

ILYA PRIGOGINE

EL NACIMIENTO
DEL TIEMPO

PREMIO NOBEL DE QUÍMICA 1977



Presentamos al lector el texto de dos breves conferencias sobre el mismo tema, el tiempo, dadas por Ilya Prigogine a pocos años de distancia una de la otra. Originadas ambas por una invitación de la empresa Montedison, tienen solamente del escrito circunstancial la frescura y el tono de divulgación obligados por las limitaciones del medio: una exposición oral para un auditorio no especializado. Con el mérito añadido de ofrecer, en pocas páginas y sin el auxilio de complejos aparatos matemáticos, con gran claridad, las sólidas tesis de su autor. Esto es lo que nos ha convencido de la utilidad de la publicación conjunta de las dos conferencias. La breve nota biográfica y el texto de la conversación que las preceden introducirán al lector en la compleja problemática que nos presenta Prigogine.

Nota biográfica

Ilya Prigogine nace el 25 de enero de 1917 en Moscú. Debido al cambio de régimen, la familia abandona Rusia en 1921; después de unos años de traslados por Europa y una breve estancia en Alemania, en 1929 se establece definitivamente en Bélgica, concretamente en Bruselas, donde el joven Prigogine cursa los estudios de enseñanza media y superiores. Bélgica pasará a ser desde entonces su patria de adopción; en el año 1949 le será concedida la nacionalidad belga.

En Bruselas estudia química y física en la Université Libre, donde se licencia en 1941. En estos años Prigogine recibe la influencia intelectual de dos de sus profesores, Théophile de Donder, doctor en ciencias físicas y titular de un curso de termodinámica teórica, y Jean Timmermans, experimentador interesado en las aplicaciones de la termodinámica clásica a las soluciones líquidas y, más en general, a los sistemas complejos.

Después de conseguir la licenciatura inicia su actividad de investigador en la Université Libre, pero pronto se ve obligado a interrumpirla a causa del cierre de la universidad que sigue a la ocupación alemana.

Entretanto sus intereses científicos se concentran en el estudio de los fenómenos irreversibles. En este período Prigogine empieza a considerar el papel esencial de los fenómenos irreversibles en los seres vivientes. Tales investigaciones confluyen en su tesis, presentada en 1945 en la Université Libre con el título de *Étude Thermodynamique des Phénomènes irréversibles*.^[1] Con esta obra puede decirse

que tiene su inicio el largo proceso de elaboración que llevará a Prigogine a formular en 1967, más de veinte años después, el concepto de estructura disipativa.

La importancia de su obra viene siendo reconocida mientras tanto en una esfera cada vez más amplia, y en 1959 es nombrado director de los Instituts Internationaux de Physique et Chimie Solvay.

En 1967 Prigogine introduce explícitamente el concepto de estructura disipativa en una comunicación titulada *Structure, Dissipation and Life*. En este momento ya se ha dado cuenta de que al lado de las estructuras clásicas del equilibrio aparecen también, a suficiente distancia del equilibrio, estructuras disipativas coherentes. Este tema es tratado a fondo en un libro escrito por Prigogine en 1971 juntamente con Paul Glansdorff, con el título de *Structure, Stabilité et Fluctuations*.

Mientras tanto, la reputación científica de Prigogine, ya sea como teórico o como experimentador, también se difunde fuera de Europa. Por esta razón no constituye ninguna sorpresa su nombramiento de director del Center for Statistical Mechanics and Thermodynamics de la Universidad de Texas (Austin).

El reconocimiento más significativo del valor de su actividad en el ámbito del estudio de los procesos irreversibles y de la termodinámica de los sistemas complejos le llega a Prigogine, ya ganador del Premio Solvay en 1965, con el Premio Nobel de Química en 1977. Del mismo año es la publicación de una obra fundamental para la comprensión de su pensamiento, *Self-Organization in Non-Equilibrium Systems*, escrita en colaboración con G. Nicolis.

De la variedad y la vivacidad de los intereses intelectuales de Prigogine dan testimonio las audaces tentativas de llevar las propias ideas, y sobre todo la intuición del papel fundamental de la irreversibilidad para los procesos de autoorganización espontánea, a campos distintos del físico-químico. Según Prigogine, en condiciones alejadas del

equilibrio, la materia tiene la capacidad de percibir diferencias en el mundo exterior y de reaccionar con grandes efectos a pequeñas fluctuaciones. Aunque sin llevarla hasta el fondo, Prigogine sugiere la posibilidad de una analogía con los sistemas sociales y con la historia. Fruto de estas reflexiones es el libro escrito en 1979 con Isabelle Stengers, *La Nouvelle Alliance. Métamorphose de la Science*.^[2] Este libro, seguramente el más conocido entre el público no especializado, mantiene, desde el título, un vínculo ideal con un texto que a su vez había suscitado un amplio debate, *Le hasard et la nécessité. Essai sur la philosophie naturelle de la biologie moderne*,^[3] escrito en 1970 por Jacques Monod, biólogo molecular francés, Premio Nobel en 1965. Según Monod, la llegada de la ciencia moderna ha separado el reino de la verdad objetiva del de los valores, produciendo la angustia que caracteriza nuestra cultura. El único camino que todavía podemos recorrer es el de la aceptación de una austera ética del conocimiento; con tal propósito escribe Monod: La antigua alianza está rota; el hombre sabe al fin que está solo en la inmensidad indiferente del Universo en donde ha emergido por azar. Igual que su destino, su deber no está escrito en ninguna parte. A él le toca escoger entre el Reino y las tinieblas.

Prigogine, que afirma haber sido muy influido por el libro de Monod, en *La Nueva Alianza* admite que el bioquímico francés ha tratado con rigor y coherencia las consecuencias filosóficas de la ciencia clásica, que pretende determinar las leyes universales de una naturaleza vista como un mecanismo simple e irreversible (el modelo mecanicista del «mundo reloj»). Sin embargo la actual perspectiva científica, sostiene Prigogine, nos ofrece una imagen muy distinta: los procesos irreversibles ponen en juego las nociones de estructura, función, historia. En esta nueva perspectiva, la irreversibilidad es fuente de orden y creadora de organización. Por esta razón el mundo del hombre no es visto

como una excepción marginal en el universo: bajo el signo de la recuperación de la importancia del tiempo y de los procesos irreversibles se puede reconstituir una nueva alianza entre el hombre y la naturaleza. En definitiva, «si está muerta y sepultada la antigua alianza, la alianza animista..., el mundo finalizado», es también verdad para Prigogine que «nuestro mundo tampoco es el mundo de la “moderna alianza”. No es el mundo silencioso y monótono, abandonado por los antiguos hechizos, el mundo-reloj sobre el cual nos ha sido asignada la jurisdicción». La conclusión de Prigogine es ciertamente un reconocimiento de la importancia de los problemas planteados por Monod, pero también, al mismo tiempo, una invitación a la superación de la posición del biólogo francés: «Jacques Monod tenía razón: Ya es hora de que asumamos los riesgos de la aventura humana... ya es hora para nuevas alianzas, alianzas establecidas desde siempre, por tanto tiempo ignoradas, entre la historia de los hombres, de su sociedad, de sus saberes y la aventura exploradora de la naturaleza. En esta perspectiva de reconciliación de las dos culturas, el saber científico deviene una audición poética de la naturaleza y contemporáneamente un proceso natural en la naturaleza, proceso abierto de producción y de invención, en un mundo abierto, productivo e inventivo».

La Nueva Alianza recorre las etapas principales de desarrollo de la ciencia moderna. Según Prigogine, aunque en tiempos de Newton la ciencia opere una separación entre mundo del hombre y naturaleza física, comparte con la religión el interés en encontrar leyes físicas universales que testimonian la sabiduría divina. Así pues, si bien la ciencia moderna nace de la ruptura de la antigua alianza animista con la naturaleza, instaura otra alianza con el Dios cristiano, legislador racional del universo.

Pero muy pronto la ciencia está en condiciones de prescindir del socorro teológico, y Prigogine indica en la imagen del demonio omnisciente de Laplace el símbolo de la

nueva ciencia: Dios, para usar una expresión del propio Laplace, ya no es una hipótesis necesaria.

A juicio de Prigogine, incluso la revisión crítica de Kant es sólo un giro aparente, porque si bien es verdad que en la filosofía kantiana el sujeto impone la ley a la naturaleza a través de la ciencia, también es verdad que con Kant viene sancionada la distinción entre ciencia y verdad, y con ella la separación entre las dos culturas.

La reconstrucción de Prigogine ve abrirse el siglo XIX con un acontecimiento inesperado y decisivo: en 1811 Jean Joseph Fourier gana el premio de la Academia por el tratamiento teórico de la propagación del calor en los sólidos. Este hecho puede ser considerado como el acta de nacimiento de la termodinámica, ciencia matemáticamente rigurosa pero decididamente «no clásica», extraña al mecanicismo. Según Prigogine, desde aquel momento se instauran dos universales en física: la gravitación y el calor.

El impacto tecnológico de la termodinámica es enorme. Pero hay que esperar hasta 1865 para que Clausius, con el concepto de entropía, le extraiga las consecuencias en el plano cosmológico. Los éxitos finales que la nueva ciencia del calor hace entrever son la disipación de la energía, la irreversibilidad y la evolución hacia el desorden.

Pero en el siglo XIX sólo llega a ser considerado el estado último de los procesos termodinámicos. En esta termodinámica del equilibrio, los procesos irreversibles son arrinconados como objetos no dignos de estudio.

La última parte de *La Nueva Alianza* muestra cómo es posible establecer un puente entre la concepción estática de la naturaleza y la concepción dinámica, entre universo gravitacional y universo termodinámico. Ello implica una drástica revisión del concepto de tiempo que en la ciencia actual ya no es solamente un parámetro del movimiento, sino que «mide evoluciones internas hacia un mundo en no-equilibrio».

Prigogine nos dice que el universo accesible a nuestras investigaciones ha estallado y que el tiempo ha adquirido una nueva imagen: «Ironía de la historia: en cierto sentido Einstein ha resultado ser, contra su voluntad, el Darwin de la física. Darwin nos ha enseñado que el hombre está inmerso en la evolución biológica; Einstein nos ha enseñado que estamos inmersos en un universo en evolución». También a través de la reconsideración de las críticas dirigidas a la ciencia por un pensador «incómodo» como Bergson se llega a la superación de la división entre las dos culturas. De esta manera Prigogine desmonta la conclusión pesimista de Monod para proponer la imagen de un universo en el cual la organización de los seres vivos y la historia del hombre ya no son accidentes extraños al devenir cósmico.

Suscitada por los más recientes resultados científicos, la reflexión crítica de Prigogine se resuelve finalmente en una nueva imagen de la misma ciencia: «Cada gran era de la ciencia ha tenido un modelo de la naturaleza. Para la ciencia clásica fue el reloj; para la ciencia del siglo XIX... fue un mecanismo en vías de extinción. ¿Qué símbolo podría corresponder a nuestra época? Tal vez la imagen que usaba Platón: la naturaleza como obra de arte».

Tras la publicación de *La Nueva Alianza*, Prigogine no ha cesado de profundizar en las temáticas científicas implicadas en el concepto de estructura disipativa. Éstas se han ampliado actualmente a otros campos, biología y meteorología sobre todo, y son conducidas por grupos de investigación, guiados por Prigogine, ya en la Université Libre, ya en el Center for Statistical Mechanics and Thermodynamics de Austin.

En 1978 Prigogine ha publicado *From Being to Becoming*.

Conversación de Ottavia Bassetti
con Ilya Prigogine

Profesor Prigogine, usted nace en Moscú en 1917, el año de la revolución, pero cuando tiene cuatro años su familia abandona Rusia y se desplaza a través de Europa, para establecerse en Bélgica en 1929. Refiriéndose a aquellos años, usted se ha descrito alguna vez como un adolescente interesado por la historia, por la arqueología, por la música, apasionado por la filosofía. ¿Por qué, en cambio, en el momento de matricularse en la universidad prefiere estudiar química y física?

Creo que deberían tenerse en cuenta dos formas distintas de inestabilidad que se han sumado la una a la otra. En primer lugar la inestabilidad de la adolescencia, cuando se busca la propia vocación: aquellas cosas que entonces pueden parecer pequeñas mutaciones, a la larga traen consecuencias notables. Mi hermano, que me lleva cuatro años, había estudiado química, y también mi padre era ingeniero químico, pero en casa, tal vez porque yo hablaba mucho, se daba por supuesto que estudiaría derecho. Yo mismo estaba convencido de ello, pero, curiosamente, en cierto momento empecé a acercarme a la psicología, la psicología me llevó a la biología, y de aquí el paso a la física y a la química fue realmente breve. Así descubrí campos que ignoraba totalmente, muy lejanos del griego, del latín y, más en general, de los estudios humanísticos clásicos en los que estaba metido en aquella época. Al principio me encontraba más bien sorprendido al penetrar en un universo que apenas conocía, y tal vez fue en aquel momento cuando

sentí ganas de profundizar: ésta es la que yo llamaría la inestabilidad de la adolescencia.

A esta inestabilidad de la adolescencia se juntó la inestabilidad del período anterior a la guerra. En aquel momento todos sentíamos su inminencia que, evidentemente, nos ponía frente a graves interrogantes. ¿Qué profesión se podía escoger en tiempos tan difíciles e inciertos?

La vida del arqueólogo o del músico parecían entonces más arriesgadas que las del físico o del químico. Es quizás todo este conjunto de consideraciones lo que me llevó a escoger la química y la física.

En 1941 usted consigue el doctorado e inicia su actividad de investigador. ¿Qué significa ocuparse de la investigación en plena segunda guerra mundial?

Para responder tengo que precisar algunos hechos. En 1940 intenté alcanzar el sur de Francia, como casi todos los jóvenes belgas, pero los alemanes ya nos habían cortado el camino, y así, como muchos de mis compañeros, tuve que volver a Bélgica.

Hay que decir que, en aquel momento, la mayoría de mis profesores de la universidad pensaban que la guerra estaba prácticamente terminada, que Alemania había vencido y que, por tanto, lo único que podía hacerse era adaptarse a la nueva situación. Por esta razón, en un primer momento, proseguí mi trabajo de investigación y presenté mi tesis de doctorado.

Pero poco después de la tesis, la Université Libre de Bruselas interrumpió su actividad. Hasta aquel momento había tenido un discreto margen de autonomía, pero después las pretensiones del comisario alemán llegaron a ser tales que obligaron a la universidad a cerrar.

Así surgió un nuevo problema, el de continuar enseñando a los estudiantes, y entonces me metí de lleno en la actividad pedagógica clandestina. Fue mi primera experiencia

práctica; se daban clases en las casas particulares, en las enfermerías de los hospitales, donde se podía.

No puedo decir, naturalmente, que me haya ocupado mucho de la investigación; el período transcurrido entre 1941 y el fin de la ocupación alemana fue sobre todo de reflexión, dominado por un gran acontecimiento como la segunda guerra mundial. A veces me pregunto si la insistencia que sobre el tiempo hago en mis trabajos no proviene de alguna manera de mi vida de emigrado, en primer lugar, y después de esta experiencia que me ha hecho testigo de acontecimientos tan importantes. Los que viven en la segunda mitad del siglo XX no pueden darse cuenta de cómo era el mundo en los años cuarenta, cuando Mussolini, Hitler y Stalin se repartían gran parte del poder mundial.

Creo que haber pasado a través de aquellos años me ha dado una fuerte conciencia de la realidad del tiempo. Como recuerda a menudo Popper, el tiempo no puede ser una ilusión porque sería como negar Hiroshima. Y en cierta medida, cuando hablo de esta realidad del tiempo, tal vez estoy hablando de mi propia vida.

El tiempo-real de la biología y el tiempo-ilusión de la física son dos concepciones del tiempo sobre las cuales usted vuelve continuamente en su libro La Nueva Alianza,^[4] por ejemplo cuando habla de la polémica entre Bergson y Einstein. ¿Piensa que estas dos posiciones son siempre inconciliables?

Antes de responder, quisiera en primer lugar insistir sobre el hecho de que el tiempo exterior a la física, empujado en cierto sentido fuera de la física, es en realidad un elemento común a Bergson y Einstein, y también a otros, por ejemplo Heidegger. Se trata de un problema que supera en gran medida la controversia entre Bergson y Einstein; para situarlo en su justo lugar hay que volver a las fuentes del pensamiento filosófico occidental.

Aristóteles dice que el tiempo es el estudio del movimiento, pero —añade— en la perspectiva del antes y del después.^[5] Pero, ¿de dónde viene esta perspectiva del antes y del después?

Aristóteles no da una respuesta: afirma que tal vez es el alma la que efectúa la operación.

Einstein retoma la misma pregunta: ¿dónde está el tiempo?, ¿tal vez en la física? Y responde que no. En una conversación con Carnap dice textualmente: «El tiempo no está en la física».

Si escojo el punto de vista de la física, el tiempo, en cuanto reversibilidad, es ilusión y por tanto no puede ser objeto de la ciencia. En este punto, curiosamente, Einstein coincide con Bergson y con Heidegger: Bergson sostiene que el tiempo no puede ser objeto de la ciencia, porque es demasiado complejo para la ciencia.

Entonces, ¿por qué pienso yo en cambio que estamos entrando en un período de resistemización conceptual de la física? Porque hoy vemos fenómenos irreversibles en la naturaleza y comprendemos el papel constructivo de estos fenómenos irreversibles. Vemos cómo se forman estructuras, vemos cómo algunas regiones del espacio se organizan gracias a la irreversibilidad.

Estos fenómenos irreversibles nos pueden dar ahora aquella perspectiva del antes y del después que buscaba Aristóteles. Nuestra tarea actualmente es la de incorporar esta irreversibilidad en la estructura fundamental de la ciencia.

Hoy, bien o mal, todos están de acuerdo sobre la importancia de la evolución en cosmología, en las partículas elementales, en biología, en las ciencias humanas; todos están de acuerdo en la importancia del tiempo.

Sin embargo, no hay acuerdo sobre un interrogante crucial: «¿Hay que reconsiderar las estructuras de base de la física? ¿No se debería poner la irreversibilidad en la base de la mecánica cuántica, de la mecánica clásica, de la relati-

dad, puesto que ya no podemos considerar el tiempo como una aproximación?». Deberíamos considerar el tiempo como aquello que conduce al hombre, y no al hombre como creador del tiempo. Éste es en el fondo el punto en cuestión. Y sobre este punto, sin embargo, no hay unanimidad entre los físicos. Es un punto sobre el cual existen muchas y diversas opiniones.

Uno de mis mejores amigos y colegas, John A. Wheeler, [6] un eminente físico muy conocido, ha desarrollado el concepto de «*observer participancy description*» del universo. En esta descripción es el observador, el hombre, la conciencia, lo que crea el tiempo, el cual no existiría en un universo sin hombres y sin conciencia.

Mientras que para mí, al contrario, el hombre forma parte de esta corriente de irreversibilidad que es uno de los elementos esenciales, constitutivos, del universo.

Por tanto, aunque la polémica entre Bergson y Einstein está hoy superada, el debate prosigue no obstante en otros planos. Vuelve la cuestión: ¿el tiempo es, tal como pensaba Bergson, esencial y, en cuanto tal, nunca científico? ¿O bien es accesorio, como pensaba Einstein?

Yo estoy convencido de que el tiempo sí es un objeto de la ciencia. Ha de tener su lugar en la estructura de la ciencia moderna, y este lugar, a mi parecer, es fundamental, es el primero. Hay que pensar, pues, el universo como una evolución irreversible; la reversibilidad y la simplicidad clásicas resultan entonces casos particulares.

Mucha gente ha visto en sus reflexiones la búsqueda de una concepción rigurosamente laica del tiempo...

«Laico» es una palabra que puede tener muchos significados. Si lo que usted quiere decir es que la concepción clásica, en la cual el tiempo es relegado fuera de la física, es una concepción que atribuye al hombre poderes casi divinos, estoy de acuerdo, porque creo efectivamente que la

ciencia está hecha por el hombre, que a su vez es parte de la naturaleza que describe. La idea de una omnisciencia y de un tiempo creado por el hombre presupone que el hombre es diferente de la naturaleza que él mismo describe, concepción que considero no científica. Seamos laicos o religiosos, la ciencia debe unir el hombre al universo. El papel de la ciencia es precisamente el de encontrar estos vínculos, y el tiempo es uno de éstos. El hombre proviene del tiempo; si fuese el hombre quien creara el tiempo, este último sería evidentemente una pantalla entre el hombre y la naturaleza.

Así pues, desde este punto de vista, mi respuesta es que, en efecto, ésta es una concepción laica, y creo que la ciencia tiene que ser laica, sean cuales sean las extrapolaciones que se nos pueda permitir más allá de la ciencia.

En esta concepción del tiempo, el Big Bang no se puede reproducir. ¿Es por tanto la idea de un universo en continua evolución?

Yo creo efectivamente en una evolución continua del universo, y creo que todas las teorías que pretenden describir cuál va a ser el estado del universo dentro de algunos miles de millones de años son prematuras y simplistas. Porque las grandes líneas de la historia del universo están hechas de una dialéctica, si puedo expresarme así, entre la gravitación y la termodinámica, o, si se quiere, entre Einstein y Boltzmann.^[7]

A este nivel no disponemos todavía de una buena teoría unitaria de la gravitación y la termodinámica. Es un problema que me interesa mucho, y en el cual estoy trabajando ahora mismo. Estoy convencido de que hay una estrecha relación entre la termodinámica y la gravitación.

En estas condiciones, el futuro del universo no está determinado de ninguna manera, o por lo menos no lo está más que la vida del hombre o la vida de la sociedad. A mi

entender, el mensaje que lanza el segundo principio de la termodinámica es que nunca podemos predecir el futuro de un sistema complejo. El futuro está abierto, y esta apertura se aplica tanto a los sistemas físicos pequeños como al sistema global, el universo en que nos encontramos.

Pero lo que vemos delante de nosotros, esto es, la evolución biológica y la evolución de la sociedad, es ciertamente una historia del tiempo, una historia natural del tiempo. Sabemos en efecto que, junto al tiempo mecánico, la irreversibilidad lleva a tiempos químicos, a tiempos internos, y la diferencia entre una reacción química que podemos alimentar y la vida es que, en el caso de la reacción química, cuando cesamos de alimentarla, este tiempo interno muere.

Por el contrario, con la aparición de la vida, nace un tiempo interno que prosigue durante los miles de millones de años de la vida y se transmite de una generación a otra, de una especie a otra especie, y no sólo se transmite, sino que se hace cada vez más complejo.

Así como hay una historia de las máquinas calculadoras que en un tiempo astronómico dado consiguen realizar cada vez más cálculos, del mismo modo hay una historia biológica del tiempo que corresponde a una estructura de este tiempo cada vez más compleja. Podemos leer esta estructura en el tiempo musical, por ejemplo, y confrontar cinco minutos de Beethoven con cinco minutos del movimiento de la Tierra.

El movimiento de la Tierra prosigue uniformemente durante estos cinco minutos. En cambio, en los cinco minutos de Beethoven hay aceleraciones, disminuciones de la velocidad, vueltas hacia atrás, anticipaciones de temas que aparecerán sucesivamente; un tiempo, pues, mucho más independiente del tiempo externo, que no podría ser concebido por otros organismos menos evolucionados.

Leer la historia del universo como historia de un tiempo autónomo, o de una autonomía creciente del tiempo es, en