

AFORISMOS

Nº 4 - 2021

DIRECCIÓN

CONSUELO MARTÍNEZ-SICLUNA SEPÚLVEDA

SUBDIRECCIÓN

ANTONIO MARTÍN PUERTA

SECRETARIO

FERNANDO ARIZA GONZÁLEZ

MIEMBROS DEL CONSEJO DE REDACCIÓN

JOSÉ MARÍA CARABANTE MUNTADA
ALFONSO MARTÍNEZ-ECHEVARRÍA GARCÍA DE DUEÑAS
JORGE VILCHES GARCÍA

MIEMBROS DEL COMITÉ DE REDACCIÓN

ANTONIO GIMÉNEZ SÁEZ
MIGUEL MARÍA JIMÉNEZ DE CISNEROS
RAMÓN DE MEER CAÑÓN
JUAN ARTURO MORENO CABRERA

COMITÉ CIENTÍFICO

JOSÉ MANUEL CUENCA TORIBIO (Universidad de Córdoba)
LUIS ALBURQUERQUE (Instituto de Lengua, Literatura y Antropología, CSIC)
CHANTAL DELSOL (Academia de Ciencias Morales y Políticas, Francia)
PIOTR JULIUSZ JAROSZYNSKI (Universidad Católica de Lublin, Polonia)
PAOLA B. HELZEL (Universidad de Calabria, Italia)
JULIO ALVEAR (Universidad del Desarrollo, Chile)
JOSÉ ANDRÉS GALLEGO (Universidad de Cádiz, CSIC)
COSTANTINO ESPOSITO (Universidad de Bari, Italia)
RAFAEL SÁNCHEZ SAUS (Universidad de Cádiz)
RAÚL CANOSA (UCM)
BENEDETTA SAPORANO (Università Aldo Moro de Bari)

Dykinson

ISSN: 2695-5253

No está permitida la reproducción total o parcial de este libro, ni su incorporación a un sistema informático, ni su transmisión en cualquier forma o por cualquier medio, sea este electrónico, mecánico, por fotocopia, por grabación u otros métodos, sin el permiso previo y por escrito del editor. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual (art. 270 y siguientes del Código Penal).

Diríjase a Cedro (Centro Español de Derechos Reprográficos) si necesita fotocopiar o escanear algún fragmento de esta obra. Puede contactar con Cedro a través de la web www.conlicencia.com o por teléfono en el 917021970/932720407.

AFORISMOS
agradece las donaciones recibidas
y a la Dirección General de la Fundación Universitaria San Pablo CEU su colaboración.

Este libro ha sido sometido a evaluación por parte de nuestro Consejo Editorial
Para mayor información, véase www.dykinson.com/quienes_somos

© Los autores
Editorial DYKINSON, S.L. Meléndez Valdés, 61 – 28015 Madrid.
Teléfono (+34) 91 544 28 46 – (+34) 91 544 28 69
e-mail: info@dykinson.com
<http://www.dykinson.es> <http://www.dykinson.com>

ISSN: 2695-5253

Depósito Legal: M-36543-2019

Maquetación: german.balaguer@gmail.com

LA CIENCIA EN LOS AÑOS 20. EL CAMBIO DE PARADIGMA¹

SCIENCE IN THE 1920S. THE PARADIGM SHIFT

JAVIER PEREZ CASTELLS

Universidad San Pablo CEU

DOI: 10.14679/1819

RESUMEN

El siglo XX supuso un profundo cambio de cosmovisión. A su comienzo, el mundo era percibido como seguro, fiable y perdurable. Pero esa certeza y confianza producían un optimismo que escondía un mecanicismo determinista, sin libertad. A lo largo del siglo el mundo se hizo más líquido, incierto e inseguro, pero también se abrió a la creatividad, la novedad y la posibilidad de libertad. En el núcleo de ese cambio pueden hallarse algunos descubrimientos científicos que también cambiaron profundamente a la ciencia. En este artículo defendemos que el punto de inflexión en ese proceso ocurrió en los años 20 con un destacado momento puntual en el año 1927. Tres fueron los elementos fundamentales que encauzaron el cambio de paradigma científico hacia una ciencia más compleja, más interrelacionada, indeterminada e imprecisa. En primer lugar, la aparición del modelo cosmológico basado en el Big Bang que ofrece una visión cambiante y expansiva de un universo que tuvo un inicio. En segundo lugar, el fracasado intento de las matemáticas de definirse como lo único consistente y completo de todo el saber humano. Los principios de incompletitud de Gödel evidenciaron este fracaso. Por encima de todo, el principio de incertidumbre, enunciado por Heisenberg, abrió al mundo a la indeterminación en general. La teoría cuántica se reveló como el mejor catalizador para renovar la mirada hacia la realidad. El mundo finalmente dejaba de ser maquinal y predecible. El futuro dejaba de estar escrito.

PALABRAS CLAVE: Años 20, cambio de paradigma científico, teoría del Big Bang, principio de incertidumbre, teoría cuántica, teoremas de incompletitud.

SUMMARY

The 20th century brought about a profound change in worldview. At its inception, the world perceived as safe, reliable, and enduring. However, that certainty and confidence produced an optimism that hid a deterministic free less mechanism. Throughout the century, the world became liquid, uncertain and insecure, but it also opened up to creativity, novelty and the possibility of freedom. At the core of that change, some scientific discoveries profoundly changed

¹ Fecha Envío: febrero 2021. Fecha aceptación: noviembre 2021.

science. In this article, we defend that the turning point in this process occurred in the 1920s with an outstanding specific moment in 1927. There were three fundamental elements leading the changes in the scientific paradigm to a complex, interrelated, imprecise and indeterminate science. In the first place, the appearance of the cosmological model based on the Big Bang that offers a changing and expansive vision of a universe that had a beginning. Secondly, the failed attempt of mathematics to define itself as the only consistent and complete element of all human knowledge. Gödel's incompleteness principles evidenced this failure. Above all, the uncertainty principle, enunciated by Heisenberg, opened the world to general indeterminacy. Quantum theory reveals as the best catalyst to renew our gaze towards reality. The world was finally no longer mechanical and predictable. Future will no longer written.

KEYWORDS: 1920s, scientific paradigm shift, Big Bang theory, uncertainty principle, quantum theory, incompleteness theorems.

En su libro “De la certeza a la incertidumbre” David Peat hace un recorrido por la ciencia del siglo XX en el que explica cómo lo que caracterizó a este periodo fue el paso de una época de enorme orgullo, esperanza, paz, seguridad y estabilidad al inicio del siglo, a una época de inseguridad e indefinición. Puede que la historia del siglo XX sea esa. Si es así, habría que buscarle un punto de inflexión, un momento en el cual la curva de la confianza del hombre en sí mismo, de la seguridad y el suelo firme se trastornó y paso a la época de la incertidumbre y la fragilidad. En este capítulo queremos proponer que ese punto inflexión sucedió en la década de los años 20, época que también se conoció como la del cambio de paradigma².

LOS PRINCIPALES AVANCES CIENTÍFICOS DE LOS AÑOS 20

Antes de abordar el núcleo de este capítulo, y para explicar cómo se llegó al punto de inflexión hacia la incertidumbre, conviene que hagamos un repaso rápido de los principales avances y descubrimientos habidos, en las distintas ramas del saber, en la década de los años 20. Esto nos ayudara a entender el contexto científico de la época.

1. La medicina y la farmacia en los años 20

En medicina y farmacia, la década de los 20 fue especialmente exitosa en la introducción de nuevas vacunas. La primera vacunación contra la tuberculosis ocurrió

² PEAT, F. D. *From Certainty to Uncertainty: The Story of Science and Ideas in the Twentieth Century*. Joseph Henry Press Washington, D.C. 2002.

en 1921, contra la difteria en 1923 y contra la tosferina en 1926. Por otro lado, en 1920 se descubrió la insulina, y comenzaron los primeros tratamientos exitosos contra la diabetes. Se aplicaron nuevas metodologías clínicas, tales como la anestesia epidural, el uso de los encefalogramas o el primer pulmón de acero. En el campo de la psiquiatría, por primera vez se admitieron pacientes en un hospital normal. Se empezaba a alejar la pesadilla de los antiguos loqueros.

El descubrimiento de nuevos fármacos, aún incipiente y lejos del buen ritmo que se logró un par de décadas más tarde, dejó, no obstante, algunos ejemplos muy importantes. Se descubrieron la hidrocodona, un analgésico narcótico y las vitaminas D y E. No obstante, los descubrimientos más importantes de la década se dieron en el campo de la lucha contra las infecciones bacterianas³.

Al principio del siglo XX, en Inglaterra, la vida media de las personas era de 45 años. La mortalidad infantil (fallecimientos antes de alcanzar el primer año de vida) era de 228 por cada 1000 nacimientos vivos⁴. La mayoría de estas muertes prematuras se debían a las infecciones bacterianas. La primera guerra mundial fue devastadora en el campo de batalla más que por el efecto directo de las armas, por la mortalidad sobrevinida debida a las infecciones. Por ejemplo, un 18% de las neumonías bacterianas acababan fatalmente⁵. Al llegar a los años 20 ya se habían identificado los agentes patógenos y se habían implementado sistemas de esterilización e higiene, pero no había herramientas químicas para matar a las bacterias. La primera *bala mágica* capaz de acabar con ellas sin afectar a las células humanas, fue introducida a partir de un colorante utilizado por la industria química⁶. En 1927 Gerard Domagk, continuando las investigaciones de Ehrlich, se dio cuenta de que el contacto con el *prontosil rubrum*, un colorante rojo, hacía que no se sufrieran infecciones. Los trabajadores de la industria de colorantes, muy desarrollada en Alemania, apenas las padecían, lo que Domagk atribuyó al contacto con el Prontosil. Este colorante acabó siendo el primer fármaco eficiente contra bacterias, aunque no sería introducido en el mercado hasta 1932. La molécula es coloreada debido a la presencia de un doble enlace nitrógeno-nitrógeno (denominado grupo azo, de ahí el nombre de estos colorantes “azoicos”). Ese enlace se rompe dentro del organismo liberando una sulfamida, que es el auténtico fármaco.

³ BENTLEY, R. *Different roads to discovery; Prontosil (hence sulfa drugs) and penicillin (hence β -lactams)*. Journal of industrial microbiology & biotechnology, 2009, 36(6), 775-786.

⁴ <https://www.statista.com/statistics/1041714/united-kingdom-all-time-child-mortality-rate/>

⁵ MCKEOWN, T., et al. *An Interpretation of the Decline of Mortality in England and Wales during the Twentieth Century*. Population Studies, vol. 29, no. 3, 1975, pp. 391-422.

⁶ WAINWRIGHT, M., KRISTIANSEN, J. E. On the 75th anniversary of Prontosil. Dyes and Pigments, 2011, 88(3), 231-234.

Sin embargo, tan solo un año después del descubrimiento de la sulfamida, llegó la penicilina, el primer compuesto de la familia de los antibióticos beta-lactámicos, mucho más eficaces e inocuos.

El descubrimiento de la penicilina es considerado el más importante de la historia en la lucha contra las infecciones bacterianas⁷. Se ha fechado en 1928, y se ha asignado popularmente a Alexander Fleming. En realidad, se trató de un redescubrimiento, ya que la penicilina había sido descrita por Ernest Duchesne en 1896, pero había sido olvidada. Esta molécula, por sí sola, cambió la historia de la humanidad, al revolucionar el tratamiento de las infecciones bacterianas y salvar millones de vidas. Sir Alexander Fleming hijo de granjeros, excombatiente de la guerra de los Boers y médico que apuntaba a cirujano, acabó siendo el bacteriólogo más famoso de la historia. Se dice que un día, mientras estaba limpiando placas Petri que contenían cultivos de bacterias, se fijó en que se había empezado acumular en el fregadero del laboratorio un moho verde que había manchado las placas. Al contacto con el moho las bacterias dejaban de crecer. El responsable del bactericidio era un hongo de la familia *penicillium* presente en el moho⁸.

A finales del siglo XIX Joseph Lister y Ernest Duchesne habían descrito independientemente el uso de hongos de penicilina para tratar a pacientes infectados. Pero esto fue ignorado por la comunidad científica por su baja eficacia. Se han encontrado textos chinos de hace 3000 años en los que se utilizaban hongos de penicilina para curar infecciones de la piel. El descubrimiento de Fleming de 1928 tardó en desarrollarse por la dificultad del cultivo del hongo y del aislamiento de la penicilina. Con los sistemas disponibles al principio, se necesitaban 2000 litros de cultivo para obtener penicilina para un solo paciente. Tenían que recuperar la penicilina de la orina de los pacientes tratados, dada la poca cantidad que tenían. En esas condiciones, la penicilina no pasaba de ser una curiosidad científica prometedor. Hubo que encontrar un sistema de cultivo que proporcionara grandes cantidades y una forma mejorada de aislamiento del fármaco a partir del hongo.

En el verano de 1941, poco antes de que Estados Unidos entrara en guerra, Florey y Heatley cruzaron el Atlántico y comenzaron a trabajar con científicos estadounidenses en el desarrollo de un medio de producción masivo de penicilina. Pronto fueron conscientes de que el hongo original, el *Penicillium notatum*, nunca produciría suficiente. Se pusieron a la tarea de encontrar un hongo más productivo,

⁷ NICOLAOU, K. C.; MONTAGNON, T. *Molecules that changed the world*. Wiley VCH, 2008.

⁸ RUIZA, M.; FERNÁNDEZ, T.; TAMARO, E. *Alexander Fleming. Biografía. En Biografías y Vidas. La enciclopedia biográfica en línea*. Barcelona (España). 2004.

bien descubriendo una variante natural, bien produciendo mutantes del hongo inicial. En este punto de la historia intervino una asistente de laboratorio, Mary Hunt, que un buen día llegó al laboratorio con un melón que había recogido en el mercado y que estaba recubierto de un moho dorado. El moho resultó contener el hongo *penicillium chrysogenum*, que produce 200 veces más penicilina que la especie que Fleming había descrito. El nuevo hongo se sometió a mutaciones de su material genético mediante su exposición a rayos X, logrando en última instancia una especie con un rendimiento unas 1.000 veces superior al de los primeros lotes de *penicillium notatum*.

El éxito del proyecto permitió producir penicilina suficiente para tratar a los heridos de la campaña de liberación de Europa. En poco más de tres años habían pasado de recuperar la penicilina de la orina a producirla industrialmente. Junto a las fuerzas de ocupación, en Normandía se desembarcaron 300.000 millones de dosis de penicilina que pesaban 180 toneladas. Miles de soldados salvaron su vida en los últimos años de la Segunda Guerra Mundial gracias al nuevo fármaco. A pesar de que Fleming no trabajó en la penicilina tras sus primeras observaciones, se llevó casi toda la gloria. Al menos, Florey y Chain compartieron con él el Premio Nobel de medicina en 1945.

2. La química y la física en los años 20

La década de los años 20 fue muy fructífera en el descubrimiento de nuevas teorías científicas básicas, en los campos de la Química y la Física. Muchas de estas teorías resultan un tanto esotéricas para el público en general. Es la década del gran desarrollo de la química cuántica, que permitió avanzar en el modelo de enlace covalente, incluyendo los conceptos de orbital atómico y molecular. También en esta década se desarrollaron las ecuaciones de Dirac que predicen la existencia del positrón. En 1921 se descubre la interacción fuerte y poco después Gamow propone la fusión de hidrógeno como energía de las estrellas.

La química continuaba un desarrollo acelerado que traería grandes beneficios a la humanidad, pero, lamentablemente, el público general está más informado de otro tipo de hallazgos con aplicaciones que, a la postre se rebelaron problemáticas, cuando no trágicas. Por ejemplo, los descubrimientos de Midgley. Este ingeniero químico estadounidense describió en los años 20 los freones, los gases utilizados en los compresores de las neveras. Posteriormente se descubrió el efecto destructivo para la capa de ozono de estos compuestos clorofluorocarbonados que han sido sustituidos por otros en su práctica totalidad. El otro descubrimiento de Midgley fue el de los

catalizadores de plomo para la combustión de la gasolina. Aumentaron mucho la eficiencia de los motores, disminuyeron la contaminación y la producción de gases tóxicos y de efecto invernadero, pero resultaron ser muy tóxicos. Hace ya bastantes años que fueron retirados de la composición de los combustibles. Aunque hicieron su papel en el desarrollo de la humanidad y sus efectos negativos se descubrieron con posterioridad a su introducción, descubrimientos como éstos le han dado una fama negativa a la química, que para muchas personas se relaciona con suciedad, toxicidad y contaminación. Más dramático aún es el caso del compuesto basado en cianuro que recibió el nombre de Zyklon-B. Se trataba de un insecticida, por tanto, en principio, un compuesto que podría haber ayudado en agricultura y para el control de la transmisión de algunas enfermedades. Sin embargo, este producto venenoso debe su triste fama a su utilización por los nazis en las cámaras de gas.

Mucho más interesante para la tesis que queremos desarrollar en este capítulo es lo sucedido en el mundo de la física, lo que esbozaremos brevemente ahora. En 1925 se lleva a cabo la formulación matricial de la mecánica cuántica por Heisenberg, Born y Jordan, y dos años después Heisenberg envía una carta a Pauli en la que le explica el principio de incertidumbre. Subrayemos ya este año de 1927 porque es también el mismo en el que George Lemaître publica en la sociedad científica de Bruselas, la propuesta de la teoría de la expansión del universo y el cuanto primigenio. La ley de Hubble, que correlaciona la velocidad de las galaxias con su separación, data de 1929 y también en esos años se prueba por parte de Gödel, su teorema de la incompletitud. Todo eso en un tiempo breve que marcaría un cambio profundo, capaz de afectar incluso a la vida cotidiana de la humanidad. Pero antes de volver a estas importantes aportaciones terminaremos este repaso enumerando los principales inventos tecnológicos datados en los años 20.

3. La tecnología en los años 20

En 1923 se construye el autogiro de Juan de la Cierva y tres años más tarde Robert Hutchings Goddard lanza el primer cohete impulsado por combustible líquido. Es el tiempo de los dirigibles, capaces de dar la vuelta al mundo, tal y como hizo por primera vez el Graf Zeppelin en 1929. Comienza la construcción de los primeros grandes observatorios astronómicos como la torre Einstein, en Potsdam, o el observatorio del monte Stromae. Fueron años de muchos avances tecnológicos en el mundo de la televisión, con las primeras transmisiones en blanco y negro desde Londres, gracias al desarrollo de los primeros tubos catódicos. La década terminó con las primeras emisiones trasatlánticas de televisión y el inicio de la televisión en color. También son

de esta época las cintas magnéticas grabadoras, las primeras turbinas para aviones, el spray aerosol o el refrigerador de Einstein.

EL SUSTRATO DE PARTIDA: EL MUNDO CIENTÍFICO EN EL CAMBIO DE SIGLO

El principio del siglo XX se nos aparece como una época de paz, prosperidad y progreso. La población se sentía segura y vivía con confianza en sus mandatarios e instituciones. En aquellos años de cambio de siglo se empezó a iluminar las ciudades con energía eléctrica de procedencia hidroeléctrica y comenzó a haber autobuses de transporte público. Se transmitieron datos por primera vez por teléfono y telégrafo, incluyendo una fotografía. Thomson descubrió el electrón y los esposos Curie el Radio. Y poco tiempo después, hacia 1911, se descubrió la primera partición del uranio con la posibilidad de utilizarla para crear una bomba atómica. En química farmacéutica se introdujo la aspirina. Fue la época del redescubrimiento de los trabajos de George Mendel, aquel modesto sacerdote que estudió la herencia con sus guisantes cultivados en el jardín del monasterio. Sus trabajos se habían publicado en revistas de poco alcance y habían pasado inadvertidos durante décadas.

Fue una época de gran estabilidad política, siendo su paradigma el largo reinado de la Reina Victoria, la abuela de Europa (el período de la Restauración en España). Se celebró en 1899 la primera conferencia de paz que prohibía algunos malos usos en la guerra como los gases venenosos. No se cumplió y durante la Gran Guerra asistimos a la horrible utilización generalizada de este armamento. El mundo, no obstante, quedó tan espantado de sus consecuencias que, tras la Primera Guerra Mundial apenas volvieron a utilizarse.

En ese comienzo de siglo, la física clásica de Newton se extendió a muchas otras disciplinas incluyendo la termodinámica y el estudio de la luz. La física clásica había sido largamente comprobada, siendo capaz de explicar las órbitas planetarias, las mareas y la trayectoria de los proyectiles. Con las ecuaciones de Maxwell se explicaron también los fenómenos luminosos. Estamos en los inicios de los trabajos de Max Planck, Henry Poincaré, Tomás Edison, Marconi, Tesla, los hermanos Wright...

Un ejemplo de hasta donde llegaba la confianza en la física clásica es el que podríamos denominar “caso Vulcano”, que bien relata en sus artículos Manuel Alfonseca⁹. Cuando en 1845 se detectaron discrepancias entre la órbita de Urano, predicha

⁹ ALFONSECA, M. *Ciencia irónica: ¿invade la Física el terreno de la Metafísica? Agujeros negros, paradojas cuánticas, cuerdas cósmicas, universos múltiples*. Religión y Cultura, volumen XLIX, nº 225, p. 379-394, Abr-Jun 2003.

por la teoría, y la observada en la realidad, el astrónomo francés Le Verrier predijo que se debían a la existencia de otro planeta más lejano. Y solo un año después se descubrió Neptuno, dando un aparentemente definitivo espaldarazo a la teoría. Había surgido una discrepancia, pero finalmente se había demostrado que no se debía a que la teoría fuera incorrecta sino a la existencia de un hecho desconocido, la existencia de Neptuno. Con ello, la teoría se mostraba predictiva y capaz de engrandecer el conocimiento. Sin embargo, poco después se empezó a estudiar la órbita de Mercurio, que también presentaba discrepancias respecto a las predicciones de la teoría de Newton. Las discrepancias podían explicarse si hubiera existido un planeta desconocido entre Mercurio y el Sol. Le Verrier estaba tan seguro de que se descubriría, que incluso le puso nombre: Vulcano. Pero esta vez la causa de la discrepancia era que la teoría fallaba y debía corregirse. Los astrónomos buscaron durante 60 años el planeta Vulcano, mostrando una inmensa confianza en la teoría física existente considerada definitiva y perdurable. En 1916 Einstein publicó la teoría general de la relatividad, que corregía la teoría de Newton y explicaba, entre otras cosas, las anomalías de la órbita de Mercurio.

PRIMER GOLPE: LA INCERTIDUMBRE

Las semillas de la incertidumbre estaban germinando. El primer trabajo publicado por Max Planck sobre los cuantos, y los primeros trabajos de Poincaré que acabarían fructificando en la teoría del caos, son el inicio. Éste investigador había abordado el problema de los tres cuerpos, es decir, cómo se calcula la posición de tres cuerpos que están en movimiento. Poincaré necesitó del desarrollo de la dinámica no lineal y evidenció que predecir el comportamiento a largo plazo de los tres cuerpos con exactitud era simplemente imposible. Las cosas ya empezaban a albergar algunas dudas sobre la certidumbre de los datos.

Justamente en 1900 lord Kelvin enunciaba que la teoría física clásica era consistente y tan sólo tenía un par de nubecillas en el horizonte: la primera respecto a cómo explicar la forma en que la luz viaja por el espacio; la segunda sobre cómo se distribuye la energía vibratoria en las moléculas. Estas dos nubecillas crecieron hasta convertirse en tormentas, las mayores de la historia de la ciencia, capaces de derribar el sólido edificio de la física clásica.

La primera tormenta es fruto de la mente de un solo hombre, Albert Einstein, y fue la teoría de la relatividad. Einstein publica en 1905 su artículo con la teoría de la relatividad especial. En ella se establece cómo la realidad puede tener aspectos

distintos según la velocidad del observador. Si un observador viaja a una velocidad próxima a la de la luz su reloj se moverá más despacio y los objetos circulares se le aparecerán como elipses. Esta teoría implicaba, como anunció Minkowski, que el espacio y el tiempo debían unificarse en un sistema nuevo de cuatro dimensiones conocido como espacio-tiempo.

Cuando Einstein introdujo la gravedad en su teoría de la relatividad obtuvo la teoría de la relatividad general, publicada en 1916. Establecía la curvatura del espacio tiempo como efecto de la gravedad. Lejos de ser relativista (en el sentido popular del término) esta teoría en realidad nos dice que las leyes físicas son inmutables y valen lo mismo para observadores situados en la superficie de un agujero negro, para los que viajan a velocidades cercanas a las de la luz o para los que están en la Tierra. Lo que se ve distinto son los fenómenos, es decir, las manifestaciones de las leyes. Hay una realidad única con una multiplicidad de apariencias. Pese a las apariencias, Einstein no era relativista.

La otra bomba surge del intento de explicar la radiación del cuerpo negro. Puesto que el cuerpo negro absorbe toda la luz (en forma de energía vibratoria), debería irradiar, al calentarse, luz infrarroja en todas las longitudes de onda posibles y, si todas las longitudes de onda fueran posibles, la radiación del cuerpo negro debería ser infinita, lo cual, como bien sabían, es absurdo. La solución a este problema la logra Planck con la cuantización de la energía. No es verdad que todas las longitudes de onda sean posibles, sino que tan solo las que responden a un múltiplo de un cuánto (quantum). Bohr introdujo esta cuantificación de la energía en su modelo del átomo y de esa manera quedó explicada la radiación del cuerpo negro y los espectros atómicos de los átomos, que no son continuos, sino que aparecen en líneas.

Por otro lado, con el intento de explicar el comportamiento de los electrones en el efecto fotoeléctrico, se llegó al enunciado de la dualidad corpúsculo-onda que afecta a cualquier objeto en movimiento, desde un fotón, hasta una bala de fusil (por esto le dieron el premio Nobel a Einstein).

Con la aplicación de la ecuación de Schrödinger a la descripción del átomo, los electrones pasaban a tener naturaleza ondulatoria además de corpuscular y se trataban matemáticamente como ondas. Respecto a su posición, pasaba de ser concreta a probable, asignando a cada punto espacial una posibilidad de encontrar en él al electrón.

Y el azar empezaba entrar en el mundo natural. Este azar se manifestaba también en el fenómeno de la radiactividad, que habían descubierto los esposos Curie. Las descomposiciones de átomos radiactivos son reacciones con cinética de primer orden

y, por tanto, con un tiempo de vida media fijo. Es decir, cada vez que transcurre el tiempo de vida media la cantidad de sustancia inicial se divide por dos. La mitad se ha descompuesto y la mitad no. Pero es completamente imposible saber a qué hora le va a tocar descomponerse a un átomo concreto.

Hasta ahora tocamos un tipo de incertidumbre que podemos denominar gno-seológica. Se debe a nuestra incapacidad de entender la causa, en sistemas demasiado complicados.

Aun así, estos descubrimientos eran como el temblor previo al terremoto. El momento estrella para la ciencia se hizo esperar hasta bien entrados los años 20. Y puestos a concretarlo lo situamos en 1927, año en que se publica el enunciado del principio de incertidumbre por Werner Heisenberg. Este es el verdadero punto de inflexión. Y quizá esa pérdida de suelo firme y seguridad que acaba extendiéndose a toda la historia europea, incluida la historia de las ciencias, conecta bien con esa idea de pérdida de la certeza que supone la incertidumbre cuántica. Pero vayamos por partes y veamos cómo se llegó al artículo de Heisenberg de 1927.

1. El principio de incertidumbre

Actualmente seguimos usando la física clásica para la mayoría de las aplicaciones que tienen que ver con el mundo que percibimos con nuestros sentidos. Podemos calcular la trayectoria de un objeto en movimiento y calcular su posición futura con una enorme exactitud. Pero si aplicamos el mismo método con objetos cada vez más pequeños, nos encontramos con problemas muy serios. Al llegar a partículas diminutas como el electrón, el cálculo de la de la posición no se puede hacer más que con un error proporcionalmente elevado. Y es que para medir algo debemos observarlo, y cuando se trata de partículas tan pequeñas, el proceso de la observación tiene un efecto dramático en las propiedades a medir. Werner Heisenberg, estudiando la mecánica cuántica, advirtió la imposibilidad, a partir de su formulación matemática, de conocer a la vez con exactitud, dos propiedades de una partícula. Por ejemplo, la velocidad o momento y la posición. No importa lo refinadas que sean las medidas. Nunca se puede reducir a cero el nivel de incertidumbre.

Cuando medimos algo, afectamos al sistema y en realidad la medida que tomamos es la medida de la propiedad que tenía el sistema más la pequeña variación ocasionada precisamente por el hecho de haber realizado la medida. Si metemos un termómetro en el agua alteramos un poco la temperatura de esa agua porque introdu-

timos un objeto, el termómetro, a una temperatura distinta y parte del calor del agua se tiene que gastar en hacer expandirse el mercurio del termómetro. Y así con todo.

Pero cuando hablamos de electrones, su observación implicaría que un fotón tendría que golpear el electrón y volver a nuestros ojos informándonos de la posición de éste. Pero, dado que el fotón tiene una energía comparativamente enorme (respecto a la del electrón), desplazaría totalmente al electrón y ya no estaría en el lugar donde la luz nos informó que estaba. Cuando hacemos una medida en el mundo cuántico, por lo menos gastamos un cuanto de energía y, como no es divisible, la afectación sobre el objeto cuántico pequeñito a medir es enorme.

Así, con el llamado microscopio de Heisenberg, es como mejor se explica a los alumnos el principio de incertidumbre, porque cuando un electrón es hipotéticamente observado con luz, la energía de los fotones de esa luz, incluso si tan sólo chocara contra el electrón un único fotón, es suficiente para sacarlo de la órbita del átomo. Esta es la visión de Heisenberg. No es que el electrón no tuviera una posición concreta y una velocidad definida en cada momento, sino que es imposible conocer ambas propiedades a la vez con exactitud por culpa del fenómeno de la medición. Siendo así estaríamos otra vez ante una incertidumbre gnoseológica, un problema nuestro, al no ser capaces de conocer el dato de la posición, si bien ese dato existiría. Sin embargo, las interpretaciones posteriores de la teoría cuántica fueron un paso más allá y entraron en la auténtica y verdadera incertidumbre.

En principio parecería que la incertidumbre cuántica no tiene influencia alguna en el mundo macroscópico y por tanto que no afecta a nuestras vidas. Pero se pueden ver algunos ejemplos en los que sistemas caóticos macroscópicos tienen un devenir imprevisible originado, en realidad, por la incertidumbre cuántica. Fernando Sols¹⁰, en alguno de sus artículos, señala que, por muy predecible que sea un sistema, su situación en el futuro lejano requeriría conocer con tal precisión las condiciones iniciales que se podría llegar a violar el principio de incertidumbre, aunque estuviéramos hablando de sistemas macroscópicos. El futuro de esos sistemas no está, por tanto, en ningún sitio. Un ejemplo es el movimiento de Hyperion, un satélite alargado de Saturno de trescientos kilómetros de diámetro, cuya rotación es caótica. Se ha estimado que siguiendo los principios de la mecánica cuántica es imposible saber en qué posición de rotación se encontrará dentro de 20 años. No es que nos falte capacidad de cálculo, es que no lo podemos saber.

¹⁰ SOLS, F. *Can science offer an ultimate explanation of reality?* Pensamiento, vol. 69 (2013), núm. 261, pp. 685-699.

En el modelo cuántico, la incertidumbre no se debe a nuestra falta de capacidad de cálculo, o de entendimiento. Es una propiedad inherente, ontológica y no se eliminará nunca. Al menos para la interpretación mayoritaria de la teoría. Con su origen en Niels Bohr, esta interpretación va a resultar crucial en nuestra singladura desde el mundo determinado al indeterminado.

Ha habido siempre mucha discusión acerca de los términos incertidumbre e indeterminación. Se podría decir que cuando un observable de un sistema puede estar en dos estados, hay incertidumbre acerca de en cuál está. Cuando se produce la medida se va a dar el colapso en uno de los dos estados posibles y entonces hay indeterminación en saber el resultado.

2. Incertidumbre ontológica

Se dice que Niels Bohr pudo ser una de las pocas personas que comprendiera enteramente la teoría cuántica y la incertidumbre. Su cambio explicativo fue completo. La clave, Para Bohr, es que cuando no estamos midiendo propiedades en un sistema cuántico, no es que estas propiedades tengan unos valores definidos que no conocemos, porque no los estamos midiendo, sino que tales valores no existen. Esto significa, nada menos, que si no estamos midiendo la posición de un electrón, el electrón no tiene posición definida.

No existe una realidad oculta sobre la posición de los objetos en el mundo. En el mundo subatómico la idea de que el electrón tenga una posición y tenga una velocidad no tiene sentido. La causalidad, que entendemos tan bien en el macro-mundo, no aplica igual en el mundo microscópico. Dicho de otra manera, las propiedades que observamos en el mundo microscópico no son reveladas por la medición, sino que la medición crea el resultado de esas propiedades. Cuando observamos el movimiento de un objeto macroscópico, si volvemos la mirada y luego volvemos a mirar el móvil, y vemos que el objeto se ha movido entre dos posiciones, asumimos que mientras no hemos estado mirando ha continuado su trayectoria. Pero en el mundo cuántico eso no es así. Mientras no estemos midiendo no hay una posición definida para el objeto. Dice Peat que esto enlaza con la idea posmoderna de que la obra de arte no es solamente una obra de su autor, sino que el lector de un libro, el observador de una obra, o el espectador, le da sentido con su capacidad de interpretarla y de alguna manera él también es parte de la creación artística. Las obras no tendrían una autoría tan clara, sino que serían producto de la acción del artista y del destinatario.

Para Einstein la interpretación de Bohr era completamente inaceptable y en 1926 pronunció su famosa frase: “Esto no puede ser, porque el señor Dios no jugaría a los dados con el universo”. Conviene recordar que Einstein aclaró muchas veces que él no creía en un Dios personal. El suyo era más bien un dios del tipo de Spinoza, equiparable al propio universo. Hay que decir que Einstein admiraba enormemente a Bohr, pero sus posiciones empezaron a distanciarles a partir de este punto. Einstein no aceptaba que no hubiera una realidad última, que no existiera una realidad objetiva o, en sus propias palabras, que cuando no mirara a la luna en realidad la luna no estuviera ahí. Y entonces se enzarzaron en una serie de discusiones buscando crear experimentos mentales que pudieran desautorizar el argumento del contrario.

Einstein atacó al menos tres veces a Bohr presentando experimentos teóricos que pretendían desmontar sus interpretaciones. Uno de estos desafíos fue el siguiente: si una caja está llena de radiación y abrimos un agujero durante un tiempo muy pequeño, se escapará una cantidad de radiación también muy pequeña. Según el principio de incertidumbre, la medida del tiempo de apertura del agujero y la cantidad de energía liberada no puede ser a la vez exacto, y si abrimos la caja en tiempos cada vez más cortos y precisos, la cantidad de radiación emitida cada vez será más indeterminada. Pero Einstein había demostrado que masa y energía son lo mismo y están relacionadas por su famosa ecuación. Por tanto, si pesamos la caja antes y después de la apertura de la rendija podríamos tener una medida exacta de la masa perdida por la caja y con ello de la energía emitida.

Bohr le contestó con muchísimo ingenio y demostró que el argumento era falso. En efecto, al perder energía, la caja pesa menos y como está encima de la balanza, se moverá con ella a la vez que el reloj que está dentro de la caja midiendo el tiempo de apertura. Eso hará que se muevan sus agujas a distinta velocidad que las de los relojes que están fuera porque cuando algo está en movimiento, tal y como demostró Einstein con la teoría de la relatividad, los relojes van a velocidades distintas. O sea que, si la masa de la caja cambió de manera muy precisa, la medida del tiempo que está abierta la caja será más imprecisa. Esto restauraba el principio de incertidumbre.

Hubo más argumentaciones de este tipo como el famoso experimento EPR por (Einstein Podolski y Rosen) que fue también contestada por Bohr de una manera difícil de entender para el común de los mortales, pero qué dejó establecida de forma bastante definitiva la interpretación denominada “de Copenhague” de la teoría cuántica.

Las relaciones personales entre Bohr y Einstein se vieron muy afectadas por todas estas diatribas y dejaron de comunicarse. Hay quien dice que los físicos de

ahora se apuntaron a las interpretaciones de Bohr y negaron las de Einstein, aunque en el fondo casi ninguno entiende muy bien lo que significan las posiciones de Bohr.

La desaparición de la realidad última que parece asomar después de la interpretación de Copenhague de la cuántica, nos lleva otra cuestión. Los hombres hemos ido rompiendo la realidad en trocitos cada vez más pequeños para explicarla. Pero al llegar a las partículas subatómicas hemos chocado con la incertidumbre y con la idea de que, en el fondo, esa realidad última no existe, solamente se manifiesta de alguna manera cuando la medimos. Para muchos esto significa que hemos llegado al final de nuestra capacidad de profundizar en el conocimiento de la realidad. Hasta ahora hemos descendido desde los átomos a las partículas subatómicas como los protones y neutrones, pertenecientes al grupo de los hadrones, y los electrones que son leptones. También hemos bajado un escalón más, definiendo los constituyentes de los hadrones los cuales no son partículas elementales y se componen de quarks. Puede ser que haya niveles más allá de los quarks, pero probablemente no sean asequibles a nuestro entendimiento. Si ya nos cuesta hablar de la cuántica porque ni siquiera el lenguaje habitual nos sirve, ¿qué ocurriría si diéramos un paso más allá y bajáramos a un nivel todavía más pequeño?

SEGUNDO GOLPE: UN MUNDO CON PRINCIPIO

En la sección anterior hemos visto cómo, en el año mágico de 1927, comenzó un cambio sustancial en la percepción del mundo de lo muy pequeño. Pero ese mismo año también hubo importantes noticias en las teorías que afectaban a lo inmensamente grande, es decir a los modelos del universo.

Tanto Aristóteles como santo Tomás de Aquino habían mostrado que un universo creado no necesita un comienzo en el tiempo. Pero en esta época que tratamos, se produce un descubrimiento interesantísimo, en el que un sacerdote católico belga, Georges Lemaître fue clave. Su humildad permitió, no obstante, que los honores y la fama de sus hallazgos y contribuciones a la astronomía y la astrofísica se los llevaran otros. Georges Lemaître es el mejor personaje histórico para encarnar la compatibilidad entre ciencia y fe. Estudió en colegios de jesuitas y en la universidad de Lovaina donde se hizo ingeniero de minas y doctor en matemáticas. Participó en la Primera Guerra Mundial y fue condecorado con la medalla de la Cruz de Guerra por su valentía. Las atrocidades que contempló acrecentaron su vocación sacerdotal.

Según la ley de Doppler un desplazamiento hacia el rojo o el azul indica un alejamiento o un acercamiento entre dos astros, respectivamente. En esa época se

empezaron a descubrir galaxias fuera de la Vía Láctea que hasta entonces se consideraba lo único que constituía el universo. En algunos observatorios americanos, visitados por Lemaître en una larga gira por Estados Unidos, se empezó a observar un desplazamiento de las galaxias recientemente descubiertas hacia el rojo. Fue el físico polaco Silverstein el que le dio esta información a Lemaître, lo que le hizo pensar en un universo dinámico. Enfrentarse a la postura de Einstein, partidario de un universo estático, era muy atrevido en aquellos años. Einstein había introducido la constante cosmológica para contrarrestar la atracción gravitatoria que haría colapsar al universo. De Sitter también proponía un universo estático con una densidad muy baja. El astrónomo ruso Friedman consideraba, sin embargo, la posibilidad de que el universo pudiera estar en expansión o contracción. Lo que hizo Lemaître fue convertir matemáticamente el modelo de Sitter en un espacio euclidiano sin curvatura ni centro privilegiado, transformándolo en dinámico.

Durante su estancia americana, Lemaître fue conociendo a los mejores astrónomos de la época y haciéndose con los ingredientes para establecer un nuevo modelo cosmológico. Además de los estudios de Silverstein sobre el corrimiento al rojo, consideró los valores de las distancias a las cefeidas de Andrómeda que había obtenido Hubble, las nuevas galaxias y su movimiento que había calculado Slipher y los estudios de los rayos cósmicos extraterrestres que había hecho Millikan. Con todos estos ingredientes Lemaître estableció ecuaciones que daban soluciones particulares a los universos tanto de Einstein, finito y de alta densidad, como de Sitter, infinito y de densidad cercana al cero. Sus conclusiones se publicaron en el señalado año de 1927, con el título “Un universo homogéneo de masa constante y de radio creciente teniendo en cuenta la velocidad de las nebulosas extra galácticas”. En el artículo se proponía que el radio del universo era variable, aunque la masa fuera constante. En el modelo se introducían pequeñas inhomogeneidades que daban como solución el crecimiento del universo desde un radio cero hasta un radio límite para después decrecer y por fin expandirse definitivamente. Esto significaba que la materia del universo estaba concentrada inicialmente en un punto que él llamó el átomo primitivo o quantum.

La idea de un universo en expansión a partir de un punto inicial no gustó nada la comunidad científica y provocó una respuesta airada de Einstein en la Conferencia Solvay de 1927 a la que asistieron la mayoría de los principales físicos. Einstein habló con Lemaître diciéndole que las ideas que defendía ya habían sido presentadas por Friedmann en 1922, y que, aunque pensaba que sus soluciones a las ecuaciones de la relatividad general eran matemáticamente correctas, no eran factibles físicamente. La dura sentencia fue, concretamente: “Tus cálculos son correctos, pero tu comprensión de la física es abominable”. Einstein no estaba solo al encontrar inaceptables las ideas

de Lemaître; más bien era la opinión de casi todos los científicos. Algunos, incluido Eddington, encontraron imposible de aceptar que el universo hubiera tenido un comienzo en un tiempo finito en el pasado, y es razonable pensar que eran víctimas de un sesgo ideológico. El quantum inicial sonaba a momento creativo y concordaba con el relato del Génesis mejor que un modelo de universo de duración infinita. En 1929 Hubble publicó un trabajo que presentaba una evidencia mayor de un universo en expansión y en 1931 Lemaître respondió a las objeciones contra su teoría en un documento publicado en la revista *Nature*. En el documento señalaba que las nociones de espacio y tiempo no tendrían ningún significado al principio, en el momento inicial. Solo comenzarían a tener un significado sensible tras cierta expansión del quantum inicial, lo que implica que el comienzo del mundo ocurrió un poco antes del comienzo del espacio y el tiempo. El mayor opositor a la hipótesis de Lemaitre fue el astrónomo inglés Fred Hoyle. Fue él quien, paradójicamente, dio nombre a la teoría en una entrevista de radio para la BBC, indicando con desprecio que, según ésta, el inicio del universo fue “como un Big Bang”. Hoyle pasó años desarrollando un nuevo modelo estático denominado del estado estacionario que, tras el descubrimiento de fuentes de ondas de radio muy débiles procedentes de zonas muy lejanas del universo, quedó desacreditado.

Einstein reconoció como errónea la decisión de introducir la constante cosmológica que conducía a una solución estática. En realidad, tan solo había sido un artificio para que saliera lo que se consideraba apropiado. Sus relaciones con Lemaître mejoraron sustancialmente y hacia 1933 ofrecieron juntos una serie de conferencias en California. Después de escuchar a Lemaître explicar su teoría en uno de estos seminarios, Einstein se puso de pie y dijo: “Esta es la explicación más bella y satisfactoria de la Creación que alguna vez he escuchado”.

Lemaître siempre dijo que su teoría no tenía nada que ver con la religión. Fue exquisito en separar las ideas científicas y las creencias religiosas. A los que consideraban su teoría sospechosa de estar sesgada por sus creencias religiosas, Lemaître contestó con frases como: “Tengo demasiado respeto hacia Dios, para hacer de él una hipótesis científica”, parafraseando de forma antitética la conocida cita de Laplace. La evolución del universo, afectada por eventos aleatorios y la religión eran perfectamente compatibles para Lemaître ya que las casualidades pueden haber sido orientadas desde un punto de vista superior hacia un objetivo. La casualidad no excluye la Providencia. También tuvo problemas desde el lado de la iglesia, como el conocido discurso del Papa Pío XII en el que indicaba que la astrofísica conducía a la doctrina de la creación desde la nada. Éste discurso del papa no gustó nada a Lemaître pues,

aun sin citarle, muchos periodistas quisieron ver que era él quien estaba detrás de la afirmación de Pío XII.

TERCER GOLPE: LA INCOMPLETITUD

En los años 20 las matemáticas parecían el último bastión de la certeza. Los matemáticos (en especial Hilbert) querían dejar definitivamente demostrado que la matemática era consistente, es decir que no contenía contradicciones internas, que no había ambigüedades. El edificio matemático siempre gozaría de rigor y verdad. Además, querían demostrar que la matemática es completa, que no necesita añadir nada al sistema y que cualquier teorema se puede demostrar totalmente sin utilizar nada que se sitúe fuera del sistema. Para el común de los mortales estas dos demostraciones parecían innecesarias. Mas si los matemáticos querían demostrar estas dos cosas es porque algo llevaba preocupándoles algunas décadas. Tal y como hemos visto para el caso de la física cuántica y la cosmología, en matemáticas también vamos a asistir a la germinación de unas ideas que fueron sembradas a finales del siglo XIX, aparentemente como pequeños granos de mostaza sin importancia. Tras ir echando raíces en los primeros años del siglo XX, aquellos granos insignificantes acabaron brotando como nuevos paradigmas en torno a la década que estamos estudiando. En todos los casos contribuyeron a cambiar una visión del mundo como determinado, solido e inmutable, para dar paso al mundo menos definido, pero más libre, más difícil de entender, aunque más unificado, más inseguro, pero también más excitante.

Ya a finales del XIX los matemáticos andaban en intentar definir precisamente lo que es un número. Bertrand Russell había definido los números con la frase: “el número de una clase es la clase de todas las clases que son similares a él”. Esto de las clases en realidad era una idea de Frege. Para entendernos, el número de una pareja será la clase de todas las parejas y su nombre es el número dos. Cada conjunto de naranjas pertenece a una clase, pero la clase “naranjas” no es una naranja y así pasa con muchas otras clases. Esto lleva una paradoja que fue muy importante y que se puede explicar con un ejemplo. Imaginemos una librería que tiene catálogos de libros. En esos catálogos normalmente no viene incluido el propio catálogo. Imaginemos un librero que publica el catálogo de todos los catálogos que no se incluyen a sí mismos. La pregunta sería ¿debería ese catálogo mencionarse a sí mismo? porque si es un catálogo de catálogos que no se mencionan a sí mismos debería estar incluido, pero si está incluido entonces ya no es un catálogo que no se menciona a sí mismo. El segundo elemento que condujo al punto de inflexión fueron los axiomas de Peano,

enunciados al principio del siglo XX y que definían los números naturales con un sistema de axiomas muy sencillo:

- El 1 es un número natural, entonces 1 está en el conjunto N de los números naturales.
- Todo número natural n tiene un sucesor n^* . (Este axioma es usado para definir posteriormente la suma).
- El 1 no es el sucesor de ningún número natural.
- Si hay dos números naturales n y m con el mismo sucesor, entonces n y m son el mismo número natural.
- Si el 1 pertenece a un conjunto de números naturales, y dado un elemento cualquiera, el sucesor también pertenece al conjunto, entonces todos los números naturales pertenecen a ese conjunto.

Hubo más elementos, como la introducción de geometrías no euclidianas, que permitían utilizar otros axiomas y demostraban que la matemática no tenía por qué estar sujeta a la explicación de cuestiones que estuvieran en la naturaleza. Hilbert intentó un programa fundacional de las matemáticas en el que todas las demostraciones de teoremas, asunciones, etc. tendrían que estar escritas en un lenguaje de signos lógicos.

Y en eso, un joven matemático de 25 años, Kurt Gödel, publica en 1931 un trabajo titulado: “Sobre proposiciones indecidibles de los principios matemática y sistemas relacionados”. Es el famoso teorema de incompletitud. Si Hilbert con su programa de símbolos lógicos pensaba que había quedado demostrado que la matemática era completa y consistente era porque había utilizado el lenguaje de la lógica que no es estrictamente matemático. Es decir, había un lenguaje externo a las matemáticas que había sido utilizado. A eso se le llama a meta-matemáticas.

Gödel se puso a la tarea de demostrar si esto era imprescindible. Lo que hizo fue asignar un número a cada una de las líneas de una prueba matemática, de manera que cada línea matemática estaba definida por un número único y propio. A ese número se le podía desempaquetar para dar lugar a la particular línea matemática que le correspondía. También cada teorema tenía un número propio único y todos los axiomas tenían también un número. Incluso frases como “este principio verdadero no es demostrable” o “este principio es verdadero”.

A través de su sistema pudo demostrar que hay un número válido al que se llega y corresponde a la frase “éste principio es verdadero, pero no demostrable”. La cuestión es muy compleja, pero de esta forma Gödel demostraba que había principios matemáticos verdaderos que no podían ser probados con principios matemáticos. Por tanto, que la matemática era incompleta. También demostró que había números que correspondían a “este principio es verdadero” y otro número que correspondía a: “la negación de este principio es verdadera” con lo cual también demostraba inconsistencias en las matemáticas.

Gödel asestó un golpe tremendo a la visión clásica de las matemáticas, que pasaban por ser el último refugio de la certeza. En efecto, hay algunos principios matemáticos, como la llamada conjetura Goldbach que dice que todo número par es la suma de dos números primos, que no han podido ser demostrados, aunque no se haya encontrado ninguna excepción. La conjetura de Goldbach se podría incorporar como un axioma más, pero surgiría otro, siempre hay un principio no demostrable. Las interpretaciones del principio de Gödel se han extendido de manera incontrolable al mundo de la lógica y de la filosofía, de forma muchas veces exagerada.

Los resultados de Gödel obligan verdaderamente a un cambio de paradigma en el pensamiento matemático. Se acabó el sueño de la sistemática exploración de las matemáticas, que pasarían a ser como las demás teorías científicas, que tampoco se pueden dar por definitivas, y hay que esperar a que alguien las refute.

CONCLUYENDO

La ciencia de los años 20 fue rica en descubrimientos y aplicaciones tecnológicas, fruto de largos años de trabajos teóricos en tres áreas del saber. El decisivo giro en la concepción cosmológica tras la aparición del modelo del Big Bang, las interpretaciones de la teoría cuántica y de la incertidumbre y los enunciados de los teoremas de incompletitud, fueron claves en derribar la cosmovisión decimonónica y por eso los hemos denominado golpes.

En la nueva forma de entender el mundo ni siquiera las matemáticas son completas y consistentes. La existencia de un relato conjunto de comienzo en el quantum inicial y en el que nuestro planeta y nuestra civilización están insertos, nos habla de un mundo que deviene, sin una realidad material última a la que aferrarse. La indeterminación cuántica de Heisenberg y la interpretación de Bohr, nos aleja de una visión mecanicista tan propia de la ciencia clásica. Una humanidad ensoberbecida tiene que aceptar que no puede completar la comprensión del mundo y calcular con

exactitud su futuro. Lejos de abrumarnos de forma pesimista, esta nueva visión nos abre la mirada a un mundo lleno de creatividad y sorpresa. Y concede a la humanidad un papel mucho más importante al poder cambiar el rumbo del relato.

La indeterminación cuántica es muy compleja de entender. Ha llegado a la física con dificultad y más aún a la química, pero apenas es considerada en el trabajo de bioquímicos y biólogos. Hay quien piensa que el mundo de lo muy pequeño tiene reglas diferentes a las del mundo macroscópico, o que sus principios no son perceptibles en escalas superiores. Las teorías del todo son por el momento elusivas. Pero si llegara el día en que se entendiera cómo fenómenos como los colapsos cuánticos afectan a procesos bioquímicos o neurológicos, se abrirían caminos de importante resonancia filosófica. Por ejemplo, estaríamos en condiciones de enunciar teorías acerca del funcionamiento del libre albedrío. También se ha relacionado la superposición cuántica de los estados de ciertas bio-moléculas con la conciencia.

La historia ha situado en lo más alto del prestigio y el reconocimiento mundial a un pequeño grupo de científicos que trabajaron en las primeras décadas del siglo XX y cuyos hallazgos hemos ido resumiendo en estas páginas. Y nos parece que sin duda es acertado y justo, porque en aquellos pocos años de iluminación, unas pocas mentes humanas nos abrieron los ojos a una creación mucho más interesante y mucho más bella.