



EL MUNDO COMO OBRA DE ARTE EN BUSCA DEL DISEÑO PROFUNDO DE LA NATURALEZA

Frank Wilczek
Crítica, 2016

La belleza en las leyes físicas

Un diseño del universo basado en la simetría

Los conceptos de elegancia y belleza son usados frecuentemente por los físicos teóricos cuando se refieren a una idea o a una teoría nueva. De hecho, la belleza es una de las metas que se persiguen durante la investigación y también uno de los motores del proceso creador. Pero ¿a qué se refieren exactamente los físicos cuando hablan de la belleza de una teoría? Si el lector se ha hecho alguna vez esta pregunta, sin duda disfrutará con la lectura del último libro de Frank Wilczek.

La obra trata de responder a la siguiente pregunta: ¿es la belleza una parte integral de la naturaleza? Para el autor, la respuesta es afirmativa. Las leyes que describen las cuatro interacciones fundamentales conocidas (la gravitatoria, la electromagnética y las interacciones nucleares fuertes y débiles) comparten una idea matemática: la simetría local, o simetría gauge. Y, gracias a este principio, las leyes fundamentales de la naturaleza presentan características que identificamos con la belleza: armonía y un gran poder predictivo.

El autor nos muestra cómo, a lo largo de los siglos, la búsqueda de la belleza ha sido una fuente de inspiración para numerosos científicos. Con esta idea como hilo conductor, el libro repasa en una primera parte las creaciones de algunos de los gigantes de la historia: Platón, Newton y Maxwell, entre otros. Estos primeros capítulos introducen las nociones de simetría e invariancia, comentan su relación con la belleza y explican la manera en que estas ideas han evolucionado a través de los siglos. Desde los sólidos perfectos de Platón, donde el concepto de simetría hacía referencia a una propiedad geométrica y puramente estática de una serie de objetos ideales, hasta las ecuacio-

nes de Maxwell, donde la simetría es una propiedad matemática de las ecuaciones que, a la postre, dicta cómo interactúan entre sí los objetos con carga eléctrica, cómo se propaga la luz y, en definitiva, todo el electromagnetismo.

La segunda parte de la obra está dedicada a la física del siglo xx y al modelo estándar, la teoría moderna de las interacciones fundamentales. Tras una breve descripción de cada una de ellas y de sus propiedades más importantes, Wilczek se centra en el papel que desempeña en ellas la simetría.

Emmy Noether fue la primera en darse cuenta de la importancia de las simetrías en las teorías físicas. Hace ahora cien años, esta matemática demostró que, siempre que las ecuaciones de una teoría respetasen ciertas simetrías, existiría una cantidad específica que no cambiaría con el tiempo. El teorema de Noether asocia, por tanto, una «cantidad conservada» a cada simetría, y viceversa. La conservación de la energía, por ejemplo, aparece cuando las ecuaciones que describen un sistema resultan invariantes frente a las traslaciones en el tiempo, mientras que la conservación del momento angular no es más que una consecuencia de la simetría frente a rotaciones [véase «Emmy Noether», por Renata Tobies; INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, diciembre de 2004].

Sin embargo, la clase de simetría que hay tras la física del siglo xx, la simetría local, es particular por otra razón. En general, decimos que una teoría presenta una simetría si sus ecuaciones permanecen invariantes al aplicarles algún tipo de transformación. Lo que ocurre con las simetrías locales es que, además, permiten que dicha transformación sea distinta en cada punto del espacio. Estas

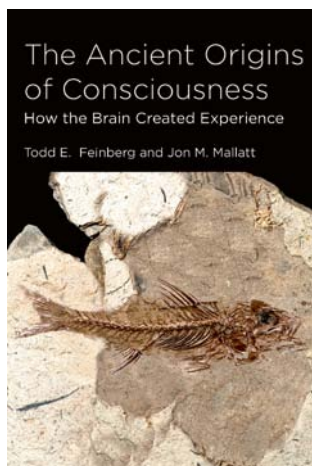
simetrías son mucho más poderosas que las habituales, ya que no solo dan lugar a cantidades conservadas, sino que fijan de forma unívoca la forma en que unas partículas pueden interactuar con otras. No podemos hacer que dos quarks interactúen con una intensidad un poco mayor o menor que otros sin «romper» la simetría local. La única libertad que hay a la hora de diseñar un modelo de este tipo consiste en escoger una simetría local concreta y el número de partículas. Una vez hechas esas elecciones, la simetría local automáticamente nos dirá cómo ha de ser la interacción entre las partículas [véase «Teorías gauge de las fuerzas entre partículas elementales», por Gerard 't Hooft, INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, agosto de 1980; reeditado para «Grandes ideas de la física», colección TEMAS DE IYC n.º 80, 2015].

Es precisamente la simetría local la que hace bellas las leyes de la naturaleza. Las interacciones entre partículas no son arbitrarias, ni pueden ser modificadas a placer: aparecen como consecuencia de una simetría local. El modelo estándar es un rompecabezas en el que las piezas encajan casi a la perfección, y eso lo dota de un tremendo poder predictivo.

El libro concluye con algunas especulaciones sobre las pequeñas imperfecciones del modelo estándar y sobre el tipo de teorías que podrían desbancarlo. Una vez más, el autor emplea argumentos basados en simetrías para dilucidar cómo podrían ser tales teorías. Las de gran unificación basadas en supersimetría parecen ser sus candidatas favoritas, y a ellas dedica unas cuantas páginas.

Una de las razones por las que el libro resulta interesante es porque el autor desempeñó un papel fundamental a la hora de desentrañar la estructura del modelo estándar. En 2004, Wilczek recibió el premio Nobel de física por su descubrimiento de la libertad asintótica, una propiedad esencial para entender las interacciones fuertes [véase «Cincuenta años de libertad asintótica», por Antonio González-Arroyo; INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, junio de 2013]. Más allá de un estilo un poco cursi que puede no gustar a todos, el libro describe la física del siglo xx haciendo hincapié en la función que cumple la simetría en nuestra manera de entender las leyes de la naturaleza. Todo ello de la mano de uno de los grandes físicos del siglo.

—Alberto Ramos
CERN
Ginebra



**THE ANCIENT ORIGINS OF CONSCIOUSNESS
HOW THE BRAIN CREATED EXPERIENCE**

Todd E. Feinberg y Jon M. Mallatt
The MIT Press, 2016

Consciencia sensorial

Del Cámbrico a nuestros días

Consciencia es un término polisémico. Entre sus significados distintivos está el de hallarse alerta y vígil, percatare de cuanto nos rodea, experimentar y responder a la red sensorial que nos bombardea en cada momento, poder relacionar sensaciones presentes con experiencias del pasado, recordar lo acontecido, anticipar y planear el futuro, decidir en el curso de una acción o escoger las palabras de una frase. Todas esas sensaciones, recuerdos, planes y anticipaciones de acción acontecen dentro del mundo privado y subjetivo que antaño se resumía en la expresión *yo*. El yo es una mente, una subjetividad interna y unos límites permeables a un mundo externo, social y físico. Los humanos somos seres sociales y nuestra consciencia forma parte de nuestra existencia como animales sociales.

¿Cuándo apareció la consciencia sobre la Tierra? ¿Cuál fue su curso de evolución? ¿En qué consiste? De acuerdo con el registro fósil, hace entre 520 y 560 millones de años, en la gran explosión del Cámbrico de diversidad animal, se forjaron los primeros cerebros complejos, los cuales irían acompañados por comportamientos más o menos reflexivos, elementales. Si aceptamos la conclusión de los autores, todos los vertebrados son y han sido siempre conscientes: peces, anfibios, reptiles, aves y mamíferos. Entre los invertebrados, artrópodos y cefalópodos cumplen muchos de los requisitos para poder disponer de consciencia.

El punto de partida de la inquisición científica del origen de la consciencia, se supuso en un comienzo, eran las propiedades singulares y exclusivas del neocórtex de los mamíferos [véase «El problema de la consciencia», por Francis Crick y

Christof Koch; INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, noviembre de 1992]. Parece hoy obligado abordar la consciencia desde muchas perspectivas, incluso en el ámbito restringido de la ciencia. Más difícil resulta liberarse de la carga ideológica que nos condicione. El naturalismo neurobiológico baña buena parte de esta obra, donde se actualizan diversos trabajos de los autores sobre la evolución de la consciencia, cuyos inicios ellos fechan en hace 520 años, en plena eclosión del Cámbrico. En tres postulados compendian su tesis: podemos explicar la consciencia sensorial mediante principios conocidos de la neurobiología; la consciencia sensorial, antequímica y creada por diversas arquitecturas neurales, se halla muy expandida en el mundo animal; por fin, cuanto queda a menudo reservado para la especulación filosófica encuentra explicación en el dominio de la neurobiología evolutiva.

Todos los organismos conscientes están dotados al menos de consciencia sensorial, una propiedad regida por leyes científicas aceptadas y conocidas. Esta forma primaria de consciencia equivale a sentir como propio cualquier tipo de experiencia. Amén de sensorial, recibe también los apelativos de consciencia fenoménica y consciencia perceptiva. No tiene nada que ver con el refinamiento y elaboración de una consciencia humana, sino que basta con la presencia de pautas de experiencia subjetiva, por tenue que sea. La consciencia sensorial permite al cerebro crear un mundo interior.

La consciencia sensorial emerge del cerebro vivo; en particular, de interacciones neurales jerarquizadas. Vida y consciencia son, en la naturaleza, privativas de cada individuo, del organismo en su conjunto. Una sola célula retiniana

del ojo no ve nada, como no oye nada una neurona del córtex auditivo. Tener una consciencia sensorial (una experiencia consciente) es un proceso emergente que requiere la interacción entre muchas neuronas ordenadas de una manera peculiar y que reciben información de otras fuentes no sensoriales, tales como la memoria y los sistemas reticulares de activación.

No basta la emergencia para explicar la consciencia sensorial [véase «La consciencia: ¿solo un montón de neuronas?», por Manuela Lenzen; MENTE Y CEREBRO n.º 76, 2016]. Todos los sistemas vivos, dotados de consciencia o privados de ella, presentan numerosas propiedades emergentes. La digestión emerge del sistema digestivo, la circulación del sistema circulatorio, pero esos sistemas distintos del nervioso no son conscientes. Una colonia de hormigas que construye una colina es un sistema, o una sociedad, donde las hormigas individuales no se proponen construir una colina, pero su conducta colectiva la crea.

Al resaltar el carácter neural de la consciencia nos referimos a las cadenas y redes de neuronas que evolucionaron a partir de arcos reflejos. Los reflejos neurales no son en sí mismos conscientes, ni tampoco son conscientes de sí mismos, pero constituyen un ingrediente esencial del sustrato neural que hace posible la consciencia.

Hay múltiples razones para ello. Las neuronas, capacitadas para el procesamiento sensorial rápido de los estímulos, pueden asociarse y formar cadenas y circuitos complejos, lo que las faculta para acometer procesamientos más refinados. No obstante, si bien neuronas y reflejos pavimentan el camino de la consciencia, no son consciencia ni la crean. Solo un cerebro unificado que, en el curso de su evolución, haya adquirido jerarquías neurales elaboradas crea las interacciones entre neuronas que señalan la transición de meros reflejos a una consciencia fenoménica subjetiva [véase «Creación cerebral de la mente», por Antonio R. Damasio; INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, enero de 2000, y «La neurobiología del yo», por Carl Zimmer; INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, enero de 2006].

La consciencia sensorial evidencia continuidad desde unos primeros atisbos hasta un alto nivel de consciencia. La consciencia sensorial exteroceptiva comenzó hace 520 millones de años, cuando vertebrados incipientes y artrópodos de-

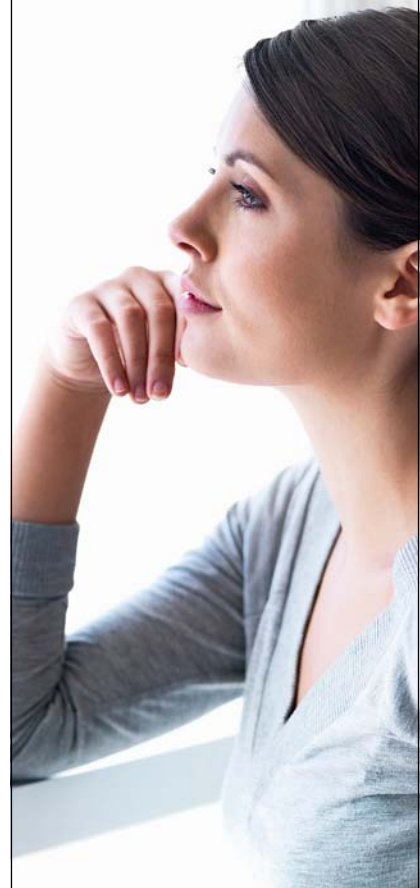
sarrollaron mejores sentidos de distancia en respuesta a la aparición de depredadores durante la explosión del Cámbrico. Sus cerebros procesaron los nuevos estímulos sensoriales que tal acontecimiento provocó. Hace 220 millones de años, la consciencia sensorial de los vertebrados progresó en los primeros mamíferos, que contaban con mejor información merced a las imágenes aprendidas y recordadas. Los artrópodos no realizaron ese segundo tránsito. Los vertebrados cumplen los tres criterios básicos de la consciencia, exigidos por Feinberg y Mallatt: exterocepti-

vos, afectivos e interoceptivos. Artrópodos y cefalópodos satisfacen muchas de las condiciones requeridas.

En un estadio final se produjo, en el marco de la línea primate de los mamíferos, la autoconsciencia, el lenguaje y el percatarse del estado mental de los otros. Aconteció probablemente cuando apareció el hombre moderno, hace unos 200.000 años [véase «El origen de la mente», por Juan Luis Arsuaga e Ignacio Martínez; INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, noviembre de 2001].

—Luis Alonso

¿Buscas empleo en el sector de la ciencia y la tecnología?



NOVEDADES



PARÁSITOS
EL EXTRAÑO MUNDO DE LAS CRIATURAS MÁS PELIGROSAS DE LA NATURALEZA

Carl Zimmer
Capitán Swing, 2016
ISBN: 978-84-945481-7-8
312 págs. (22 €)



EL OJO DESNUDO
SI NO VEN, ¿CÓMO SABEN QUE ESTÁ AHÍ? EL FASCINANTE VIAJE A LA CIENCIA MÁS ALLÁ DE LO APARENTE

Antonio Martínez Ron
Crítica, 2016
ISBN: 978-84-9892-981-2
350 págs. (21,90 €)



MAESTROS DEL UNIVERSO
CONVERSACIONES CON MAESTROS DE LA COSMOLOGÍA

Helge Kragh
Crítica, 2016
ISBN: 978-84-9892-902-7
368 págs. (22,90 €)



EN BUSCA DEL CERO
LA ODISSEA DE UN MATEMÁTICO PARA REVELAR EL ORIGEN DE LOS NÚMEROS

Amir D. Aczel
Biblioteca Buridán, 2016
ISBN: 978-84-16288-90-8
230 págs. (24 €)

naturejobs

La mayor bolsa de empleo científico del mundo ahora también en

investigacionyciencia.es

nature publishing group 