

**LOS SISTEMAS COMPLEJOS
Y LA PERCEPCIÓN DEL LIBRE ALBEDRÍO
POR EL HOMBRE**

*Conferencia pronunciada
por el Académico Titular Dr. Josué Antonio Núñez
en la sesión pública del 19 de julio de 2008
de la Academia Nacional de Ciencias de Buenos Aires*

En una conferencia (*Kausalgesetz und Willensfreiheit*) leída en la Academia Prusiana de Ciencias el 17 de febrero de 1923, Max Planck dice lo siguiente:

“Ley de la causalidad y libre albedrío.- Un tema tan antiguo como el deseo interno de todo hombre que piensa seriamente en situar la propia conciencia de su dignidad moral en concordancia con la convicción en el reinado de una ley estricta sobre toda la maquinaria del mundo interno y externo. Indudablemente se presenta aquí a primera vista una paradoja que no podría pensarse más extrema: por un lado el curso de los acontecimientos según reglas inviolables –tanto en la naturaleza como en la vida espiritual–, condiciones *sine qua non* de todo conocimiento científico y fundamento de toda actividad práctica; por el otro lado, la seguridad garantizada por nuestra conciencia más profunda pero también por las fuentes de conocimiento más sólidas que, en definitiva, somos dueños de nuestros propios pensamientos y decisiones, que en cada momento podemos actuar de una manera u otra, prudente o imprudentemente, bien o mal. ¿Cómo entran ambos en consonancia? Seguramente cada uno de nosotros es sólo parte del universo y, por este motivo, sometido a las mismas leyes” (Planck, 1990, pag. 81).

El hombre percibe que es libre cuando nadie limita sus decisiones, o sea, cuando percibe su propia libertad de acción. Simultáneamente, sin embargo, el hombre sabe que una ley universal, la ley de causalidad, limita sus actos. No puede hacer ‘cualquier cosa’. ¿Cómo se explica esta aparente contradicción? Como principio surgido de la experiencia, la ley de causalidad postula que todo acontecimiento tiene una causa (resulta de...), y es a su vez causa de otro acontecimiento. Causa y efecto forman una cadena sin discontinuidad que, viniendo del pasado, se proyecta hacia el futuro a través del presente. Se concluyó así que el nexo entre causa-efecto representa “la ley de la naturaleza”. En una cosmogonía causal-mecanicista, el hombre sólo representa una rueda del engranaje del mecanismo universal. Consecuentemente, el hombre es irresponsable de sus actos. Los acontecimientos futuros están estrictamente predeterminados en la naturaleza y pueden predecirse exactamente si se conoce la situación de cada uno de los elementos componentes de la realidad en cierto

instante de la cadena causal. Este punto de vista fue enunciado por Laplace (1749-1827), quien postuló que, si admitimos la validez universal de la cadena de causas y efectos, el futuro del universo, y por ende también el del hombre, está determinado *a priori*. Esta concepción se conoce como “el demonio de Laplace”. Descartes (1596-1650), considerado por muchos el padre de la nueva Filosofía, expresó que “Dios creó, en un acto de libre albedrío, todas las leyes que gobiernan el universo”. Por el contrario, Spinoza (1632-1677) postuló que un Dios de la armonía y el orden impregnó todo los acontecimientos del Universo con la ley de las relaciones causales. Para Spinoza, la ley de causalidad es un atributo divino.

La cuestión del libre albedrío en el hombre estimuló debates en la época clásica. Esta inquietud perduró, y, con la excepción del comienzo del medioevo, un período en el cual todo lo que la ciencia griega había estudiado pasó al olvido, también se incorporó en la física de Galilei (1564-1642), Kepler (1571-1630) y Newton (1643-1727). En el siglo XX, ciertas interpretaciones filosóficas de algunos postulados de la física de partículas estimularon nuevas variantes conceptuales en el debate sobre el libre albedrío. El principio de incertidumbre enunciado por Heisenberg (1927) describe matemáticamente las limitaciones naturales en los valores que un observador puede asignarles a ciertos pares de variables físicas (posición y momento de una partícula), y ha sido interpretado por un número considerable de filósofos contemporáneos como un antagonismo de la relación causa-efecto; es decir, torna imposibles las predicciones exactas. El mismo principio dio lugar a una viva controversia entre un grupo de físicos como Heisenberg, Born (1882-1970) y Jordan (1902-1980), quienes consideraron que la ley de la causalidad debía abolirse completamente, y otros como Planck (1858-1947) y Einstein (1879-1955), quienes consideraron que la ley de causalidad y la física cuántica no son entidades mutuamente excluyentes y que la imposibilidad de estimar un valor no es necesariamente una indeterminación real.

Postular una ley de causalidad sobre una base estadística, como ocurre en la teoría cinética de los gases, no es otra cosa que explicar los fenómenos naturales con una formulación atomista, como lo hiciera Demócrito (460-371 a.C.). La formulación del principio de causalidad como relación causal estricta se le atribuye a los estoicos y a Epicuro (342-271 a.C.). Luego de la Edad Media, el mismo principio re-surgió en las nuevas ciencias naturales con Bacon (1561-1626), Galilei y Kepler. Desde un comienzo, sin embargo, el principio de causalidad ha sido sometido a un enfoque probabilístico. Con simple-

za y claridad, Planck dijo en una de sus conferencias: “Pensemos en las condiciones meteorológicas de mañana: ¿están determinadas o no? Si aceptamos que entre todas las predicciones de los fenómenos naturales no existe ninguna más engañosa que una predicción meteorológica, ¿diríamos entonces que las condición meteorológica de mañana no está determinada? En realidad, no puede predecirse debido a la multiplicidad de factores que interactúan en su determinación. Concluiremos entonces que la inseguridad de nuestra predicción se debe a nuestra ignorancia total de las condiciones e interacciones de los factores involucrados. En realidad, las condiciones meteorológicas de mañana están determinadas, pero cierta **indeterminación** en la información que poseemos hoy nos impide hacer una predicción certera”.

Pasemos a otro terreno de nuestro análisis. Por lo imprecisa de su definición clásica, el principio de **causalidad** carece de aplicaciones técnicas. Por ello se diferencia una causalidad **estricta** de una causalidad **laxa**. La causalidad **estricta** ocurre cuando se realizan cambios muy pequeños en un sistema y sus efectos pueden predecirse hasta cierto punto y en cierta medida. La causalidad **laxa** ocurre cuando los cambios son grandes y sus efectos son de muy difícil predicción. La confianza en la ley de causalidad creció sustancialmente luego del éxito alcanzado por Leverrier y Adams en 1846, quienes, a partir de las anomalías constatadas en la órbita del planeta Urano, lograron predecir la existencia de otro cuerpo celeste aún desconocido. Esto fue posible gracias a las leyes de gravitación que Galilei había formulado matemáticamente usando el método científico en el estudio de **sistemas simples**. En tal caso, la incertidumbre intrínseca del sistema es despreciable. Esto no ocurre en los **sistemas complejos**, y es exactamente lo que limita nuestra capacidad predictiva.

Rechenberg (1973) expuso de manera sencilla esta particularidad de los **sistemas complejos**. Formuló la siguiente pregunta en el contexto de un análisis técnico: ¿por qué la evolución biológica “utiliza” el método de la selección natural para resolver sus desafíos tecnológicos? Precisamente porque es la única que puede aplicarse en el análisis y la optimización de los **sistemas complejos**, los cuales operan en un medio con elevado nivel de “ruido”. El método consiste en **prueba y selección** del sistema más eficiente para sobrevivir. Lo que caracteriza a un sistema complejo es que debido al elevado número de sus elementos e interacciones toda predicción sobre los efectos de un cambio provocado sobre el sistema se torna imposible en

términos prácticos, independientemente de la magnitud del cambio provocado. Aun si las manifestación futuras de un sistema complejo están pre-determinadas, no podemos predecir el estado futuro del sistema porque ignoramos el estado presente de sus diversos elementos e interacciones. La ley de causalidad, por lo tanto, no puede aplicarse con éxito en el estudio de los sistemas complejos. El debate sobre la causalidad, y por ende sobre el libre albedrío, alcanza entonces una situación equivalente a la que tuvo lugar con el desarrollo de la física cuántica. La inherente incertidumbre de los sistemas complejos, que incluyen al hombre y a las sociedades humanas, no sólo explican la metodología evolutiva de prueba y selección sino también la percepción humana del libre albedrío. “**Darwin en el túnel de viento**” denominó Rechenberg (1994) al experimento que realizó en 1964 en la Universidad Técnica de Berlín, a través del cual demostró que las interpretaciones de los biólogos tenían también correlatos empíricos en la técnica. Luego de un cierto número de “mutaciones” azarosas, la selección optimiza la eficiencia de un sistema en el contexto de un desafío tecnológico.

Históricamente, es significativo que la teoría de los sistemas regulados fuera desarrollada por Küpfmüller, un ingeniero especialista en sistemas de regulación. La metodología científica analítica comenzó con Galilei. Desde entonces, la física post-Galilei se designa como ‘clásica’ o ‘newtoniana’. Sus logros más significativos incluyen la aplicación de la ley de la gravitación universal al movimiento de los astros, y el reemplazo de la Tierra en el sistema planetario de Ptolomeo (100-160) por el Sol en el sistema de Kepler. La metodología científica de Galilei es predictiva y ha sido utilizada con éxito en el estudio de los sistemas simples –de pocos elementos componentes– siguiendo los pasos de la ley de la causalidad clásica. Sin embargo, los problemas tecnológicos que más interesan al hombre involucran “complejos” sistemas naturales. Y es precisamente la metodología de “**prueba y selección**” la que gobierna la evolución de los sistemas naturales desde el origen de la vida sobre la Tierra, en un único “experimento” que comenzó aproximadamente hace 3.500 millones de años. La ley de causalidad subyace a nuestra concepción del mundo real. Nuestras limitaciones en la demostración de un proceso causal no implican que tal proceso no exista. La ley de causalidad no puede ser experimentalmente documentada en el estudio de los sistemas complejos, pero tampoco lógicamente rechazada. Por lo tanto, puede ser verdadera o falsa. Es un principio heurístico, nuestra mejor guía para orientarnos en la maraña de fenómenos naturales. La idea del

indeterminismo intrínseco de los sistemas naturales tiene así un carácter hipotético. El concepto de causalidad, además, nos es familiar en la vida diaria. En la segunda mitad del siglo XX, sin embargo, ciertas interpretaciones de la física de partículas a cargo de los filósofos contemporáneos desplazaron algunas interpretaciones precedentes de la física clásica, cuyas leyes no poseen un sentido exacto sino probabilístico. Ya Demócrito consideraba que las leyes naturales eran probabilísticas. Con las reglas de la **Estrategia Evolutiva**, Rechenberg (1973) formalizó que la predicción en el estudio de los sistemas complejos es prácticamente imposible. Esto explica la metodología de prueba y selección de la evolución biológica y el carácter teleológico (o teleonómico) que Norbert Wiener (1948) le asignó al estudio de los sistemas naturales y de las sociedades humanas.

Agradecimiento

Al Dr. R. De Marco (Berlín) quien colaboró en la redacción final del texto.

Bibliografía

- Heisenberg, W. 1955. *Das Naturbild der heutigen Physik*. Rowohlt, Hamburg.
- Heisenberg, W. 1969. *Der Teil und das Ganze*. R. Piper & Co. Verlag, München.
- Kröner's philosophisches Wörterbuch*. 13. Auflage. (1955) Kröner's Verlag, Stuttgart
- Küpfmüller, K. 1964. Regelungsvorgänge bei gezielten Bewegungen. In *Kybernetik* : 29-34, *Umschau Verlag*.
- Lotze, R., Sihler, H. (1954) *Das Weltbild der Naturwissenschft. J. B. Metzlersche Verlagsbuchhandlung. Stuttgart*.
- Planck, M. 1990. *Kausalgesetz und Willensfreiheit*. En: "Vom Wesen der Willensfreiheit", Fischer Taschenbuch Verlag.
- Rechenberg, I. 1973. *Bionik, Evolution und Optimierung*. *Naturw. Rdsch* 26(11): 465-472.
- Rechenberg, I. 1994. *Evolutionsstrategie '94.*, 434 S., Frommann-Holzboog, Stuttgart.
- Shannon, C. E., Weaver, W. 1949. *The mathematical Theory of Communication*. University of Illinois Press. Urbana.
- Wiener, N. 1948. *Cybernetics, or Communication and Control in the Animal and the Machine*. Cambridge, MA: MIT Press.

Glosario

Causalidad [del lat.: *causa*] [Kröner's philosophisches. Wörterbuch]: regla que vincula un fenómeno con una causa previa. Definido clásicamente como principio causal o ley surgida de la experiencia. Todo acontecimiento tiene una causa (resulta de...), y a su vez es causa de otro acontecimiento, o a la inversa: **sin causa no ocurre nada**. En general, como causalidad se conoce la relación entre los acontecimientos que se suceden en nuestra vida diaria.

Información: algo independiente de la energía o la materia que al ser recibido por el receptor reduce la incertidumbre de éste. La ecuación que describe este fenómeno fue desarrollada por Shannon y publicada en 1948, y resulta equivalente a la propuesta por Boltzmann para definir la entropía. Ambas resultan basadas en procesos estadísticos. Frecuentemente se habla de **entropía informacional**.

Libre albedrío. (L. *arbitrium*). Se presenta contrapuesto a instinto o impulso. Los fenómenos que trata Rechenberg en la *Estrategia evolutiva* nos muestran que hay un límite dado por el riesgo que, por el alto grado de interacciones, hace toda predicción en el mundo real una ficción. Prueba de ello sería el hecho que en los 3.500 millones de años de vida sobre la Tierra, la evolución biológica no halló otra metodología más eficiente que el ensayo y la selección, en un **único** experimento, que comenzó con el surgimiento de los sistemas complejos vivientes.

Percepción: es un proceso activo que resulta no sólo de la información inherente al estímulo sino también de la estructura mental del que la percibe y hace consciente los parámetros característicos de la magnitud percibida.

Sistema: Unidad resultante de la integración **informacional** de un cierto número de subsistemas [elementos] de un nivel estructural inferior. Son

a) **Sistemas simples:** aquellos en los cuales se integra un número pequeño [menor de 6] elementos. Los sistemas objeto de la investigación física y química pertenecen a este grupo, exceptuados los que estudian fenómenos de turbulencia.

b) **Sistemas complejos:** aquellos que resultan de la integración de un número grande de elementos. Todos los sistemas biológicos de importancia para el hombre son complejos.