

# 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 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 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 las 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 fundamental, 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. El tiempo ya no separa al ser humano del universo.

## NOTAS

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