

1

¿PUEDE LA CIENCIA OFRECER UNA EXPLICACIÓN ÚLTIMA DE LA REALIDAD?

FERNANDO SOLS

RESUMEN

La ciencia no puede ofrecer una explicación completa de la realidad debido a la existencia de límites fundamentales en el conocimiento que puede proporcionar. Algunos de esos límites son internos en el sentido de que hacen referencia a conceptos que pertenecen al dominio de la ciencia pero que están fuera del alcance de la ciencia. El siglo XX nos ha dejado la formulación de dos importantes limitaciones del conocimiento científico. Por un lado, la combinación de la dinámica no lineal de Poincaré y el principio de incertidumbre de Heisenberg nos lleva a una imagen del mundo donde la realidad está, en muchos sentidos, indeterminada. Por otro lado, los teoremas de Gödel nos revelan la existencia de teoremas matemáticos que, siendo ciertos, no pueden ser demostrados. Más recientemente, Chaitin ha demostrado, inspirándose en los trabajos de Gödel y Turing, que el carácter aleatorio de una secuencia matemática no puede ser demostrado (es “indecidible”). Reflexiono aquí sobre

las consecuencias de la indeterminación del futuro y la indecidibilidad del azar. Concluyo que la cuestión de la presencia o ausencia de finalidad en la naturaleza queda fundamentalmente fuera del alcance del método científico.¹

INTRODUCCIÓN

SOBRE LOS LÍMITES DEL CONOCIMIENTO CIENTÍFICO

Uno puede preguntarse si la ciencia puede potencialmente ofrecer una explicación última de la realidad. Una cuestión equivalente es si existen límites al conocimiento científico. Algunos límites son obvios. Podemos llamarles provisionales. Son los límites que cualquier proyecto científico bien planteado aspira a desplazar. Más allá de esos límites, existen conceptos o realidades que pertenecen al dominio de la ciencia y que son eventualmente alcanzables por la ciencia. Es una cuestión de tiempo el llegar a descubrir esas verdades científicas que nos son actualmente desconocidas pero que nosotros o nuestros descendientes descubrirán eventualmente. O quizás no, pero son objetivos en principio alcanzables por la ciencia. Podemos afirmar que existe un gran consenso sobre la existencia de estos *límites provisionales* de la ciencia. Un error no infrecuente es el de invocar (explícita o implícitamente) esos límites para probar o sugerir

¹ Muchas de las ideas presentadas en este artículo están ya discutidas en [F. Sols, *Can Science offer an ultimately explanation of reality?* Revista Pensamiento (ICAI, Universidad Pontificia de Comillas, Madrid)], [F. Sols, *Uncertainty, incompleteness, chance, and design*, in *Intelligible Design*, M. M. Carreira and Julio Gonzalo, eds., World Scientific (Singapore, 2013), in press; <http://arxiv.org/abs/1301.7036>], [F. Sols, *Heisenberg, Gödel y la cuestión de la finalidad en la ciencia*, in *Ciencia y Religión en el siglo XXI: recuperar el diálogo*, Emilio Chuvieco and Denis Alexander, eds., Editorial Centro de Estudios Ramón Areces (Madrid, 2012)].

la existencia de Dios. Semejante “Dios de los agujeros” es el señor de un reino que se encoge de forma inexorable a medida que progresa la ciencia. Aunque no siempre es invocado explícitamente con este nombre, se trata de un concepto particularmente caro a los filósofos materialistas (porque es fácil de refutar) y a ingenuos apologetas cristianos por igual. El “Dios de los agujeros” no es el Dios de la fe cristiana, siendo éste último mucho más profundo y sutil.

Hay otros límites del conocimiento científico cuya aceptación explícita requiere la adopción de una posición filosófica concreta. Podemos llamarlos *límites externos* de la ciencia. Más allá de esos límites existen realidades que no pertenecen al dominio de la ciencia y que (por lo tanto) no pueden ser alcanzados por la ciencia. Entre esas realidades podemos incluir los conceptos de Dios, alma, creación a partir de la nada metafísica, la conciencia como experiencia subjetiva, los derechos humanos (la ética), o la belleza (estética). Por supuesto, las cosmovisiones materialistas científicistas tenderán a ignorar al menos algunos de esos conceptos como irreales o constructos puramente mentales. Pero para otras personas esos conceptos describen ideas cuya posible realidad les intriga.

Hay todavía un tercer tipo de limitación del conocimiento científico que ha sido descubierto recientemente y que se refiere a los que podríamos llamar *límites internos* de la ciencia. Más allá de esos límites abundan realidades que pertenecen al dominio de la ciencia pero que está fuera de su alcance. Esos límites internos han sido descubiertos por la misma ciencia. Los dos ejemplos principales pertenecen ya al legado del siglo XX, concretamente, la

indeterminación física y la incompletitud matemática. En el resto de este artículo, describimos ambas ideas y argumentamos que nos llevan a la conclusión de que el debate sobre la existencia o ausencia de finalidad de la naturaleza está fundamentalmente fuera del alcance del método científico.

INCERTIDUMBRE, INCOMPLETITUD Y LA CUESTIÓN DE LA FINALIDAD

Desde la publicación de *El origen de las especies* en 1859 por Charles Darwin, ha existido un importante debate sobre la presencia o ausencia de diseño en la naturaleza. Durante el siglo XX, el progreso en cosmología ha permitido llevar este debate más allá de sus límites iniciales restringidos a la evolución de la vida para incluir la historia del universo. La discusión intelectual se ha intensificado especialmente en las últimas décadas tras la propuesta del llamado “diseño inteligente” como posible programa científico que aspiraría a demostrar la existencia de finalidad en la evolución biológica [Dembski, 2006]. En esta polémica, con frecuencia innecesariamente agria, se contraponen el azar combinado con la selección natural por un lado y el diseño inteligente por otro lado, como posibles mecanismos motores del progreso de las especies. El azar es sin duda un concepto esencial para trabajar en diversas disciplinas científicas, no solo en biología de la evolución sino en física cuántica y física estadística. Sin embargo, resulta sorprendente que, dentro de la polémica antes mencionada, apenas se haya reparado en que, dentro del ámbito de las matemáticas, el azar no es demostrable. Más precisamente, Gregory Chaitin ha demostrado que el carácter aleatorio de una secuencia matemática es en general indecidible, en el sentido que

dieron a este adjetivo los matemáticos Kurt Gödel y Alan Turing. Las consecuencias epistemológicas de esta observación son de gran alcance.

En este capítulo argumentaremos que el trabajo de Chaitin, combinado con el conocimiento actual de física cuántica, lleva inevitablemente a la conclusión de que el debate sobre la presencia o ausencia de finalidad en la naturaleza queda fuera del ámbito del método científico, aunque puede tener interés filosófico. Para ello repasaremos algunos momentos clave de la historia de la física, de las matemáticas y de la filosofía de la ciencia. En ese itinerario hablaremos de la física de Newton, la dinámica no lineal de Poincaré, el principio de incertidumbre de Heisenberg, el colapso de la función de onda, los teoremas de Gödel, el problema de la parada de Turing, la teoría algorítmica de la información de Chaitin, la filosofía de la biología de Monod, la propuesta del diseño inteligente, y el criterio de falsación de Popper. El hilo conductor de nuestra argumentación será el intento de responder a una pregunta fundamental, tan sencilla de formular como difícil de responder: “¿Qué o quién determina el futuro?”. Esperamos que estas reflexiones sean clarificadoras y ayuden a poner cada cuestión en su sitio, distinguiendo entre lo que es conocimiento científico establecido de lo que es reflexión filosófica alrededor de ese saber científico.

INDETERMINACIÓN PRÁCTICA EN LA FÍSICA CLÁSICA: NEWTON Y POINCARÉ

En su monumental obra *Philosophiæ naturalis principia mathematica* (1687), Isaac Newton (1642-1727) formuló la ley de la gravitación universal y las leyes de la

mecánica clásica que llevan su nombre. El estudio de estas leyes mediante el cálculo infinitesimal que él mismo creó² lleva a una imagen determinista del mundo, según la cual el futuro de un sistema dinámico está completamente determinado por sus condiciones iniciales, concretamente, la posición y el momento lineal³ de cada una de las partículas que forman el sistema, si se conoce su ley de fuerzas⁴. Esta visión mecanicista se impuso con fuerza, avalada por el impresionante éxito con el que la mecánica de Newton permitía explicar simultáneamente el movimiento de los planetas y la gravedad en la vida ordinaria, en lo que puede considerarse la primera unificación de fuerzas. La imagen determinista de la naturaleza arraigó con gran fuerza y, a pesar de que, como veremos, no está corroborada por la física moderna, sigue contando con algunos partidarios en la actualidad.

A finales del siglo XIX, Henry Poincaré (1854-1912) aborda el problema de tres cuerpos y concluye que la evolución de dicho sistema dinámico es en general caótica, en el sentido de que pequeñas variaciones en las condiciones iniciales dan lugar con el tiempo a trayectorias muy diferentes. Cuanto más largo es el intervalo de tiempo durante el que deseamos predecir la evolución del sistema con una determinada precisión, mayor es la

² El cálculo infinitesimal fue desarrollado en paralelo por su contemporáneo Gottfried Leibniz (1646-1716).

³ Producto de la masa por la velocidad, también llamado cantidad de movimiento.

⁴ Más precisamente, podemos decir que la posición $x(t)$ y momento lineal $p(t)$ en el tiempo t están determinados por la posición $x(0)$ y el momento $p(0)$ en el instante inicial $t=0$. Para un sistema de muchas partículas en más de una dimensión, las variables x, p pueden interpretarse como vectores multidimensionales cuyas componentes son las posiciones y momentos de cada una de las partículas en las tres direcciones del espacio.

precisión con la que necesitamos conocer las condiciones iniciales, es decir, menor tiene que ser el error inicial en nuestro conocimiento de la posición y el momento lineal del sistema.⁵ La conclusión es que, en el contexto de la mecánica clásica, la regularidad del problema de dos cuerpos, cuyo paradigma sería el caso de un planeta girando alrededor del sol, es más la excepción que la regla. En la dinámica no lineal desarrollada por Poincaré, la mayoría de los sistemas dinámicos son caóticos, lo cual implica que la predicción de su comportamiento a largo plazo es, en la práctica, imposible. Llegamos pues al concepto de indeterminación práctica dentro de la física clásica.

Cabría todavía pensar que, si bien el determinismo es rechazado por razones prácticas, este todavía puede sobrevivir como concepto fundamental. Es decir, cabría argumentar que el futuro de la naturaleza y el universo, incluidos nosotros mismos, están determinados pero de forma que en la práctica sólo podemos hacer predicciones fiables en los casos más sencillos. Ese determinismo sería, a efectos prácticos, indistinguible del aparente indeterminismo en el que creemos movernos. En la siguiente sección veremos que la mecánica cuántica descarta esa imagen determinista no ya de forma práctica sino de forma fundamental.

⁵ El error en la posición y el momento en el instante inicial, $\Delta x(0)$ y $\Delta p(0)$, deben tender a cero para que, en un tiempo t muy posterior (que tiende a infinito), la predicción tenga un error en dichas variables, $\Delta x(t)$ y $\Delta p(t)$, igual a un valor previamente fijado.

INDETERMINISMO INTRÍNSECO EN LA FÍSICA CUÁNTICA: HEISENBERG

Durante el primer tercio del siglo XX se descubrió y formuló la mecánica cuántica. Esta ofrece una imagen del mundo microscópico que en muchos sentidos se aleja de forma radical de nuestras intuiciones basadas en el conocimiento ordinario del mundo macroscópico. Puede decirse que, en relación con la física clásica (precuántica y pre-relativista), la mecánica cuántica representa una ruptura conceptual de mayor calado que la introducida por la otra gran revolución de la física del siglo XX, la teoría de la relatividad. Esta última nos enseña que espacio, tiempo, masa, energía y gravedad no son conceptos independientes que se yuxtaponen sino que están interrelacionados por sutiles ecuaciones matemáticas que hoy comprendemos bien. La mecánica relativista permite en principio que posición y momento estén simultáneamente bien definidos y en general no tiene consecuencias prácticas en nuestra vida ordinaria más allá del uso de la energía nuclear y los dispositivos GPS.

La mecánica cuántica hace afirmaciones más fuertes. Entre otras: posición y momento no pueden estar simultáneamente bien definidos; en el mundo microscópico no hay una diferencia cualitativa entre partícula y onda; la ecuación fundamental no puede extrapolarse a escala macroscópica porque predice superposiciones que no observamos en la práctica; solo se predice con éxito el comportamiento estadístico de los experimentos; los sistemas microscópicos son radicalmente alterados cuando son observados. Por otro lado, las consecuencias de la física cuántica en la vida ordinaria son numerosas.

Cabe mencionar: la estabilidad de la materia y la rigidez de los sólidos en particular son impensables sin la mecánica cuántica; la química, el magnetismo, la electrónica, así como todas las tecnologías derivadas, solo son posibles gracias a las propiedades cuánticas de la materia. Por último, la imagen indeterminista que ofrece la física cuántica nos permite pensar que nuestra experiencia de libre albedrío puede ser real y no meramente subjetiva.

Para nuestra discusión, nos concentramos en un aspecto concreto de la mecánica cuántica: el principio de incertidumbre de Heisenberg.⁶ Formulado en el lenguaje actual, el principio de incertidumbre es una consecuencia inmediata de la mecánica ondulatoria de Schrödinger,⁷ pero se asocia al nombre de Heisenberg porque este fue quien lo dedujo primero a partir de su mecánica matricial (equivalente a la de Schrödinger) y, sorprendido por el resultado, trató de encontrar una explicación intuitiva. El principio de incertidumbre nos dice que, debido a su naturaleza ondulatoria, una partícula no puede tener bien definidos simultáneamente la posición y el momento. Concretamente, si Δx y Δp son la incertidumbre en la posición y el momento lineal, respectivamente, se satisface siempre la desigualdad (1)

$$\Delta x \Delta p \geq h / 4\pi$$

donde h es la constante de Planck. Una consecuencia inmediata es que si el estado de una partícula es tal que, por ejemplo, la posición está muy bien definida ($\Delta x \rightarrow 0$), entonces necesariamente la incertidumbre en el

⁶ Werner Heisenberg (1900-1976).

⁷ La mecánica que es descrita por la ecuación de onda que lleva el nombre del físico Erwin Schrödinger (1887-1961), quien la propuso en 1925.

momento lineal tiene que ser grande ($\Delta p \rightarrow \text{infinito}$) para que la desigualdad (1) se satisfaga.

Si combinamos la dinámica no lineal de Poincaré con el principio de incertidumbre de Heisenberg, llegamos a la conclusión de que, para predecir satisfactoriamente el futuro cada vez más lejano, llega un momento en el que es necesario conocer las condiciones iniciales con una precisión que viole el principio de incertidumbre. La razón es que la condición $\Delta x \rightarrow 0$ y $\Delta p \rightarrow 0$ (necesaria para la predicción de un futuro lejano) es incompatible con la desigualdad (1). Llegamos pues a la conclusión de que, dentro de la imagen del mundo que nos ofrece la moderna física cuántica, la predicción del futuro lejano es imposible, no ya en un sentido práctico sino en un sentido fundamental: la información física sobre lo que un sistema caótico hará en un futuro lejano no está en ningún lugar.⁸ Teniendo que en cuenta que los sistemas dinámicos no caóticos son en general una excepción y siempre una aproximación a la realidad, podemos afirmar que el futuro está abierto.⁹

Como ejemplo significativo, podemos señalar que, para un sistema tan macroscópico como Hiperión, luna alargada de Saturno de unos 300 km de diámetro medio y unos 6×10^{18} kg de masa, cuya rotación es caótica, Zurek ha estimado que la mecánica cuántica impide hacer

⁸ Rolf Landauer (1927-1999) solía decir que “la información es física” [Landauer, 1991]. El corolario es que, si no hay soporte físico, no hay información. Esta emerge a medida que las diversas posibles evoluciones futuras se van concretando.

⁹ La indeterminación como base de un futuro abierto es defendida por el filósofo Karl Popper (1902-1904) en sus libros *El universo abierto: un argumento a favor del indeterminismo* [Popper, 1986] y *Die Zukunft ist offen* (1985), esta última escrita junto con el zoólogo austriaco Konrad Lorenz (1903-1989).

predicciones sobre su rotación¹⁰ para tiempos superiores a 20 años [Zurek, 1988].

A pesar de no venir avalada por la física moderna, la imagen de un mundo determinista tiene todavía algunos defensores. En el contexto de la física cuántica, las teorías de variables ocultas proponen la existencia de variables no medibles cuyos valores precisos determinarían el futuro.¹¹ Entre sus seguidores se encuentran Albert Einstein, David Bohm y, más recientemente, Gerard 't Hooft (n. 1946). En 1964, John S. Bell (1928-1990) demostró que una importante clase de teorías de variables ocultas, las llamadas teorías locales, podían ser sometidas a observación. Propuso un experimento para el que una teoría local de variables ocultas predice el cumplimiento de unas determinadas desigualdades, hoy conocidas como desigualdades de Bell. Por el contrario, la mecánica cuántica convencional permite la violación de dichas desigualdades. Los principales experimentos fueron realizados por Alain Aspect (n. 1947) a principios de los 80 y arrojaron resultados contrarios a las predicciones de las teorías locales de variables ocultas y consistentes con la interpretación convencional de la mecánica cuántica. Buena parte de la incipiente tecnología de la comunicación cuántica (que permite el uso de códigos esencialmente indescifrables) está basada en la violación de dichas desigualdades.

¹⁰ El movimiento de traslación es mucho más estable.

¹¹ Aunque las teorías de variables ocultas han estado generalmente motivadas por el deseo de restaurar el determinismo en la visión del mundo, en sentido estricto lo característico de dichas teorías es el realismo, es decir la perfecta definición simultánea de todas las variables físicas. De hecho, existen modelos de variables ocultas estocásticas donde el realismo no va acompañado de determinismo.

A pesar del gran prestigio científico de algunos de sus defensores, las teorías de variables ocultas ocupan un lugar relativamente marginal dentro de la física actual¹². La escasa relevancia de las teorías de variables ocultas puede entenderse como una aplicación del criterio de la navaja de Ockham: entre dos teorías que compiten con capacidad explicativa similar, se escoge la más sencilla.¹³

INCERTIDUMBRE E INDETERMINACIÓN

Esta sección es algo técnica y tiene como objetivo hacer unas puntualizaciones que generalmente se echan a faltar en los textos de Mecánica Cuántica. Se trata de discutir una pequeña pero importante diferencia entre dos conceptos que con frecuencia se presentan como prácticamente sinónimos, y de ver cómo, dentro de la física cuántica, uno implica al otro. Aunque la discusión es asequible para un público amplio, el lector que no esté especialmente interesado en esta sutileza y se sienta cómodo pensando en incertidumbre e indeterminación como sinónimos, puede prescindir de la lectura de esta sección.

Consideremos un sistema físico que está en un estado que, siguiendo una convención habitual en mecánica cuántica, describimos por el símbolo $|\psi\rangle$. Supongamos que este sistema cuántico tiene asociada una magnitud

¹² Prestigio y marginalidad son en este caso compatibles porque un científico puede disfrutar de un merecido prestigio labrado con éxitos en ciencia convencional mientras que en otro ámbito, y motivado por sus preferencias filosóficas, defiende propuestas teóricas de difícil o imposible comprobación experimental que no tiene el respaldo mayoritario de la comunidad científica.

¹³ Citando literalmente a Guillermo de Ockham (1288-1348), *entia non sunt multiplicanda praeter necessitatem* (las entidades no se deben multiplicar más allá de lo necesario).