndulo, con su ley reversible, y también reacciones químicas caracterizadas por la irreversibilidad de la flecha del tiempo. No creo que sea posible, ni deseable, reunir todas las posibilidades en un sólo y único modelo. En contrapartida pienso que es preciso saber superar las contradicciones para poder pasar de un modo de descripción a otro. En definitiva: no vivimos acaso en un sólo universo?

El fenómeno de la entropía ¿no sería el medio para eso?

En verdad tal vez sería bueno recordar que el segundo principio de la termodinámica, que constituye el núcleo de esta teoría, está situado en un punto de entrecruzamiento. Es claro que el resitúa las condiciones iniciales, la flecha del tiempo, que implica la quiebra de la simetría y sobretodo la noción de espontaneidad. Los fenómenos de crecimiento de entropía delimitan nuestro poder. Esta imposibilidad de escapar de la entropía es el concepto clave por el cual el segundo principio de la termodinámica se relaciona a las dos grandes revoluciones contemporáneas: la relatividad y la mecánica cuántica.

Fue gracias a las imposibilidades inherentes de esas dos teorías que se percibió que se trataba de grandes novedades: en el caso de la primera, la imposibilidad de comunicar con la velocidad de la luz y en el de la segunda la imposibilidad de medir a la vez el movimiento y la posición de un electrón. Esa evolución convergente nos situó en dos terrenos con los límites de nuestro poder de manipulación: nos devuelve a un espacio de actividad en el seno de la naturaleza y nos retira de la posición de observador exterior al que nos relegaba la física clásica.

Si la metamorfosis de la ciencia contemporánea parece haber sido provocada por la irrupción del tiempo irreversible y de la entropía constructiva, porqué llevóse tanto tiempo para conceptualizar esos fenómenos tan fundamentales?

Para entender ese atraso, puede ciertamente invocarse razones ligadas a la evolución de la ciencia. El carácter reversible de la mecánica clásica, y hasta de la mecánica cuántica, estaba ya tan establecido que los fenómenos irreversibles pudieron ser considerados como una aproximación sin ningún interés. Hoy reconocemos el papel constructivo de la irreversibilidad. Me parece que aquí hubo una notable convergencia entre la historia interna y la historia externa de las ciencias contemporáneas. Nuevas interrogaciones aparecieron inspiradas por el nuevo clima social que se estaba viviendo en el mundo. De todos modos no se trata de proponer un modelo común a todas las disciplinas; cada área debe desarrollar a su manera las investigaciones.

El tiempo siempre suscitó una pluralidad de interpretaciones: según Newton “el tiempo absoluto corre uniformemente”; para Bergson “el tiempo es invención o nada”; en cuanto a Ud., evoca la multiplicidad de los tiempos vividos, co-existiendo en la unidad del tiempo real.

Estamos de hecho en presencia de dos tiempos y sabemos actualmente cómo pasar de uno a otro: por un lado el tiempo de los relojes, de las trayectorias de la dinámica clásica, de la comunicación. Este tiempo es, de cierto modo, exterior a nosotros, que emitimos y recibimos señales. Es un tiempo que medimos con nuestros relojes, pero que casi no forma parte del cuerpo en el que vivimos. Por otro lado está el tiempo estructural, que llamé interno, marcado por la irreversibilidad y por

las fluctuaciones, emparentado con el “tiempo-invencción” de Bergson. El tiempo externo es el de Newton, que fue profundizado por Bergson. Existe aquella controversia entre Bergson y Einstein: este último sostenía que “la distinción entre pasado presente y futuro por más tensa que sea es una ilusión”. Pero llamar ilusión lo que constituye la experiencia primordial de nuestra vida es rechazar la propia noción de realidad.

¿Cómo puede Einstein negar de esa forma la esencia de la vida?

Creo que hay en él una extraña dualidad. Por un lado fue un hombre solitario que tuvo pocos discípulos. Por otro lado su concepción científica describe un mundo ideal de fraternidad universal, poblado de observadores situados en campos gravitacionales diferentes o estimulados por las más diversas velocidades. Esos observadores comunican sus visiones a través de señales luminosas. Por lo que garantizar la objetividad de estas es lo que más preocupaba a Einstein. Pero puede decirse que no fue, en realidad, consecuente a fondo con su idea, puesto que no advirtió que la comunicación es un fenómeno irreversible; cuando se establece una comunicación la situación queda modificada inmediatamente con respecto a su estado anterior.

La existencia de una flecha de tiempo común al hombre y a los sistemas físicos es quizás el hecho que expresa de manera más evidente la unidad del universo. Este es sin duda el elemento unificador por excelencia de la visión moderna de la naturaleza. En este sentido la ciencia se encuentra hoy en uno de los diálogos más fascinantes que el hombre hay tenido con la naturaleza.

¿Nuevos paradigmas? |*|

Ilya Prigogine

Guiado por el instinto, me fui interesando por la termodinámica, un campo de la ciencia donde se manifiesta la "flecha del tiempo", y que en la época en que comencé mi trabajo como investigador no era un área de la física que gozara de gran predilección entre los científicos. Y aún hoy en día, la idea de una direccionalidad del tiempo no es aceptada mayoritariamente entre los físicos. Por ejemplo, Stephen Hawking, en su libro "Breve historia del tiempo" al hablar de cosmología trate de eliminar el tiempo de su explicación del mundo, convirtiéndolo en algo similar al espacio. Por el contrario, desde mi punto de vista, enfatizo la visión histórica diciendo que la irreversibilidad del tiempo es una propiedad fundamental de la-naturaleza. Así, voy en contra de esta esperanza, también metafísica, de hacer una ciencia que sea pura geometría. En este sentido yo tuve que luchar contra estas concepciones ideológicas y aún hoy en día lo sigo haciendo. Si bien es cierto que mis puntos de vista están haciéndose más populares, si hiciéramos una votación entre los científicos, seguramente estoy en minoría. Yo no diría que lo ideológico es la única razón de la oposición a mil ideas, éste es sólo un aspecto de la cuestión, también hay fundamentos matemáticos. La mecánica clásica, la relativista y aún la cuántica son ciencias que describen un tiempo reversible. Las tres son teorías exitosas y

* Fuente: Denise Najmanovich. Entrevista a Ilya Prigogine: ¿Nuevos Paradigmas? Zona Erógena. N° 10.

altamente convincentes. Pare demostrar que puedo ir más allá de Newton y de Schroedinger necesité introducir nuevas herramientas matemáticas; por lo tanto me ha tornado muchos años desarrollar mi trabajo pero creo que actualmente he concretado este objetivo en alguna medida.

¿Considera usted que la ciencia es la única vía de conocimiento de la naturaleza o podemos relacionarnos con ella y conocerla de otras formas, por ejemplo la música?

Existen diferentes vías de interrogar al universo en que vivimos, y la música es también una de ellas. Nuestro entorno no es sólo color, sino también sonido y muchas otras cosas. Pare mí uno de los aspectos básicos de la ciencia es clarificar nuestra relación con el universo, y en este sentido creo que debemos encontrar un camino intermedio entre los vedas y el cristianismo. El mensaje de los vedas es que somos básicamente idénticos al mundo exterior; pare el cristianismo, en cambio, el hombre es una criatura especial, distinta de las demás y separada de la naturaleza. Un camino intermedio, en mi opinión, es el que representa una concepción en la que el hombre se sienta parte del mundo, pero no totalmente igual a él. La música tanto como el arte prehistórico han sido elementos importantes para mí. A través de ellos vemos cómo el hombre se ha cuestionado su relación con el mundo, y asistimos también a la aparición de distintos tipos de preguntas. Los chinos se preguntaron cosas distintas que los hombres de neolítico y los pueblos precolombinos. Los primeros tenían confianza en un cosmos estable, y buscaban estar en armonía con él. De la misma forma los griegos -más allá de nuestra transitoriedad- confiaban en que el universo seguiría su curso eternamente. Los cristianos incorporaron la concepción de Dios como garante de esa estabilidad. A diferencia de todos ellos, el hombre americano precolombino -tal como podemos inferir de textos mayas, por ejemplo- no tiene seguridad con respecto a la

continuidad del mundo, cree que éste puede detenerse y su misión es, en alguna medida, ayudar a mantener la vida y el movimiento del cosmos. El tiempo precolombino no es el tiempo del movimiento por el movimiento en sí mismo, sino el tiempo de la vida, cuyo sentido es el de reasegurar la continuidad del mundo y de la vida misma.

¿Se podría decir que en alguna medida los "nuevos paradigmas" se relacionan con esta cosmovisión precolombina?

Al menos se trata de ciertas preguntas que él hombre se viene formulando desde hace mucho tiempo... En nuestra tradición occidental, Aristóteles fue uno de los primeros filósofos en desarrollar un análisis del tiempo.

¿Cómo se relaciona su posición respecto del tiempo con la de Aristóteles?

Aristóteles ha realizado un análisis del tiempo muy meticuloso, pero ha dejado sin responder la pregunta fundamental. En su Física sostiene que el tiempo se mide por el movimiento desde una perspectiva de un antes y un después. Pero lo que dejó sin responder es cuál es esa perspectiva, ¿la del alma humana o la de la naturaleza misma?. Esta sigue siendo, en esencia, la pregunta crucial de hoy en día: ¿es el tiempo algo que el hombre posee en la naturaleza, pero ajeno a ella? En este caso se produce un contraste entre el universo sin tiempo y la temporalidad humana. O, en cambio: ¿es el tiempo una propiedad fundamental de la naturaleza que el hombre tan sólo comparte con ella? Repito que Aristóteles no nos dio su respuesta. Y por mi parte, la dirección en la que yo pretendo encontrarla es sosteniendo que el tiempo está en todas partes, aunque tal vez se exprese con mayor fuerza en la vida humana. Freud ha dicho que la historia de la ciencias la historia de la

alienación. Copérnico sostuvo que la Tierra es sólo un pequeño planeta. Darwin, que pertenecemos aun a especie más del reino animal. Freud mismo, que la conciencia es tan sólo una pequeña porción del inconciente. Pero hoy podemos revertir este argumento y decir: es cierto, pero si consideramos que la inestabilidad, la no linealidad, la irreversibilidad son propiedades básicas de la naturaleza, entonces, somos nosotros su mejor expresión y nuestro vínculo de pertenencia con ella es realmente fuerte.

¿Podría ampliar su concepción sobre la relación entre el tiempo y la complejidad?

El tiempo aparece sólo al alcanzarse cierto nivel de complejidad. Si analizamos sistemas muy simples, como por ejemplo un péndulo ideal -sin fricción-, no tenemos forma de distinguir entre el pasado y el futuro. Si pasamos una película que muestra solamente el movimiento como un péndulo, no importa si hacemos funcionar el proyector hacia adelante o hacia atrás: siempre veremos lo mismo. Podemos decir que se trata de una película reversible. Lo mismo sucede si consideramos el movimiento de la Tierra alrededor del Sol; no hay irreversibilidad asociada a este proceso. Todo el problema surge porque se ha considerado a los sistemas simples como modelos del universo. De esta forma, la física clásica terminó concluyendo que el tiempo no existe, y es por eso que yo pienso que sólo descubriremos el tiempo al descubrir los sistemas complejos. La historia de la arquitectura nos muestra un ejemplo muy interesante. Si tomamos un ladrillo de una casa persa y no de una casa del siglo XIX no habrá básicamente grandes diferencias. Pero si pasamos aun nivel de mayor complejidad y consideramos el edificio completo, la discrepancia entre una construcción persa, una gótica o una del siglo XIX será enorme. Siempre he pensado que el tiempo se descubre a

través de la complejidad y, en alguna medida, esto se ha comprobado en los últimos años.

¿Cómo llega usted desde de la investigación en termodinámica a la conclusión de que el tiempo es un elemento fundamental que no podía estar ausente en la teoría física?

La termodinámica clásica se concentró inicialmente en el estudio de los sistemas aislados que evolucionan hacia el equilibrio, el cual a su vez es el más probable de los estados posibles. Pero sabemos actualmente que la evolución termodinámica genera tanto orden como desorden. Esto se observa tanto en situaciones simples como en situaciones complejas. Podemos tomar como ejemplo de las primeras el de la difusión del calor. En un sistema en el que están presentes dos gases, nitrógeno e hidrógeno, ambos tendrán la misma concentración (cantidad de masa por unidad de volumen) cuando la temperatura sea idéntica en todo el recipiente. Pero si ésta varía, la distribución de los dos gases se hará desigual; habrá más hidrógeno en un lado que en el otro. Por tanto tendremos un proceso irreversible que lleva al desorden. Pero simultáneamente se va generando un nuevo orden al crearse una distribución espacial diferente y, por tanto, una nueva estructura. En todos los niveles de la naturaleza, desde la biología hasta la cosmología, la irreversibilidad produce tanto orden como desorden. Nuestra propia vida es posible en tanto generamos desorden al destruir moléculas constantemente; pero este proceso es lo que nos permite crear otras nuevas. En los estados equilibrados no hay cambio y por tanto, parece como si el tiempo no transcurriera: el sistema es reversible ya que su pasado y su futuro no pueden distinguirse. Lejos del equilibrio, por el contrario, la situación es radicalmente distinta: el sistema se hace inestable, y al cambiar, va adoptando

diferentes configuraciones, aparece la temporalidad marcando una dirección en el transcurso del tiempo (la "flecha del tiempo"), que hace que ese proceso sea irreversible. Esto no es ciertamente muy original, pero en mis trabajos enfatizo el carácter constructivo de la irreversibilidad. Y ésta es la razón por la cual sostengo que el tiempo es un elemento fundamental -y fundante- de la naturaleza, porque sin su rol constructivo no se podría pasar de un nivel de organización al siguiente.

En un sentido general sus trabajos tienen una gran influencia sobre otros campos, especialmente las ciencias sociales están adoptando muchas de sus ideas. Este Encuentro Internacional Interdisciplinario sobre Nuevos Paradigmas parece confirmarlo. En relación con esta "nueva alianza" que usted formula entre las ciencias y las humanidades, ¿cuál es desde su punto de vista la forma más fértil de diálogo interdisciplinario?

Creo que hoy en día, el leitmotiv es la interdisciplina y el enriquecimiento recíproco. En otros tiempos, la brecha entre ciencias y humanidades era mucho mayor, porque en las primeras el tiempo era considerado una construcción del hombre, pero no una propiedad de la naturaleza. El objetivo de los fundadores de la física clásica era la formulación de leyes atemporales. En cambio, en las ciencias humanas el tiempo siempre ha jugado un rol fundamental aunque no para todos los pensadores: por ejemplo para Levis Strauss y el estructuralismo el propósito fue siempre el de descifrar un mensaje persistente, a través de una estructura estable. Ahora, el tiempo aparece también en las ciencias duras, gracias a nuevas técnicas matemáticas que permiten describir procesos no lineales. Por lo tanto, las ciencias humanas pueden tomar nuevos modelos, con un lenguaje mucho más rico; la

economía, por ejemplo, ha podido enriquecerse con los nuevos conceptos de no linealidad a inestabilidad. Yo veo estas contribuciones como un aporte para el desarrollo de una visión unificada del universo. Cuando nos preguntamos cual es la característica fundamental de este final de siglo, debemos responder que es el énfasis en la inestabilidad, la evolución y las fluctuaciones, rasgos que podemos encontrar en todos los niveles, tanto en la sociedad como en la ciencia. No podemos trasladar descuidadamente modelos de una disciplina a otra, porque la actividad humana está siempre en la frontera entre lo que sabemos, lo que podemos hacer, lo que aspiramos y nuestras potencialidades. Siempre estamos eligiendo; esa es la razón por la que es tan importante enriquecer la gama de posibilidades y desarrollar nuevas utopías al final de este siglo, que hagan posibles nuevas elecciones.

En distintas oportunidades usted se ha definido como "realista" y "objetivista". ¿Podría clarificar su postura con respecto a la relación entre objetividad, realidad y conocimiento científico?

Existen distintas concepciones de lo que significa "realidad". La acepción más corriente de realidad significa una visión determinista y mecánica. Desde este punto de vista no soy realista, pues no creo que la realidad pueda ser reducida a un mecanismo de relojería, ya que de esta manera el universo sería como un autómatas. Sin embargo, todo lo que vemos en la naturaleza es muy diferente a un robot; sigue un patrón evolutivo, es inestable, se transforma. Las ciencias siempre han tratado de describir objetos privilegiados. Para la ciencia clásica, estos objetos eran los que mostraban un movimiento periódico como el de la Tierra alrededor del Sol. Ahora debemos privilegiar la descripción de objetos no periódicos, inestables. Esta parte de la realidad necesita otra forma de descripción,

otras formas de expresar lo que sentimos que es una nueva realidad. Mi búsqueda se orienta hacia el nuevo tipo de realidad que también puede ser expresada en términos científicos. En otras palabras, soy un realista para una nueva realidad. ■