

Prigogine: el fin de las certidumbres

Por Jorge Palacios C

Publicado originalmente en La Epoca – Santiago de Chile
12 enero 1997

Prigogine acaba de publicar un nuevo libro titulado, en su versión española, *El fin de las Certidumbres* (Andres Bello, 1996). The New York Times en su comentario de esa obra señala: “un libro breve que durará siglos”. Y la verdad es que, de seguir confirmándose las revolucionarias teorías de este eminente hombre de ciencia, Premio Nobel de Química, ello significará la instauración de un nuevo paradigma en las concepciones científicas.

La obra entera de Prigogine (y de sus cada vez más numerosos colaboradores) tiene como norte la reivindicación, en todos los terrenos explorados por las diversas especialidades científicas, de la vigencia de un tiempo irreversible, que implica un universo con una historia evolutiva, en la que hay creación, novedad y en muchos aspectos esenciales, imprevisibilidad e indeterminación.

La Nueva Alianza

Prigogine empezó a dar a conocer sus planteamientos en 1945, en el Boletín de la Real Academia de Bélgica, con un escrito titulado: “Estudio termodinámico de los fenómenos reversibles”. Trabajo que fue publicado en 1947 en la editorial Desoer de ese mismo país. En 1979, habiendo obtenido ya el premio Nobel por sus contribuciones teóricas y experimentales a la termodinámica del no-equilibrio y su teoría de las estructuras disipativas, publica en colaboración con Isabelle Stengers *La Nueva Alianza*, primera obra de síntesis de su pensamiento. Allí formula, aunque todavía con cierta cautela y timidez, sus ideas fundamentales, que irán reafirmandose en sus trabajos posteriores a medida que se acumulan, unas tras otras, las experiencias y las simulaciones en computadora que las confirman.

Al publicar *La Nueva Alianza*, Prigogine era ya autor de unos 372 trabajos, entre conferencias, artículos e informes científicos, amén de tres libros que preceden dicha obra. En 1988, un trabajo destinado a ser la introducción a una selección de artículos a publicar, se transforma en un nuevo libro en común con Isabelle Stengers: *Entre el tiempo y la*

eternidad (Fayard 1988). En esta obra son precisadas y desarrolladas las perspectivas que ya se plantearan en *La Nueva Alianza*. “En su mayor parte, **La Nueva Alianza**” –señalan allí- “estaba consagrada a una renovación de la fenomenología del tiempo suscitada por el desarrollo de la termodinámica de los sistemas lejos del equilibrio. Allí exponíamos el cambio profundo del paradigma clásico que identificaba el crecimiento de la entropía y la evolución hacia el desorden. Describíamos el papel constructivo de los fenómenos irreversibles y los fenómenos de auto-organización que se producen lejos del equilibrio. Discutíamos el papel que pueden asumir las ‘estructuras disipativas’ en la comprensión de la vida”.

“Los diez años que nos separan de esos trabajos (ahora son 17. J.P.) han visto un extraordinario desarrollo de la nueva ciencia del no-equilibrio. **La Nueva Alianza**” –prosiguen- “llevaba el debate al corazón de la dinámica clásica. Mostrábamos cómo la ‘renovación’ de la dinámica, ligada al descubrimiento de los sistemas dinámicos inestables, ponía en tela de juicio el ideal determinista que había guiado la dinámica desde sus orígenes. Mostrábamos que dichos sistemas inestables conducían a una nueva descripción que señalaba el

paso del determinismo hacia las probabilidades, de la reversibilidad hacia la irreversibilidad. En aquella época, tales conclusiones podían aparecer a algunos como revolucionarias. Hoy en día, ellas son aceptadas, si no por la mayoría, al menos por un número sin cesar creciente de físicos”.

El Tiempo y la Eternidad

Las formulaciones de *Entre el tiempo y la Eternidad* son inmensamente más seguras y tajantes que las de La Nueva Alianza. Señalan: “la cuestión de la significación del tiempo irreversible en Mecánica Cuántica y en Cosmología nos conducirá a proponer modificaciones de sus estructuras conceptuales”. Y añaden: ...”un tal paso es audaz; se trata de poner en tela de juicio las dos ciencias cuya fecundidad ha transformado la imagen de la física contemporánea. Por otra parte, como lo hemos dicho, ello implica investigaciones que están en marcha y que, sin duda, conocerán desarrollos inesperados. Pero estamos convencidos que, cualquiera sean esos desarrollos, está excluida una vuelta hacia atrás. El carácter ilegítimo del ideal de inteligibilidad que había guiado hasta aquí a la física moderna, incluyendo la Mecánica Cuántica y la Relatividad, nos parece

establecido. Una página de la historia de la física se ha tornado definitivamente”.

Entre el tiempo y la eternidad explora, así mismo, la confrontación entre los esquemas conceptuales de la física y el problema del tiempo. Comienza reeditando el análisis de la crisis que provoca la Termodinámica en la Dinámica Clásica. Se trata de dos visiones opuestas de la física. “Desde el punto de vista de la dinámica, devenir y eternidad parecían identificarse. Al igual que el péndulo perfecto oscila en torno a su posición de equilibrio, el mundo regido por las leyes de la dinámica se reduce a una inmutable afirmación de su propia identidad. En cambio, el universo termodinámico es el universo de la degradación, de la evolución progresiva hacia un estado de equilibrio definido por la uniformidad y el nivelamiento de las diferencias”.

Más adelante, se plantean tres aspectos básicos, desestimados por la dinámica clásica, que caracterizan una evolución realmente creadora: la irreversibilidad de los fenómenos, la existencia de acontecimientos contingentes que no pueden ser deducidos de una ley determinista, y el potencial desarrollo de dichos acontecimientos, hasta influir en la configuración del proceso entero. Se invoca la evolución darwiniana como testimonio de la

influencia de los tres aspectos señalados. Se muestra, luego, de qué modo operan ellos en los procesos alejados del equilibrio, en que es posible que una multitud caótica de moléculas adopte un comportamiento coherente, como si pudieran comunicarse entre sí a distancias macroscópicas.

El libro exhibe gráficos de simulaciones en computadoras destinadas a visualizar tales fenómenos.

Propiedades sorprendentes

Se estudia enseguida otras extrañas propiedades que afectan a los sistemas físico-químicos lejos del equilibrio, por ejemplo, el que puedan tornarse sensibles a factores que se desestimaban como insignificantes en condiciones de equilibrio. Dicha noción de “sensibilidad” se encuentra asociada a la de inestabilidad, cuando se trata de “sensibilidad” de un sistema a las fluctuaciones de su propia actividad. Estas son capaces, entonces, de generar en el sistema cambios profundos. Finalmente se refieren a la singularidad de los puntos de bifurcación del sistema inestable. En tales puntos no es posible una previsión determinista del rumbo que éste tomará.

Y dichas probabilidades de rumbos diversos no derivan de nuestra ignorancia, sino de diversas potencialidades inherentes al propio sistema, cuya actualización depende, en ocasiones, de una ínfima fluctuación.

Posteriormente, Prigogine-Stengers avanzan a conclusiones mucho más profundas respecto a la irreversibilidad que en **La Nueva Alianza**. Los flujos de correlaciones derivados de las colisiones entre partículas determinan, incluso ya a nivel de microprocesos, una flecha del tiempo. Dicen: “Recientes simulaciones numéricas han confirmado este punto de vista. Ellas mostraron que, incluso en equilibrio, las colisiones crearán correlaciones...Por supuesto, estando el sistema en equilibrio, tales correlaciones no tienen ningún efecto macroscópico...Podemos concluir pues: al nivel microscópico, la diferencia entre pasado y porvenir persiste incluso en un sistema en equilibrio. No es el no-equilibrio el que crea la flecha del tiempo, es el equilibrio el que impide a la flecha del tiempo, siempre presente a nivel macroscópico, tener efectos macroscópicos”. Y concluyen: “El tiempo irreversible, confinado por la visión clásica a la descripción macroscópica de sistemas que evolucionan a partir de un estado inicial ‘improbable’, ha penetrado pues todos los niveles de

descripción de los que estaba desterrado, inclusive hasta el propio estado de equilibrio”.

El flujo de correlaciones que imprime un carácter irreversible a los micro-procesos, unido a la idea de Prigogine-Stengers de que las probabilidades en los sistemas lejos del equilibrio deben ser concebidas como potencialidades objetivas, les permite plantear una nueva interpretación de la Mecánica Cuántica. Consideran la función ondulatoria de Schrodinger, como expresión de un indeterminismo intrínseco de las fluctuaciones cuánticas, que determinaría el carácter probabilístico de dicha ecuación de onda. Por lo mismo, la irreversibilidad de las fluctuaciones queda ligada, no al acto de observación, sino a una propiedad objetiva de éstas, eliminándose así las interpretaciones subjetivistas de la Mecánica Cuántica.

Fin de las certidumbres

En el último libro, *El fin de las certidumbres*, Prigogine asume posiciones aún más radicales que en sus obras anteriores. Comienza planteando nada menos que una reformulación del concepto de ley científica. Señala: “Apenas se incorpora la inestabilidad, la significación de las leyes de la

naturaleza cobra un nuevo sentido. En adelante expresan posibilidades. La ambición de este libro es presentar esta transformación de las leyes de la física y, por ende, de toda nuestra descripción de la naturaleza”. Y más adelante: “Como ya hemos destacado, tanto en Dinámica Clásica como en Física Cuántica las leyes fundamentales ahora expresan posibilidades, no certidumbres. No sólo poseemos leyes, sino acontecimientos que no son deducibles de las leyes pero actualizan sus posibilidades”. ”En su formulación tradicional, las leyes de la física describen un mundo idealizado, un mundo estable, y no el mundo inestable, evolutivo, en que vivimos. Este punto de vista nos obliga a reconsiderar la validez de las leyes fundamentales, clásicas y cuánticas”.

A estas alturas de su trabajo, Prigogine ha llegado también a la tajante conclusión de que el ideal de “reversibilidad” de los fenómenos de la física clásica, no sólo se manifiesta de una manera excepcional en la realidad, sino que no es más que eso: un ideal. “La naturaleza –escribe- nos presenta a la vez procesos irreversibles y procesos reversibles, pero los primeros son la regla y los segundos la excepción”. Además, “Los procesos reversibles siempre corresponden a idealizaciones: para atribuir

al péndulo un comportamiento reversible debemos descartar la fricción, y ello sólo vale como aproximación”.

Las resonancias

Prigogine, en su reciente libro, reivindica una noción básica formulada por Poincaré en relación con las trayectorias: la noción de resonancia. La resonancia es un fenómeno que se produce cuando un sistema capaz de oscilar en torno de una posición de equilibrio es sometido a una excitación periódica exterior cuya frecuencia es igual a la frecuencia propia de oscilación del sistema. En tal caso, ambos sistemas se estimulan mutuamente y se amplifican las oscilaciones, al acoplarse sus frecuencias. La resonancia es lo que hace explotar una serie de cargas de dinamita situadas a cierta distancia al hacerlo una de ellas, por resonancia, así mismo, la marcha de una tropa con cierta cadencia regular puede producir el derrumbe de un puente. Lo importante es que Poincaré demostró que las trayectorias de la Dinámica Clásica sólo eran deterministas y reversibles cuando no eran afectadas por las resonancias y que ello era excepcional. “A nivel estadístico”, señala Prigogine, “las resonancias

ocasionan la ruptura del determinismo: introducen la incertidumbre en el marco de la Mecánica Clásica y rompen la simetría del tiempo”. “Por supuesto”, agrega, “no hay término difusivo cuando nos las habemos con un sistema integrable (partículas libres, sin interacciones mutuas) y volvemos a una descripción en términos de trayectorias, pero este tipo de descripción sólo corresponde a un caso particular; en general, las leyes de la dinámica deben formularse en términos de probabilidades”. Y concluye: “Durante siglos las trayectorias fueron consideradas los objetos fundamentales de la física clásica. Ahora aparecen detentando una validez limitada”.

Flujo de correlaciones

En la mitad de su libro, Prigogine reafirma ya claramente la revolucionaria idea que lo ha conducido a exigir transformaciones en la Dinámica Clásica y en la Mecánica Cuántica:...”los objetos fundamentales de la física ya no son trayectorias o funciones de onda sino probabilidades”. “Por largo tiempo vacilé”, confiesa, “ante esta conclusión radical. La cuestión era saber si debía abandonar la descripción tradicional o si los sistemas inestables exigían

sencillamente otra descripción, equivalente a la descripción usual, que así conservaría su validez”. Prigogine, como es sabido, extiende a toda la física la concepción probabilística.

¿A qué se aplica esta idea de probabilidad? Ella sirve para expresar el modo en que actúan objetivamente los flujos irreversibles de correlaciones determinados por las colisiones de partículas influidas por la resonancia. “A nivel estadístico”, expresa, “podemos poner de manifiesto un orden temporal natural estudiando la evolución de la distribución de probabilidad por efecto de las colisiones. Aquí la noción central es la de correlación. En el curso del tiempo nacen y se propagan correlaciones. Empezamos a concebir el modo como la irreversibilidad puede aparecer en el nivel estadístico. Se trata de construir una dinámica de las correlaciones y ya no una dinámica de las trayectorias”. Dicho flujo de correlaciones orientado en el tiempo ha sido verificado ya en simulaciones en computadoras.

Estudiando dicha dinámica de las correlaciones, Prigogine constata “una diferencia fundamental entre la descripción en términos de trayectorias, por una parte, y la descripción en términos de conjunto, por la otra”. Aparecen nuevas

propiedades que sólo son inherentes a los conjuntos estadísticos y no a las trayectorias individuales. “Se rompe la equivalencia entre el punto de vista individual y el punto de vista estadístico”. “Este hecho notable”, comenta Prigogine, “abre un nuevo capítulo en las relaciones matemáticas y física teórica. Permite atribuir un sentido a lo que podemos llamar ‘las leyes del caos’, y ello en el nivel estadístico”. “Cualquiera sea la situación”, agrega, “coexisten una descripción individual (en términos de trayectorias, funciones de ondas o campos) y una descripción estadística. Y en todos los niveles, inestabilidad y no integrabilidad rompen la equivalencia entre estas dos descripciones”. Y luego concluye: “La formulación de las leyes físicas debe ser modificada en todos los niveles con el fin de estar de acuerdo con el universo abierto y evolutivo en que viven los humanos”.

Jorge Palacios C. es filósofo de las ciencias. Ex director del Departamento de Filosofía de la Universidad de Chile.
