

La emergencia de la complejidad

Manuel Béjar Gallego

Cátedra Ciencia, Tecnología y Religión
Universidad Pontificia Comillas (Madrid)

E-mail: mbejar@recuerdo.net

Comprendemos el mundo como estructura. El devenir de la materia en el tiempo se ha caracterizado por la formación de estructuras y la emergencia de nuevas propiedades. Al comienzo del universo, bajo unas condiciones energéticas descomunales, la materia se comporta de manera parecida a la pura energía. Por eso, los científicos afirman que el *big bang* es la fuente de energía que dinamiza la actividad física de la materia. La pura energía son partículas de luz, grupos de fotones indistinguibles con diferente cantidad de energía y sin estructura individual. Estos fotones microscópicos pueden originar un sofisticado comportamiento holístico y producir una estructura macroscópica, como una onda electromagnética que se propaga a la máxima velocidad permitida en el universo.

Sin duda ya no podemos entender nuestra *hiperconectada* sociedad sin estas estructuras de luz que permiten las comunicaciones por radiotelevisión, cable, satélite, fibra. Pero hay más, estos fotones pueden estructurarse de un modo extraordinario y originar un fantástico movimiento coordinado donde el sistema se comporta como un todo sin componentes. Es decir, como si se tratara de un único fotón de grandes dimensiones. Hablamos de la luz láser tan extendida en nuestra sociedad por la tecnología. El láser es un tipo especial de luz que emerge cuando la coherencia del sistema es tan grande que importa mucho más el todo que las partes. En otros términos, el láser es un ejemplo de estructuración sofisticada de la materia que da lugar a la emergencia de un complejo estructural

irreducible a las propiedades de sus componentes.

Volvamos al pasado. El universo tuvo que enfriarse tras el *big bang* durante casi medio millón de años para que las condiciones energéticas permitieran que se estabilizara por primera vez un átomo. El hidrógeno es la estructura atómica más sencilla y primitiva. Hasta entonces las estructuras estables eran los núcleos de los átomos. Cuando se desintegran estos núcleos observamos que se manifiestan partículas como protones y neutrones. Pero el núcleo es un complejo que no se explica mediante una mera acumulación de estas partículas. Incluso, estas partículas subatómicas están fuertemente estructuradas por complejas interacciones de quarks. Estos no solo no se presentan individualmente como sabemos, sino que los grupos de quarks son lo que son por su intenso acoplamiento al vacío cuántico. Esto quiere decir que si se perturba a los grupos de quarks irremediablemente queda perturbado el fondo cuántico de la realidad. Así es la realidad física cuántica.

La física cuántica es una teoría científica con un solidísimo soporte experimental y una arquitectura matemática tan potente, que ha permitido tomar el control de la materia para desarrollar tecnologías de vanguardia que forman

parte del día a día en nuestra sociedad. Hemos mencionado el láser, con importantes aplicaciones en la industria, la medicina y en las operaciones más ordinarias de la era digital (CD, DVD, *Blu-ray*). Pero existen otras más sorprendentes como el uso de la superconductividad para producir potentes imanes y levitación magnética. Y otras muchas más que resultan al enfriar la materia a temperaturas próximas a la mínima permitida por las leyes físicas, como la superfluididad y los condensados de Bose – Einstein. Todos estos fenómenos ejemplifican un comportamiento colectivo de la materia que origina la emergencia de nuevos niveles de realidad, que se esfuman cuando se supera una temperatura crítica.

De no ser por los experimentos nadie creería en la física cuántica. Uno de los creadores de las modernas teorías de campos cuánticos y premio Nobel de física, Richard Feynman, dijo que nadie entendía la física cuántica¹. Sin embargo, los físicos utilizan con maestría las teorías cuánticas para extraer beneficio tecnológico de la materia. Las propiedades de la materia en

¹ «I think I can safely say that nobody understands quantum mechanics». Cf. R. P. FEYNMAN, *The Character of the Physical Law*, Penguin Books, London 1965.

el régimen cuántico son extrañísimas y desafían constantemente al sentido común. Existen partículas que pueden "estar" en dos posiciones simultáneamente. Nadie lo entiende. Pero si no se presupone esta propiedad exclusivamente cuántica no es posible explicar los resultados experimentales. Evidentemente la ciencia no puede ir en contra de los hechos experimentales y, en consecuencia, se aceptan estas maravillas cuánticas. Pues bien, la tecnología alberga la esperanza de diseñar nuevos dispositivos que funcionen el modo cuántico y sean más eficientes para procesar la información. El mismo Feynman afirmó que había mucho espacio en el fondo. Quería decir que la tecnología aún puede avanzar muchísimo según vaya dominando estas propiedades cuánticas. No nos cabe la más mínima duda de que la tecnología será cada vez más cuántica y que la sociedad cambiará al ritmo de esta tecnología. Probablemente, se consigan hacer ordenadores cuánticos y esta tecnología revolucionará la sociedad.

La teoría centenaria de la relatividad puede considerarse como el último gran logro de la física clásica y a su célebre autor como el último físico clásico, el gran Einstein. Se trata de una teoría de la gravedad que no ha sido mejora-

da cuánticamente. La Relatividad nos confirma que vivimos en un sistema solar de mayor complejidad que la prevista en la física de Newton, que la idea del tiempo absoluto newtoniano ha sido superada y que la gravedad y la luz están tan íntimamente ligadas que se afectan mutuamente. Esta teoría nos sirve hoy para entender los movimientos de las galaxias en el cosmos, hacer funcionar con precisión el sistema de *geolocalización* por satélite (GPS) y describir la estructura de los colosales objetos gravitacionales denominados agujeros negros.

El gran legado de la relatividad es la imagen de la realidad que nos ofrece. Espacio y tiempo conforman una unidad dinámica indisoluble llamada espacio-tiempo descrita por una geometría de luz. Esta estructura se conoce como el tejido espaciotemporal de la realidad. Todo lo físico habita en esta realidad. La materia afecta al espacio-tiempo y su geometría indica cómo ha de moverse la materia. Masa y energía funcionan como las dos caras intercambiables de una misma realidad material. La energía pura, la luz en sentido general, carece de estructura interna. Su naturaleza consiste en viajar por el espacio y por el tiempo a una única velocidad, infranqueable por cualquier otro ob-

jeto. La luz no puede permanecer en reposo ni experimentar el paso del tiempo. Su verdadero ser es el movimiento constante, atemporal y absoluto, que diseña el tejido de la realidad física. Sin duda que es una teoría impresionante, pero hoy podemos profundizar más hacia el fondo de la realidad con la moderna teoría cuántica.

La física cuántica es una poderosa ventana al fondo experimentable más profundo de la realidad. Einstein nos dejó en lo más superficial de la realidad física, en ese telar dinámico diseñado por luz eterna. Lejos de quedar agotadas las posibilidades físicas, los cuánticos nos arrojan al fondo. Contra todo sentido común, la naturaleza de ese fondo es la indefinición o carencia de definición en términos de estructuras clásicas. Sin embargo, posee estructura física que afecta y se deja afectar por otras estructuras físicas más complejas. Nos referimos al vacío cuántico, la espuma cuántica del tejido de la realidad.

a) Vacío cuántico, coherencia y no – localidad

El vacío cuántico es el último reducto. Si se intentara quitar todos los cuerpos de una habitación, todas las moléculas de aire, todas las

partículas, toda la radiación, un fondo dinámico de energía permanecería presente sin posibilidad de hacerlo desaparecer. Este fondo es la energía mínima del vacío que, lejos de ser nula, constituye una inmensidad material en incesante actividad física. El vacío cuántico no es una mera energía mínima constante, sino una realidad material cuya actividad afecta y se deja afectar por medio de su fluctuante actividad. Estas fluctuaciones del vacío manifiestan su actividad en experimentos físicos y son especialmente relevantes para comprender la estructura del mundo físico fenomenológico.

El vacío cuántico posee una naturaleza física bien distinta de la de los cuerpos ordinarios de la experiencia consciente. Sin embargo, hemos de suponer que toda la complejidad física ha emergido de este fondo energético de la realidad. Pero en el fondo las cosas aún no son, ni siquiera poseen propiedades clásicas como la posición. Esto es así porque en el vacío cuántico gobierna la coherencia cuántica que hace más importante al todo que las partes. Es decir, la individualidad aún no ha emergido como estructura y el fondo se comporta como un todo profundamente conectado, incluso con un tipo de exóticas interacciones no-locales sin mediación tempo-

ral. Lo que ocurre en una región del todo puede afectar a otra parte muy lejana instantáneamente. Y no hay contradicción con la Relatividad, porque aún no se han sintetizado corpúsculos con una velocidad asignada. La no-localidad es una propiedad sorprendente. Pero más sorprende incluso que alcance nuestro mundo macroscópico y podamos experimentarla en tecnologías de fotones cuánticamente entrelazados.

b) Decoherencia y emergencia

¿Por qué no tenemos experiencia consciente de este vacío cuántico? Resulta que los elementos físicos que entran en el flujo de la conciencia son estructuras determinadas con propiedades físicas bien definidas. En el vacío cuántico aún no se ha producido esta emergencia. Ahora bien, tiene el potencial ontológico de hacer emerger la complejidad del mundo físico. Existe en física un proceso de dilución de la coherencia cuántica conocido como decoherencia cuántica. Al finalizar el proceso de decoherencia el todo se parcela y adquiere propiedades clásicas como la individualidad, la posición o la velocidad, inexistentes en el vacío cuántico.

Cuando los físicos hablan de una partícula en realidad están queriendo describir de manera más simplificada una condensación del vacío cuántico. La partícula puede gozar de individualidad pero no está completamente desligada del fondo, sino que permanece y se estructura en él. En física se dice que no hay partículas desnudas sino estructuras particulares revestidas de vacío cuántico. Este fenómeno es un producto de la naturaleza emergente de las estructuras físicas desde el vacío cuántico. Decimos entonces que son propiedades emergentes. El mismo tejido espaciotemporal de la realidad de Einstein se explica también como una estructura emergente de este fondo. Podríamos decir que es algo así como la estabilización de la fluctuante espuma cuántica que emerge del vacío. Verdaderamente tenía razón Feynman cuando predijo que había mucho espacio en el fondo cuántico. Quizás no solo para la física y la tecnología, sino también para la metafísica. ¿Qué ontología hace posible la explicación de la emergencia de propiedades?

c) Niveles de realidad

En física todo depende de las condiciones energéticas, incluso el tejido del espacio-tiempo. A bajas energías el espacio-tiempo se com-

porta como un soporte básico pero el influjo de cuerpos muy masivos o campos muy energéticos transforman gravemente su naturaleza, alcanzándose un estado físico que las ciencias físicas no alcanzan a describir con precisión. Al igual que con las partículas, a elevadas energías el espacio-tiempo parece descomponerse y dejar paso a un orden subyacente más básico, que hemos presentado como vacío cuántico.

* * * *

La complejidad del mundo fenomenológico contrasta con la naturaleza cuántica del fondo de la realidad. Existen partículas, radiaciones, átomos, moléculas, gases, virus, seres vivos, planetas, estrellas, galaxias... La complejidad del mundo físico es asombrosa, mucho más sabiendo que no conocemos leyes físicas para la complejidad. En ciencia se prefiere hablar de niveles de realidad caracterizados por su energía. Cada nivel de energético tiene unas propiedades inexplicables desde otros niveles. Por eso decimos que son propiedades emergentes; es decir, algo que se hace emerger en un nivel y es irreducible a lo exis-

tente en otro nivel, porque carece aún de posibilidad ontológica.

No es fácil entender el comportamiento emergente de la naturaleza física, pero parece el camino para explicar la complejidad física, el origen de la vida y el enigma de la sensibilidad-conciencia. La física nos conduce hacia un fondo de energía de cuya interacción surgen el espacio-tiempo, los campos y las partículas. A nuestro entender, la ciencia no pretende ya tanto buscar un orden causal hasta el origen de la materia cuanto hallar una interrelación mutua coherente de la materia. No hay partículas sin campos, ni campos sin espacio-tiempo, ni estructura espaciotemporal sin el entrelazamiento coherente del fondo de energía; ni, siquiera, fondo de energía sin partículas, pues solo se concibe en actividad física que hace emerger la materia. Todo es materia interconectada. Y no existe una materia física fundamental. Es en el comportamiento colectivo emergente de la materia donde se capta su verdadera esencia. De acuerdo con esta imagen física de la realidad se hace necesario construir una metafísica capaz de dar cuenta del fondo ontológico de la realidad. ■