

Una rara oportunidad de descubrir grandes ideas antes de que lleguen al público general.

—NEW YORK TIMES BOOK REVIEW

EDICIÓN DE **John Brockman**

Eso lo explica TODO

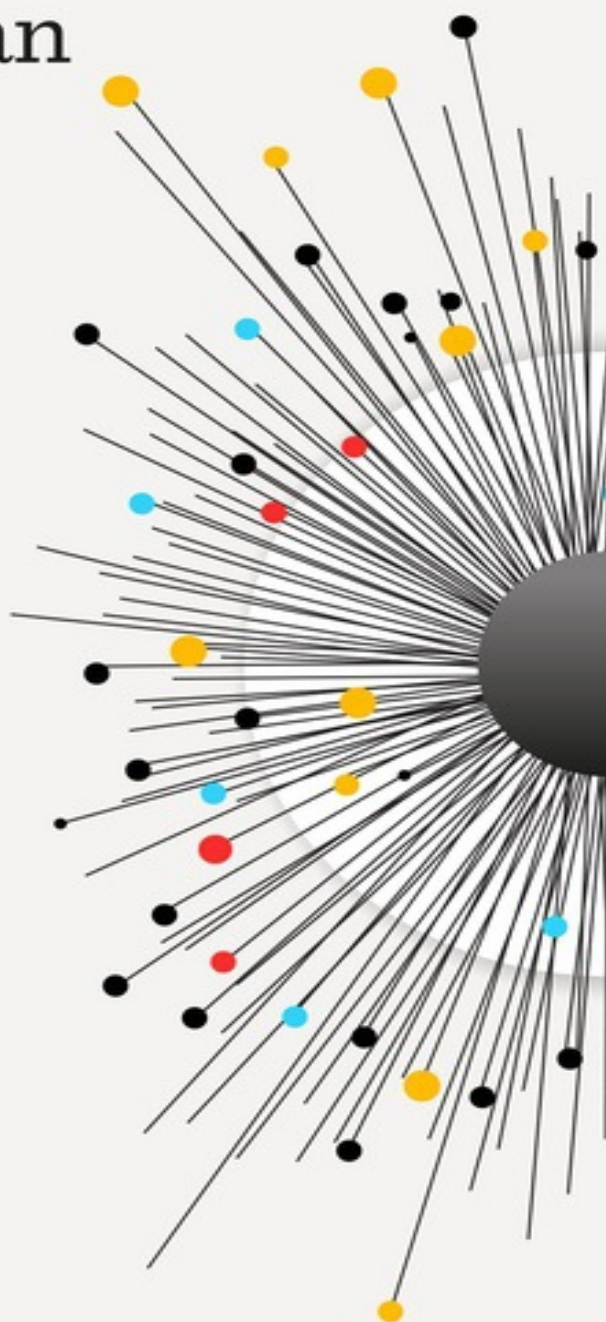
Ideas bellas, profundas
y elegantes sobre cómo
funciona el mundo

EDGE.ORG PRESENTA IDEAS ORIGINALES
DE LOS GRANDES PENSADORES DE HOY

Nassim Nicholas Taleb, **Steven Pinker**, **Martin Rees**,
Richard Dawkins, **Freeman Dyson**, **Daniel C. Dennett**,
Jared Diamond, **Richard Thaler**, **V. S. Ramachandran**,
Sherry Turkle, entre otros

TRADUCCIÓN DE **Mar Vidal**

DEUSTO



Índice

Portada

Sinopsis

Portadilla

Prefacio. **La Pregunta Edge**

SUSAN BLACKMORE. **La evolución a través de la selección natural**

MATT RIDLEY. **La vida es un código digital**

RICHARD DAWKINS. **Reducción de la redundancia y reconocimiento de patrones**

SCOTT ATRAN. **El poder de lo absurdo**

CARLO ROVELLI. **Cómo puede surgir la finalidad aparente**

AUBREY DE GREY. **La atrasada desaparición de la monogamia**

LEONARD SUSSKIND. **La explicación de Boltzmann de la Segunda Ley de la Termodinámica**

JOEL GOLD. **La materia oscura de la mente**

ALAN ALDA. **«Hay más cosas en el cielo y la tierra [...] De las que se sueñan en tu filosofía.»**

REBECCA NEWBERGER GOLDSTEIN. **Una reacción no resuelta (y, por tanto, tampoco bella) a la pregunta Edge**

JAMES J. O'DONNELL. **El universo de Ptolomeo**

PAUL STEINHARDT. **La cuasielegancia**

SHING-TUNG YAU. **¿Objeto matemático u objeto natural?**

FRANK WILCZEK. **Simplicidad**

THOMAS METZINGER. **La simplicidad en sí misma**

SEAN CARROLL. **Einstein explica por qué la gravedad es universal**

STEVEN PINKER. **La genética evolutiva y los conflictos de la vida social humana**

JONATHAN GOTTSCHALL. **La hipótesis de Faurie-Raymond**

DAVID G. MYERS. **Polarización de grupo**

ARMAND MARIE LEROI. **La ecuación de Price**

GERD GIGERENZER. **Deducciones inconscientes**

MARTIN J. REES. **Los copos de nieve y el multiverso**

ANTON ZEILINGER. **Los fotones de Einstein**

JEREMY BERNSTEIN. **Pensar en pequeño**

ANDREI LINDE. **¿Por qué es comprensible nuestro mundo?**

GEORGE DYSON. **El cosmos de Alfvén**

MAX TEGMARK. **Nuestro universo creció como un bebé**

GINO SEGRÈ. **Kepler *et al.*, y el problema inexistente**

FREEMAN DYSON. **Cómo pueden coexistir visiones incompatibles del mundo**

SATYAJIT DAS. **La incertidumbre imposible**

HAIM HARARI. **¿El siguiente nivel de materia fundamental?**

ROBERT PROVINE. **Observadores que observan**

V. S. RAMACHANDRAN. **Los genes, el *claustrum* y la consciencia**

DAVID M. EAGLEMAN. **Soluciones solapadas**

MAHZARIN BANAJI. **Nuestra racionalidad limitada**

ROBERT SAPOLSKY. **Inteligencia de enjambre**

KEITH DEVLIN. **El lenguaje y la selección natural**

RICHARD H. THALER. **Compromiso**

Tit for tat KKK JENNIFER JACQUET

JUDITH RICH HARRIS. **Verdadero o falso: la belleza es verdad**

DAN SPERBER. **Eratóstenes y la mente modular**

CLAY SHIRKY. **La explicación de la cultura de Dan Sperber**

HUGO MERCIER. **Las metarrepresentaciones explican la singularidad humana**

NICHOLAS HUMPHREY. **Por qué la mente humana puede parecer tener una explicación humana, aunque no la tenga**

STEWART BRAND. **Paisajes adaptativos**

KEVIN P. HAND. **Sobre océanos y seguridad aeroportuaria**

PAUL SAFFO. **La tectónica de placas valida elegantemente la deriva continental**

DANIEL C. DENNETT. **Por qué hay tortugas marinas que emigran**

CARL ZIMMER. **Una tierra joven y caliente: indudablemente bella y asombrosamente errónea**

DAVID M. BUSS. **Teoría del conflicto sexual**

DAVID PIZARRO. **Las semillas del dominio histórico**

HOWARD GARDNER. **La importancia del individuo**

ANDRIAN KREYE. **Entorno subjetivo**

RAPHAEL BOUSSO. **Mi explicación elegante y fastidiosa preferida: la teoría cuántica**

ERIC R. WEINSTEIN. **La venganza de Einstein: la nueva cuántica geométrica**

DAVE WINER. **¿Qué hora es?**

TANIA LOMBROZO. **El realismo y otras medias verdades metafísicas**

SEIRIAN SUMNER. **Lo único que necesitamos es ayuda**

HELENA CRONIN. **Al principio está la teoría**

PAUL BLOOM. **Thompson sobre el desarrollo**

JOHN MCWHORTER. **¿Cómo se pasa de langosta a gato?**

GREGORY COCHRAN. **Los gérmenes provocan enfermedades**

CHRISTINE FINN. **La suciedad es materia fuera de lugar**

ANDREW LIH. **La información es la resolución de la incertidumbre**

PZ MYERS. **Todo es como es porque se ha convertido en ello**

DAVID CHRISTIAN. **La idea de surgimiento**

DIMITAR D. SASSELOV. **Sistemas de referencia**

HELEN FISHER. **Epigenética: el eslabón perdido**

JOHN NAUGHTON. **El comportamiento de bandada en los pájaros**

BARRY C. SMITH. **Los limones son rápidos**

JOHN TOOBY. **Caer en el lugar adecuado: la entropía y la desesperada ingenuidad de la vida**

PETER ATKINS. **Por qué ocurren las cosas**

ELIZABETH DUNN. **Por qué sentimos la presión del tiempo**

BART KOSKO. **Por qué sigue brillando el sol**

CHARLES SIMONYI. **La explicación de bosovich de las fuerzas atómicas**

GREGORY S. PAUL. **Los pájaros son los descendientes directos de los dinosaurios**

BRUCE HOOD. **Complejidad a partir de la simplicidad**

A.C. GRAYLING. **Teoría de las descripciones de Russell**

TIMO HANNAY. **El salvavidas de Feynman**

BRIAN ENO. **Los límites de la intuición**

LISA RANDALL. **El mecanismo de Higgs**

SIMONE SCHNALL. **La mente piensa en metáforas personificadas**

BENJAMIN K. BERGEN. **Las metáforas están en la mente**

JON KLEINBERG. **El principio del palomar**

MARTI HEARST. **Por qué los programas tienen virus**

HANS-ULRICH OBRIST. **Los patrones de Cage**

SETH LLOYD. **La auténtica simetría rotacional del espacio**

CHARLES SEIFE. **El principio del palomar revisado**

RODNEY A. BROOKS. **La ley de Moore**

JOHN C. MATHER. **Complejidad cósmica**

SCOTT SAMPSON. **La hipótesis de Gaia**

LAURENCE C. SMITH. **Las ecuaciones de continuidad**

TIM O'REILLY. **La apuesta de Pascal**

S. ABBAS RAZA. **Estrategias evolutivamente estables**

EUGENY MOROZOV. **El dilema de Collingridge**

ERNEST PÖPPEL. **Confiar en la confianza**

BRUCE PARKER. **¿Simplemente es así?**

PATRICK BATESON. **Subvertir la biología**

SIMON BARON-COHEN. **El sexo al alcance de los dedos**

ALVY RAY SMITH. **¿Por qué se mueven las películas?**

ALBERT-LÁSZLÓ BARABÁSI. **¿Quieres un poco más de salsa de queso?**

STUART PIMM. **Las leyes de la madre naturaleza**

KARL SABBAGH. **La pirámide de Oklo**

ADAM ALTER. **Kitty Genovese y la apatía de grupo**

GERALD SMALLBERG. **El mago de yo**

DOUGLAS COUPLAND. **Una casualidad, dos *déjà-vu***

KATINKA MATSON. **La navaja de Ockham**

ALUN ANDERSON. **La profundidad del tiempo**

ERIC R. KANDEL. **Colocar la psicoterapia sobre una base científica: cinco lecciones fáciles**

SHERRY TURKLE. **Objetos de transición**

RANDOLPH NESSE. **La selección natural es simple pero los sistemas que conforma son inimaginablemente complejos**

MARCEL KINSBOURNE. **Cómo tener una buena idea**

NICHOLAS A. CHRISTAKIS. **De las bocas de los niños**

PHILIP CAMPBELL. **La belleza de un amanecer**

DYLAN EVANS. **El origen del dinero**

DOUGLAS RUSHKOFF. **La precesión de los simulacros**

PHILIP ZIMBARDO. **Teoría de la perspectiva del tiempo**

ALISON GOPNIK. **El ritmo del desarrollo explica las aflicciones de la adolescencia**

STEPHEN M. KOSSLYN. **Implicaciones del gran descubrimiento de Ivan Pavlov**

TERRENCE J. SEJNOWSKI. **La naturaleza es más lista que nosotros**

MICHAEL I. NORTON. **Imponer la arbitrariedad**

LAWRENCE M. KRAUSS. **La unificación de la electricidad y el magnetismo**

NEIL GERSHENFELD. **Gomas elásticas peludas**

LEE SMOLIN. **El principio de inercia**

ERIC J. TOPOL. **Ver es creer: desde los placebos hasta las películas en nuestro cerebro**

GERALD HOLTON. **La discontinuidad de la ciencia y la cultura**

NASSIM NICHOLAS TALEB. **La hormesis es redundancia**

ROBERT KURZBAN. **La bonita ley de las consecuencias no intencionadas**

TIMOTHY D. WILSON. **Somos lo que hacemos**

SAMUEL BARONDES. **Diferencias de personalidad: la importancia del azar**

BEATRICE GOLOMB. **Síndrome metabólico: ¿adaptaciones de la energía celular en un mundo tóxico?**

EMANUEL DERMAN. **Con la muerte saldamos la cuenta**

DAVID GELERNTER. **Infinitudes denumerables y estados mentales**

RUDY RUCKER. **Leyes inversas de potencias**

SAMUEL ARBESMAN. **Cómo adquirió los topos el leopardo**

STANISLAS DEHAENE. **El algoritmo universal de la toma de decisiones**

MIHALY CSIKSZENTMIHALYI. **La máxima de Lord Acton**

VICTORIA STODDEN. **Hechos, ficción y nuestro mundo probabilista**

GEORGE CHURCH. **Elegante = Complejo**

IRENE PEPPERBERG. **Las preguntas de Tinbergen**

GLORIA ORIGGI. **La máquina universal de Turing**

RICHARD FOREMAN. **Cuestión de poética**

JARED DIAMOND. **Los orígenes de la electricidad biológica**

TIMOTHY TAYLOR. **Por qué los griegos pintaban a gente roja en vasijas negras**

ANDY CLARK. **El lenguaje como sistema adaptativo**

NICHOLAS G. CARR. **El mecanismo de la mediocridad**

MICHAEL SHERMER. **El principio del empirismo, o compruébalo tú mismo**

KEVIN NELLY. **Somos polvo de estrellas**

Agradecimientos

Notas

Créditos

Gracias por adquirir este eBook

Visita Planetadelibros.com y
descubre una
nueva forma de disfrutar de la lectura

**¡Regístrate y accede a contenidos
exclusivos!**

Primeros capítulos
Fragmentos de próximas publicaciones
Clubs de lectura con los autores
Concursos, sorteos y promociones
Participa en presentaciones de libros

PlanetadeLibros

Comparte tu opinión en la ficha del libro
y en nuestras redes sociales:



Explora

Descubre

Comparte

Sinopsis



¿Cuál es tu explicación bella, elegante y profunda preferida?

Es la pregunta que John Brockman, editor de Edge.org («La página web más astuta del mundo», según *The Guardian*), planteó a las cabezas pensantes más influyentes del mundo. Desde los horizontes de la física, la economía, la psicología, la neurociencia y otras disciplinas, Esto lo explica todo presenta 150 de las teorías más sorprendentes y brillantes sobre cómo funcionan nuestras mentes, nuestras sociedades y nuestro universo

Eso lo explica todo

Ideas bellas, profundas y elegantes
sobre cómo funciona el mundo

Edición de

John Brockman

Traducción de Mar Vidal



EDICIONES DEUSTO

Prefacio



La Pregunta Edge

En 1981 fundé el Reality Club. Desde su nacimiento hasta 1996, el club celebraba sus reuniones en restaurantes chinos, estudios de artistas, salas de juntas de bancas de inversión, salas de baile, museos y salones particulares, entre otros locales. El Reality Club era distinto de la Algonquin Round Table, [1] los Apostles [2] y el Bloomsbury Group, [3] pero ofrecía la misma calidad de aventura intelectual. Tal vez a lo que más se parecía era a la Lunar Society of Birmingham de finales del siglo XVIII y comienzos del XIX, una asociación informal de las principales figuras culturales de la nueva era industrial, entre las que se encontraban James Watt, Erasmus Darwin, Josiah Wedgwood, Joseph Priestley y Benjamin Franklin. De forma similar, el Reality Club fue un intento de agrupar a esta gente con el fin de explorar los asuntos de la era postindustrial.

En 1997, el Reality Club se convirtió en virtual y fue rebautizado como Edge. Las ideas presentadas en Edge son especulativas; representan las fronteras en ámbitos como la biología evolutiva, la genética, la informática, la neurofisiología, la cosmología y la física. De estas contribuciones surge una nueva filosofía natural, nuevas maneras de entender los sistemas físicos, nuevas formas de pensar que ponen en cuestión muchas de nuestras presuposiciones básicas.

Para cada una de las ediciones de aniversario de Edge, una serie de incondicionales del club, incluidos Steward Brand, Kevin Nelly y George Dyson, y yo nos reunimos para planificar la Pregunta Edge anual, normalmente una cuestión que a alguno de nosotros o de nuestros corresponsales se nos ocurre en medio de la noche. Pensar una pregunta no es fácil. (Como solía decir mi difunto amigo, y a veces colaborador, James Lee Byars: «Puedo responder a la pregunta, pero ¿soy lo bastante brillante para plantearla?»). Buscamos preguntas que inspiren respuestas impredecibles, que provoquen a

las personas a generar ideas que normalmente no se les ocurrirían. Para la pregunta de este año, nuestro agradecimiento se dirige, una vez más, a Steven Pinker.

Tal vez el mayor placer de la ciencia proviene de las teorías que llevan hasta la solución de algún rompecabezas profundo de un conjunto pequeño de principios simples de una manera sorprendente. Estas explicaciones se etiquetan como «bellas» o «elegantes». Ejemplos históricos son la explicación de Kepler de los movimientos planetarios complejos como simples elipses, la explicación de Niels Bohr de la tabla periódica de los elementos en términos de capas de electrones, y la explicación de James Watson y Francis Crick de la replicación genética a través de la doble hélice. El gran físico teórico P.A.M. Dirac dijo la famosa frase: «Es más importante que tus ecuaciones sean bellas que no que se ajusten a tu experimento».

La Pregunta Edge 2012

¿Cuál es tu explicación bella, profunda o elegante preferida?

Este año, la respuesta *online* en la página web de Edge (edge.org/annual-question) ha sido enorme: unas doscientas discusiones provocativas, y a menudo interminables. Lo que viene a continuación es necesariamente una selección revisada. De acuerdo con el espíritu de Edge, las aportaciones que presentamos aquí adoptan el pensamiento científico en su enfoque más amplio: como la manera más fiable de adquirir conocimientos sobre cualquier cosa, incluyendo ámbitos de estudio como la filosofía, las matemáticas, la economía, la historia, la lingüística y el comportamiento humano. El hilo conductor es la propuesta de una idea sencilla y no evidente como explicación a una serie diversa y complicada de fenómenos.

La evolución a través de la selección natural



SUSAN BLACKMORE

Psicóloga; autora de *Consciousness: An Introduction*

Por supuesto que tiene que ser Darwin. No hay nada más que se le acerque. La evolución a través de la selección natural (o, de hecho, cualquier tipo de selección, natural o antinatural) ofrece la explicación científica más bella y elegante de todas. Este sencillo algoritmo en tres pasos explica, con una idea simple, por qué vivimos en un universo lleno de diseño. No solamente explica por qué estamos aquí nosotros, sino por qué los árboles, los gatitos, el urdu, el Banco de Inglaterra, el Chelsea de fútbol y el iPhone están aquí.

Tal vez te preguntes por qué, si esta explicación es tan sencilla y potente, antes que a Darwin y a Alfred Russell Wallace nunca se le había ocurrido a nadie, y por qué, incluso hoy, hay tanta gente a la que le cuesta entenderla. Creo que el motivo es que su esencia contiene una redundancia. Es como si cuando dices «las cosas que sobreviven, sobreviven» o «las buenas que tienen éxito, tienen éxito», no estuvieras diciendo nada. Para convertir estas redundancias en poder, debemos añadirles el contexto de un mundo limitado en el cual no todo sobrevive y la competencia abunda, y también ser conscientes de que nos encontramos en un mundo en permanente cambio cuyas normas de la competencia están en continuo movimiento.

En este contexto, tener éxito es algo fugaz, y ahora el algoritmo en tres pasos puede convertir la redundancia en una explicación profunda y elegante. Copiamos a los supervivientes muchas veces con pequeñas variaciones y los dejamos perder en este mundo en constante transformación, y sólo aquellos que se adaptan a las nuevas condiciones saldrán adelante. El mundo se llena de criaturas, ideas, instituciones, idiomas, historias, programas informáticos y máquinas que han sido diseñados todos ellos por la tensión de esta

competición.

Esta bonita idea es difícil de comprender, y he conocido a muchos estudiantes universitarios a los que les han enseñado la teoría de la evolución en el colegio y se creían que la entendían, pero en realidad nunca fue así. Uno de los placeres de enseñar, para mí, era ver la expresión de asombro en la cara de los alumnos cuando, de pronto, comprendían. Era algo reconfortante de verdad. Pero también lo llamo reconfortante porque, a diferencia de alguna gente religiosa, cuando miro por la ventana, más allá de la pantalla de mi ordenador, y dirijo la vista hacia el puente que cruza el río, a los árboles y a las vacas que hay a lo lejos, me deleito ante el proceso simple y competitivo que los ha llevado a todos ellos a existir, y ante mi propio pequeño espacio dentro de ese todo.

**La vida es un código
digital**



MATT RIDLEY

Escritor científico; presidente fundador del
International Centre for Life; autor de *El
optimista racional*

Actualmente nos resulta difícil recordar cómo era exactamente de misteriosa la vida la mañana del 28 de febrero, y exactamente cuánto había cambiado eso a la hora del almuerzo. Volvamos la vista atrás a todas las respuestas de antes a la pregunta «¿Qué es la vida?» y nos haremos una idea de hasta qué punto, como especie, estábamos equivocados. La vida consistía en objetos tridimensionales de especificidad y complejidad (principalmente proteínas). Y se copiaba a sí misma con precisión. ¿Cómo? ¿Cómo te pones a hacer una copia de un objeto tridimensional? ¿Cómo lo haces crecer y lo desarrollas de una manera predecible? Ésta es exactamente la pregunta científica cuya respuesta nadie se acercaba a acertar. Edwin Schrödinger hizo un intento pero volvió a la mecánica cuántica, lo cual resultó irrelevante. Es cierto que usó la fórmula «cristal aperiódico», y si somos generosos podemos considerarlo una predicción de un código linear, pero creo que eso es ser demasiado generosos.

De hecho, el problema se había vuelto todavía más desconcertante gracias a la comprensión de que el ADN desempeñaba un papel fundamental, porque el ADN era monótonamente simple. Todas las explicaciones de la vida antes de aquel 28 de febrero de 1953 eran explicaciones vacuas y resultaban tan poco iluminadoras como hablar de protoplasmas y de chisporroteos vitales.

Luego llegó la doble hélice y la comprensión inmediata de que, como le escribiera Francis Crick a su hijo al cabo de unas cuantas semanas, «cierto tipo de código» —digital, linear, bidimensional, combinatoriamente infinito y autorreproduciéndose al instante— era la única explicación que se necesitaba. He aquí un fragmento de la carta de Crick, del 17 de marzo de 1953:

Mi querido Michael,

Jim Watson y yo probablemente acabamos de hacer un descubrimiento de suma importancia [...]. Ahora creemos que el ADN es un código. Es decir, el orden de las bases (las letras) diferencia a un gen de otro gen (al igual que una página impresa es distinta de otra). Se puede ver cómo la naturaleza hace copias de los genes. Porque si las dos cadenas se desenrollan formando dos cadenas separadas, y si cada una hace que otra se junte con ella, como la A siempre va con la T, y la G con la C, obtenemos dos copias cuando antes teníamos sólo una. Dicho de otro modo, creemos que hemos hallado el mecanismo básico de copia por el que la vida procede de la vida [...]. Podrás comprender nuestra emoción.

Jamás un misterio había parecido tan incomprensible por la mañana y una explicación tan obvia por la tarde.

**Reducción de la
redundancia y
reconocimiento de
patrones**



RICHARD DAWKINS

Biólogo evolutivo; profesor emérito de Public
Understanding of Science, Oxford; autor de *La
magia de la realidad*

¿Profunda, elegante, bella? Parte de lo que convierte a una teoría en elegante es su poder de explicar mucho al tiempo que presupone muy poco. En ese sentido, la teoría de la selección natural de Darwin gana por goleada. La proporción de la enorme cantidad de cosas que explica (todo sobre la vida: su complejidad, su diversidad y su ilusión de diseño cuidadoso) dividida por lo poco que necesita postular (supervivencia no aleatoria de genes aleatoriamente variados a lo largo del tiempo geológico) es enorme. En el campo de la comprensión humana, jamás se había explicado tanto presuponiendo tan poco. Elegante, pues, y profunda, puesto que sus profundidades estuvieron ocultas a ojos de todos hasta bien entrado el siglo XIX. Por otro lado, para algunas sensibilidades, la selección natural es demasiado destructiva, demasiado derrochadora y demasiado cruel como para ser considerada bella. En cualquier caso, puedo contar con que alguien más habrá elegido a Darwin. Yo me decantaré por su biznieto y volveré a Darwin al final.

Horace Barlow, FRS, es el nieto pequeño de sir Horace Darwin, el hijo pequeño de Charles Darwin. Barlow, actualmente un nonagenario muy activo, es miembro de una distinguida estirpe de neurobiólogos de Cambridge. Quiero hablar de una idea que publicó en dos artículos en 1961, sobre la reducción de la redundancia y el reconocimiento de patrones. Se trata de una idea cuyas ramificaciones e importancia me han inspirado a lo largo de toda mi trayectoria profesional.

El folclore de la neurobiología incluye una mítica «neurona de la abuela»,

que se dispara sólo cuando cae frente a la retina una imagen muy particular, la cara de la abuela de Jerry Lettvin (Lettvin fue un distinguido neurobiólogo estadounidense que, como Barlow, trabajó con la retina de las ranas). La cuestión es que la abuela de Lettvin es sólo una de las incontables imágenes que un cerebro es capaz de reconocer. Si hubiera una neurona específica para todo lo que somos capaces de reconocer —no sólo la abuela de Lettvin, sino muchas otras caras, objetos, letras del alfabeto, flores, todos ellos vistos desde muchos ángulos y distancias—, tendríamos una explosión combinatoria. Si el reconocimiento sensorial funcionó con el principio de la abuela, el número de neuronas de reconocimiento específico para todas las combinaciones posibles de impulsos nerviosos superaría al número de átomos en el universo. De manera independiente, el psicólogo estadounidense Fred Attneave había calculado que el volumen del cerebro tendría que medirse en años luz cúbicos. Así, Barlow y Attneave propusieron, cada uno por su parte, la reducción de las redundancias como respuesta.

Claude Shannon, inventor de la teoría de la información, acuñó el término «redundancia» como algo parecido a lo contrario de la información. En inglés, la q va siempre seguida de una u , de modo que la u puede omitirse sin que se pierda información. Es redundante. Siempre que hay redundancia en un mensaje (que es siempre que hay no aleatoriedad), el mensaje se puede recodificar de manera más económica sin perder información, aunque con cierta pérdida de capacidad de corregir errores. Barlow sugirió que en cada etapa de los recorridos sensoriales hay mecanismos ajustados para eliminar la redundancia masiva.

El mundo en el momento t no difiere mucho del mundo en el momento $t-1$. Por tanto, para los sistemas sensoriales no es necesario estar informando constantemente del estado del mundo. Ellos tan sólo precisan alertar de los *cambios*, dejando que el cerebro presuponga que todo lo no informado permanece igual. La adaptación sensorial es una característica muy conocida de los sistemas sensoriales que hace exactamente lo que Barlow prescribió. Si una neurona indica la temperatura, por ejemplo, la ratio de descarga no es, como uno podría suponer ingenuamente, proporcional a la temperatura. En cambio, la ratio de descarga neuronal ocurre sólo cuando hay un cambio en la

temperatura. Luego se apacigua hasta llegar a una frecuencia baja, de descanso. Ocurre lo mismo con las neuronas que señalan brillo, estrépito, presión, etc. La adaptación sensorial alcanza una economía enorme a base de explotar la no aleatoriedad en la secuencia temporal de los estados del mundo.

Lo que consigue la adaptación sensorial en el terreno temporal, lo consigue el muy sólido fenómeno de la inhibición lateral en el terreno espacial. Si una escena del mundo queda atrapada en una pantalla pixelada, como la parte posterior de una cámara digital o la retina de un ojo, la mayoría de los píxeles parecen iguales a sus vecinos inmediatos. Las excepciones son los píxeles que quedan en los bordes, en los límites. Si cada célula de la retina informara fielmente de su valor lumínico al cerebro, el cerebro se vería bombardeado por un mensaje enormemente redundante. Si la mayoría de los impulsos que alcanzan el cerebro provienen de las células pixelares que se encuentran en las zonas límite de la escena, se consiguen grandes economías. Entonces el cerebro presupone la uniformidad de los espacios que hay entre los límites.

Tal y como Barlow indicó, esto es exactamente lo que consigue la inhibición lateral. En la retina de las ranas, por ejemplo, cada célula ganglionar manda señales al cerebro, informando de la intensidad de la luz en su ubicación particular de la superficie de la retina. Pero, al mismo tiempo, manda señales inhibitorias a sus vecinos inmediatos. Eso significa que las únicas células ganglionares que mandan señales fuertes al cerebro son las que están en un límite. Las células ganglionares que se sitúan en campos de color uniformes (es decir, la mayoría) mandan escasos o nulos impulsos al cerebro porque, a diferencia de las células de los bordes, están inhibidas por todas sus vecinas. La redundancia espacial en la señal queda eliminada.

El análisis de Barlow se puede extender a la mayor parte de lo que hoy sabemos sobre neurobiología sensorial, incluyendo las famosas neuronas detectoras de líneas horizontales de los gatos descubiertas por Hubel y Wiesel (las líneas rectas son redundantes, reconstruibles a partir de sus extremos), y las detectoras de movimiento («bichos») en la retina de las ranas, descubiertas por el mismo Jerry Lettvin y sus colegas. El movimiento representa un cambio no redundante en el mundo de las ranas, pero todo movimiento es redundante

si persiste en la misma dirección a la misma velocidad. Como era de esperar, Lettvin y su equipo descubrieron una neurona «de extrañeza» en sus ranas, que se dispara sólo cuando un objeto en movimiento hace algo inesperado, como acelerarse, ralentizar o cambiar de dirección. La neurona «de extrañeza» está ajustada para destacar la redundancia de grado muy alto.

Barlow señaló que un estudio de los filtros sensores de un animal determinado podía ofrecernos, en teoría, una lectura de las redundancias presentes en el mundo del animal. Podría constituir una especie de descripción de las propiedades estadísticas de ese mundo. Lo que me recuerda que había dicho que volvería a Darwin. En *Unweaving the Rainbow*, sugerí que el acervo genético de una especie es «un libro genético de los muertos», una descripción codificada de los mundos ancestrales en los que los genes de las especies han sobrevivido a lo largo del tiempo geológico. La selección natural es una calculadora de promedios, que detecta las redundancias —los patrones de repetición— en los mundos sucesivos (sucesivos a través de millones de generaciones) en los que la especie ha sobrevivido (promediados entre todos los miembros de la especie reproducida sexualmente). ¿Podríamos tomar lo que Barlow hizo para las neuronas en los sistemas sensoriales y hacer un análisis paralelo para los genes en acervos genéticos seleccionados de manera natural? Bueno, eso sí que sería profundo, elegante y bello.

El poder de lo absurdo



SCOTT ATRAN

Antropólogo, Centre National de la Recherche
Scientifique, París; autor de *Talking to the
Enemy: Faith, Brotherhood, and the
(Un)Making of Terrorists*

La noción de una fuerza trascendente que mueve el universo o la historia, o determina lo que está bien y lo que está mal —y cuya existencia básicamente escapa a la razón y es inmune a la refutación lógica o empírica— es el fenómeno más simple, elegante y científicamente desconcertante de todos los que conozco. Su poder y su absurdidad tienen una potente capacidad de inquietar y merecen un cuidadoso escrutinio científico. Además, en una época en la que muchos de los conflictos más volátiles y aparentemente intratables tienen su origen en causas sagradas, el enfoque científico de cuál es la mejor manera de enfrentarse a este tema nunca había sido tan crucial.

Llamémoslo amor de grupo o de Dios, o devoción por una idea o causa, al final eso tiene poca importancia. Se trata de «el privilegio de la absurdidad; a la cual no está sujeta ninguna criatura viviente, excepto la humana» de la cual escribió Hobbes en *Leviatán*. En *El origen del hombre*, Darwin lo caracterizó como la virtud de la «moralidad», con la que las tribus ganadoras están mejor dotadas en la histórica competición en espiral por la supervivencia y el dominio. A diferencia de otras criaturas, los humanos definen los grupos a los que pertenecen con términos abstractos. A menudo luchan por lograr un largo vínculo emocional e intelectual con otros humanos anónimos, y buscan matar y morir heroicamente, no con el fin de preservar sus propias vidas o las de las personas que conocen, sino en nombre de una idea: el concepto que se han formado de ellos mismos, de «quiénes somos».

Los valores sagrados o trascendentes y las ideas religiosas son

culturalmente universales, aunque su contenido varía de manera notable entre las distintas culturas. Los valores sagrados marcan los límites morales de las sociedades y determinan qué transacciones materiales resultan permisibles. Las transgresiones materiales de lo sagrado son tabú: nosotros consideramos a las personas que venden a sus hijos o traicionan a su país como sociópatas; otras sociedades consideran inmoral el adulterio o el desprecio por los pobres, pero no necesariamente inmoral la venta de niños o mujeres, o la negación de la libertad de expresión.

Los valores sagrados sólo acostumbran adquirir una fuerte relevancia cuando son desafiados, de la misma manera que los alimentos adquieren un valor acuciante sólo cuando no se tiene acceso a ellos. Las personas de un medio cultural suelen ignorar lo que es sagrado para otro medio... o, al hacerse conocedores de los valores del otro a través del conflicto, los encuentran (pongamos a los proabortistas contra sus detractores, por ejemplo) inmorales y absurdos. Tales conflictos no se pueden reducir totalmente a cálculos seculares de intereses, sino que hay que tratarlos en sus propios términos, con una lógica distinta a la del mercado o *realpolitik*. Por ejemplo, los indicios interculturales demuestran que la perspectiva de unas cargas económicas paralizantes y de una enorme cantidad de muertos no necesariamente disuade a la gente de ir a la guerra, o de optar por la revolución o la resistencia. Como observó Darwin, los virtuosos y los valientes hacen lo que es correcto, sin importar las consecuencias, como imperativo moral. (De hecho, tenemos pruebas en forma de neuroimágenes que sugieren que las personas procesan los valores sagrados en las partes del cerebro más consagradas a la conducta asociada a las normas que a los cálculos prácticos. Piénsese en los diez mandamientos o en la Carta de Derechos de Estados Unidos.)

Existe una aparente paradoja que subyace a la formación de las sociedades humanas a gran escala. El ascenso religioso e ideológico de las civilizaciones —de aglomeraciones cada vez más grandes de personas genéticamente extrañas, incluyendo las actuales naciones, los movimientos transnacionales y otras «comunidades imaginarias» de parentesco ficticio— parece depender de lo que Kierkegaard llamaba ese «poder de lo absurdo» (como en la voluntad

de Abraham de degollar a su hijo más amado para demostrar su compromiso con una divinidad invisible e innombrada, lo que le convertiría en el mayor héroe cultural en vez de convertirle en abusador infantil, asesino potencial o psicópata). Los vínculos sociales y los actos más fuertes de la humanidad, incluyendo la capacidad de ayudar y perdonar, y de matar y dejarse matar, surgen del compromiso con causas y procesos que se consideran «inefables»; es decir, fundamentalmente inmunes a la evaluación lógica de su coherencia y a la valoración empírica de sus costes y consecuencias. Cuanto más materialmente inexplicables resultan la propia devoción y compromiso por una causa sagrada —es decir, cuanto más absurdas son—, mayor es la fe que otros depositan en ella y más compromiso genera esta fe por parte de ellos.

Sin lugar a dudas, pensadores de todas las creencias han intentado explicar la paradoja (la mayoría ideológica e ingenuamente motivados) a menudo para demostrar que la religión es buena, o más a menudo que la religión es irracionalmente mala. Si algo nos enseña la evolución es que los humanos son criaturas con pasión y que la razón en sí misma está principalmente dirigida a la victoria social y a la persuasión política, y no tanto a la verdad filosófica o científica. Insistir en que la racionalidad persistente es el mejor medio y la mejor esperanza para triunfar sobre la irracionalidad perdurable —que el empleo lógico de los hechos algún día podría llegar a eliminar lo sagrado y, así, acabar con el conflicto— desafía todo aquello que la ciencia nos enseña sobre nuestra naturaleza apasionada. A lo largo de la historia de nuestra especie, como en los conflictos más intratables y las mayores expresiones de alegría de nuestro tiempo, la lógica utilitaria como reemplazo de lo sagrado es una posibilidad muy débil.

Para Alfred Russel Wallace, la conducta moral (junto con las matemáticas, la música y el arte) era prueba de que los seres humanos no sólo habían evolucionado a través de la selección natural: «Las facultades especiales que hemos estado comentando señalan de forma diáfana a la existencia en el hombre de algo que claramente no ha heredado de sus ancestros animales, algo de lo que podemos decir con mayor propiedad que posee una esencia espiritual [...] más allá de toda explicación a través de la materia, sus leyes y sus fuerzas».[4] Su discrepancia con Darwin sobre este tema fue de larga

duración, y en algún momento llevó al segundo a protestar: «Espero que no haya matado usted del todo a su hijo ni al mío».[5] Pero el propio Darwin no elaboró ninguna explicación causal de cómo los seres humanos se convirtieron en animales morales, aparte de decir que, como nuestros ancestros eran tan débiles físicamente, lo único que los podía sacar adelante era la fuerza del grupo.

La religión y lo sagrado, tanto tiempo proscritos de la investigación razonada por el sesgo ideológico de todas las creencias —tal vez porque el tema se acerca tanto a lo que queremos o no queremos ser—, son todavía para la ciencia un terreno inmenso, enmarañado y en buena parte inexplorado, por muy simple y elegante que resulte en la vida diaria para la mayoría de la gente en todas partes.

Cómo puede surgir la finalidad aparente



CARLO ROVELLI

Físico teórico, Centre de Physique Théorique,
Universidad de Marsella; autor de *Quantum
Gravity*

Darwin, sin duda. La belleza y la sencillez de su explicación son asombrosas. Estoy seguro de que otros han señalado la selección natural de Darwin como su explicación profunda, elegante y bella favorita, pero, incluso así, quiero subrayar el alcance general de la intuición central darwiniana, que va mucho más allá del resultado monumental de haber aclarado que compartimos los mismos ancestros con todos los seres vivientes de la Tierra y es directamente relevante para la esencia de toda la iniciativa científica.

Poco después de que los físicos de la Antigüedad griega empezaran a desarrollar explicaciones naturalistas de la naturaleza, surgió una objeción general. Esta objeción está bien expresada en Platón —por ejemplo, en el *Fedón*— y especialmente en la discusión aristotélica sobre la teoría de las «causas». Las explicaciones naturalistas se apoyan en lo que Aristóteles llamaba la «causa eficiente», es decir, fenómenos pasados que provocan efectos. Pero el mundo parece estar dominado por fenómenos que pueden entenderse en términos de «causas finales», esto es, un propósito o un objetivo. Éstos son evidentes en el reino de la vida. Tenemos boca «para» poder comer. La importancia de esta objeción no puede ser subestimada: hundió el antiguo naturalismo y, en las mentes de muchos, sigue siendo la fuente principal de resistencia psicológica a una explicación naturalista del mundo.

Darwin descubrió el mecanismo espectacularmente simple por el que causas eficientes producen fenómenos que parecen estar gobernados por causas finales. Siempre que tenemos fenómenos que pueden reproducirse, los

fenómenos reales que observamos son los que se siguen reproduciendo y, por tanto, son los mejores en reproducirse, y, así, podemos leerlos como causas finales. Dicho de otro modo, una causa final puede resultar efectiva para entender el mundo porque es un atajo para explicar la historia pasada de un fenómeno continuo.

Desde luego, esta idea no es nueva. Empédocles especuló que la finalidad aparente del mundo natural podía ser el resultado de una aleatoriedad selectiva, y el propio Aristóteles, en su *Física*, menciona una versión de esta idea para las especies («semillas»). Pero la época no estaba todavía madura y su sugerencia se perdió en las posteriores etapas religiosas. Creo que la resistencia a Darwin no está sólo en la dificultad de ver el poder de una explicación espectacularmente bella, sino en el miedo de reconocer el poder extraordinario que tiene una explicación así para destruir las viejas concepciones del mundo.

La atrasada desaparición de la monogamia



AUBREY DE GREY

Gerontólogo, director científico de la
Fundación SENS, autor de *El fin del
envejecimiento*

La biología evolutiva tiene muchos argumentos convincentes que explican por qué varias especies, en especial el *Homo sapiens*, adoptaron un estilo de vida en el que los machos y las hembras se aparejan a largo plazo. Pero aquí mi tema no es ninguna de estas explicaciones, sino la explicación de por qué estamos cerca —mucho más cerca de lo que mucha gente, incluso de lo que la mayoría de los lectores de Edge se dan cuenta— del mayor avance social, como oposición a «tecnológico», de la historia de la civilización.

En 1971, el filósofo estadounidense John Rawls acuñó el término «equilibrio reflexivo» para describir «un estado de equilibrio o coherencia entre un conjunto de creencias a las que se ha llegado a través de un proceso de ajustes mutuos deliberativos entre principios generales y opiniones particulares».[6] En términos prácticos, el equilibrio reflexivo trata sobre nuestra manera de identificar y resolver las incoherencias lógicas en nuestra moral dominante. Ejemplos como la oposición a la esclavitud o como innumerables «ismos» (sexismo, machismo) están muy claros: los argumentos que funcionaban mejor eran los que subrayaban la hipocresía de mantener la aceptación de las actitudes existentes frente a actitudes contrarias ya establecidas en asuntos que eran indiscutiblemente análogos.

El equilibrio reflexivo tiene mi voto como explicación más elegante y bella debido a su inmensa amplitud de aplicaciones y también por su falta de dependencia de otras posturas controvertidas. Y, lo más importante, que sobresale de la cuestión del cognitivismo, el debate sobre si existe algo así como la moralidad objetiva. Los cognitivistas aseguran que hay ciertos actos

que son inherentemente buenos o malos, sin tener en cuenta la sociedad en la que ocurren o dejan de ocurrir, de manera muy parecida a como, generalmente, se cree que las leyes de la física son independientes de aquellos que observan sus efectos. En cambio, los no-cognitivistas afirman que no hay ninguna postura moral universal y que toda (hipotética) sociedad hace sus propias reglas morales sin restricciones, de manera que incluso los actos que podríamos considerar de forma inequívoca inmorales en alguna otra cultura podrían estimarse moralmente inofensivos. Pero cuando tomamos decisiones reales sobre si tal o cual postura es moralmente aceptable o no, el equilibrio reflexivo nos libera de la necesidad de adoptar un punto de vista sobre la cuestión del cognitivism. En resumen, explica por qué no necesitamos saber si la moralidad es objetiva.

Destaco aquí la monogamia porque, de los muchos temas a los que puede resultar práctico aplicar el equilibrio reflexivo, la postura de la sociedad occidental frente a la monogamia está en su momento más crítico. La monogamia actual es comparable a la heterosexualidad hace no demasiadas décadas, o a la tolerancia frente a la esclavitud hace ciento cincuenta años. Hay bastantes personas que se desvían de ella, una minoría mucho menor que defiende activamente la aceptación de esta desviación, pero la mayoría de la gente la defiende, y desprecia la postura de esta minoría. ¿Por qué es esto el «momento crítico»? Porque es el punto en el que los líderes del pensamiento ilustrado pueden marcar la mayor diferencia en cuanto a la velocidad con que ocurre la transición hacia la postura moralmente inevitable.

Primero quiero dejar claro que estoy hablando de sexo y no (necesariamente, en cualquier caso) de vínculos emocionales más profundos. Sea cual sea la postura o predilección de cada uno en cuanto a la aceptabilidad o deseabilidad de tener vínculos emocionales profundos con más de una pareja, la satisfacción de las responsabilidades que estos vínculos suponen tienden a ocupar una parte importante de las veinticuatro horas del día de cualquier persona. Las complicaciones que surgen de esta incómoda verdad las podríamos comentar en otro momento. En este artículo, me centraré en las relaciones lo bastante frívolas (sean o no repetidas) como para que la disponibilidad del tiempo no sea un factor relevante.

Una discusión sobre el equilibrio reflexivo empieza siempre con la identificación de los puntos de vista convencionales, con los que uno hace entonces el paralelismo. En este caso, todo gira en torno a los celos y el dominio. Pensemos en el ajedrez, o en la bebida. Son raramente actividades solitarias. En cambio, en general, ¿se considera normal que un amigo con el que solemos jugar al ajedrez se sienta ofendido si jugamos al ajedrez con otra persona? De hecho, si alguien exhibiera celos en este terreno, ¿no sería visto como inaceptablemente autoritario y egoísta?

Probablemente a estas alturas mi planteamiento es ya evidente. Es simplemente afirmar que el sexo no tiene ningún componente que lo diferencie moralmente de otras actividades llevadas a cabo por dos (o más) personas colectivamente. En un mundo que ya no está guiado por la eficiencia reproductiva, y presuponiendo que todas las partes implicadas toman las precauciones adecuadas en cuanto a embarazo y enfermedad, el sexo es abrumadoramente una actividad recreativa. Entonces, ¿qué es lo que lo distingue de otras actividades recreativas? Una vez vemos que la respuesta es nada, el equilibrio reflexivo nos obliga a adoptar una de las dos posturas: o empezamos a disgustarnos por la temeridad de nuestros contrincantes habituales de ajedrez porque juegan con otros, o dejamos de disgustarnos por lo equivalente en la actividad sexual.

Mi predicción de que el fin de la monogamia está extremadamente cerca surge de la referencia que acabo de hacer a la eficiencia reproductiva. Todas las sociedades de la historia han experimentado una abrupta reducción de la fertilidad cuando han conseguido un nivel de prosperidad que permitía niveles razonables de educación y emancipación de la mujer. La monogamia es prácticamente obligatoria cuando una mujer se pasa toda su vida adulta al cuidado de niños pequeños, porque de lo contrario no habría la seguridad de su apoyo económico continuado. Pero cuando lo habitual es que los dos sexos sean económicamente independientes, esta lógica se viene abajo. Esto es especialmente cierto para la creciente proporción de hombres y mujeres que eligen posponer la procreación hasta que son de mediana edad (si es que llegan a tener hijos).

Me doy cuenta de que los rápidos cambios en la moral que rige a una

sociedad necesitan algo más que la eliminación de las influencias que preservan el statu quo; necesitan un impulso activo. ¿Cuál es el impulso en este caso? Sencillamente, el dolor y el sufrimiento que surgen cuando la posesión y los celos inherentes a la mentalidad monógama chocan contra los cambios de afecto y aspiraciones asincrónicas intrínsecos a la reacción de los seres humanos a las interacciones sociales en evolución. El sufrimiento gratuito es un anatema para todos. Así, la comprensión de que esta categoría particular de sufrimiento es totalmente gratuita no sólo tiene una fuerza moral irresistible (vía del principio del equilibrio reflexivo), sino también una inmensa utilidad emocional.

La suerte está echada.

**La explicación de
Boltzmann de la Segunda
Ley de la Termodinámica**

LEONARD SUSSKIND

Profesor de física de la cátedra Felix Bloch,
Stanford; director del Stanford Institute for
Theoretical Physics; autor de *La guerra de los
agujeros negros: una controversia científica
sobre las leyes últimas de la naturaleza*

«¿Cuál es tu explicación profunda, elegante o bella preferida?» Para un físico teórico es una pregunta difícil; la física teórica trata precisamente de explicaciones profundas, elegantes y bellas, y hay muchas entre las que elegir.

Personalmente, mis explicaciones preferidas son las que extraen mucho de poco. En física, eso significa una ecuación simple o un principio muy general. Pero debo confesar que ninguna ecuación ni principio me atraen tanto como el de la evolución darwiniana, con el mecanismo del gen egoísta que contiene. Para mí, posee lo mismo que poseen las mejores explicaciones de la física: una especie de inexorabilidad matemática. Pero hay mucha gente que es capaz de explicar la evolución mejor que yo, de modo que me limitaré a lo que conozco mejor.

Como físico, mi estrella polar ha sido siempre la explicación que hace Ludwig Boltzmann de la segunda ley de la termodinámica, que dice que la entropía nunca disminuye. Para los físicos de finales del siglo XIX, se trataba de una grave paradoja. La naturaleza está llena de fenómenos irreversibles: cosas que ocurren fácilmente pero que no podrían suceder en el sentido inverso. No obstante, las leyes fundamentales de la física son totalmente reversibles: cualquier solución de las ecuaciones de Newton se puede leer hacia atrás y sigue siendo una solución. Así, si la entropía puede aumentar, las leyes de la física dicen que tiene que poder disminuir. Pero la experiencia lo desmiente. Por ejemplo, si miras una película de una explosión nuclear hacia

atrás, sabes perfectamente que es ficción. Como norma, las cosas van en una dirección y no en la contraria. La entropía aumenta.

Lo que Boltzmann descubrió es que la segunda ley —«la entropía nunca disminuye»— no es una ley en el mismo sentido que la ley de la gravedad de Newton o que la ley de la inducción de Faraday. Se trata de una ley probabilista que tiene el mismo rango que la siguiente afirmación obvia: si echas una moneda al aire un millón de veces, no obtendrás un millón de caras. Sencillamente, no ocurrirá. Pero ¿es posible? Sí, lo es; no viola ninguna ley física. ¿Es probable? No, en absoluto. La formulación de Boltzmann de la segunda ley fue muy parecida. En vez de decir que la entropía no disminuye, dijo que la entropía *probablemente* no disminuye. Pero si esperas el tiempo suficiente en un espacio cerrado, con el tiempo verás decrecer la entropía; de manera accidental, las partículas y el polvo se juntarán y formarán una bomba perfectamente construida. ¿Cuánto tiempo? Según los principios de Boltzmann, la respuesta es la exponencial de la entropía creada cuando la bomba explota. Es decir, estamos hablando de muchísimo tiempo, mucho más del que se tarda en echar una moneda al aire un millón de veces seguidas.

Pondré un ejemplo sencillo para ver cómo es posible que las cosas sean más probables de una manera o de otra, a pesar de que ambas sean posibles. Imaginemos una colina muy alta que llega hasta un punto estrecho —una aguja— en la cumbre. Ahora imaginemos una bola de petanca equilibrada encima de la punta. Sopla una débil brisa. La bola rueda colina abajo y la atrapamos en la base. Ahora, veámoslo marcha atrás: la bola abandona nuestra mano, rueda colina arriba y, con una exactitud increíble, alcanza la cima... ¡y se detiene! ¿Es posible? Lo es. ¿Es probable? No. Deberíamos tener una precisión casi perfecta para llevar la bola hasta la cima, por no hablar de la posibilidad de que se detuviera justo ahí. Lo mismo ocurre con la bomba: si pudiéramos llevar marcha atrás todos los átomos y partículas con la precisión suficiente, podríamos lograr que los productos de la explosión se volvieran a juntar. Pero con una mínima inexactitud en el movimiento de una sola partícula, lo único que obtendríamos sería más desastre.

Y todavía otro ejemplo: echemos una gota de tinta negra en un recipiente de agua. La tinta se disuelve y, al final, tiñe el agua de gris. ¿Podría alguna vez

un vaso de agua gris llegar a despejarse y producir una pequeña gota de tinta? No es imposible, pero sí altamente improbable.

Boltzmann fue el primero en entender la base estadística de la segunda ley, pero también fue el primero en entender lo inadecuado de su propia formulación. Supongamos que encontramos un recipiente que se llenó hace miles y miles de años y que nadie ha vuelto a tocar nunca más. Lo observamos y constatamos, hecho improbable, que contiene una nube de tinta algo localizada. Lo primero que tal vez te preguntes es: ¿qué ocurrirá a continuación? La respuesta es que casi seguro que la tinta se extenderá un poco más. Pero, por la misma lógica, si preguntas qué es lo más probable que ocurriera hace un momento, la respuesta sería la misma: es probable que estuviera más dispersa de lo que está ahora. La explicación más probable sería que la mancha de tinta es tan sólo una fluctuación momentánea.

De hecho, no creo que llegaras en absoluto a esta conclusión. Una explicación mucho más lógica sería que, por motivos desconocidos, el recipiente empezara no hace tanto tiempo con una gota de tinta concentrada, que luego se expandió. Entender por qué la tinta y el agua van en una dirección se convierte en un problema de «condiciones iniciales». ¿Qué es lo que, de entrada, determinó la concentración de tinta?

Lo que sucede con el agua y la tinta es análogo a la cuestión del porqué la entropía aumenta. Aumenta porque lo más probable es que lo haga. Pero las ecuaciones dicen que lo más probable es también que aumente hacia el pasado. Para entender por qué tenemos esta intuición sobre el sentido en que evolucionan los fenómenos naturales, debemos plantearnos la misma pregunta que se planteó Boltzmann: ¿por qué era la entropía tan pequeña al principio? ¿Qué creó el universo con un nivel tan bajo de entropía? Se trata de una cuestión cosmológica sobre la que todavía tenemos muy pocas certezas.

He empezado por contaros cuál es mi explicación favorita y he acabado explicando cuál es mi problema no resuelto favorito. Me disculpo por no haber seguido las instrucciones. Pero es así como funcionan todas las buenas explicaciones. Cuanto mejores son, más dudas plantean.

La materia oscura de la mente



JOEL GOLD

Psiquiatra; profesor clínico adjunto de
psiquiatría, Facultad de Medicina de la NYU

Hay hombres que desean un matrimonio estable pero siguen engañando a sus esposas. Hay personas que quieren tener una carrera profesional llena de éxitos, pero siguen desautorizándose en su trabajo.

Aristóteles definió al hombre como a un animal racional, pero contradicciones como éstas demuestran que no lo somos. Todas las personas viven con los conflictos entre lo que quieren y cómo viven. Durante la mayor parte de la historia de los seres humanos, no hemos tenido manera de explicar esta paradoja hasta que Freud la resolvió con su descubrimiento del inconsciente. Antes de Freud, cuando buscábamos respuestas relativas a lo que sabíamos y sentíamos, estábamos limitados a nuestro conocimiento consciente. Lo único que teníamos para explicar los pensamientos, sentimientos y motivaciones incompatibles se limitaba a aquello que teníamos disponible en lo consciente. Sabíamos lo que sabíamos, y sentíamos lo que sentíamos. La explicación elegante de Freud postulaba un espacio conceptual, no manifiesto para nosotros, en el que reina la irracionalidad. Este aspecto de la mente no está sujeto a las restricciones de la racionalidad, como la inferencia lógica, la causa y el efecto y el tiempo lineal. El subconsciente explica por qué personas presumiblemente racionales viven vidas irracionales.

Los detractores tal vez se opongan a lo que Freud creía que reside en el inconsciente —los impulsos tanto sexual como agresivo, de defensa, los conflictos, las fantasías, los afectos y las creencias—, pero nadie osaría denegar la existencia de aquél; el subconsciente es hoy algo aceptado por todos. ¿Cómo, si no, explicaríamos nuestros tropiezos por la vida, inseguros de nuestras motivaciones, inescrutables para nosotros mismos? Me pregunto

qué cree un conductista que está en juego cuando está a punto de divorciarse de su tercera pelirroja astigmática.

El universo consiste básicamente en materia oscura. No podemos verla, pero tiene una enorme fuerza de gravedad. La mente consciente —de manera muy similar al aspecto visible del universo— es sólo una pequeña fracción del mundo mental. La materia oscura de la mente, el subconsciente, tiene la mayor gravedad psíquica. Cuando no tenemos en cuenta la materia oscura del universo, aparecen las anomalías; cuando ignoramos la materia oscura de la mente, nuestra irracionalidad resulta inexplicable.

**«Hay más cosas en el cielo
y la tierra [...] De las que
se sueñan en tu filosofía.»**



ALAN ALDA

Actor, escritor, presentador del programa de la
PBS *The Human Spark*; autor de *Things I
Overheard While Talking to Myself*

Eso no suena a explicación, pero me lo tomo como si lo fuera. Para mí, la admonición de Hamlet explica la confusión e incertidumbre del universo (y, últimamente, del multiverso). Nos sigue apremiando cuando, como siempre sucederá, nuestras filosofías producen anomalías. Responde a la pregunta tácita «¿qué diablos?». Con cada puerta de la naturaleza que vamos abriendo aparecen cien puertas nuevas, cada una con su propio e inescrutable candado codificado. Es a la vez una explicación y un reto, porque siempre queda más por saber.

Me gusta la manera en que siempre forma un bucle y vuelve a sí mismo. Cada vez que descubres algo nuevo en el cielo o en la tierra, se incorpora a tu filosofía, y eso será de nuevo desafiado con la llegada de más y más cosas nuevas.

Como todas las explicaciones, por supuesto, tiene sus límites. Hamlet lo dice para apremiar a Horacio a aceptar la posibilidad de que los fantasmas existan. De la misma manera, se podría utilizar para estimular la creencia en los OVNIS, la astrología y hasta en Dios, como si dijéramos que la existencia de algo se demuestra por el mero hecho de que no se pueda demostrar que no existe.

Y, con todo, la frase nos lleva a algunos sitios. No como un taxi que lleva al final del pensamiento, sino como pasaporte a la exploración. La mejor manera de enfocar las palabras de Hamlet es como si fuera una carraca, una palabra terrenalmente bella por su sonido y por su significado: algo que sigue avanzando, pero conserva lo que funciona. Necesitamos a Einstein como GPS,

pero con Newton todavía podemos llegar a la Luna.

**Una reacción no resuelta
(y, por tanto, tampoco
bella) a la pregunta Edge**

REBECCA NEWBERGER GOLDSTEIN

Filósofa, novelista; profesora Franke invitada,
Whitney Humanities Center, Yale; autora de *36
Arguments for the Existence of God: A Work
of Fiction*

La Pregunta Edge de este año se adapta con dificultad a una pregunta más profunda: ¿de dónde sacamos la idea —una idea fantástica si te paras a pensarlo— de que la belleza de una explicación tiene algo que ver con la probabilidad de que sea cierta? ¿Qué tienen en común la verdad y la belleza? ¿Existe alguna buena explicación sobre el porqué la idea esencial de la estética (blanda) ha de introducirse en la noción fundamental de la ciencia (rigurosa)?

Se puede pensar que, más que un criterio para evaluar explicaciones, la noción de belleza es un fenómeno que, más que explicar hay que justificar. Tomemos como ejemplo nuestra impresión de que las caras y los cuerpos simétricos son bellos. Resulta ser que la simetría es un buen indicador de salud y, por consiguiente, del valor como pareja. Para el organismo es un reto importante coordinar la producción de sus miles de millones de células de manera que sus dos lados se desarrollen como pares perfectos, capaces de mantener las enfermedades a raya y de evitar las lesiones, las mutaciones y la malnutrición. Los pechos femeninos simétricos, por ejemplo, son un buen indicador de fertilidad. Como saben nuestros genes de la libido, la simetría es señal de solidez genética; el desequilibrio nos parece desalentador. Y ocurre lo mismo con otros componentes de la belleza humana: la piel radiante, los ojos expresivos, el aspecto joven (al menos en las mujeres). El resultado es que no queremos aparejarnos con personas porque sean bellas, sino que son bellas porque queremos aparejarnos con ellas, y queremos aparejarnos con

ellas porque nuestros genes apuestan por ellas como reproductoras.

Y también podemos pensar que la belleza de todo tipo ha de ser justificada de manera similar, como un llamativo fenómeno secundario sin sustancia propia. Lo que me lleva a la Pregunta Edge sobre las explicaciones bellas. ¿Hay algo en esta noción de belleza explicativa, una guía para elegir entre alternativas explicativas, o se trata simplemente de que cualquier explicación que sea satisfactoria, precisamente por este motivo y no por otro, nos llamará la atención por su belleza, por su belleza explicativa, de modo que la referencia a la belleza, de nuevo, carece de toda sustancia? Eso sería una explicación de la misteriosa inyección de estética que contiene la ciencia. La conclusión sería que las explicaciones no son satisfactorias por su belleza, sino que son bellas porque resultan satisfactorias. Desnudan a los fenómenos de todo misterio y, tal vez, de regalo, aparcan otros fenómenos que pueden despojarse de misterio mediante el mismo mecanismo explicativo. ¿Puede la belleza explicativa justificarse, siendo sumariamente descartada mediante una explicación eliminadora? (Las explicaciones eliminadoras son bellas.)

Me gustaría acabar aquí con una explicación bella que justificara la belleza explicativa, pero hay alguien que me está susurrando al oído. Es ese maldito Platón. Platón sigue hablando de cómo la idea de belleza explicativa contiene más de lo que se reconoce en la explicación eliminativa. En particular, insiste, como lo hace en su *Timeo*, en que la belleza de la simetría, en especial como está expresada en la matemática de las leyes físicas, no se puede justificar con la prestidigitación del párrafo anterior. Amonesta la explicación eliminativa de la belleza explicativa porque ignora los muchos ejemplos de la historia en los que la insistencia en la belleza de la simetría provocó un progreso científico significativo. ¿Qué es lo que llevó a James Clerk Maxwell a sus cuatro ecuaciones sobre el electromagnetismo si no su intento de imponer la simetría matemática en los campos de la electricidad y el magnetismo? ¿Qué es lo que llevó a Einstein a su ecuación de la gravedad, si no la insistencia en la belleza de las matemáticas?

Las explicaciones eliminativas son bellas, pero sólo cuando explican de manera cierta y exhaustiva. Así que, en vez de ofrecer una respuesta a la Pregunta Edge de este año, ofrezco una reacción no resuelta (y, por tanto,

carente de belleza) a la pregunta profunda en la que se basa.

El universo de Ptolomeo



JAMES J. O'DONNELL

Clasicista; rector de la Universidad de
Georgetown; autor de *The Ruin of the Roman
Empire*

Claudio Ptolomeo explicó el cielo. Era un egipcio que escribía en griego en el Imperio romano, en los tiempos de emperadores como Trajano y Adriano. Su libro más famoso fue titulado por sus traductores árabes como el *Almagesto*. Heredó una larga tradición antigua de ciencia astronómica que se remontaba a Mesopotamia, pero puso su nombre y su huella en la descripción matemática más conocida y de momento más duradera del funcionamiento de los cielos.

El universo geocéntrico de Ptolomeo es hoy conocido principalmente como aquello que Copérnico, Kepler, Newton y Einstein abandonaron correctamente, en oleadas progresivas de progreso de la ciencia moderna, pero merece nuestra profunda admiración. El universo de Ptolomeo, en realidad, tenía sentido. Sabía la diferencia entre planetas y estrellas, y sabía que los planetas merecían un poco de explicación. (La palabra griega *planētēs* significa «vagabundo, errante», para reflejar el asombro antiguo ante el hecho de que esas luces brillantes se movieran sin seguir ningún patrón que un pastor o un marinero pudieran seguir intuitivamente, a diferencia de la tranquilizadora marcha anual de Orión o la rotación de las grandes osas de ahí arriba.) De modo que Ptolomeo representa la máquina celestial en un complejo sistema matemático más notable por sus «epiciclos», las órbitas dentro de órbitas, por así decirlo, por las cuales los planetas, mientras giran alrededor de la Tierra, disparaban sus órbitas en círculos menores que explicaban su aparente movimiento hacia delante y hacia atrás en el cielo nocturno.

Debemos admirar a Ptolomeo por muchos motivos, pero el principal es

éste: hizo su trabajo con rigor y responsabilidad con las herramientas que tenía. Teniendo en cuenta lo que sabía, su sistema se concibió de manera brillante, con solidez matemática, y representó un enorme avance sobre lo que había hasta entonces. Sus observaciones eran pacientes y cuidadosas y todo lo completas que podían ser; sus cálculos matemáticos eran correctos. Además, su sistema matemático era tan complicado como tenía que ser y, al mismo tiempo, tan simple como fue necesario, teniendo en cuenta los elementos con los que contaba. En resumen, fue un auténtico científico. Marcó la pauta.

Transcurrió mucho tiempo y hubo largas discusiones antes de que la astronomía pudiera avanzar más allá de lo que él aportó, y eso es una señal de su logro. Pero cuando el avance fue posible, Ptolomeo había impedido que éste llegara de la mano del pensamiento iluso, de los hechiceros o de la fantasía. Sus sucesores en la edad dorada de la astronomía moderna tuvieron que jugar con sus normas. Tuvieron que observar más cuidadosamente, aplicar sus matemáticas con un rigor preciso y proponer sistemas en el punto exacto de complejidad y sencillez. Ptolomeo desafió a los modernos a que lo superaran... y ellos pudieron y lo hicieron. Le debemos mucho.

La cuasielegancia



PAUL STEINHARDT

Cátedra Albert Einstein de ciencias,
departamento de física y astrofísica,
Universidad de Princeton; coautor (con Neil
Turok) de *Endless Universe*

Mi primer contacto con la verdadera elegancia en ciencias fue a través de un libro breve y relativamente popular titulado *Symmetry*, escrito por el reconocido matemático Hermann Weyl. Descubrí el libro en cuarto de básica y de vez en cuando vuelvo a leer alguno de sus pasajes. El libro empieza con una noción estética intuitiva de la simetría para el lector general, y expone interesantes ejemplos de arte, arquitectura, las formas biológicas y el diseño ornamental. Pero cuando llegamos al cuarto y último capítulo, Weyl pasa de la explicación caprichosa a la ciencia precisa a base de introducir elementos de la teoría de grupos, las matemáticas que transforman la simetría en una poderosa herramienta.

Para demostrar su poder, Weyl describe cómo se puede usar la teoría de grupos para explicar las formas de los cristales. Los cristales han fascinado al ser humano a lo largo de toda la historia por la belleza de las formas que crean. La mayoría de las rocas contienen una amalgama de distintos minerales, cada uno de los cuales es cristalino pero que se han agrupado, fundido, o erosionado hasta el punto de que las caras de los cristales resultan irreconocibles. No obstante, de vez en cuando, los mismos minerales forman grandes cristales individuales, y así es como los encontramos más atractivos estéticamente. El «óxido de aluminio» tal vez no suene como algo de valor, pero si se le añade un poco de cromo y se da a la naturaleza el tiempo suficiente para que actúe, obtenemos un rubí digno de la realeza.

Las caras de los cristales que encontramos en la naturaleza se juntan sólo

formando ciertos ángulos correspondientes a un pequeño conjunto de simetrías. Pero ¿por qué adopta la materia ciertas formas y no otras? ¿Qué información científica transmiten las formas? Weyl explica cómo se puede responder a estas cuestiones mediante unas matemáticas abstractas aparentemente sin relación y orientadas a responder una pregunta distinta: ¿qué formas pueden utilizarse para ensamblar un avión o llenar un espacio con formas idénticas uniéndolas por los cantos y sin dejar espacios vacíos?

Los cuadrados, rectángulos, triángulos, paralelogramos y hexágonos son capaces de hacerlo. Tal vez te imagines que muchos otros polígonos también funcionarían, pero inténtalo y te darás cuenta de que no hay más posibilidades. Los pentágonos, heptágonos, octógonos y todos los demás polígonos naturales no pueden ensamblarse sin dejar espacios. El librito de Weyl describe las matemáticas que permiten la clasificación completa de tales posibilidades; el recuento total es de tan sólo 17 en dos dimensiones (los llamados patrones de papel pintado) y 230 en tres dimensiones.

Lo asombroso de la lista fue que cuadraba con precisión con la lista de formas de cristales observadas en la naturaleza. La inferencia es que la materia cristalina es como una pavimentación hecha de bloques indivisibles e idénticos que se repiten para formar el sólido entero. Obviamente, hoy sabemos que estos bloques son núcleos de átomos o moléculas. Sin embargo, debemos tener presente que la conexión entre las matemáticas y los cristales reales se hizo en el siglo XIX, cuando la teoría atómica estaba todavía cuestionada. Es increíble que un estudio abstracto de mosaicos y bloques de construcción pueda llevar a una información tan precisa sobre los integrantes fundamentales de la materia y a una clasificación de todas las disposiciones de éstos. Es un ejemplo clásico de lo que el físico Eugene Wigner llamó la «irracional efectividad de las matemáticas en las ciencias naturales».

Pero la historia no acaba aquí. Con el desarrollo de la mecánica cuántica, se han utilizado la teoría de grupos y los principios de la simetría para predecir las propiedades electrónicas, magnéticas, elásticas y otras propiedades físicas de los sólidos. Emulando este logro, los físicos han utilizado con éxito los principios de la simetría para explicar los integrantes fundamentales de los núcleos y las partículas elementales, además de las

fuerzas con las que interactúan.

Como joven estudiante lector del libro de Weyl, pensé que la cristalografía parecía el ideal de aquello a lo que uno debe aspirar en ciencia: matemáticas elegantes que aportan una comprensión completa de todas las posibilidades físicas. Irónicamente, muchos años más tarde desempeñé un papel en la demostración de que mi «ideal» contenía serias imperfecciones. En 1984, Dan Shechtman, Ilan Blech, Denis Gratias y John Cahn informaron del descubrimiento de una misteriosa aleación sintética de aluminio y manganeso con una simetría icosaédrica.[7] La simetría icosaédrica, con sus seis ejes simétricos quíntuples, es la más famosa de las simetrías cristalinas prohibidas. Por suerte, Dov Levine (Technion) y yo habíamos estado desarrollando una nueva forma de sólido que bautizamos como *quasicrystals*, una abreviatura de «cristales cuasiperiódicos». (Una disposición atómica cuasiperiódica significa que sus posiciones atómicas se pueden describir mediante una suma de funciones oscilatorias cuyas frecuencias tienen un cociente irracional.) Nos inspiramos en un mosaico bidimensional inventado por sir Roger Penrose conocido como el mosaico Penrose, formado por dos losas dispuestas en una formación simétrica quíntuple. Demostramos que los *quasicrystals* podían existir en tres dimensiones y que no estaban sujetos a las leyes de la cristalografía. De hecho, podían contener cualquiera de las simetrías cristalinas prohibidas. Además, demostramos que las figuras de difracción predichas para los cuasicristales icosaédricos coincidían con las observaciones de Shechtman *et al.*

Desde 1984, los cuasicristales con otras simetrías prohibidas se han sintetizado en el laboratorio. El Premio Nobel de química de 2011 fue otorgado a Dan Shechtman por su avance experimental que cambió nuestra manera de concebir las formas posibles de la materia. Más recientemente, mis colegas y yo hemos hallado pruebas de que los cuasicristales podían haberse encontrado entre los primeros minerales formados en el sistema solar.

La cristalografía con la que me tropecé por primera vez en el libro de Weyl, que se consideraba completa e inmutable, resultó ser lamentablemente incompleta, pues ignoraba literalmente gran número de simetrías posibles en la materia. Tal vez haya una lección que aprender: a la vez que la elegancia y

la sencillez son a menudo criterios útiles para juzgar las teorías, a veces nos pueden confundir y llevar a pensar que estamos en lo cierto, cuando en realidad estamos terriblemente equivocados.

¿Objeto matemático u objeto natural?



SHING-TUNG YAU

Matemático, Universidad de Harvard; coautor
(con Steve Nadis) de *The Shape of Inner
Space*

La mayoría de los hechos científicos se basan en cosas que no podemos ver a simple vista, ni oír con los oídos, ni tocar con las manos. Muchos de ellos son descritos por la teoría matemática. Tanto es así que al final, se vuelve difícil diferenciar los objetos de la naturaleza de los objetos matemáticos que los representan.

Un ejemplo es el concepto de esfera. ¿Es la esfera una parte de la naturaleza, o es un artefacto matemático? Para un matemático, resulta difícil de decir. Tal vez el concepto matemático abstracto forme parte de la naturaleza. Y no es de extrañar que este concepto abstracto, en realidad, describa la naturaleza de manera bastante precisa.

Simplicidad



FRANK WILCZEK

Físico teórico, MIT; premio Nobel de física
(compartido) en 2004; autor de *La ligereza del
ser*

Todos tenemos una idea intuitiva de lo que es la simplicidad. En ciencia, la palabra se utiliza a menudo como término elogioso. Pensamos que las explicaciones sencillas son más naturales, sólidas y fiables que las complicadas. Aborrecemos los epículos, o las largas listas de excepciones o casos especiales. Pero ¿podemos dar un paso adelante crucial para transformar nuestras intuiciones sobre la simplicidad en conceptos precisos y científicos? ¿Hay una ciencia sencilla de la «simplicidad»? ¿Es la simplicidad algo que podemos cuantificar y medir?

Cuando pienso en las grandes cuestiones filosóficas, lo que probablemente ocurre más a menudo de lo que me convendría, una de mis técnicas favoritas es intentar formular la cuestión en términos que resultarían lógicos para un ordenador. Suele ser un método de destrucción: te obliga a ser claro, y una vez has disipado la niebla, descubres que queda muy poco de tu gran cuestión filosófica. Sin embargo, en este caso, al intentar comprender la naturaleza de la simplicidad, la técnica demostró ser creativa, puesto que me condujo directamente hacia una idea profunda (y simple) de la teoría matemática de la información: la idea de la longitud de una descripción (*description length*). En literatura científica, la idea recibe varios nombres, incluyendo entropía algorítmica y complejidad de Kolmogorov. Naturalmente, yo me quedo con la más simple.

La longitud de una descripción es en realidad una medida de la complejidad, pero para nuestro caso ya nos vale, puesto que podemos definir la simplicidad como lo opuesto —o, numéricamente, lo negativo— a la

complejidad. Para preguntarle a un ordenador lo complejo que es algo, tenemos que presentar ese «algo» de una forma que el ordenador pueda descifrar, es decir, como un archivo de datos, como una cadena de ceros y unos. Eso no es en absoluto una restricción paralizante: sabemos que los archivos de datos pueden representar películas, por ejemplo, de modo que podemos preguntar sobre la simplicidad de cualquier cosa que podamos presentar en una película. Puesto que nuestra película puede contener grabaciones de observaciones o experimentos científicos, podemos preguntar también sobre la simplicidad de una explicación científica.

Obviamente, los archivos interesantes de datos pueden ser muy grandes. Pero los archivos grandes no tienen por qué ser genuinamente complejos; un archivo que contiene billones de ceros y nada más no es genuinamente complejo. La idea de la duración de la descripción es, simplemente, que un archivo es sólo tan complicado como lo es su descripción más simple. O, dicho en términos que un ordenador podría identificar, un archivo es tan complicado como lo es el programa más corto que puede producirlo a partir de nada. Eso define una medida numérica de la simplicidad, precisa y ampliamente aplicable.

Una virtud impresionante de esta noción de la simplicidad es que ilumina y conecta otras ideas atractivas y acertadas. Pongamos, por ejemplo, el método de la física teórica. En física teórica, intentamos resumir los resultados de un gran número de observaciones y experimentos en términos de unas cuantas leyes muy potentes. Dicho de otro modo, nos esforzamos por producir el programa más breve posible que elabora el mundo. En ese sentido exacto, la física teórica es la búsqueda de la simplicidad.

Es adecuado añadir que la simetría, un rasgo esencial de las leyes físicas, es una potente incitadora de la simplicidad. Por ejemplo, si trabajamos con leyes que tienen simetría bajo la translación en el espacio y en el tiempo —es decir, leyes que se aplican de manera uniforme, en todos los lugares y en todos los instantes—, no necesitamos definir nuevas leyes para partes distantes del universo o para distintos períodos históricos, y podemos mantener la simplicidad de nuestra descripción universal.

La simplicidad lleva a la profundidad: para que un programa breve se

despliegue hasta tener ricas consecuencias, ha de soportar largas cadenas de lógica y de cálculos, que son la esencia de la profundidad.

La simplicidad lleva a la elegancia: los programas más breves no contendrán nada gratuito. Cada bit tendrá su papel, porque, de lo contrario, podríamos expurgarlo y abreviar el programa. Y sus distintas partes deberán funcionar juntas con muy buen encaje, con el fin de obtener mucho a partir de poco. Creo que hay pocos procesos tan elegantes como la construcción, siguiendo el programa de ADN, de un bebé a partir de un óvulo fertilizado.

La simplicidad lleva a la belleza: puesto que nos conduce, como hemos visto, a la simetría, que es un aspecto de la belleza. Como, de hecho, lo son la profundidad y la elegancia.

Por tanto, la simplicidad, entendida adecuadamente, explica qué es lo que convierte una buena explicación en profunda, elegante y bella.

La simplicidad en sí misma



THOMAS METZINGER

Philosophisches Seminar, Johannes Gutenberg
Universität Mainz; autor de *The Ego Tunnel*

La elegancia es algo más que una cualidad estética o que una especie de estímulo efímero que experimentamos en formas más profundas de comprensión intuitiva. La elegancia es la belleza formal. Y la belleza formal como principio filosófico es una de las ideas más peligrosas y subversivas que la humanidad ha descubierto: es la virtud de la simplicidad teórica. Su fuerza destructiva es mayor que el algoritmo de Darwin o que cualquier otra explicación científica, porque nos indica cuál es la profundidad de una explicación.

La elegancia como simplicidad teórica se presenta bajo distintas formas. Todo el mundo conoce la navaja de Ockham, el principio ontológico de la parsimonia: «Las entidades no han de multiplicarse más de lo necesario». Guillermo de Ockham nos dio un principio metafísico para elegir entre teorías competidoras. En igualdad de condiciones, lo racional es elegir la teoría que haga menos presuposiciones ontológicas.

«No debemos admitir más causas de las cosas naturales de las que son al mismo tiempo verdaderas y suficientes para explicar sus apariencias.» Isaac Newton lo formuló como Primera Regla del Razonamiento Filosófico, en su *Principia mathematica*. Desecha todo lo que sea explicativamente improductivo y luego pásale el muerto de la prueba al defensor de una teoría menos sencilla. En palabras de Albert Einstein, «El gran objetivo de toda la ciencia [...] es cubrir el mayor número posible de hechos empíricos con las deducciones lógicas a partir del menor número posible de hipótesis o axiomas».

Obviamente, en los debates técnicos de hoy día han surgido nuevas

preguntas: ¿por qué utilizar la metafísica? ¿No debemos medir, sencillamente, el número de parámetros libres y ajustables en las hipótesis en conflicto? ¿No es su sencillez sintáctica lo que mejor captura la elegancia en, pongamos, las abstracciones y los principios rectores basados en los números de los que se sirve una teoría? ¿O el verdadero criterio de la elegancia se encontrará finalmente en las estadísticas, en la selección del mejor modelo para un conjunto de puntos de referencia mientras se equilibra óptimamente la parsimonia con la «bondad de ajuste» de una curva adecuada? Y, por supuesto, para la simplicidad ontológica al estilo de Ockham, la gran pregunta sigue siendo: ¿por qué ha de ser una teoría parsimoniosa más probablemente cierta? Al final, ¿todo esto no está enraizado en una creencia profundamente oculta de que Dios debió de haber creado un universo bello?

Me parece fascinante ver cómo la idea de simplicidad ha mantenido su fuerza a lo largo de los siglos. Como principio metafórico, ha demostrado una gran fuerza, la fuerza subversiva de la razón y de la explicación reductora. La belleza formal de la simplicidad teórica es al mismo tiempo letal y creativa. Destruye las presuposiciones superfluas cuya falsedad no podemos forzarnos a creer, mientras que las explicaciones realmente elegantes dan siempre paso a una manera por completo nueva de contemplar el mundo. Lo que en realidad me gustaría saber es lo siguiente: ¿puede la percepción fundamental —la virtud destructiva y creativa de la simplicidad— transponerse desde el reino de la explicación científica a la cultura o al nivel de la experiencia consciente? ¿Qué tipo de simplicidad formal convertiría nuestra cultura en una cultura más profunda y bella? ¿Y qué es una mente elegante?

Einstein explica por qué la gravedad es universal



SEAN CARROLL

Físico teórico, Caltech; autor de *From Eternity to Here: The Quest for the Ultimate Theory of Time*

Los antiguos griegos creían que los objetos que pesan más caen más rápido que los más ligeros. Tenían un buen motivo para hacerlo; una piedra pesada cae rápidamente, mientras que un papel planea delicadamente hasta el suelo. Pero un experimento ideado por Galileo señaló el fallo. Imaginemos que cogemos el papel y lo atamos a la piedra. Junto, el nuevo cuerpo es más pesado que cualquiera de sus componentes y debería caer más rápido. Pero, en realidad, la hoja de papel frena el descenso de la piedra.

Galileo argumentó que la velocidad con la que caen los objetos sería en realidad una cantidad universal, independientemente de su masa o de su composición, si no fuera por el efecto de la resistencia del aire. El astronauta del *Apollo 15* Dave Scott ilustró este punto soltando una pluma y un martillo mientras se encontraba en el casi vacío de la superficie lunar; como había predicho Galileo, cayeron a la misma velocidad.

Muchos científicos se preguntaron por qué sucedía así. A diferencia de la gravedad, las partículas cargadas puestas en un campo eléctrico reaccionan de maneras distintas; las cargas positivas son impulsadas hacia una dirección, las negativas hacia la dirección contraria, y las neutras hacia ninguna parte. Pero la gravedad es universal: todos los cuerpos responden a ella de la misma manera.

Pensar en este problema llevó a Albert Einstein a lo que llamó «la ocurrencia más feliz de mi vida». Imaginemos un astronauta en una nave espacial sin ventanas ni manera alguna de ver el mundo exterior. Si la nave está lejos de cualquier estrella o planeta, todos los objetos que contiene

estarán en caída libre; no habrá ningún campo gravitacional que los empuje. Ahora pongamos la nave en la órbita de un objeto enorme, cuya gravedad sea considerable. Todos los objetos seguirán en caída libre, porque todos ellos están afectados por la gravedad de la misma manera; ningún objeto será empujado hacia o alejado de cualquier otro. Teniendo en cuenta solamente lo que se observa dentro de la nave, no hay forma de poder detectar la existencia de la gravedad.

Einstein, con su gran genio, se dio cuenta de la implicación profunda de esta situación: si la gravedad afecta a todos los objetos por igual, no es correcto pensar en la gravedad como en una «fuerza». La gravedad es más bien una propiedad del propio espacio-tiempo, a través del cual se mueven todos los objetos. En particular, la gravedad es la curvatura del espacio-tiempo. El espacio y el tiempo por los que nos movemos no son fijos y absolutos, como creyó Newton; se curvan y se extienden debido a la influencia de la materia y la energía. Como consecuencia, los objetos son empujados en distintas direcciones por la curvatura del espacio-tiempo, un fenómeno que llamamos «gravedad». Mediante una combinación de sutilezas matemáticas y una intuición física sin parangón, Einstein fue capaz de explicar un rompecabezas que había quedado sin resolver desde los tiempos de Galileo.

**La genética evolutiva y los
conflictos de la vida social
humana**



STEVEN PINKER

Cátedra Johnstone Family, departamento de psicología, Universidad de Harvard; autor de *Los ángeles que llevamos dentro*

La vida compleja es producto de la selección natural, que está impulsada por la competición entre reproductores. El resultado depende de los reproductores que movilizan mejor la energía y los materiales necesarios para copiarse a sí mismos, y de la rapidez con que son capaces de hacer copias que, a su vez, puedan replicarse. El primer aspecto de la competición puede llamarse supervivencia, metabolismo o esfuerzo somático; el segundo, replicación o esfuerzo reproductivo. La vida en todas las escalas, desde el ARN (o RNA) y el ADN hasta los organismos enteros, implementa rasgos que ejecutan —y compensan constantemente— estas dos funciones.

Uno de los dilemas de la vida es si otorgar recursos (energía, alimentos, riesgo, tiempo) a producir el mayor número posible de cachorros y dejar que se valgan por ellos mismos, o bien producir menos descendientes y potenciar las probabilidades de supervivencia y reproducción de cada uno de ellos. La continuidad de una especie traduce el grado de inversión paterna empleado por un organismo.

Puesto que la implicación paterna es finita, los organismos inversores se enfrentan a un segundo dilema: invertir recursos en un cachorro determinado o bien conservar estos recursos para invertirlos en sus hermanos existentes o potenciales.

Debido a la diferencia esencial entre los sexos —las hembras producen menos gametos pero más valiosos—, las hembras de la mayoría de las especies invierten más en sus cachorros que los machos, cuya inversión se acerca a menudo a cero. Las hembras de los mamíferos en particular han

optado por una inversión masiva, empezando por la gestación interna y la lactancia. En algunas especies, incluido el *Homo sapiens*, los machos también pueden invertir, aunque menos que las hembras.

La selección natural favorece la asignación de recursos no sólo de los padres a los cachorros, sino entre parientes genéticos, como los hermanos y los primos. De la misma forma que un gen que anima a un progenitor a invertir en sus cachorros estará favoreciendo una copia de él mismo que reside dentro de esos cachorros, un gen que anima a un organismo a invertir en un hermano o un primo, una parte del tiempo, estará ayudando a una copia de sí mismo y será seleccionado en proporción a los beneficios obtenidos, a los costes incurridos y al grado de parentesco genético.

Acabo de revisar los rasgos fundamentales de la vida en la Tierra (y posiblemente de la vida en todas partes), con la más mínima mención a los hechos contingentes sobre nuestra propia especie: sólo el hecho de ser mamíferos con inversión paterna del macho. Yo añadiría otro: que somos una especie inteligente que se enfrenta a los enigmas de la vida no sólo con adaptaciones fijadas y seleccionadas a lo largo del tiempo evolutivo, sino también mediante adaptaciones facultativas (conocimiento, lenguaje, socialización) que desplegamos en nuestras vidas y cuyos productos compartimos a través de la cultura.

A partir de estos principios profundos sobre la naturaleza del proceso evolutivo, uno puede deducir muchísimas cosas sobre la vida social de nuestra especie. (Aquí tengo que repartir crédito a: William Hamilton, George Williams, Robert Trivers, Donald Symons, Richard Alexander, Martin Daly y Margo Wilson.)

- El conflicto es una parte de la condición humana. A pesar de los mitos religiosos del Edén, las imágenes románticas del buen salvaje, los sueños utópicos de la armonía perfecta y las metáforas pegajosas como el apego, el vínculo y la cohesión, la vida humana no está nunca libre de fricción. Todas las sociedades tienen cierto grado de prestigio y estatus diferencial, de desigualdad de poder y de riqueza, castigos, normativas sexuales, celos, hostilidad hacia otros grupos y conflictos dentro del

grupo, incluyendo la violencia, la violación y el homicidio. Nuestras obsesiones cognitivas y morales rastrean estos conflictos. Hay un pequeño número de argumentos en la ficción del mundo, definidos por los adversarios (a menudo asesinos) y tragedias de parentesco o amor (o ambos). En el mundo real, nuestras historias vitales son en buena parte historias de conflictos: las heridas, culpabilidades y rivalidades causadas por amigos, parientes y rivales.

- El principal refugio de este conflicto es la familia (grupos de individuos con un interés evolutivo mutuo en el desarrollo próspero de sus miembros). Así, vemos que las sociedades tradicionales están organizadas alrededor del parentesco, y que los líderes políticos, desde los grandes emperadores hasta los tiranos de pacotilla, persiguen transferir el poder a sus descendientes. Formas extremas de altruismo, como donar un órgano o conceder un préstamo arriesgado, se suelen ofrecer a los parientes, así como los legados de riqueza después de la muerte, una causa mayor de la desigualdad económica. El nepotismo amenaza constantemente a las instituciones sociales, tanto religiones, como gobiernos o empresas, que compiten con los vínculos instintivos de la familia.
- Ni siquiera las familias son santuarios perfectos protegidos del conflicto, porque la solidaridad de los genes compartidos ha de lidiar con la competición por la inversión paterna. Los padres deben distribuir su inversión entre todos sus hijos, los nacidos y los no nacidos, con todos sus descendientes igualmente valiosos (siendo todo lo demás igual). Pero así como un descendiente tiene interés en el bienestar de sus hermanos, puesto que comparte la mitad de sus genes con cada hermano entero, también comparte todos sus genes consigo mismo, con lo cual tiene un interés desproporcionado en su propio bienestar. El conflicto implícito se desarrolla a lo largo de toda la vida: en la depresión posparto, el infanticidio, la ternura, el destete, la malcrianza, las pataletas, la rivalidad entre hermanos y las peleas por la herencia.
- El sexo no es totalmente un pasatiempo de placer mutuo entre mayores de edad. Eso es debido a que la distinta inversión parental mínima entre

hombres y mujeres se traduce en diferencias en sus intereses evolutivos finales. Los hombres, pero no las mujeres, pueden multiplicar su resultado reproductivo con múltiples parejas. Los hombres son más proclives que las mujeres a la infidelidad, y las mujeres son más vulnerables que los hombres al abandono. El sexo, por tanto, tiene lugar a la sombra de la explotación, la ilegitimidad, los celos, el abuso matrimonial, los cuernos, el abandono, el acoso y la violación.

- El amor no es lo único que necesitas ni es lo que hace girar el mundo. El matrimonio sí que ofrece a la pareja la posibilidad teórica de una superposición perfecta de intereses genéticos y, por tanto, una oportunidad del éxtasis que asociamos al amor romántico, porque sus destinos genéticos están unidos en el mismo paquete: es decir, sus hijos. Por desgracia, estos intereses pueden divergir debido a la infidelidad, los hijastros, los parientes políticos o las diferencias de edad, que son, no casualmente, fuentes mayores de conflicto matrimonial.

Nada de eso significa que las personas seamos robots controlados por la genética, que los rasgos complejos estén determinados por genes simples, que la gente pueda ser moralmente disculpada por pelearse, violar o coquetear, que la gente deba intentar tener todos los bebés que pueda, o que la gente sea inmune a las influencias de su cultura (para citar algunos de los malentendidos más comunes de las explicaciones evolutivas). Lo que sí significa es que una buena cantidad de formas recurrentes de conflicto humano salen de una pequeña cantidad de rasgos del proceso que hizo posible la vida.

La hipótesis de Faurie- Raymond



JONATHAN GOTTSCHALL

Académico de literatura; profesor adjunto,
Departamento de Inglés, Washington &
Jefferson College; autor de *The Storytelling
Animal*

Leí sobre la hipótesis de Faurie-Raymond hace muchos años, pero no cuajó dentro de mí hasta que me enfrenté a big Nick. Nick es un guardia nacional que se entrena conmigo en la academia local de artes marciales. Técnicamente sólo estábamos entrenando, no luchando. Pero Nick es tan fuerte, sus golpes tan sinceros que hasta cuando intenta pegar delicadamente te hace tambalear la consciencia. Sonó la campana y empezamos, y mi miedo se transformó rápidamente en desorientación. Había algo que no iba bien. Nick es muy potente, pero no tiene más técnica que yo, ni tampoco es lo que se diría un atleta elegante, ni un lanzador sofisticado. Nick se va abriendo paso: lanza, cruza; lanza, cruza, gancho. Nick no se balancea, ni se entrelaza. Nick se abre paso.

Entonces, ¿por qué no podía darle? ¿Por qué mis golpes pasaban inofensivos rozando sus sienes o rebotaban en su vientre? Y, ¿por qué, siempre que intentaba colarme y replicar, me acababa comiendo el guante? Seguía la estela de sus manos y todos los ángulos me parecían equivocados, los planos de su cara y de su cuerpo torcidos. No había nada sólido donde pegar. Y durante todo el tiempo, me martilleaba con golpes que yo percibía demasiado tarde... golpes lentos y fuertes, exasperantemente oblicuos.

Cuando finalmente fui salvado por la campana, nos abrazamos (menuda paradoja; no hay nada que haga que los hombres se amen tanto como una buena pelea a puñetazos). Me hundí en una de las sillas plegables con la cabeza palpitando y el sudor resbalándome, y me dije: «Eso lo confirma. Faurie-

Raymond tiene que ser cierto».

Nick representa un tipo que el 90 por ciento de los boxeadores temen y desprecian nada más verlos. Nick es zurdo, lo cual resulta, según mi profesor de boxeo, «una abominación» y «un defecto congénito». En eso, mi profesor se asocia a otras autoridades diestras en esta dulce ciencia, que no parecen bromear cuando dicen: «Todos los zocatos deberían ser ahogados al nacer».

La afirmación de que los zurdos son defectuosos tiene una sorprendente fracción de verdad. En un mundo de tijeras y pupitres diseñados para diestros, ser zurdo no es sólo incómodo, sino que es malo para uno mismo. Según una serie de estudios, los zurdos tienen un mayor riesgo de sufrir trastornos como esquizofrenia, retraso mental, inmunodeficiencia, epilepsia, discapacidades del aprendizaje, deformidad espinal, hipertensión, TDAH, alcoholismo y tartamudeo.

Lo que me lleva a hablar de Charlotte Faurie y Michael Raymond, un par de científicos franceses que estudian la evolución de la mano predominante. La mano izquierda predominante es un rasgo en parte hereditario y está asociada a importantes riesgos de salud. Entonces, ¿por qué —se preguntaron—, la selección natural no la ha eliminado totalmente? ¿Los costes de ser zurdo habían sido cancelados por beneficios ocultos de forma física?

Advirtieron que los zurdos tienen ventajas en los deportes como el béisbol y la esgrima, donde la competición es interactiva, pero no en deportes como la gimnasia o la natación, en los que no hay interacción directa. En las elites del críquet, el boxeo, la lucha libre, el tenis, el béisbol y otros, los zurdos están enormemente sobrerrepresentados. El motivo es obvio: puesto que el 90 por ciento de la población es diestra, los diestros suelen competir entre ellos. Cuando se enfrentan a zurdos, que lo hacen todo al revés, sus cerebros se tambalean y el resultado puede ser tan desequilibrado como mi vapuleo por parte de Nick. En cambio, los zurdos están acostumbrados a enfrentarse a diestros; cuando dos zurdos se enfrentan, cualquier confusión queda fuera de la cancha.

Faurie y Raymond dieron un salto mental. Las vidas de nuestros ancestros fueron generalmente más violentas que las nuestras. ¿No podría la ventaja deportiva de los zurdos —incluyendo en los deportes de combate, como el

boxeo, la lucha y la esgrima— extenderse a las batallas, ya fueran a puñetazos, a garrotazos o con lanzas? ¿Podían los beneficios deportivos de los luchadores zurdos haber superado los costes de salud asociados a su dominancia zurda? En 2005, publicaron un artículo apoyando su predicción de una fuerte correlación entre la violencia y la mano predominante en las sociedades preindustriales: cuanto más violenta era una sociedad, más zurdos había. La sociedad más violenta que estudiaron, los Eipo de las montañas de Nueva Guinea, estaba formada por casi un 30 por ciento de zurdos.[8]

¿Qué vuelve bella una explicación científica? Factores generales como la parsimonia tienen algo que ver, pero, como en cualquier cuestión estética, las peculiaridades del gusto personal tienen mucho que decir. ¿Por qué me parece atractiva la hipótesis de Faurie-Raymond? En parte porque se trataba de una idea casi temerariamente creativa, pero, en cambio, los datos parecían cuadrar. No obstante, principalmente porque su indudable verdad fue metida en mi cerebro por un joven soldado hace prácticamente un año.

Con eso no quiero decir, con mis disculpas a Kyats, que la belleza y la verdad sean sinónimas. A veces la verdad acaba siendo plana y aburrida. Muchas de las explicaciones más encantadoras, aquellas que adoramos casi con ternura maternal, resultan ser rotundamente falsas. Es lo que T. H. Huxley llamó tragedia científica, «cuando un dato feo se carga una bella hipótesis». Muchos estudios han examinado la hipótesis de Faurie-Raymond. Los resultados han sido de todo tipo, pero los datos que han aflorado son, para mi gusto, decididamente feos. Una encuesta reciente e impactante no encontró ninguna prueba de que los zurdos estén sobrerrepresentados entre los Eipo de las montañas de Nueva Guinea.[9]

Cuesta renunciar a una idea amada, una idea de esas que «sabías» que era verdad, una que estaba impresa en tu cabeza por la experiencia vivida, no por las estadísticas. Y todavía no me siento preparado para enviar ésta al cementerio de la ciencia bella pero muerta. Faurie y Raymond aportaron sus datos deportivos para apoyar su principal argumento sobre la lucha. Pero creo que los datos deportivos pudieron haber sido, de hecho, su principal argumento. Los genes de la dominancia de la mano izquierda tal vez hayan sobrevivido más por el acceso de los zurdos a los combates lúdicos que en los

reales, una posibilidad que Faurie y Raymond reconocen en un artículo posterior.^[10] Los enfrentamientos atléticos son importantes en todas las culturas. En todo el mundo, el deporte es una reserva principalmente masculina, y los ganadores —desde los capitanes de los equipos de fútbol hasta los luchadores tradicionales africanos, los corredores indios americanos y los jugadores de lacrosse— obtienen algo más que meros laureles: elevan su estatus cultural, reciben la admiración de los hombres y el deseo de las mujeres (las investigaciones confirman el tópico: los hombres atléticos tienen más éxito sexual). Esto plantea una posibilidad más amplia: que, más de lo que sabemos, nuestra especie haya tomado forma por la supervivencia de los más deportivos.

Polarización de grupo



DAVID G. MYERS

Profesor de psicología en el Hope College;
autor de *Psicología*, 10ª edición

Hace cuarenta y cinco años, hubo algunos experimentos sociopsicológicos que planteaban problemas argumentales que evaluaban la disponibilidad de las personas a asumir riesgos: por ejemplo, ¿qué posibilidades de éxito debía de tener un escritor novel para renunciar a sus ingresos fijos e intentar escribir una novela importante? Para asombro de todos, las discusiones de grupo llevaban a la gente a optar por un mayor riesgo, lo que desencadenaba una oleada de especulación sobre la tendencia al riesgo de grupos como jurados, juntas empresariales y el estamento militar. Pero resultó que salieron a la luz otros problemas en los que la deliberación del grupo llamaba a la precaución (¿debería un joven padre casado y con dos hijos jugarse los ahorros por un tentador consejo inversor?). De este desconcierto (¿empuja la interacción de grupo a correr riesgos o a ser precavidos?) surgió un principio más profundo y de elegancia sencilla: «La interacción de grupo tiende a amplificar las inclinaciones iniciales de la gente». Este fenómeno de la polarización de grupo se confirmó repetidamente. En un estudio, estudiantes con relativos prejuicios y otros con más bien pocos prejuicios se separaron por grupos y se les pidió que reaccionaran —antes y después de comentarlo entre ellos— a dilemas raciales, como un conflicto sobre los derechos de propiedad frente a la propiedad comunitaria. La discusión con compañeros de mentalidades parecidas aumentó la brecha de actitud entre los grupos con muchos y con pocos prejuicios.

Hoy día abunda la autosegregación de espíritus similares. Con el aumento de la movilidad, las comunidades conservadoras atraen a los conservadores, y las progresistas atraen a los progres. El periodista político Bill Bishop y el

sociólogo Robert Cushing informan que los *landslide counties* (condados en los que un 60 por ciento o más votan por un mismo candidato presidencial), casi se dobló entre 1976 y 2008.[11] Y cuando los barrios se convierten en cámaras de repercusión política, la consecuencia es una mayor polarización, como lo demostraron David Schkade, de la Universidad de California-San Diego, y sus colegas, al reunir pequeños grupos de habitantes de la progresista ciudad de Boulder y la conservadora Colorado Springs (ambas en Colorado). Las discusiones de la comunidad sobre cambio climático, acción afirmativa y uniones de personas del mismo sexo desviaron a la gente de Boulder más hacia la izquierda y a la de Colorado Springs más hacia la derecha.

El terrorismo es la polarización de grupo llevada al extremo. Prácticamente nunca surge de manera repentina, como acto personal en solitario, sino que los impulsos terroristas aparecen más bien entre personas que se juntan por el hecho de compartir agravios. Aislados de influencias moderadoras, la interacción de grupo se convierte en un amplificador social. Internet acelera las oportunidades tanto para los pacifistas como para los neonazis, para los frikis informáticos como para los góticos, para los tramadores de conspiraciones como para los supervivientes del cáncer para influir entre ellos. Cuando se organizan en redes sociales, los gatos del mismo pelaje encuentran magnificados sus intereses compartidos, sus actitudes y sus desconfianzas.

Ergo, una explicación elegante y socialmente significativa de las observaciones diversas es sencillamente ésta: segregación de opiniones + conversación → polarización.

La ecuación de Price



ARMAND MARIE LEROI

Profesor de biología evolutiva del desarrollo,
Imperial College, Londres; autor de *Mutantes:
de la variedad genética y el cuerpo humano*

Siempre que vemos fenómenos altamente ordenados —un bebé, una sinfonía, un artículo científico, una corporación, un gobierno, una galaxia— nos sentimos impulsados a preguntar: ¿de dónde surge este orden? Una respuesta, aunque es abstracta, es que cada uno de estos elementos es el producto de un proceso de variación-selección. Con ello me refiero a cualquier proceso que empieza por muchas variantes y en el que la mayor parte de ellas muere (o acaba en la papelera, o se disipa o se colapsa), dejando sólo a unas pocas que son lo bastante aptas (o fuertes, o atractivas, o estables) como para sobrevivir. La producción de formas orgánicas a través de la selección natural es, por supuesto, el ejemplo más famoso de tal proceso. Es hoy también un tópico que la cultura humana está impulsada por un proceso análogo; pero, como sugieren los ejemplos anteriores, los procesos de variación-selección pueden verse en todas partes, una vez sabemos lo que estamos buscando.

Muchos otros tuvieron esta idea, pero nadie vio sus implicaciones tan profundamente como George Price, un estadounidense residente en Londres, que en 1970 publicó una ecuación que describía procesos de variación-selección de todo tipo.^[12] La ecuación de Price, como se conoce actualmente, es simple, profunda y elegante: mi explicación candidata. Se puede utilizar para describir, *inter alia*, la sintonización de un dial de radio analógico, la cinética de las reacciones químicas, el impacto de la mortalidad neonatal en la distribución del peso de los neonatos humanos, el motivo por el que habitamos en este universo entre la multitud de los otros que no habitamos (suponiendo que los otros existen). Pero, para mí, la auténtica fascinación de la ecuación de

Price no está en la forma que le dio en 1970, sino en una ampliación que publicó al cabo de dos años.[13]

Una de las propiedades de los sistemas de variación-selección es que la selección puede ocurrir a niveles muy distintos. La música es claramente el resultado de un proceso de variación-selección. El compositor se sienta a su piano teniendo en cuenta lo que viene a continuación y elige una de la infinidad de notas, acordes o frases posibles. Observemos los manuscritos de Beethoven (*Op. 47*, la *Sonata Kreutzer*, es un buen ejemplo): tienen sus segundas opciones garabateadas. En 1996, Brian Eno tuvo la astucia de hacer explícito este fenómeno cuando utilizó el programa informático Koan de SSEYO para componer una colección siempre variante de piezas a las que llamó «música generativa».

Pero la música que llevamos en nuestros iPod es, por supuesto, no el simple resultado de las elecciones selectivas del compositor —ni siquiera las realizadas por productores, intérpretes, etc.—, sino de las nuestras. Como consumidores individuales, nosotros también somos selectivos y, por tanto, somos una fuerza creativa. Y no actuamos sólo como individuos, sino también como miembros de grupos sociales. Hay experimentos que demuestran que si sabemos qué música escuchan otras personas, estamos bastante dispuestos a incorporar (si no abandonar totalmente) nuestras propias preferencias estéticas y a seguir al rebaño, un fenómeno que explica por qué los éxitos musicales son tan difíciles de predecir. Así, los compositores, los consumidores y los grupos de consumidores dan forma entre todos al mundo de la música. Umberto Eco dijo algo muy parecido ya en 1962, en *Obra abierta*. Por supuesto, como crítico literario, lo único que podía hacer Eco era llamar la atención sobre el problema. Pero George Price lo resolvió.

En 1972, Price amplió su ecuación general de variación-selección para incluir la selección de múltiples niveles. Esta forma de la ecuación ha resultado útil para los biólogos de la evolución, y les ha permitido ver claramente, por ejemplo, la relación entre la selección de parentesco y de grupo y, así, dejar aparcadas las interminables polémicas derivadas de formulaciones matemáticas incompatibles. Todavía no se ha aplicado a la evolución cultural, aunque seguramente se hará. Pero la ecuación de Price

ampliada es incluso mucho más importante que esto. Desmenuza uno de los nudos gordianos a los que los científicos y los filósofos de la ciencia se enfrentan desde hace mucho tiempo.

Se trata del nudo de la reducción. ¿Puede el comportamiento de un sistema entenderse en términos de —es decir, «ser reducido a»— el comportamiento de sus componentes? Esta cuestión, de una u otra forma, domina toda la ciencia. Los biólogos de los sistemas frente a los bioquímicos, los científicos cognitivistas frente a los neurocientíficos, Durkheim frente a Bentham, Gould frente a Dawkins, Aristóteles frente a Demócrito... la brecha (epistemológica, ontológica y metodológica) entre las posturas holísticas y las reduccionistas se encuentra en la base de muchas de las grandes disputas científicas. También es la fuente de avances, a medida que una postura se va abandonando para favorecer a la otra. De hecho, los programas de investigación holísticos y reduccionistas coexisten a menudo en un estado de tregua incómoda (pensemos en cualquier departamento de biología). Pero cuando, como ocurre tan a menudo, se rompe la tregua y se reanuda la guerra abierta, está claro que lo que se necesita es una manera de repartir racionalmente las fuerzas creativas que operan a distintos niveles.

Eso es lo que aportó Price. Su ecuación es sólo aplicable a sistemas de variación-selección, pero si lo pensamos bien, la mayoría de los sistemas de creación de orden son sistemas de variación-selección. Y volviendo a nuestro mundo musical: ¿quién realmente le da forma? ¿Los seguidores de Beethoven cuando modifican sus archivos MIDI? ¿Los adolescentes que se descargan música en la soledad de sus dormitorios? ¿Los impulsos masivos del público? Creo que la ecuación de Price lo puede explicar. Desde luego, tiene bastante que explicar.

Deducciones inconscientes



GERD GIGERENZER

Psicólogo; director del Center for Adaptive Behavior and Cognition en el Max Planck Institute for Human Development, Berlín; autor de *Gut Feelings: The Intelligence of the Unconscious*

Las ilusiones ópticas son un placer para la vista, desconcertantes y robustas. Aunque les veamos el truco, la ilusión nos sigue atrapando. ¿Por qué existen? ¿Son simplemente extravagancias mentales? El físico y fisiólogo Hermann von Helmholtz (1821-1894) nos ofreció una bella explicación sobre la naturaleza de la percepción y sobre cómo genera ilusiones perceptivas de profundidad, espacio y otras propiedades. La percepción requiere apuestas astutas llamadas «deducciones inconscientes».

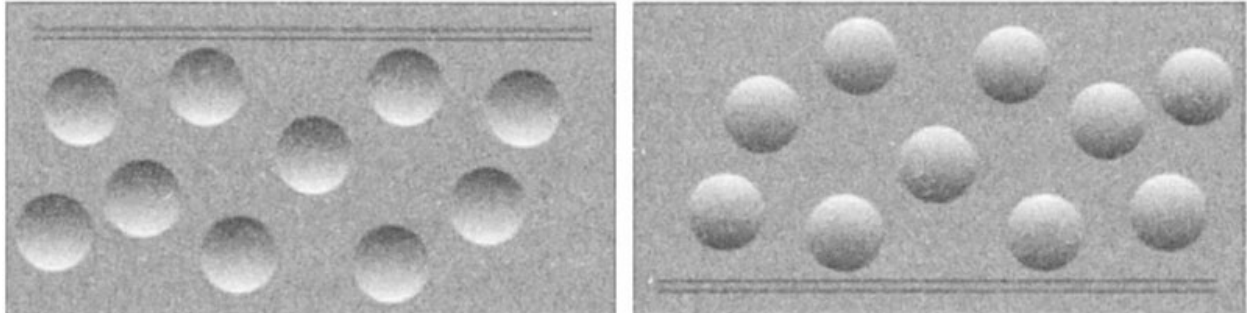
En el volumen III de su *Physiological Optics*, Helmholtz relata una experiencia de su infancia:

Puedo recordar cuando era niño y pasaba por delante de la capilla de la guarnición en Potsdam, donde siempre había unas cuantas personas situadas en el campanario. Yo pensaba que eran muñecas y le pedía a mi madre si podía bajármelas y dármelas, convencido de que podría hacerlo. Estas circunstancias me quedaron grabadas en la memoria, porque gracias a este error aprendí a entender la ley de escorzar en la perspectiva.

Esta experiencia infantil le enseñó a Helmholtz que la información que nos dan la retina y otros órganos sensoriales no basta para reconstruir el mundo. El tamaño, la distancia y otras propiedades necesitan deducirse a partir de pistas inciertas, que a su vez han de aprenderse de la experiencia. Basándose en esta experiencia, el cerebro dibuja deducciones inconscientes sobre el significado de una sensación. Dicho de otro modo, la percepción es una especie de

apuesta sobre lo que hay realmente ahí fuera.

Pero ¿cómo funciona esta inferencia? Helmholtz hizo una analogía con silogismos probabilísticos. La mayor premisa es un conjunto de experiencias que están lejos de la consciencia; la menor es la impresión sensorial presente. Observemos la «ilusión de los puntos» de V. S. Ramachandran y sus colegas del Centre for Brain and Cognition de la Universidad de California-San Diego.



Los topos de la imagen izquierda parecen cóncavos, por lo que se alejan de la superficie que ve el observador, mientras que los de la derecha parecen convexos, curvados hacia el observador. Si giramos la página, los puntos hacia dentro saldrán hacia fuera, y viceversa. De hecho, las dos imágenes son idénticas, excepto por el hecho de haber rotado 180°. La ilusión de los topos cóncavos y convexos ocurre porque nuestro cerebro hace deducciones inconscientes.

Premisa mayor:

Una sombra en la parte superior de un topo se asocia casi siempre a una forma cóncava.

Premisa menor:

La sombra está en la parte superior.

Deducción inconsciente:

La forma del topo es cóncava.

Nuestros cerebros presuponen un mundo tridimensional, y la premisa

mayor supone la tercera dimensión a partir de dos estructuras ecológicas:

1. La luz viene de arriba, y
2. sólo hay una fuente de luz.

Estas dos estructuras han dominado la mayor parte de la historia de los humanos y los mamíferos, durante la cual el sol y la luna fueron las únicas fuentes de luz, y la primera también se aplica aproximadamente a la luz artificial de hoy. Helmholtz habría sido partidario del punto de vista de que la premisa mayor se aprende de la experiencia individual; otros han sido más partidarios del aprendizaje evolutivo. En ambos casos, las ilusiones visuales se consideran el producto de deducciones inconscientes basadas en pruebas que normalmente son fiables pero que, en circunstancias especiales, pueden resultar engañosas.

El concepto de deducción inconsciente puede explicar también fenómenos de otras modalidades sensoriales. Un caso destacable en el que una premisa mayor de pronto resulta incorrecta es el caso de una persona a la que se le ha amputado una pierna. Aunque la premisa mayor («la estimulación de ciertos nervios está asociada a aquel pie») ya no es aplicable, los pacientes sienten igualmente dolor en dedos de pies que ya no tienen. La «extremidad fantasma» ilustra también nuestra incapacidad de corregir las deducciones inconscientes a pesar de nuestro conocimiento. El concepto de Helmholtz nos ha dado una nueva perspectiva sobre la percepción en particular y sobre la cognición en general:

1. La cognición es deducción inductiva. Actualmente, el silogismo probabilístico ha sido reemplazado por modelos estadísticos y heurísticos de deducción, inspirados por Thomas Bayes y Herbert Simon, respectivamente.
2. Las deducciones racionales no necesitan ser conscientes. Los sentimientos viscerales y la intuición funcionan con las mismas inferencias inductivas que la inteligencia consciente.
3. Las ilusiones son una consecuencia necesaria de la inteligencia. La

cognición requiere ir más allá de la información dada, para hacer apuestas y, por tanto, arriesgarse a cometer errores. ¿Estaríamos mejor sin ilusiones visuales? De hecho, estaríamos peor... como una persona que nunca dice nada para evitar equivocarse. Un sistema que no comete errores no es inteligente.

Los copos de nieve y el multiverso



MARTIN J. REES

Antiguo presidente de la Royal Society;
profesor emérito de cosmología y astrofísica,
Universidad de Cambridge; máster, Trinity
College; autor de *From Here to Infinity: A
vision for the Future of Science*

Un concepto asombroso ha entrado en la corriente principal del pensamiento cosmológico: la realidad física podría ser enormemente más extensa que la parcela de espacio y tiempo a la que tradicionalmente llamamos «el universo». Podría estar acechándonos una próxima degradación de Copérnico. Hemos aprendido que vivimos tan sólo en un sistema planetario entre miles de millones, en una galaxia entre miles de millones. Pero, bueno, la cosa no termina ahí. El panorama entero que los astrónomos son capaces de observar podría ser una parte ínfima del día después de «nuestro» big bang, que es, en sí mismo, un simple *bang* entre tal vez un conjunto infinito.

Nuestro entorno cósmico podría tener una textura muy rica pero a unas escalas tan enormes que nuestro alcance se limite a tan sólo un fragmento. No somos más conscientes de la «imagen global» de lo que un plancton cuyo universo fuera un litro de agua pudiera ser consciente de la topografía y la biosfera del mundo. Pero no hay motivo para esperar simplicidad a una mayor escala que en el entorno terrestre, en el que predomina la complejidad intrincada.

Además, los físicos adeptos a la teoría de cuerdas sospechan —por motivos bastante independientes de la cosmología— que podría haber una inmensa variedad de «estados vacíos». Si fuera así, los distintos universos podrían estar gobernados por distintas físicas. Algunas de las que llamamos leyes de la naturaleza podrían, en esta perspectiva más extensa, ser leyes

subsidiarias locales, coherentes con alguna teoría global que gobernara el conjunto, pero no únicamente fijadas por esa teoría. De manera más específica, algunos aspectos podrían ser arbitrarios y otros no. Como analogía (que debo al astrobiólogo y cosmólogo Paul Davies), tomemos la forma de los copos de nieve. Su simetría ubicua de seis caras es una consecuencia directa de las propiedades y la forma de las moléculas de agua, pero los copos de nieve se presentan bajo una inmensa variedad de patrones, porque cada uno está modelado según su historia diferenciada y su microentorno; la manera de crecer de cada copo es sensible a los cambios fortuitos de temperatura y humedad durante su formación.

Si los físicos obtuvieran una teoría fundamental, ésta nos diría qué aspectos de la naturaleza son consecuencia directa de la teoría fundamental (de la misma manera que la plantilla simétrica de copos de nieve se debe a la estructura básica de una molécula de agua) y qué parámetros cósmicos (como el patrón diferenciador de un copo en concreto) son el resultado de las contingencias medioambientales.

Nuestro medio no sería entonces aleatorio, sino que pertenecería al extraordinario subconjunto en el que había un «sorteo» de parámetros cósmicos propicio a la aparición de la complejidad y de la consciencia. Sus rasgos supuestamente diseñados o afinados no serían sorprendentes. Para finales de este siglo, tal vez podamos ser capaces de decir con seguridad si habitamos en un multiverso y cuánta variedad muestran sus universos integrantes. Creo que la respuesta a esta pregunta será crucial para determinar cómo debemos interpretar el universo amable con el medio ambiente en el que habitamos (y que compartimos con todos los extraterrestres con los que algún día podamos ponernos en contacto).

Tal vez algunos físicos se lleven una decepción si, un día, algunos de los números clave que tratan de explicar resultan ser meras contingencias medioambientales, no más «fundamentales» que los parámetros de la órbita de la Tierra alrededor del sol. Pero la decepción quedaría seguramente compensada por la revelación de que la realidad física es más inmensa y más rica de lo que habíamos visto hasta ahora.

Los fotones de Einstein



ANTON ZEILINGER

Físico, Universidad de Viena; director científico, Instituto de Óptica Cuántica e Información Cuántica, Academia Austriaca de las Ciencias; autor de *Dance of the Photons: From Einstein to Teleportation*

Mi explicación profunda, elegante y bella preferida es la propuesta que hizo Albert Einstein en 1905 de que la luz consiste en *quanta* de energía, hoy llamada fotones. Incluso entre los físicos, es poco conocido pero extremadamente interesante cómo llegó Einstein a esta conclusión. Desde luego, forma parte de la publicación de Einstein en 1905, pero sólo hacia el final. La idea en sí es mucho más profunda, elegante... y, sí, más bella.

Imaginemos un recipiente cerrado cuyas paredes están a una temperatura determinada. Las paredes brillan, y, a medida que emiten radiación, también la absorben. Al cabo de un tiempo habrá un equilibrio en la distribución de la radiación del recipiente. Eso ya era bien conocido antes de Einstein. Max Planck había presentado la idea de la cuantización que explicaba la distribución energética de la radiación dentro de un tal volumen. Einstein fue un poco más lejos: estudió en qué orden se produce la distribución de la radiación dentro de ese recipiente.

Para los físicos, la entropía es una medida del desorden. Y el físico austriaco Ludwig Boltzmann demostró que la entropía de un sistema es una medida de lo probable que es su estado. Para tomar un ejemplo sencillo, es mucho más probable que los libros, los cuadernos de notas, los lápices, las fotos, los bolígrafos, etc., estén esparcidos por toda mi mesa que no que estén apilados ordenadamente. O, si consideramos un millón de átomos dentro de un recipiente, es mucho más probable que estén distribuidos más o menos

equitativamente por el volumen del recipiente que no que se encuentren todos recogidos en una esquina. En ambos casos, el primer estado es el menos ordenado, y cuando los átomos llenan un volumen mayor, presentan una entropía todavía más alta.

Einstein se dio cuenta de que la entropía de la radiación (incluyendo la luz) cambia con el volumen de su recipiente de la misma manera que en los átomos; en ambos casos, la entropía aumenta con el logaritmo del volumen. Para Einstein, eso no podía ser una mera coincidencia. Puesto que podemos entender la entropía del gas porque está formado por átomos, la radiación también está formada por partículas... que él llamó *quanta* de energía (hoy llamada fotones).

Einstein aplicó inmediatamente su idea al efecto fotoeléctrico. Pero también se dio cuenta de un conflicto fundamental entre la idea de *quantum* de energía y el muy estudiado y observado fenómeno de la interferencia.

El problema era cómo entender la figura de interferencia de doble rendija. Se trata del fenómeno que, según Richard Feynman, contiene «el único misterio» de la física cuántica. El reto es muy sencillo. Cuando dirigimos un haz de fotones hacia una placa con dos rendijas, y ambas rendijas están abiertas, obtenemos franjas luminosas y oscuras en una pantalla de observación detrás de la placa: son las zonas de interferencia. Cuando tenemos sólo una rendija abierta no obtenemos franjas, ni tampoco zonas de interferencia, sino una distribución amplia de fotones. Este resultado se puede entender con facilidad teniendo en cuenta la naturaleza ondulatoria de la luz: las ondas pasan por cada una de las dos rendijas, apagándose y reforzándose alternativamente entre ellas en la pantalla de observación. Así obtenemos franjas oscuras y luminosas.

Pero ¿qué cabe esperar si la intensidad del haz de luz es tan baja que por el sistema sólo pasa un fotón cada vez? Siguiendo la postura realista de Einstein, resultaría natural presuponer que un fotón ha de pasar ya sea por una rendija o por la otra, pero no por las dos. Podemos hacer el experimento introduciendo fotones, de uno en uno. Según Einstein, no deberían aparecer franjas de interferencia porque un solo fotón, como partícula, debería «elegir» una rendija abierta o la otra, y por tanto no habría refuerzo o apagado, como en

la imagen ondulatoria. Era, desde luego, la opinión de Einstein, y él sugirió que las franjas aparecen sólo si muchos fotones están pasando a través al mismo tiempo y, de alguna manera, interactúan entre ellas de modo que forman las figuras de interferencia.

Hoy día sabemos por muchos experimentos que las figuras de interferencia surgen incluso a intensidades tan bajas como cuando por el sistema pasa un solo fotón por segundo. Si esperamos lo bastante y miramos la distribución de todos ellos en la pantalla de observación, obtenemos la figura de interferencia. La explicación moderna es que la figura de interferencia aparece sólo si no hay información, en ninguna parte del universo, sobre por qué rendija pasa la partícula (la afirmación coloquial de que un fotón pasa por ambas rendijas hay que tomarla con pinzas). Pero incluso si, en este caso, Einstein se equivocó, su idea de la *quanta* de energía de la luz, es decir, los fotones, apuntaba muy lejos hacia el futuro.

En una carta a su amigo Conrad Habicht del mismo año 1905, el año milagroso en el que también publicó su especial teoría de la relatividad, tachaba de «revolucionario» el artículo sobre los fotones. Que se sepa, es el único de sus trabajos que calificó de revolucionario y, por tanto, es bastante lógico que en 1921 le valiera un Premio Nobel. Que la situación no era tan clara unos años antes lo atestigua una famosa carta firmada por Planck, Walther Nernst, Heinrich Rubens y Emil Warburg, en la que proponían a Einstein como miembro de la Academia Prusiana de las Ciencias en 1913. En ella escribieron: «El hecho de que pueda haber exagerado ocasionalmente el objetivo en sus especulaciones, como por ejemplo en su hipótesis del *quantum* de luz, no se le debería reprochar demasiado, porque sin asumir algún riesgo de vez en cuando, ni siquiera en la ciencia más exacta se puede introducir ninguna innovación real». La explicación profunda, elegante y bella que Einstein dio en 1905 de la entropía de la radiación proponiendo el cuanto de luz representa un fuerte argumento a favor de la utilidad de la especulación ocasional.

Pensar en pequeño



JEREMY BERNSTEIN

Profesor emérito de física del Stevens Institute of Technology; antiguo redactor de plantilla de la revista *The New Yorker*; autor de *Saltos cuánticos: La mecánica cuántica vista por físicos y no físicos*

Cuando me enfrento a una pregunta como ésta, tengo la tentación de «pensar a lo grande» y responder con algo como la teoría de la relatividad de Einstein. Pero, en cambio, pensaré en pequeño. Cuando Planck presentó su cuanto de acción a comienzos del siglo xx, se dio cuenta de que eso le permitía un nuevo conjunto de unidades naturales. Por ejemplo, el tiempo de Planck es la raíz cuadrada de la constante de Planck multiplicada por la constante gravitacional y dividido por la quinta potencia de la velocidad de la luz. Es la unidad de tiempo más pequeña que se puede construir, pero ¿es un «tiempo»? El problema es que estas constantes son simplemente esto. Son iguales para un observador en reposo que para uno que se mueve. Pero el tiempo no lo es. Lo planteé como una adivinanza a mi «aquelarre», y a Freeman Dyson se le ocurrió una bonita respuesta. Intentó construir un reloj que lo midiera. Utilizando la incertidumbre cuántica, demostró que sería consumido por un agujero negro de elaboración propia. No hay medición posible. El tiempo de Planck no es tiempo... o tal vez esté más allá del tiempo.

**¿Por qué es comprensible
nuestro mundo?**



ANDREI LINDE

Padre de la eterna inflación caótica; profesor
de física, Universidad de Stanford

«Lo más incomprensible del mundo es que sea comprensible.» Lo afirmó Albert Einstein. Un problema similar fue señalado por Eugene Wigner, que dijo que la eficiencia irracional de las matemáticas es «un regalo maravilloso que ni entendemos ni nos merecemos».

¿Por qué vivimos en un universo comprensible, con determinadas reglas que se pueden utilizar eficientemente para predecir nuestro futuro?

Obviamente, uno siempre podría responder que «así son las cosas», que Dios creó el universo y lo hizo lo bastante simple como para que pudiéramos comprenderlo. Pero ¿debemos rendirnos tan fácilmente? Veamos unas cuantas cuestiones similares más. ¿Por qué es tan grande nuestro universo? ¿Por qué las paralelas nunca se cruzan? ¿Por qué hay partes distintas del universo que se parecen tanto? Durante mucho tiempo, preguntas así parecían demasiado metafísicas como para tenerse en cuenta seriamente. Ahora sabemos que la inflación cósmica aporta una respuesta posible a cada una de ellas.

Para entender la cuestión, observemos algunos ejemplos de un universo incomprensible, en el que las matemáticas son ineficientes. Supongamos que el universo está en un estado con la llamada densidad de Planck: $\rho \sim 10^{94} \text{ g/cm}^3$, que son 94 órdenes de magnitud más que la densidad del agua. Según la teoría de la gravedad cuántica, las fluctuaciones cuánticas del espacio-tiempo en este régimen son tan grandes que todas las varas de medir se doblan, encogen y se amplían de manera impredecible, antes de que podamos medir la distancia con ellas. Todos los relojes se destruyen antes de que podamos medir el tiempo con ellos. Todos los registros de hechos anteriores quedan borrados, de modo que no podemos recordar nada, ni grabarlo, ni predecir el futuro. El universo

sería incompresible para cualquiera que viviera en él (si es que la vida fuese posible allí), y las leyes de las matemáticas no podrían emplearse de manera eficiente.

Si el ejemplo de la enorme densidad parece un poco extremo, tranquilos, que no lo es. Hay tres tipos de universo básicos: cerrado, abierto y plano. Un universo cerrado típico creado en el momento del big bang se desmoronaría en unos 10^{-43} segundos en un estado cuántico con la densidad de Planck, a menos que tuviera de inicio un tamaño enorme. Un universo abierto típico creado con el big bang crecería tan rápido que la formación de galaxias resultaría imposible, y nuestros cuerpos (si tuviéramos la suerte de nacer) quedarían instantáneamente destrozados. Nadie podría vivir, por no hablar de comprender, en ninguno de estos dos tipos de universo. Podemos disfrutar de la vida en un universo plano, o casi plano (que es lo que hacemos ahora), pero a menos que ocurra algo especial (la inflación, como veremos más adelante), es necesario que las condiciones iniciales en el momento del big bang se ajusten con una precisión extrema de aproximadamente 10^{-60} .

Desarrollos recientes de la teoría de cuerdas, la candidata más popular para el papel de «teoría de todo», revelan un espectro todavía más amplio de universos posibles pero incomprensibles. Si presuponemos que nuestro universo está descrito por la teoría de cuerdas, ¿significa que lo sabemos todo del mundo que nos rodea? Pongamos un ejemplo mucho más sencillo: recordemos que el agua puede ser líquida, sólida o gaseosa. Químicamente, se trata de la misma sustancia, pero los delfines sólo pueden vivir y comprender el universo a su manera si están rodeados de agua líquida. En este ejemplo tenemos sólo tres opciones: líquido, hielo o vapor.

Con la teoría de cuerdas, según sus últimos desarrollos, podemos tener unas 10^{500} (o más) opciones del posible estado del mundo que nos rodea. Todas estas opciones se derivan de la misma teoría básica. Sin embargo, los universos correspondientes a cada una de estas opciones parecerían como si estuvieran gobernados por distintas leyes de la física; sus raíces comunes estarían bien ocultas. Como hay tantas opciones distintas esperamos que haya algunas que puedan describir el universo en el que vivimos. Pero la mayoría llevaría a un universo en el que no podemos vivir, ni construir instrumentos de

medición, ni registrar hechos, ni utilizar eficientemente las matemáticas y la física para predecir el futuro.

Cuando Einstein y Wigner trataban de entender por qué nuestro universo es comprensible y por qué las matemáticas son tan eficientes, todo el mundo asumió que el universo era único y uniforme, y que las leyes de la física eran las mismas en todas partes. Esta suposición se llamó principio cosmológico. No sabíamos por qué el universo era igual en todas partes; simplemente, lo dábamos por sentado. Así, el modelo descrito por Einstein y Wigner se suponía que era aplicable al universo entero. En este contexto, las formulaciones recientes no harían más que agudizar la formulación del problema: si un universo típico es hostil a la vida tal y como la conocemos, debemos de ser increíblemente afortunados de vivir, por casualidad, en un universo en el que la vida es posible y el universo comprensible. Eso, de hecho, parecería un milagro, como «un regalo que ni entendemos ni nos merecemos». ¿Podemos hacer algo más que apoyarnos en lo milagroso?

En los últimos treinta años, nuestra manera de ver el origen y la estructura global de nuestro mundo ha cambiado profundamente. Al principio, descubrimos que la inflación, la expansión exponencialmente rápida del universo inicial, convierte el universo en plano y, por tanto, en potencialmente apto para la vida. Además, el rápido estiramiento del universo convierte la parte en la que vivimos en extremadamente homogénea. Así, hemos encontrado una explicación para la uniformidad observada del universo. No obstante, también hemos encontrado que a una escala muy, muy grande (mucho más allá del horizonte actualmente observable de unos 10^{10} años luz), el universo se vuelve ciento por ciento no-uniforme, debido a los efectos cuánticos amplificados por la expansión explosiva del espacio.

En el contexto de la teoría de cuerdas combinada con la cosmología inflacionaria, eso significa que en vez de parecer una esfera simétrica en expansión, nuestro mundo es más como un multiverso: una agrupación increíblemente amplia de burbujas exponencialmente grandes. Cada una de estas burbujas tiene el aspecto de un universo, y ahora usamos la palabra «universo» para describir partes del mundo enormes y localmente uniformes. Una de las 10^{500} leyes distintas de la física de baja energía que parten de la

teoría de cuerdas opera dentro de cada uno de estos universos.

En algunos de estos universos, las fluctuaciones cuánticas son tan grandes que es imposible cualquier cómputo; en ellos, las matemáticas son ineficientes, porque las predicciones no pueden memorizarse ni emplearse. Los períodos vitales de algunos universos son demasiado breves. Hay otros universos de larga duración, pero vacíos; sus leyes de la física no permiten la existencia de ninguna entidad que pudiera sobrevivir lo bastante para aprender física y matemáticas.

Por suerte, entre todas las partes posibles del multiverso tiene que haber algunos universos en los que sea posible la vida tal y como la conocemos. Pero nuestra vida sólo es posible si las leyes de la física que operan en nuestra parte del multiverso permiten la formación de estructuras estables y de larga vida que sean capaces de hacer cálculos. Eso implica la existencia de relaciones matemáticas que puedan utilizarse para las predicciones a largo plazo. El rápido desarrollo de la especie humana ha sido solamente posible porque vivimos en la parte del multiverso en la que las predicciones a largo plazo son tan útiles y eficientes que nos permiten sobrevivir en el entorno hostil y ganar la competición con otras especies.

Para resumir (y generalizar), el multiverso en inflación consiste en multitud de «universos» con todas las leyes posibles de la física y las matemáticas que operan en cada uno. Sólo podemos vivir en estos universos en los que las leyes de la física permiten nuestra existencia, lo que requiere hacer predicciones fiables. Dicho de otro modo, los matemáticos y los físicos sólo pueden vivir en los universos que resultan comprensibles y en los que las leyes de las matemáticas son eficientes.

Podéis desestimar todo lo que acabo de escribir como especulación atrevida. Sin embargo, es interesante que en el contexto del nuevo paradigma cosmológico desarrollado en los últimos treinta años podamos ser capaces, por primera vez, de enfrentarnos a una de las cuestiones más complicadas y misteriosas que preocuparon a dos de los científicos más importantes del siglo XX.

El cosmos de Alfvén



GEORGE DYSON

Historiador de la ciencia; autor de *Turing's Cathedral: The Origins of the Digital Universe*

Un universo jerárquico puede tener una densidad media nula, al tiempo que contiene masa infinita.

Hannes Alfvén (1908-1995) —pionero en el campo de la magnetohidrodinámica (contra el escepticismo inicial) para darnos un universo impregnado de lo que hoy llamamos ondas de Alfvén— no se desprendió nunca de su propio escepticismo en cuanto al big bang. «Luchan contra el creacionismo popular, pero al mismo tiempo luchan fanáticamente por su propio creacionismo», afirmó en 1984,[\[14\]](#) y defendió, en cambio, la cosmología jerárquica, de cuya formulación matemática dio crédito a Edmund Edward Fournier d'Albe (1868-1933) y a Carl Vilhelm Ludvig Charlier (1861-1934). Jerárquica no significa isotrópica, y la anisotropía observada no la descarta.

Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716), abogado además de científico, creía que nuestro universo había sido seleccionado, de entre una infinidad de universos posibles, para producir la máxima diversidad a partir de un conjunto mínimo de leyes naturales. Es difícil imaginar un conjunto más bello de condiciones límite que la densidad cero y la masa infinita. Pero este mismo principio de la diversidad máxima nos advierte de que puede que nos lleve todo el tiempo del universo averiguar los detalles.

Nuestro universo creció como un bebé



MAX TEGMARK

Cosmólogo; profesor adjunto de física, MIT;
director científico del Foundational Questions
Institute

¿Qué provocó nuestro big bang? Mi explicación profunda favorita es que nuestro pequeño universo creció como un bebé humano... literalmente. Justo después de nuestra concepción, cada una de nuestras células se duplica más o menos cada día, lo que provoca que nuestro número total de células aumenten día a día a 1, 2, 4, 8, 16, etc. Esta duplicación repetida es un proceso potente, de modo que nuestra madre habría tenido muchos problemas si hubiéramos seguido duplicando nuestro peso durante toda la gestación: al cabo de nueve meses (unas 274 duplicaciones), habríamos pesado más que toda la materia de nuestro universo observable junta.

Por muy loco que parezca, eso es exactamente lo que hizo nuestro bebé universo, según la teoría de la inflación cósmica liderada por Alan Guth y otros. Empezando por una mota mucho más pequeña y ligera que un átomo, duplicó repetidamente su tamaño hasta ser mucho mayor que todo nuestro universo observable, expandiéndose a una velocidad de mareo. Y se duplicó no cada día, sino casi al instante. Dicho de otro modo, la inflación creó nuestro potente big bang casi de la nada, en una minúscula fracción de segundo. Cuando alcanzamos casi diez centímetros de tamaño, nuestra expansión ha pasado de acelerada a desacelerada. En los modelos más simples de inflación, nuestro bebé universo hizo lo mismo cuando tenía unos diez centímetros de tamaño, su tasa de crecimiento exponencial se frenó hasta una expansión más tranquila en la que el plasma caliente se diluyó y se enfrió y sus partículas constituyentes se fueron fusionando de forma gradual en núcleos, átomos, moléculas, estrellas y galaxias.

La inflación es como un gran espectáculo de magia. Mi reacción visceral es: «No es posible que obedezca a las leyes de la física». Sin embargo, si la observamos de cerca, sí lo hace. Por ejemplo, ¿cómo puede un gramo de materia en inflación convertirse en dos gramos cuando se expande? Lógicamente, la masa no puede crearse de la nada, ¿no? Notablemente, Einstein nos ofreció un resquicio de explicación a través de su teoría especial de la relatividad, que dice que la energía E y la masa m están relacionadas según su famosa fórmula $E = mc^2$, donde c es la velocidad de la luz. Eso significa que podemos aumentar la masa de algo añadiéndole energía. Por ejemplo, podemos hacer que una goma elástica sea un poco más pesada si la estiramos: para estirla, tenemos que aplicarle energía, y esta energía va a la goma elástica y aumenta su masa. Una goma elástica tiene presión negativa, porque para estirla hay que aplicarle un trabajo. De manera parecida, la sustancia que se expande ha de tener presión negativa para obedecer a las leyes de la física, y esta presión negativa debe ser tan enorme que la energía requerida para expandirla hasta el doble de su volumen es exactamente la suficiente para duplicar su masa. Curiosamente, la teoría general de la relatividad de Einstein dice que esta presión negativa provoca una fuerza gravitacional negativa. A su vez, esto provoca la duplicación repetida, que al final crea todo lo que podemos ver prácticamente de la nada.

Para mí, la marca distintiva de una explicación profunda es que responde a más de lo que le preguntas. Y la inflación ha demostrado ser el don que sigue dando, aportando una respuesta tras otra. Explicó por qué el espacio es tan plano, lo que hemos medido hasta aproximadamente un uno por ciento de precisión. Explicó por qué, de media, nuestro universo distante tiene el mismo aspecto en todas direcciones, con fluctuaciones de tan solo un 0,002 por ciento de un lugar al otro. Explicó los orígenes de estas fluctuaciones del 0,002 por ciento como fluctuaciones cuánticas ampliadas por la inflación, de escala microscópica a escala macroscópica, y luego amplificadas por la gravedad hasta las actuales galaxias y estructuras cósmicas de gran escala. E incluso explicó la aceleración cósmica, que mereció el Premio Nobel de física de 2011, cómo la inflación, reiniciándose a cámara lenta, duplicó el tamaño de nuestro universo no cada instante sino cada 8.000 millones de años, lo que ha

transformado el debate desde si la inflación ocurrió o no a si ocurrió una o dos veces.

Ahora está quedando cada vez más claro que la inflación es una explicación que no cesa: de inflarse o de explicarse.

De la misma manera que la división celular no produjo un bebé y luego se detuvo, sino que ha producido una enorme y diversa población de seres humanos, parece como si la inflación cósmica no haya creado sólo un universo y se haya detenido, sino que ha creado una enorme y diversa población de universos paralelos, y quizá ha alcanzado todas las opciones posibles de lo que solíamos considerar constantes físicas. Lo que explicaría incluso otro misterio: el hecho de que muchas constantes de nuestro universo estén tan bien ajustadas para la vida que si las cambiáramos en pequeñas cantidades, la vida tal y como la conocemos resultaría imposible: no habría ni galaxias, ni átomos, por ejemplo. Aunque la mayoría de los universos paralelos creados por la inflación nacen muertos, habrá algunos en los que las condiciones sean idóneas para la vida, y no es sorprendente que sea ahí donde nos encontremos nosotros.

La inflación nos ha dado una sobreabundancia embarazosa. Embarazosa porque esta infinidad de universos nos ha traído el llamado problema de la medida, que yo considero la mayor crisis a la que se enfrenta la física moderna. La física trata básicamente de predecir el futuro a partir del pasado, pero la inflación parece sabotearla. Nuestro mundo físico está claramente lleno de patrones y regularidades; aun así, cuando tratamos de cuantificarlos para predecir la probabilidad de que ocurra algo en particular, la inflación siempre nos da la misma respuesta inútil: infinito dividido por infinito.

El problema es que, hagas el experimento que hagas, la inflación predice que habrá infinitas copias de ti obteniendo cada resultado físicamente posible en un número infinito de universos paralelos, y a pesar de años de rechinar los dientes de la comunidad cosmológica, no se ha alcanzado un consenso sobre cómo extraer respuestas sensibles de estas infinitudes. De modo que, hablando estrictamente, nosotros, los físicos, ya no somos capaces de predecir nada de nada. Nuestro bebé universo ha crecido para convertirse en un adolescente impredecible.

Eso es tan malo que creo que necesitamos una nueva idea radical. Tal vez necesitemos librarnos de alguna manera del infinito. ¿Tal vez, como en el caso de la goma elástica, el universo no puede expandirse *ad infinitum* sin llegar a romperse? ¿Tal vez estos infinitos universos paralelos se destruyen por algún proceso que todavía no hemos descubierto, o tal vez sean, por algún motivo, meros espejismos? Las explicaciones más profundas no nos ofrecen sólo respuestas, sino también preguntas. Creo que a la inflación cósmica le quedan todavía algunas explicaciones que dar.

**Kepler *et al.*, y el
problema inexistente**



GINO SEGRÈ

Físico, Universidad de Pensilvania; autor de
*Ordinary Geniuses: Max Delbruck, George
Gamow, and the Origins of Genomics and Big
Bang Cosmology*

En 1595, Johannes Kepler propuso una solución profunda, elegante y bella al problema de determinar la distancia desde el Sol hasta los seis planetas que entonces se conocían. Encajando (como si de muñecas rusas se tratara) cada uno de los cinco sólidos dentro de una esfera, colocados en el orden adecuado —octaedro, icosaedro, dodecaedro, tetraedro, cubo—, propuso que la sucesión de radios esféricos tendrían las mismas ratios relativas que las distancias planetarias. Obviamente, la solución profunda, elegante y bella era también errónea, pero también es cierto que, como decía Joe E. Brown al final de *Con faldas y a lo loco*, «nadie es perfecto».

Dos mil años antes, en una noción que sería descrita como la «armonía de las esferas», Pitágoras ya había buscado una solución relacionando estas distancias con los puntos de una cuerda en los que había que tocar para producir notas agradables al oído. Y casi doscientos años después de la sugerencia de Kepler, Johann Bode y Johann Titius ofrecieron, sin ninguna explicación subyacente, una sencilla fórmula numérica que supuestamente se adaptaba a las distancias en cuestión. Vemos, pues, que la explicación de Kepler no fue ni el primer ni el último intento de explicar las ratios de los radios de la órbita planetaria, pero al vincular la dinámica con la geometría, para mí sigue siendo la más profunda, además de la más simple y elegante.

En un sentido estricto, ninguna de las tres propuestas es equivocada. En cambio, son soluciones a un problema inexistente, puesto que hoy entendemos que la ubicación de los planetas es puramente accidental, un derivado de cómo

evolucionaba el disco de polvo en rotación que envolvía a nuestro sol primigenio, bajo la fuerza de la gravedad, hasta adquirir su configuración presente. La consciencia de que no había problema llegó cuando nuestro punto de vista evolucionó desde uno en el que nuestro sistema planetario era el centro, hasta otra visión mucho mayor, en la que es uno de los casi ilimitados sistemas parecidos esparcidos por el vasto número de galaxias que comprende nuestro universo.

He estado pensando en ello porque, junto a muchos de mis colegas físicos teóricos, he dedicado buena parte de mi carrera profesional buscando una explicación de las masas de las llamadas partículas elementales. Pero quizá el motivo por el que tal explicación se nos ha escapado es una propuesta que está ganando cada vez mayor credibilidad, concretamente que nuestro universo visible es tan sólo un ejemplo aleatorio de un número de universos básicamente infinito, todos los cuales contienen *quarks* y leptones con masas que toman valores distintos. Simplemente ocurre que, en al menos uno de estos universos, los valores permiten que al menos haya una estrella y un planeta en los que habiten criaturas que se preocupan de este problema.

Dicho de otro modo, un problema que antaño consideramos esencial puede, de nuevo, haber dejado de existir, a medida que nuestra concepción del universo ha crecido; en este caso, se ha ampliado a uno entre muchos universos. Si esto es cierto, ¿qué grandes visiones puede depararnos el futuro? Sólo espero que nuestros descendientes puedan tener una comprensión mucho más profunda que nosotros de estos problemas, y que sonrían ante nuestros débiles intentos de ofrecer una solución profunda, elegante y bella a lo que ellos hayan reconocido como un problema no existente.

**Cómo pueden coexistir
visiones incompatibles del
mundo**



FREEMAN DYSON

Físico teórico, Institute for Advanced Study;
autor de *A Many-Colored Glass: Reflections
on the Place of Life in the Universe*

La situación que intento explicar es la coexistencia de dos imágenes del universo aparentemente incompatibles. Una es la clásica imagen de nuestro mundo como un conjunto de cosas y hechos que podemos ver y sentir, dominados por la gravedad universal. La otra es la imagen cuántica de átomos y radiación que se comportan de manera impredecible, dominados por probabilidades e incertidumbres. Ambas imágenes parecen ser ciertas, pero la relación entre ellas es un misterio.

La visión ortodoxa entre físicos es que debemos encontrar una teoría unificada que incluya ambas imágenes como casos especiales. La teoría unificada ha de incluir una teoría cuántica de la gravedad, de modo que deban existir partículas llamadas gravitones, que combinen las propiedades de la gravedad con las incertidumbres cuánticas.

Busco una explicación distinta del misterio. Pregunto si un gravitón, si existe, podría ser realmente observado.

No conozco la respuesta a esta pregunta, pero tengo una prueba de que la respuesta puede ser no. La prueba es el comportamiento de un aparato: el detector de ondas gravitacionales llamado LIGO (Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory), que actualmente está en funcionamiento en los estados de Luisiana y Washington. Lo que hace el LIGO es medir de manera muy precisa la distancia entre dos espejos, rebotando luz del uno al otro. Cuando aparece una onda gravitacional, la distancia entre los dos espejos cambia muy ligeramente. Debido al ruido ambiental e instrumental, los detectores LIGO reales tan sólo pueden detectar ondas mucho más fuertes que

un solo gravitón. Pero incluso en un universo totalmente silencioso, puedo responder a la pregunta de si un detector LIGO ideal podría detectar un solo gravitón. La respuesta es no. En un universo en silencio, el límite a la precisión de la medición de la distancia lo imponen las incertidumbres cuánticas en las posiciones de los espejos. Para minimizar las incertidumbres cuánticas, los espejos han de pesar mucho. Un simple cálculo, basado en las leyes conocidas de la gravedad y la mecánica cuántica, nos lleva a un resultado llamativo. Para detectar un solo gravitón con un aparato LIGO, los espejos han de pesar exactamente tanto como para atraerse entre ellos con una fuerza irresistible y colapsar en un agujero negro. Dicho de otro modo, la propia naturaleza nos impide observar un solo gravitón con este tipo de instalación.

Propongo, como hipótesis, basado en este único experimento mental, que los gravitones individuales pueden ser imposibles de observar por medio de ningún aparato concebible. Si esta hipótesis es cierta, implicaría que las teorías de la gravedad cuántica son indemostrables y, por tanto, científicamente insignificantes. El universo clásico y el universo cuántico podrían, entonces, coexistir de forma pacífica. Ninguna incompatibilidad entre las dos imágenes podría llegar a demostrarse. Ambas imágenes del universo podrían ser ciertas, y la esperanza de una teoría unificada podría resultar ser una ilusión.

La incertidumbre imposible

SATYAJIT DAS

Experto en productos financieros derivados,
consultor de gestión de riesgo; autor de
*Extreme Money: The Masters of the Universe
and the Cult of Risk*

La incertidumbre es un fin que a menudo se ve como el principio. Su profunda belleza traspasa la ciencia, las matemáticas, el método, la filosofía, la lingüística y la fe.

En 1927, Werner Heisenberg demostró que la incertidumbre es inherente a la mecánica cuántica. Es imposible medir simultáneamente ciertas propiedades de una partícula: la posición y el impulso. En el mundo cuántico, la materia puede adoptar la forma de partículas o de ondas. Los elementos fundamentales no son ni partículas ni ondas, pero se pueden comportar como cualquiera de ellas y son meramente maneras teóricas distintas de ilustrar el mundo cuántico.

La incertidumbre pone fin a la certeza. A medida que buscamos medir una propiedad de manera más precisa, la capacidad de medir la otra propiedad queda mermada. El acto de medir destroza elementos necesarios para nuestro conocimiento del sistema.

La incertidumbre menoscaba el determinismo científico, lo que implica que el conocimiento humano sobre el mundo es siempre incompleto, incierto y altamente contingente.

La incertidumbre desafía la causalidad. Como observó Heisenberg: «La ley de la causalidad dice que si conocemos el presente, podemos predecir el futuro. Pero, cuidado: en esta formulación, no es la consecuencia, sino la premisa lo que es falso. Como cuestión de principio, no podemos conocer todos los elementos determinantes del presente».

La incertidumbre pone en duda la metodología. Los experimentos sólo pueden demostrar lo que están diseñados para demostrar. La incertidumbre es una teoría basada en los límites prácticos de la medida.

La incertidumbre y la mecánica cuántica desafían tanto la fe como los conceptos de verdad y orden. Implican un mundo material probabilístico, en el que no podemos saber nada con certeza, sino sólo como posibilidad. Descarta los elementos newtonianos de espacio y tiempo de cualquier realidad subyacente. En el mundo cuántico, la mecánica se entiende como una probabilidad sin ninguna explicación causal.

Albert Einstein se negó a aceptar que las posiciones en el espacio-tiempo no podrían nunca ser totalmente conocidas y que las probabilidades cuánticas no reflejaban ninguna causa subyacente. No rechazó la teoría, sino la falta de razón de un hecho. En una carta a Max Born dijo su famosa frase: «En cualquier caso, estoy convencido de que Él [Dios] no juega a los dados». Pero, como comentó posteriormente Stephen Hawking, en unos términos que Heisenberg habría reconocido: «No sólo [Dios] juega a los dados, sino que... a veces los echa donde no pueden ser vistos».

Alusivo y sutil, el poder de la incertidumbre recurre a su propiedad metafórica, lo que le ha permitido penetrar en distintos campos, como la teoría del arte, la economía financiera y hasta la cultura popular. A un nivel, el principio de incertidumbre de Heisenberg se interpreta como que el acto de medir algo cambia lo que se observa. Pero a otro nivel, intencionadamente o no, Heisenberg dice algo sobre la naturaleza del sistema entero: la ausencia de verdades absolutas y los límites a nuestro conocimiento.

La incertidumbre está vinculada a varias construcciones filosóficas. Søren Kierkegaard hizo la distinción entre verdades objetivas y verdades subjetivas. Las objetivas están filtradas y alteradas por nuestras verdades subjetivas, que recuerdan la interacción entre el observador y el hecho que es el centro del teorema de Heisenberg.

La incertidumbre está relacionada con las filosofías lingüísticas. En su *Tractatus Logico-Philosophicus*, Ludwig Wittgenstein anticipa la inexactitud, argumentando que la estructura del lenguaje aporta los límites del pensamiento y de lo que puede decirse con sentido.

La profunda ambigüedad de la incertidumbre se manifiesta de otras formas: la controversia por la historia personal de Heisenberg. En 1941, durante la segunda guerra mundial, Heisenberg y Niels Bohr, su antiguo profesor, se reunieron en la Dinamarca ocupada. En la obra de 1998 de Michael Frayn, *Copenhagen*, Margrethe, la esposa de Bohr, plantea la pregunta esencial que se debate en la obra: «¿Por qué han venido los Heisenberg a Copenhague?» En la obra, su reunión se repite tres veces, cada una con resultados distintos. Como declara Heisenberg, el personaje: «Nadie entiende mi viaje a Copenhague. Se lo he explicado una y otra vez. Al mismo Bohr, y a Margrethe. A los interrogadores y a los agentes de inteligencia, a los periodistas y a los historiadores. Cuanto más se lo he explicado, más profunda se ha hecho la incertidumbre».

En su texto de 1930 *The Principles of Quantum Mechanics*, Paul Dirac contrastó el mundo newtoniano con el cuántico: «Se ha ido haciendo cada vez más evidente [...] que la naturaleza funciona en un plano distinto. Sus leyes fundamentales no gobiernan el mundo de ninguna manera directa como nos parece en nuestra imagen mental, sino que, al contrario, controlan un sustrato del cual no nos podemos formar una imagen mental sin introducir irrelevancias».

Hubo un mundo antes de Heisenberg y su principio de la incertidumbre. Hay un mundo después de Heisenberg. Son el mismo mundo, pero son distintos.

**¿El siguiente nivel de
materia fundamental?**



HAIM HARARI

Físico teórico, antiguo presidente del
Weizmann Institute of Science; autor de *A View
from the Eye of the Storm*

Una idea científica puede resultar elegante. También puede ser correcta. Si hay que elegir, elijamos la correcta; pero siempre es mejor si cumple con ambas características.

«Elegante» depende del cristal con que se mire. «Correcta» lo decide el juez último de la ciencia, la Madre Naturaleza, y se manifiesta a través del resultado de los experimentos. A diferencia de los típicos concursos de talento de televisión, ni «elegante» ni «correcto» pueden determinarse por el voto del público ni por un grupo de jueces burlones. Pero la sensación de que una idea es elegante depende a menudo de la pregunta que se plantee.

Toda materia consiste en seis tipos de *quarks* y seis tipos de leptones. Tienen una masa con valores inexplicados aparentemente aleatorios y separados por más de diez órdenes de magnitud. Nadie sabe por qué, dentro de estos doce bloques de construcción, el mismo patrón se repite tres veces. Algunos de estos objetos también se pueden convertir los unos en los otros, bajo ciertas circunstancias, por índices inexplicados llamados «ángulos de mezcla». Los más o menos veinte valores de estos índices y masas parecen haber sido elegidos arbitrariamente por alguien (la naturaleza o Dios). Es lo que nos dice el modelo estándar de la física de partículas. ¿Es eso elegante? No lo parece.

Pero el hecho de que las montañas y las serpientes, los océanos y la basura, las personas y los ordenadores, las hamburguesas y las estrellas, los diamantes y los elefantes y todo lo demás que encontramos en el universo esté todo hecho de sólo una docena de tipos de objetos fundamentales, nos deja

realmente boquiabiertos. Eso es exactamente lo que ese mismo modelo estándar dice. Entonces, ¿es eso elegante? Mucho.

Mi gran esperanza es que la naturaleza sea realmente incluso más elegante. Los doce *quarks* y leptones fundamentales y sus antipartículas tienen todas cargas eléctricas 0, $\frac{1}{3}$, $\frac{2}{3}$, y 1, o los valores negativos de los mismos números. Cada valor se repite exactamente tres veces.

No hay ninguna explicación satisfactoria para muchas preguntas: ¿por qué son todas las cargas múltiples de $\frac{1}{3}$ de la carga del electrón? ¿Por qué cada valor entre 0 y 1 aparece en la lista, y lo hace el mismo número de veces? ¿Por qué no adquieren nunca más de tres dosis de esa cantidad? ¿Por qué el mismo patrón entero se repite tres veces? ¿Por qué los leptones tienen siempre cargas de número entero, y los *quarks* no-enteros? ¿Por qué están las cargas de los *quarks* y las cargas de los leptones relacionadas entre ellas por ratios simples?

El hecho de que los mosquitos, las sillas y el zumo de tomate sean todos eléctricamente neutros es el resultado de la inexplicada igualdad de las magnitudes de las cargas eléctricas de protones y electrones, lo que provoca que los átomos sean neutros. Eso se deriva del hecho de que las cargas de los *quarks* tengan unas ratios precisas y sencillas respecto de las cargas de los leptones. Pero ¿por qué el electrón no tiene una carga de, por ejemplo, un 0,8342 de la del protón? ¿Por qué tienen exactamente el mismo valor de carga?

Una explicación elegante de estos rompecabezas surgiría si todos los *quarks* y leptones (y, por tanto, toda la materia del universo) estuviera formada solamente por dos bloques de construcción, uno con carga eléctrica de $\frac{1}{3}$ de la del electrón, y el otro sin carga eléctrica. Entonces, todas las combinaciones de estos tres objetos podrían crear exactamente el patrón conocido de *quarks* y leptones y responder de modo esmerado a las anteriores incógnitas. La extraña lista de masas y de tasas de conversión de los *quarks* y leptones seguiría sin explicarse, pero se vería relegada a un nivel de discusión de la comprensión de las fuerzas dinámicas que vinculan los dos objetos básicos más fundamentales a una variedad de componentes, y no a una lista de más de veinte parámetros fundamentales libres creados por Dios o por la

naturaleza.

¿Una explicación elegante? Desde luego. ¿Correcta? No necesariamente, hasta donde hoy sabemos. Pero nunca se puede demostrar que las partículas no están hechas de objetos más fundamentales. Eso podría descubrirse perfectamente en el futuro sin contradecir ninguno de los datos actuales, en especial si la nueva estructura se revelase sólo a distancias menores y a energías mayores de las que hemos estudiado hasta ahora, o si obedece a un extraño y nuevo conjunto de leyes físicas básicas. No hace falta decir que una hipótesis tan simple necesita abordar muchos temas adicionales, a algunos de los cuales se enfrenta con gran belleza, pero en otros falla estrepitosamente. Ésta podría ser la razón, en parte justificada, que explicase la actitud por lo general negativa de la mayoría de los físicos de partículas ante esta sencilla explicación.

Considero que la idea de crear el universo entero a partir de tan sólo dos tipos de bloques de construcción (a los que llamo *Rishoms*, o primarios) es una explicación elegante y seductora de muchos hechos observados. El libro del Génesis empieza con un universo que es «informe y vacío» o, en hebreo original, *Tohu Vavohu*. Qué mejor acotación para los dos objetos fundamentales que la T (de *Tohu*, sin forma) y la V (de *Vohu*, vacío), y entonces cada quark y cada leptón consistiría en una combinación distinta de tres de estos *Rishoms*, como TTV o TTT. Eso podría quedar para siempre como una idea elegante pero incorrecta, o un día podría revelarse como el siguiente nivel de estructura de la materia, después del átomo, el núcleo, el protón y el *quark*. Preguntemos a la Madre Naturaleza: ella entiende tanto lo elegante como lo correcto, pero, de momento, no nos lo piensa decir.

Observadores que observan



ROBERT PROVINE

Neurocientífico y psicólogo, Universidad de Maryland; autor de *Curious Behavior: Yawning, Laughing, Hiccupping and Beyond*

La petición de una explicación profunda, elegante y bella favorita me dejó un poco frío. «Profunda», «elegante» y «bella» son cualidades estéticas que asocio más a la experiencia y al proceso que a la explicación, en especial para el observador que observa. La observación es el vínculo entre todas las ciencias empíricas y el motivo por el que los físicos estuvieron entre los fundadores de la psicología experimental. La diferencia entre la psicología y la física está en el énfasis; ambas ciencias implican el proceso de observadores que observan. La física hace hincapié en lo observado, la psicología en el observador. Por muy horrible que les parezca a los hiperempíricistas, que dejan de lado al observador, la física es necesariamente el estudio del comportamiento de los físicos, la biología el estudio de los biólogos, y así sucesivamente.

Hace algunas décadas comenté este tema con John Wheeler, que lo encontró evidente y apuntó que un límite mayor en la cosmología es el cosmólogo. Cuando los alumnos de mi curso sobre «Sensación y percepción» me oyen decir que nos estamos embarcando en el estudio de todo, lo digo absolutamente en serio. En muchos aspectos, el estudio de la sensación y la percepción es la más básica y universal de todas las ciencias.

Mi pasión por la observación es tan estética como científica. Mis observaciones más memorables son las del cielo nocturno. Otros nombrarán el descubrimiento de un fósil de *T. Rex* o el sonido de un canto de pájaro en un día perfecto de primavera. Para ver mejor y más allá, yo construyo telescopios, grandes y pequeños. Me gusta obtener los fotones frescos, no

recogidos por CCD o analizados por ordenador. Me gusta observar el cosmos de frente, dejándolo penetrar en mi retina. Mi profesión como neurocientífico me aporta sus propias aventuras observacionales, incluyendo la oportunidad única de cerrar el círculo investigando el mecanismo neurológico por el cual el observador observa y llega a conocer el cosmos.

**Los genes, el *claustrum* y
la consciencia**



V. S. RAMACHANDRAN

Neurocientífico; profesor y director del Center for Brain and Cognition, Universidad de California-San Diego; autor de *Lo que el cerebro nos dice*

¿Cuál es mi idea elegante favorita? La explicación de la estructura del ADN es seguramente la más evidente, pero comporta repetir. Diré que la misma estrategia utilizada para descifrar el código genético podría aplicarse para descifrar el «código neural» de la consciencia y el yo. Es atrevido, pero vale la pena tenerlo en cuenta.

La capacidad de captar analogías y de ver la diferencia entre las ideas profundas y las superficiales es la marca de la casa de muchos grandes científicos. Francis Crick y James Watson no fueron una excepción. El propio Crick advirtió contra el afán de buscar la elegancia en biología, teniendo en cuenta que la evolución ocurre de manera accidental. «Dios es un hacker», dijo, para luego añadir, según mi colega Don Hoffman: «Muchos jóvenes biólogos se han degollado a ellos mismos con la navaja de Ockham». Y sin embargo, su propia solución a la adivinanza de la herencia está a la altura de la selección natural como descubrimiento más elegante de la historia de la biología. ¿Aparecerá una solución de elegancia parecida para el problema de la consciencia?

Es bien sabido que Crick y Watson desenmarañaron la estructura de doble hélice de la molécula del ADN: dos cadenas de nucleótidos serpenteantes complementarias. Menos conocida es la cadena de acontecimientos que culminó con este descubrimiento.

Primero, las leyes de Mendel dictaron que los genes están compuestos de partículas (una primera aproximación, todavía considerada precisa). Luego

Thomas Morgan demostró que las moscas de la fruta atacadas con rayos X se hacían mutantes con cambios papuloides en sus cromosomas, lo que llevaba a la clara conclusión de que en los cromosomas es donde se encuentra la acción. Los cromosomas están hechos de histonas y ADN; ya en 1928, el bacteriólogo británico Fred Griffith demostró que una especie de bacteria inofensiva, cuando se incubaba con una especie virulenta que muere con el calor, muta a la especie virulenta. Esto resultaba casi tan increíble como si un cerdo entra en una habitación con una oveja y luego salen dos ovejas. Más adelante, Oswald Avery mostró que el ADN era, en este caso, el principio transformativo. En biología, el conocimiento de la estructura conduce a menudo al conocimiento de la función: uno no necesita mirar más lejos que al conjunto de la historia médica. Inspirándose en Griffith y Avery, Crick y Watson se dieron cuenta de que la respuesta al problema de la herencia se encontraba en la estructura del ADN. La localización era crítica, como, desde luego, puede demostrar serlo para la función cerebral.

Crick y Watson no se limitaron a describir la estructura del ADN, sino que además explicaron su significado. Vieron la analogía entre la complementariedad de las cadenas moleculares y la complementariedad de los padres y sus hijos: por qué los cerdos tienen cerditos y no ovejitas. En aquel momento nació la biología moderna. Hay correlaciones parecidas entre la estructura cerebral y la función mental, entre las neuronas y la consciencia. (Cito solamente las más obvias porque hay algunos filósofos, a los que se conoce como «nuevos misterianos», que creen lo contrario.)

Después de este triunfo con la herencia, Crick se fijó en lo que llamó la «segunda gran adivinanza» de la biología: la consciencia. Recuerdo un seminario que dio Crick sobre la consciencia en el Salk Institute, aquí en La Jolla. Apenas había empezado cuando un caballero de entre el público levantó la mano y dijo:

Pero, doctor Crick, ni siquiera se ha molestado en definir la palabra «consciencia» antes de embarcarse en eso». La respuesta de Crick fue memorable: «Le recordaré que no ha habido nunca un momento en la historia de la biología en el que un grupo de nosotros se sentara alrededor de una mesa y dijera: «Pero antes vamos a definir lo que entendemos por *vida*». Simplemente, salimos ahí y descubrimos lo que es: la doble hélice. Dejemos los asuntos de higiene semántica para ustedes, los

filósofos.

En mi opinión, Crick no consiguió resolver la consciencia (sin importar lo que significa). No obstante, iba bien encaminado. En los albores de su carrera había sido bien gratificado por dilucidar la analogía entre complementariedades biológicas, la noción de que la estructura lógica de la molécula dicta la lógica funcional de la herencia. Teniendo en cuenta su fenomenal éxito usando la estrategia de la analogía estructura-función, no sorprende mucho que aplicara el mismo estilo de razonamiento al estudio de la consciencia. Junto con su colega Christof Koch, lo hicieron centrándose en una estructura relativamente oscura llamada *claustrum*.

El *claustrum* es una fina capa de células situada debajo del córtex insular del cerebro, una en cada hemisferio. Histológicamente es más homogéneo que la mayoría de las estructuras cerebrales, y a diferencia de la mayor parte de ellas (que emiten y reciben señales entre un pequeño subconjunto de otras estructuras), el *claustrum* está conectado recíprocamente con casi todas las regiones corticales. La racionalización estructural y funcional puede asegurar que cuando hay ondas de información que pasan por el *claustrum*, sus neuronas serán exquisitamente sensibles a la cadencia de estas entradas.

¿Qué tiene que ver esto con la consciencia? En vez de centrarse en pedantes cuestiones filosóficas, Crick y Koch empezaron por sus ingenuas intuiciones. La «consciencia» tiene muchos atributos: la continuidad en el tiempo; un sentido de la agencia o la libre voluntad, la recurrencia, o «autoconocimiento», etc. Pero hay un atributo que destaca, la unidad subjetiva: experimentamos todas nuestras diversas impresiones, pensamientos, acciones voluntarias y memoria como una unidad, no como algo agitado o fragmentado. Este atributo de la consciencia, con el sentido que lo acompaña del presente inmediato, o el «aquí y ahora», es tan evidente que no solemos pensar en él; lo consideramos axiomático.

Así, un rasgo central de la consciencia es su unidad, y he aquí una estructura cerebral que manda y recibe señales hacia y desde prácticamente todas las demás estructuras cerebrales, incluyendo la parietal derecha (implicada en la convergencia y la materialización polisensorial) y el cingular

anterior (implicado en la experiencia de la «libre voluntad»). Así, el *claustrum* parece unificarlo todo anatómicamente, y la consciencia lo hace mentalmente. Crick y Koch reconocieron que eso tal vez no fuera una coincidencia: el *claustrum* podría ser esencial para la consciencia —de hecho, podría representar la idea del teatro cartesiano, tabú entre los filósofos—, o al menos ser el director de orquesta. Son este tipo de razonamientos infantiles los que a menudo nos guían hasta grandes descubrimientos. Obviamente, tales analogías no sustituyen a la ciencia rigurosa, pero son un buen punto de partida. La idea de Crick y Koch podría ser correcta o falsa, pero es elegante. Si es correcta, han allanado el camino para resolver uno de los grandes misterios de la biología. E incluso si es incorrecta, los estudiantes nuevos en esta disciplina harían bien en emular su estilo. Crick acertó demasiadas veces como para que se le ignore.

En julio de 2004 le visité en su casa de La Jolla. Cuando me marchaba, me acompañó hasta la puerta y, al despedirnos me hizo un guiño malicioso: «Creo que es el *claustrum*, Rama. Ahí es donde está el secreto». Al cabo de una semana falleció.

Soluciones solapadas



DAVID M. EAGLEMAN

Neurocientífico, Baylor College of Medicine;
autor de *Incognito: The Secret Lives of the
Brain*

La elegancia del cerebro está en su falta de elegancia. Durante siglos, la neurociencia ha intentado asignar claramente etiquetas a las distintas partes del cerebro: ésta es el área del lenguaje, ésta la de la moralidad, ésta la del uso de herramientas, la de la detección de color, la de reconocimiento de caras, etc. La búsqueda de un mapa cerebral ordenado empezó como un empeño viable pero resultó estar mal encaminado.

El truco profundo y bello del cerebro es más interesante: posee múltiples y solapadas maneras de enfrentarse al mundo. Se trata de una máquina construida por partes en conflicto. Es una democracia representativa que funciona por competición entre partes que se creen todas que saben la manera correcta de resolver el problema.

Como resultado, nos podemos enfadar con nosotros mismos, discutir con nosotros mismos, maldecirnos y pactar con nosotros mismos. Nos podemos sentir en conflicto. Este tipo de batallas neuronales se encuentran detrás de la infidelidad conyugal, recae en las adicciones, hace trampas con las dietas, es poco riguroso con los propósitos de Año Nuevo... todas ellas situaciones en las que hay partes de la persona que quieren una cosa y otras partes que quieren otra.

Son cosas que las máquinas modernas, simplemente, no hacen. Tu coche no puede tener un conflicto sobre en qué dirección girar: tiene un volante dirigido por un conductor, y sigue las instrucciones sin quejarse. Los cerebros, en cambio, pueden ser de dos mentes, y a menudo de muchas más. No sabemos si ir hacia el pastel o alejarnos de él, porque en el volante de la conducta hay

varios pares de manos.

Tomemos como ejemplo la memoria. En circunstancias normales, el recuerdo de los acontecimientos diarios está consolidado por una zona del cerebro llamada el hipocampo. Pero en situaciones de miedo —como un accidente de circulación o un robo— hay otra área, la amígdala, que también despierta recuerdos por un circuito secundario independiente. Los recuerdos de la amígdala tienen una cualidad distinta: son difíciles de borrar y pueden regresar en forma de flash, una descripción que comparten las víctimas de violación y los veteranos de guerra. Dicho de otro modo, hay más de una manera de establecer la memoria. No estamos hablando de recuerdos de acontecimientos distintos, sino de recuerdos distintos del mismo acontecimiento. Según la imagen que se despliega, puede haber hasta más de dos facciones involucradas, y todas ellas escriben información y luego compiten por contar la historia. La unidad de memoria es una ilusión.

Observemos los distintos sistemas implicados en la toma de decisiones: hay algunos que son rápidos, automáticos y por debajo de la superficie del conocimiento consciente; otros son lentos, cognitivos y conscientes. Y no hay motivo para presuponer que existen sólo dos sistemas; es muy posible que haya todo un espectro. Algunas redes del cerebro están implicadas en las decisiones a largo plazo, otras en los impulsos a corto plazo... y tal vez haya también toda una serie de sesgos a medio plazo.

La atención también se ha entendido recientemente como el resultado final de redes múltiples y que compiten entre ellas, algunas para la atención centrada y dedicada a una tarea específica, otras para una monitorización más amplia (la vigilancia). Compiten siempre entre ellas para dirigir las acciones del organismo. Incluso las funciones sensoriales básicas como la detección del movimiento parece que han sido reinventadas múltiples veces por la evolución. Esto ofrece la base perfecta para la democracia neuronal.

A una escala anatómica mayor, los dos hemisferios del cerebro, el izquierdo y el derecho, se pueden entender como sistemas solapados que compiten entre ellos. Lo sabemos por los pacientes cuyos hemisferios están desconectados: básicamente, funcionan con dos cerebros independientes. Por ejemplo, les pones un lápiz en cada mano y pueden dibujar simultáneamente

figuras incompatibles, como un círculo y un triángulo. Los dos hemisferios funcionan de manera distinta en los terrenos del lenguaje, el pensamiento abstracto, la construcción de historias, la inferencia, la memoria, las estrategias del juego y otros. Constituyen un equipo de rivales: agentes con los mismos objetivos pero maneras ligeramente distintas de conseguirlos.

Para mi mente, esta solución elegante a los misterios del cerebro ha de cambiar el objetivo para los aspirantes a neurocientíficos. En vez de pasarse años defendiendo tu solución favorita, la misión debe evolucionar hacia identificar las distintas soluciones solapadas: cómo compiten, cómo se mantiene junta la unión, y qué ocurre cuando las cosas se desmoronan.

Parte de la importancia de descubrir soluciones elegantes es capitalizarlas. El modelo de democracia podría ser precisamente la clave para desbancar la inteligencia artificial. Nosotros, los programadores humanos, todavía nos enfrentamos a los problemas presuponiendo que existe la mejor manera de resolverlo, o que hay una manera en la que debe solucionarse. Pero la evolución no resuelve un problema y luego lo tacha de la lista. Al contrario, reinventa programas sin cesar, cada uno de ellos con enfoques solapados y que compiten entre ellos. La lección se encuentra en abandonar la pregunta «¿cuál es la manera más astuta de resolver este problema?» para adoptar «¿hay maneras múltiples y solapadas de resolver este problema?». Éste sería el punto de partida para dar paso a una nueva etapa fructífera de aparatos informáticos elegantemente inelegantes.

**Nuestra racionalidad
limitada**



MAHZARIN BANAJI

Profesor de la cátedra Richard Clarke Cabot
de ética social, departamento de psicología,
Universidad de Harvard

Las explicaciones extraordinarias tanto desde el punto de vista analítico como estético comparten, entre otras, estas propiedades: *a)* a menudo son más simples comparadas con lo que era de conocimiento aceptado; *b)* señalan a la causa más verídica como algo bastante alejado del fenómeno; y *c)* te hacen desear que se te hubieran ocurrido a ti.

Aquellos de nosotros que intentamos entender la mente tenemos una única limitación a la que enfrentarnos: la mente es la cosa que produce la explicación; la mente es también la cosa que debemos explicar. La distancia de la propia mente, la distancia de los apegos a lo especial que es nuestra especie o tribu, distanciarse de la introspección y la intuición (no como generadores de hipótesis sino como respuestas y explicaciones) son todas ellas cuestiones especialmente difíciles de conseguir cuando lo que buscamos es explicar nuestras propias mentes y las de otros de nuestra especie.

Por este motivo, mi candidata a la explicación más profundamente satisfactoria de las últimas décadas es la idea de racionalidad limitada. La idea de que los seres humanos son listos comparados con otras especies, pero no lo bastante listos según su propio rasero, incluyendo comportarse en sintonía con los axiomas básicos de la racionalidad, es hoy una observación bien perfeccionada con una profunda base empírica.

El científico cognitivo y premio Nobel de economía Herbert Simon sentó una base en Flandes con el estudio del procesamiento de la información y la inteligencia artificial, demostrando que tanto las personas como las organizaciones adoptan principios de comportamiento como la satisfacción

fácil que los limitan a decisiones aceptables pero que no son las mejores. La segunda base la sentaron Daniel Kahneman y Amos Tversky, que mostraron las asombrosas maneras en que incluso los expertos tienen tendencia a cometer errores, con consecuencias no sólo para su propio bienestar sino también para el de sus sociedades.

La visión de la naturaleza humana que ha evolucionado a lo largo de las últimas cuatro décadas ha cambiado sistemáticamente la explicación de quiénes somos y por qué hacemos lo que hacemos. Tal y como somos, tenemos tendencia al error, dice la explicación, no porque tengamos intenciones maliciosas, sino por la base evolutiva de nuestra arquitectura mental, esto es, la manera en la que aprendemos y recordamos la información, la manera en la que nos vemos afectados por los que nos rodean, etc. El motivo por el que somos limitadamente racionales es que el espacio de información en el que debemos hacer nuestro trabajo es amplio comparado con las capacidades que tenemos, incluyendo los límites severos en nuestro conocimiento consciente y nuestra capacidad de controlar nuestra conducta y de actuar de acuerdo con nuestras propias intenciones.

También podemos mirar al compromiso de los criterios éticos: de nuevo, la historia es la misma; es decir: el problema no es la intención de hacer daño. La explicación se encuentra más bien en problemas como la manera en que alguna información desempeña un papel desproporcionado en nuestra toma de decisiones, la capacidad de generalizar o sobregeneralizar, y lo generalizado de la mala conducta que tipifica la vida diaria. Éstas son las causas más potentes de los fracasos éticos de los individuos y las instituciones.

La idea de que los malos resultados son consecuencia de las mentes limitadas que no son capaces de almacenar, computar o adaptarse a las exigencias de su entorno es una explicación radicalmente distinta de nuestras capacidades y, por tanto, de nuestra naturaleza. Su elegancia y su belleza provienen de su énfasis en lo ordinario y lo invisible, más que en lo especial y en las motivaciones maliciosas. Esto no es tan distinto de otro cambio de orientación en la explicación —de Dios a la selección natural— y es probable que produzca la misma resistencia.

Inteligencia de enjambre



ROBERT SAPOLSKY

Profesor de neurología y ciencias
neurológicas, Universidad de Stanford;
investigador adjunto, National Museums of
Kenya; autor de *El mono enamorado y otros
ensayos sobre nuestra vida animal*

La respuesta obvia debería ser la doble hélice. Con el incomparablemente lacónico «no ha escapado a nuestra atención...», explicaba el mismísimo mecanismo de la herencia. Pero la doble hélice, a mí, no me basta. Para cuando llegué a biología de bachillerato, la doble hélice ya era historia antigua, como la evolución de la mariposa del abedul o las mitocondrias como centro neurálgico de la célula. Watson y Crick, tan tranquilizadores, pero igual de dados por sentado, como Baskin-Robbins.

Luego está la obra de Hubel y Wiesel, que demostró que el córtex procesa sensaciones con una jerarquía de extracción de rasgos. El en córtex visual, por ejemplo, las neuronas de la capa inicial reciben toda información sobre un solo fotorreceptor de la retina. Así, cuando un fotorreceptor se estimula, también lo hace «su» neurona en el córtex visual primario. Si se estimula el fotorreceptor adyacente, la neurona adyacente se activa. Básicamente, cada una de estas neuronas «sabe» una cosa, concretamente, cómo reconocer un punto particular de luz. Grupos de neuronas «conocedoras de puntos» luego se proyectan en neuronas individuales de la segunda capa cortical. Estimulando una hilera particular de neuronas adyacentes en esa primera capa cortical se activa una sola neurona de la segunda capa. Así, una neurona de la segunda capa sabe una cosa, que es cómo reconocer, por ejemplo, una línea de luz en ángulo de 45°. Entonces, grupos de neuronas «conocedoras de una línea» mandan proyecciones a la siguiente capa.

Bella, lo explica todo. Simplemente, sigue así, capa tras capa cortical de extracción de rasgos, del punto a la línea, a la curva, al grupo de curvas, hasta la capa superior, donde una neurona sabría sólo una cosa compleja y especializada, como la manera de reconocer a tu abuela. Y sería lo mismo en el córtex auditivo: las neuronas de la primera capa reconocen notas individuales concretas; las de la segunda capa, pares de notas; hasta alguna neurona de la capa superior que reconocería el sonido de tu abuela cantando al sonido de Frank Sinatra.

Pero resulta que las cosas no funcionaban exactamente así. En el córtex hay unas cuantas «neuronas abuela» (aunque un artículo de 2005 de la revista *Nature* informó de alguien con una neurona Jennifer Aniston). El córtex no puede confiar demasiado en las neuronas abuela, porque eso requeriría un montón más de neuronas para acomodar tal ineficiencia e hiperespecialización. Además, un mundo en el que sólo hubiera neuronas abuela en la capa superior excluye la posibilidad de hacer asociaciones multimodales (por ejemplo, cuando ver una obra concreta de Monet te recuerda a los cruasanes y a la música de Debussy y a lo mal que acabó una cita que tuviste en la exposición de impresionismo en el Metropolitan de Nueva York). En vez de ello, hemos entrado en el mundo de las redes neurales.

Lo que me lleva a mi elección, que es la emergencia y la complejidad tal y como están representadas por la «inteligencia de enjambre». Observemos a una sola hormiga y no tiene mucho sentido: anda en una sola dirección, cambia de pronto a otra sin razón aparente, vuelve sobre sus pasos. Totalmente impredecible. Lo mismo ocurre con dos hormigas, o con un puñado de hormigas. Pero una colonia de hormigas tiene un significado fantástico: trabajos especializados, maneras eficientes de explotar nuevas fuentes de alimento, complejos nidos subterráneos con la temperatura con un margen de pocos grados. Y lo más notorio es que no hay ni proyecto ni centro de mando; cada hormiga individual tiene algoritmos para sus comportamientos. Pero no se trata de la sabiduría de la masa, en la que un puñado de individuos razonablemente informados supera a un experto individual. Las hormigas no están razonablemente informadas sobre el plano global, sino, al contrario, los algoritmos de la conducta de cada hormiga consisten en unas cuantas reglas

sencillas para interactuar con su entorno y con las hormigas locales. Y a partir de ello surge una colonia altamente eficiente.

Las colonias de hormigas sobresalen en el trazado de itinerarios que conectan lugares de la manera más corta posible, cumplidos con normas sencillas sobre cuándo soltar una ruta de feromonas y qué hacer cuando se cruzan con la ruta de otros individuos, aproximaciones a las soluciones óptimas del problema del viajante. En «trazados basados en las hormigas», las simulaciones mediante hormigas virtuales con normas parecidas pueden generar maneras óptimas de conectar los nodos de una red, algo de gran interés para las compañías de telecomunicaciones. Eso es también aplicable al cerebro en desarrollo, que debe conectarse a un número enorme de neuronas con todavía muchísimas más conexiones sin construir millones de kilómetros de axones de conexión. Y las neuronas fetales migratorias generan una solución eficiente con una versión distinta de los trazados basados en las hormigas.

Un ejemplo maravilloso es cómo las normas locales sobre la atracción y la repulsión (es decir, las cargas positivas y negativas) permiten que moléculas simples de una sopa orgánica formen ocasionalmente otras más complejas. Tal vez la vida se originara de esta manera, sin los requisitos de rayos que catalizaran la formación de moléculas complejas.

¿Y por qué me resulta tan bella la autoorganización, siendo ateo? Porque si los sistemas adaptativos complejos no requieren un proyecto, tampoco requieren a un Creador del Proyecto. Si no requieren rayos, tampoco requieren a alguien que los lance.

El lenguaje y la selección natural



KEITH DEVLIN

Director ejecutivo, H-STAR Institute,
Universidad de Stanford; autor de *The Man of
Numbers: Fibonacci's Arithmetic Revolution*

La evolución a través de la selección natural no sólo explica cómo todos llegamos hasta aquí y cómo somos y nos comportamos como lo hacemos, sino que también puede explicar (al menos, para mi satisfacción ligeramente crítica) porque muchas personas se niegan a aceptarla, y porque todavía más personas creen en una divinidad todopoderosa. Pero puesto que es probable que otros colaboradores de Edge tengan la selección natural como su explicación profunda, bella y elegante favorita (cuenta con los tres atributos, además de un poder explicativo de amplio espectro), me fijaré en un aspecto particular: la explicación de cómo el ser humano adquirió el lenguaje, con lo cual me refiero a su estructura gramatical.

Hay pruebas que sugieren que nuestros ancestros desarrollaron maneras efectivas de comunicarse mediante declaraciones verbales hace al menos tres millones de años. Pero la gramática es mucho más reciente, tal vez de hace tan sólo unos 75.000 años. ¿Cómo surgió la gramática?

Cualquier persona que haya viajado al extranjero sabe que para comunicar necesidades básicas, deseos e intenciones a otros individuos de nuestro entorno relativas a los objetos que están a la vista, bastan unas cuantas palabras de referencia mezcladas con gestos. La única gramática necesaria consiste en yuxtaponer ocasionalmente dos palabras («Yo, Tarzán; tú, Jane» es el clásico ejemplo del cine de Hollywood, lleno de información, e insinuación). Los antropólogos se refieren a este sistema de comunicación tan sencillo a base de pares de palabras como protolenguaje.

Pero para comunicarse sobre cosas que no están en el aquí y ahora hace

falta algo más. Para planificar efectivamente actividades futuras conjuntas se requiere prácticamente toda la estructura gramatical, en especial si la planificación implica a más de dos personas. Y todavía se exige más de la gramática si el plan requiere coordinación entre grupos que no todos ellos están presentes en el mismo lugar o momento.

Teniendo en cuenta hasta qué punto la supervivencia humana depende de nuestra capacidad de planear y coordinar nuestras acciones y para informarnos colectivamente después de que las cosas vayan mal, para poder evitar repetir nuestros errores, está claro que la estructura gramatical es enormemente importante para el *Homo sapiens*. De hecho, hay muchos que afirman que es nuestro rasgo diferencial. Pero la comunicación, aunque puede decirse que es la aplicación esencial de la gramática, puede claramente no ser lo que la puso en el acervo genético en primer lugar, y por un motivo muy sencillo. Puesto que la gramática es necesaria para que las expresiones verbales transmitan ideas más complejas de lo que sería posible con el protolenguaje, sólo sale a escena cuando el cerebro es capaz de elaborar tales ideas. Estas consideraciones llevan a lo que se acepta (aunque no sin oposición) como la explicación estándar de la adquisición del lenguaje. En términos muy simplificados, la explicación estándar funciona así:

1. Los cerebros (o los órganos que se convirtieron en cerebros) evolucionaron primero para asociar las respuestas motoras a los estímulos sensoriales recibidos.
2. En algunas criaturas, los cerebros se volvieron más complejos, actuando como mediadores entre los estímulos sensoriales recibidos y las respuestas motoras.
3. En algunas otras criaturas, el cerebro se volvió capaz de superar las secuencias automáticas estímulo-respuesta.
4. En el *Homo sapiens*, y en menor medida en otras especies, el cerebro adquirió la capacidad de funcionar desconectado, ejecutando efectivamente simulaciones de acciones sin necesidad de estímulos sensoriales recibidos y sin generar respuestas elaboradas.

La etapa cuatro es cuando el cerebro adquiere la gramática. Lo que llamamos estructura gramatical es, de hecho, una manifestación descriptiva/comunicativa de una estructura mental para modelar el mundo.

Como matemático, lo que me gusta de esta explicación es que también nos dice dónde el cerebro adquirió la capacidad para el pensamiento matemático. El pensamiento matemático es esencialmente otra manifestación de la capacidad de simulación del cerebro, pero en términos cuantitativos/relacionales/lógicos más que descriptivos/comunicativos.

Como suele suceder con los argumentos de la selección natural, para dar cuerpo a los detalles de estas explicaciones tan simplistas (y algunos días estoy menos convencido que otros de algunos de sus aspectos) hace falta un trabajo considerable, pero, en general, me parecen bastante acertados. En particular, la historia matemática, explica por qué hacer matemáticas implica un poderoso sentido platónico del razonamiento, no sobre las abstracciones, sino sobre los objetos reales, al menos, «reales» en el reino platónico. En cuyo punto, el educador en matemáticas de toda la vida que llevo dentro dice que debo dejar la demostración de este corolario como ejercicio para el lector... y así lo hago.

Compromiso



RICHARD H. THALER

Teórico, economía de la conducta; director del
Center for Decision Research, Graduate
School of Business, Universidad de Chicago;
coautor (con Cass R. Sunstein) de *La filosofía
Nudge*

En economía hay un principio fundamental que dice que una persona siempre está mejor si tiene más alternativas entre las que elegir. Pero este principio es incorrecto. Hay casos en los que me puedo sentir mejor limitando mis opciones futuras y comprometiéndome con una manera de actuar específica.

La idea de compromiso como estrategia es muy antigua. Odiseo es famoso por haber pedido a su tripulación que lo atara al mástil de su nave para poder oír el canto de las sirenas sin estrellar el barco contra las rocas.

Otro clásico es la decisión de Hernán Cortés de quemar las naves al llegar a Suramérica, descartando así la retirada como una de las opciones que podía llegar a considerar su tripulación. Pero, aunque la idea es antigua, no entendimos sus matices hasta que el premio Nobel Thomas Schelling escribió en 1956 su obra maestra «An Essay on Bargaining».

Es bien sabido que juegos como «el dilema del prisionero» funcionan si ambos jugadores son capaces de comprometerse de manera creíble a cooperar, pero ¿cómo puedo convencerte de que cooperaré, cuando mi estrategia dominante es huir? (Y si tú y yo somos teóricos del juego, sabes que sé que tú sabes que yo sé que huir es una estrategia dominante.) Schelling da muchos ejemplos de cómo hacerlo, pero he aquí mi preferido: en una clínica de rehabilitación de toxicómanos de Denver cuya clientela consistía básicamente en ricos adictos a la cocaína ofrecieron una estrategia de «autochantaje». Se ofrecía a los pacientes la oportunidad de escribir una carta autoinculpatoria,

que se enviaría en el caso, y sólo en el caso, de que se descubriera que el paciente —a quien se harían pruebas de manera aleatoria— había consumido cocaína. La mayoría de los pacientes tendrían ahora un incentivo muy fuerte para mantenerse alejados de las drogas: habían adquirido un compromiso.

Muchos de los problemas más espinosos de la sociedad, desde el cambio climático hasta los conflictos en Oriente Próximo, podrían resolverse sólo si las partes involucradas pudieran encontrar la forma de comprometerse sobre la manera de proceder en el futuro. Sería muy recomendable que estudiaran a Tom Schelling para descubrir cómo llegar a ese compromiso.

Tit for tat



JENNIFER JACQUET

Profesora clínica adjunta de estudios
medioambientales, NYU

A veces el egoísmo puede parecer la mejor estrategia. Es la respuesta racional al dilema del prisionero, por ejemplo, en el que cada individuo de un par puede o cooperar (confesar) o huir, lo que presenta cuatro resultados posibles. Sin importar lo que hace la otra persona, la conducta egoísta (huir) siempre resulta más rentable. Pero si los dos jugadores huyen, a ambos les va peor que si ambos hubieran cooperado. No obstante, cuando el científico político Robert Axelrod y sus colegas hicieron cientos de pruebas del dilema del prisionero expresadas mediante una ecuación matemática en un ordenador, la repetición del juego dio un resultado distinto.

Expertos de un amplio abanico de disciplinas le presentaron 76 estrategias distintas de juego a Axelrod para probarlas contrastadas... algunas de ellas muy elaboradas. Cada estrategia se ensayaría contra todas las demás durante 200 partidas. Al final, la estrategia que obtuvo más puntos fue también la más sencilla. *Tit for tat*, u «ojo por ojo», una estrategia «si/entonces» en la que el jugador cooperaba en la primera jugada y a partir de ahí hacía lo mismo que su contrincante, fue la ganadora. Fueron los humanos quienes detectaron la importancia de la reciprocidad con la evolución de la cooperación, pero las máquinas la simularon y la verificaron.

Esta elegante explicación se documentó, entonces, con egoístas reales mediante un experimento elegante. El biólogo evolucionista Manfred Milinski detectó la conducta *tit for tat* en sus sujetos, unos pececitos de tres espinas llamados espinosos. Cuando observaba a un par de estos peces acercarse a un depredador, observó cuatro opciones: podían nadar juntos, podía ponerse uno en cabeza mientras el otro lo seguía de cerca (o viceversa), o podían ambos

optar por retirarse. Estas cuatro posibilidades satisfacían las cuatro desigualdades que definen el dilema del prisionero.

Para el experimento, Milinski quería usar parejas de espinosos, pero es imposible entrenarlos. Así, puso en el acuario un solo espinoso y un juego de espejos que actuarían como dos tipos distintos de compañeros. En el primer tratamiento se usó un espejo paralelo para simular un compañero colaborador que nadara al lado del espinoso paciente. En el segundo tratamiento, un sistema de espejos colocado formando un ángulo de 32° simulaba un socio desertor, es decir, a medida que el espinoso se acercaba al depredador, el compañero parecía quedarse cada vez más (y menos cooperativamente) atrás. En función del espejo usado, el espinoso sentía que estaba compartiendo el riesgo a partes iguales o que cada vez se quedaba más solo frente a él.

Cuando los espinosos se asociaban a un desertor, preferían el lado más seguro del acuario, más lejos del depredador. Pero en las pruebas con el espejo de colaborador, los espinosos tenían el doble de probabilidades de aventurarse al lado más cercano al depredador. Los espinosos se mostraban más osados si tenían un compinche. En la naturaleza, la conducta colaboradora se traduce en más comida y más espacio y, por lo tanto, en un mayor éxito reproductor individual. Contrariamente a las predicciones de que la conducta egoísta o la retirada era la óptima, la observación de Milinski de que lo más frecuente es que los espinosos se enfrenten a su depredador juntos iba en la línea de la conclusión de Axelrod de que el *tit for tat* era la estrategia evolutiva indicada.

La experiencia de Milinski, publicada en 1987 en la revista *Nature*,^[15] fue la primera en demostrar que la colaboración basada en la reciprocidad evolucionó claramente entre egoístas, aunque pequeños. Actualmente, una abundante investigación demuestra que muchos sistemas biológicos, en especial las sociedades humanas, están organizadas alrededor de varias estrategias de colaboración; los métodos científicos siguen haciéndose cada vez más sofisticados, pero los experimentos originales y la estrategia *tit for tat* son bellamente sencillos.

**Verdadero o falso: la
belleza es verdad**



JUDITH RICH HARRIS

Investigadora y teórica independiente; autora
de *El mito de la educación*

«La belleza es verdad, belleza de verdad», dijo John Keats. Pero ¿y qué sabía él? Keats era poeta, no científico. En el mundo habitado por los científicos, la verdad no siempre es bella ni elegante, aunque puede que siempre tenga profundidad. De hecho, tengo la impresión de que, cuanto más profunda es una explicación, menos probable es que sea bella o elegante.

En 1938, el psicólogo B. F. Skinner propuso una explicación elegante de «la conducta de los organismos» (el título de su primer libro), basada en la idea de que gratificar una respuesta —lo que él llamó «refuerzo»— aumenta la probabilidad de que en el futuro ocurra la misma respuesta. La teoría fracasó, no porque fuera falsa (el refuerzo, en general, sí que aumenta la probabilidad de una respuesta), sino porque era demasiado simple. Ignoraba componentes innatos de la conducta. Ni siquiera abarcaba todo el comportamiento aprendido. Buena parte del comportamiento se adquiere y se forma con la experiencia, pero no necesariamente a través del refuerzo. Los organismos aprenden distintas cosas de diversas maneras.

La teoría de la mente modular es otra forma de explicar la conducta, en particular, la conducta humana. La idea es que la mente humana está hecha de una serie de componentes especializados llamados módulos que funcionan de modo más o menos independiente. Estos módulos recogen varios tipos de información del entorno y la procesan de distintas maneras. Emiten diferentes órdenes (de vez en cuando, contradictorias). No es una teoría elegante; al contrario, es el tipo de principio que llevaría a Ockham a deshacerse de su navaja. Pero tampoco debemos pedir a las teorías que se presenten a concursos de belleza. Debemos pedirles si son capaces de explicar más, o

explicar mejor, de lo que lo hicieron las teorías anteriores. La teoría modular puede explicar, por ejemplo, los curiosos efectos de las lesiones cerebrales. Hay capacidades que pueden perderse mientras otras se conservan, y el patrón es distinto de un paciente a otro.

Más concretamente, la teoría modular es capaz de explicar algunos de los enigmas de la vida cotidiana. Pongamos por ejemplo los conflictos entre grupos. Los Capuleto y los Montesco se odiaban entre ellos; sin embargo, Romeo, un Montesco, se enamoró de Julieta, una Capuleto. ¿Cómo puedes amar a un miembro de un grupo si odias a ese grupo? La respuesta es que en estos dos procesos se implican dos módulos mentales separados. Uno trata con los grupos (la identificación con el grupo propio y la hostilidad hacia otros grupos) y el otro se especializa en las relaciones personales. Ambos módulos recogen información sobre la gente, pero hacen cosas distintas con los datos. El módulo de los grupos traza líneas entre categorías y calcula las medias dentro de cada categoría; el resultado es lo que llamamos estereotipo. El módulo de relaciones recoge y almacena información detallada sobre individuos específicos. Se complace en recoger esta información, y éste es el motivo por el cual nos gustan tanto los chismorreos, leemos novelas y biografías, y observamos a los candidatos políticos explicarse en nuestras pantallas de televisión. Nadie nos tiene que ofrecer dinero o comida a cambio de hacer estas cosas, ni siquiera esperamos una palmadita a la espalda, porque recoger estos datos ya es la propia recompensa.

La teoría de la mente modular no es ni bella ni elegante. Pero, no siendo poeta, valoro la verdad por encima de la belleza.

Eratóstenes y la mente modular



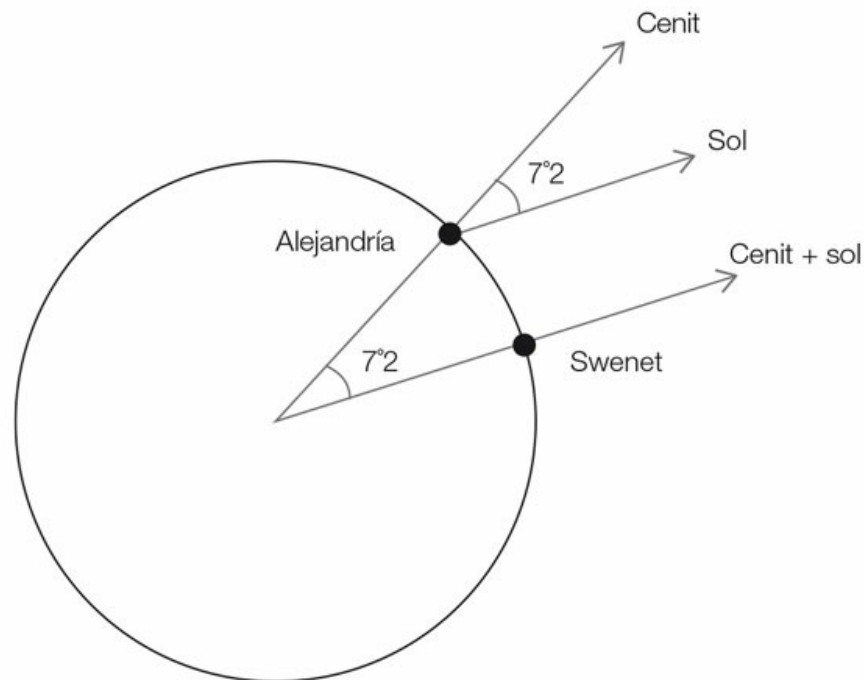
DAN SPERBER

Científico social y cognitivo, director del
Internacional Cognition and Culture Institute;
coautor (con Deirdre Wilson) de *Meaning and
Relevance*

Eratóstenes (276-195 a.C.), el jefe de la famosa Biblioteca de Alejandría en el Egipto de Ptolomeo, hizo aportaciones fundamentales en los campos de las matemáticas, la astronomía, la geografía y la historia. También se opuso a dividir a la humanidad entre griegos y «bárbaros». Sin embargo, se le recuerda por haber aportado la primera medición correcta de la circunferencia de la Tierra (una historia bien relatada en el reciente libro de Nicholas Castro, *Circumference*). ¿Cómo lo hizo?

Eratóstenes oyó que una vez al año había un día concreto a mediodía en el que el sol brillaba directamente hasta el fondo de un pozo abierto en la ciudad de Swenet (la actual Asuán). Eso significaba que el sol estaba entonces en el cenit. Por ello, Swenet tenía que ser el Trópico de Cáncer y el día tenía que ser el solsticio de verano (nuestro 21 de junio). Sabía cuánto tardaban las caravanas en viajar desde Alejandría hasta Swenet y, basándose en ello, calculó la distancia entre las dos ciudades en 5.014 estadios. Presupuso que Swenet estaba al sur por el mismo meridiano que Alejandría. De hecho, en eso se equivocó un poco —Swenet está un poco más al este que Alejandría—, y también al asumir que Swenet estaba exactamente en el Trópico. Pero, por chiripa, el efecto de estos dos errores se anularon el uno al otro: entendió que el sol estaba lo bastante lejos como para tratar los rayos que llegan a la Tierra como paralelos. Cuando el sol estaba en el cenit en Swenet, tenía que estar al sur del cenit en Alejandría, situada más al norte. Pero ¿de cuánto? Midió la longitud de la sombra proyectada por un obelisco situado delante de la

biblioteca (según cuenta la historia, o proyectada por algún otro objeto vertical más conveniente) e, incluso sin trigonometría, que todavía no estaba inventada, fue capaz de determinar que el sol estaba a un ángulo de $7,2^\circ$ al sur del cenit. Ese mismo ángulo, entendió, medía la curvatura de la Tierra entre Alejandría y Swenet (véase figura). Puesto que $7,2^\circ$ es una quincuagésima parte de 360° , Eratóstenes pudo entonces, multiplicando la distancia entre Alejandría y Swenet por 50, calcular la circunferencia de la Tierra. El resultado: 252.000 estadios, es un 1 por ciento menos de la moderna medida de 40.008 km.



Eratóstenes asoció pruebas aparentemente desvinculadas (el ritmo de las caravanas, el sol que brillaba hasta el fondo de un pozo, la longitud de la sombra de un obelisco) con presuposiciones (la esfericidad de la Tierra, su distancia del sol) y con herramientas matemáticas para medir una circunferencia que no podía ni ver ni comprobar, tan sólo imaginar. Su resultado es sencillo y convincente. Su forma de alcanzarlo encarna lo mejor de la inteligencia humana.

Jerry Fodor (cuya aportación a la moderna filosofía de la mente no tiene

nada que envidiarle a nadie) podría perfectamente utilizar su destreza intelectual como ilustración impecable de la manera en que operan los sistemas centrales de nuestra mente. Son, según él, «isotrópicos», en el sentido de que cualquier creencia o prueba es importante para la evaluación de cualquier hipótesis nueva, y «quineanos» (por el filósofo Willard Van Orman Quine), en el sentido de que todas nuestras creencias forman parte de un solo sistema integrado. Eso contrasta con la visión (que yo he contribuido a desarrollar) de que la mente está totalmente formada por «módulos» especializados, cada uno de los cuales se ocupa de un área o tarea cognitiva específicas, y que nuestra actividad mental es el resultado de interacciones complejas (complementariedades, competiciones...) entre estos módulos. ¿No demuestra, no obstante, la historia de Eratóstenes que la visión de Fodor es correcta? ¿Cómo podría haber alcanzado un hito como éste una mente masivamente modular?

He aquí la respuesta. Algunos de nuestros módulos son «metarrepresentacionales». Están especializados en procesar distintos tipos de representaciones: representaciones mentales para los módulos de lectura mental; representaciones lingüísticas para los módulos de comunicación; representaciones abstractas para los módulos de razonamiento. Estos módulos metarrepresentacionales están altamente especializados. Al fin y al cabo, las representaciones son objetos muy especiales que se encuentran sólo en dispositivos de procesamiento de la información, como las personas y en su *output*. Las representaciones tienen propiedades originales —verdad o falsedad, consistencia, etc.— que no se encuentran en otros objetos. No obstante, teniendo en cuenta que las representaciones que procesan estos módulos metarrepresentacionales pueden versar a su vez sobre prácticamente cualquier cosa, aportan una especie de «generalidad del terreno virtual». De ahí proviene la ilusión de que el pensamiento metarrepresentacional es realmente general y no especializado.

Eratóstenes, sugiero yo, no pensaba concretamente en la circunferencia de la Tierra (de la misma forma que hubiera podido pensar concretamente en la distancia entre la biblioteca y el palacio de Alejandría). Pensaba más bien en el reto planteado por los cálculos tan distintos de la circunferencia de la

Tierra que habían aportado otros académicos de la época. Pensaba en varios principios y herramientas matemáticas que podían emplearse para esta cuestión. Pensaba en el uso como prueba que podía hacerse de observaciones e informaciones variadas. Se proponía encontrar una solución clara y atractiva, un argumento convincente. Dicho de otro modo, pensaba en objetos de un solo tipo —representaciones— y buscaba una nueva forma de ensamblarlos. Para hacerlo se inspiró en otros y apuntó a otros. Su hito intelectual sólo tiene sentido como asociación particularmente notable en una cadena sociocultural de acontecimientos mentales y comunicacionales. Para mí, es una ilustración asombrosa no sólo del funcionamiento solitario de la mente individual, sino también de los poderes de las mentes modulares ampliadas social y culturalmente.

La explicación de la cultura de Dan Sperber

CLAY SHIRKY

Investigador de las redes sociales; profesor de arte en el Programa Interactivo de Telecomunicaciones de la NYU Tisch School of the Arts; autor de *Excedente cognitivo: Creatividad y generosidad en la era conectada*

¿Por qué los miembros de un mismo grupo se comportan de la misma forma? ¿Por qué se comportan de manera distinta a otros grupos que viven cerca de ellos? ¿Por qué son estas conductas tan estables a lo largo del tiempo? Por desgracia, la respuesta obvia —que las culturas son adaptaciones a sus entornos— no se aguanta. Múltiples culturas adyacentes a lo largo del Indus, del Éufrates y del alto Rhin han tenido lenguajes, maneras de vestir y costumbres distintas, a pesar de existir codo con codo en entornos prácticamente idénticos.

Hay algo que impulsa a un grupo de gente a comportarse de determinada manera. A comienzos de la década de los setenta, E. O. Wilson y Richard Dawkins observaron que el flujo de ideas de una cultura exhibía patrones similares al flujo de genes en una especie, un flujo alto dentro del grupo pero drásticamente reducido entre grupos. La respuesta de Dawkins fue asumir una hipotética unidad de cultura llamada «meme», aunque también dejó claros sus problemas: con el material genético, la replicación perfecta es la norma y las mutaciones son raras. En cambio, con la cultura ocurre al contrario: los acontecimientos se recuerdan a medias y luego se describen mal, las citas se desfiguran, y hasta los chistes (meme puro) varían de un orador al otro. La comparación gen/meme se conservó, durante una generación, como una idea evocadora sin demasiada utilidad analítica.

Para mí, Dan Sperber es quien ha descifrado el problema. En un breve volumen de 1996 modestamente titulado *Explaining Culture*, esbozó una teoría de la cultura como residuo de la extensión epidémica de las ideas. En este modelo no hay memes, ninguna unidad de cultura separada de la confusión rebosante y frenética de las transacciones. Al contrario, toda transmisión cultural puede reducirse a uno o dos tipos: hacer pública una representación mental, o interiorizar una versión mental de una presentación pública. Como lo expresa Sperber, «la cultura es la condensación de cognición y comunicación en una población humana».

Los dos principios de Sperber (la exteriorización de ideas y la interiorización de expresiones) nos dan una manera de pensar en la cultura no como un gran recipiente en el que vive la gente, sino como una red cuyos rastros, dibujados cuidadosamente, nos dejan preguntar cómo las conductas de los individuos crean patrones más amplios y de vida más larga. Algunas representaciones públicas se aprenden continuamente y luego se reexpresan y se reaprenden, como por ejemplo las rimas de Charles Perrault, los estampados de tartán y la revisión por pares, que han sobrevivido durante siglos. Otros pasan de omnipresentes a marginales en cuestión de años, como las rocas como animal de compañía, *La canción de la piña colada...* Y todavía hay otros que triunfan solamente dentro de un área subcultural: el *cosplay* (cómic, manga), las simulaciones de la guerra civil en Estados Unidos... (De hecho, una subcultura es simplemente una red de gente que trafica con representaciones insertadas en buena parte en la cultura mayor.)

Con el modelo para rastrear redes de Sperber, la cultura se analiza mejor como un conjunto solapado de transacciones y no como un recipiente, o una cosa, o una fuerza. Teniendo en cuenta eso, podemos hacer preguntas detalladas sobre qué ideas privadas se hacen públicas dónde, y podemos preguntar cuándo y cuán a menudo estas ideas públicas se asientan en las mentes individuales.

Más que discutir sobre si el soneto sigue siendo parte vital de la cultura occidental, por ejemplo, Sperber hace posible que preguntemos, en cambio: ¿qué personas tienen representaciones mentales de sonetos individuales, o del soneto como forma global? ¿Cuán a menudo expresan estas representaciones?

¿Cuán a menudo recuerdan otras personas estas expresiones? Entender el conocimiento del soneto se convierte en un proyecto de análisis de red, impulsado por cuestiones empíricas sobre lo extendidas, detalladas y coherentes que son las representaciones mentales de los sonetos. El compromiso cultural con los sonetos y con el juego Angry Birds y con el excepcionalismo estadounidense y con la teoría de la relatividad pueden todos ellos colocarse bajo el mismo prisma.

Eso es lo que da tanta fuerza a la idea de Sperber: la cultura es una red gigante y asincrónica de replicación, de ideas que se convierten en expresiones, que se convierten en otras ideas relacionadas. Sperber también nos permite entender por qué la persistencia de la expresión pública puede ser tan potente. Cuando le canto *¡Oh! Susana* a mi hijo, él interioriza su propia versión (un poco distinta). No obstante, a medida que aprende a leer música, gana acceso a un universo mucho más amplio de tales representaciones; Beethoven no está disponible para tararearle *Para Elisa*, pero a través de un conjunto de símbolos acordados (a su vez interiorizados como representaciones mentales), las representaciones de Beethoven pueden ser interiorizadas siglos más tarde.

La idea de Sperber también sugiere que un acceso aumentado de la presentación pública de ideas aumentará el campo dinámico de cultura en global. Algunas representaciones disponibles públicamente cuajarán entre el mayor grupo posible de participantes en la historia, tanto en números absolutos como en porcentaje de la especie humana. (Pongamos, por ejemplo, la cantidad de gente que actualmente es capaz de comprender la frase «Matar dos cerdos de un pájaro».[16]) Esta posibilidad de conexión global de la imitación cultural es lo que preocupa al teórico de la evolución Mark Pagel cuando dice que internet permite la «estupidez infinita».

Al mismo tiempo, nunca había sido tan fácil para los miembros de posibles subculturas encontrarse entre ellos y crear sus propias representaciones públicas a un coste mucho menor, con una vida más larga y un mayor alcance de lo que los ciudadanos corrientes habían conseguido jamás. Las protestas del 25 de enero de 2011 en Egipto secuestraron la representación pública oficial de ese día como Día Nacional de la Policía;

eso fue posible solamente porque los disidentes pudieron crear representaciones públicas alternativas a una escala similar a la del estado egipcio.

El reduccionismo actual —la interpretación de un amplio número de efectos usando un pequeño número de causas— resulta raro en las ciencias sociales, pero Sperber ha aportado un marco para disolver preguntas amplias y vagas sobre cultura y convertirlas en una serie de programas de investigación tratables. La mayor parte del estudio empírico de la «condensación de cognición y comunicación» sigue formando parte del futuro, pero no se me ocurre otra idea actual en las ciencias sociales que ofrezca tanto peso explicativo.

**Las
metarrepresentaciones
explican la singularidad
humana**

HUGO MERCIER

Psicólogo; científico cognitivista;
postdoctorando, Universidad de Neuchâtel

Sólo los humanos comprenden el estado mental de los demás de manera fluida. Sólo los humanos se apoyan en un sistema de comunicación abierto. Sólo los humanos reflexionan sobre los motivos de sus creencias. Por cada una de estas proezas, y también por otras, los humanos confían en su don más especial: la capacidad de representar representaciones, es decir, de formar metarrepresentaciones. Oculta detrás de pensamientos tan mundanos como «María cree que Pablo cree que lloverá», está la explicación de la singularidad humana.

Hay dos maneras de representar representaciones, una inmensamente potente y la otra más bien torpe. La torpe consiste en crear una nueva representación para cada representación que tiene que representarse. Mediante un dispositivo así, María tendría que formar la representación «Pablo cree que lloverá» de manera totalmente independiente de su representación «lloverá». Entonces debería aprender de cero todas las inferencias que pueden deducirse de «Pablo cree que lloverá», como el impacto negativo en la voluntad de Pablo de salir a correr, o la probabilidad aumentada de que salga con un paraguas. Este proceso tan engorroso habría que repetirlo para cada nueva representación que María deseara atribuir, desde «Pablo cree que hace un tiempo muy agradable» hasta «Ruth teme que mañana el Dow Jones baje en picado». Un proceso así no podría explicar las asombrosas capacidades de los humanos de atribuir prácticamente cualquier pensamiento a otras personas. ¿Cómo, entonces, podemos explicar estas aptitudes?

La explicación es que utilizamos nuestras propias representaciones para atribuir pensamientos a los demás. Cuando María quiere atribuir a Pablo la

creencia «lloverá», sencillamente emplea su representación «lloverá» y la inserta en una metarrepresentación: «Pablo cree que “lloverá”». Como se usa la misma representación, María puede aprovecharse de las deducciones que podría extraer de «lloverá» para extraer deducciones de «Pablo cree que “lloverá”». Este truco abrió a los humanos las puertas a una comprensión sin parangón de su entorno social.

La mayoría de las creencias que formamos sobre los otros se derivan de la comunicación: la gente no deja de decirnos lo que creen, quieren, desean, temen, aman... De nuevo, las metarrepresentaciones desempeñan un papel crucial, puesto que entender el lenguaje requiere ir desde las afirmaciones («lloverá») hasta las metarrepresentaciones («Pablo cree que “aquí lloverá pronto”»).

Mentalizar —atribuir pensamientos a los demás— y comunicar son las formas más conocidas de metarrepresentación, pero no son las únicas. Las metarrepresentaciones son también esenciales para permitirnos pensar sobre las razones. Nos apoyamos en metarrepresentaciones específicas cuando las personas elaboran y evalúan argumentos, como en «María cree que “lloverá” es un buen argumento para “No debemos salir”». De nuevo, María utiliza su representación «lloverá» pero, en vez de atribuirla a otra persona, representa su fuerza como motivo para aceptar una conclusión concreta.

Hay varias otras propiedades de representaciones que se pueden representar, desde su valor estético hasta su categoría normativa. La riqueza representativa hecha posible reciclando nuestras propias representaciones para representar las representaciones de otras personas, o para representar otros atributos de representaciones, es nuestro rasgo más distintivo, una de esas soluciones asombrosamente brillantes con que se tropieza la selección natural. No obstante, aunque es mucho más simple apoyarse en metarrepresentaciones que en la engorrosa solución de crear cada vez nuevas representaciones desde cero, todavía nos enfrentamos a una tarea computacional compleja. Incluso cuando utilizamos nuestras propias representaciones para atribuir representaciones a otras personas, todavía queda mucho trabajo por hacer: no puede tratarse siempre de metarrepresentaciones. En algún momento necesitamos otras aportaciones —

pistas lingüísticas o de comportamiento— para atribuir representaciones. Además, cuando se representa una representación, no todas las deducciones que se pueden extraer de ella son relevantes. Cuando María cree que Pablo cree que va a llover, algunas de las deducciones que debemos extraer de «lloverá» pueden no ser atribuibles a Pablo... tal vez no le importe correr bajo la lluvia, por ejemplo. Y tal vez María no extraiga otras conclusiones: tal vez Pablo esté preocupado porque se ha dejado el libro en el balcón. Así, sin una referencia —la propia representación de María—, la tarea pasaría de simplemente difícil a directamente intratable.

Probablemente más que ningún otro rasgo cognitivo, la capacidad de utilizar nuestras propias representaciones para representar representaciones es lo que explica los logros de la humanidad. Sin esa aptitud, las formas complejas de cognición social que caracterizan a nuestra especie habrían sido prácticamente imposibles. Y para nosotros los psicólogos, si queremos seguir haciendo incursiones en la cognición humana, también es fundamental entender estas ideas.

Dejo las últimas palabras a Dan Sperber, que más que ningún otro científico cognitivo ha hecho de las metarrepresentaciones la explicación más central de nuestra singular cognición: «Los humanos tenemos la capacidad de representar representaciones. Yo diría que esta capacidad metarrepresentacional es tan característica de los humanos, y tan importante para comprender su comportamiento, como lo es la ecolocalización para los murciélagos».[17]

**Por qué la mente humana
puede parecer tener una
explicación humana,
aunque no la tenga**



NICHOLAS HUMPHREY

Profesor emérito, London School of
Economics; autor de *Soul Dust: The Magic of
Consciousness*

En 1859, al leer *El origen de las especies*, Erasmus Darwin le escribió a su hermano Charles: «El razonamiento *a priori* me parece tan totalmente satisfactorio que si los datos no cuadran, pues peor para ellos». Algunos de los datos —como los cálculos de Kelvin de la edad de la Tierra— en aquel momento parecían no adaptarse a la teoría de Darwin. Pero la teoría de la selección natural era demasiado bella como para ser errónea. El hermano estaba convencido de que los datos molestos deberían cambiarse. Y así lo hicieron.

Pero las cosas no siempre funcionan de este modo. La elegancia puede resultar engañosa. Veamos un sencillo ejemplo matemático. Dada la secuencia 2, 4, 6, 8, ¿qué norma diríamos que opera para generar la serie? Hay varias respuestas teóricamente posibles. Una sería la sencilla: tómesese el número previo, x , y calcúlese $x + 2$. Pero igualmente de válida sería una norma mucho más complicada: tómesese el número previo, x , y calcúlese:

$$-1/44 x^3 + 3/11 x^2 + 34/11$$

Para la secuencia tal y como la hemos dado hasta ahora, la primera regla es claramente la más elegante. Y si alguien, llamémosla Tracey, quisiera defender que, puesto que ambas reglas funcionan igual de bien, ella elegiría la segunda, pensaríamos sin duda que estaba yendo deliberadamente a contracorriente y mostrándose antielegante. Hablamos de Tracey Emin, no de Miguel Ángel.

Pero supongamos que Tracey dijera: «Apuesto a que si miramos un poco más allá, veremos que yo tenía razón desde el principio». Y supongamos que, cuando efectivamente miramos un poco más allá, encontramos, para nuestra sorpresa, que el número siguiente en la secuencia no es 10, sino 8,91, y el siguiente no es 12, sino 8,67. Es decir, la secuencia que realmente descubrimos es 2; 4; 6; 8; 8,91; 8,67. Entonces, lo que antes nos pareció la mejor norma ahora ya no se adaptaba a los datos en absoluto. Y sin embargo —¡sorpresa!—, la segunda regla sigue cuadrando agradablemente. En este caso, nos veríamos forzados a aceptar que la antielegancia de Tracey nos había ganado la partida.

¿Cuán a menudo nos engaña el mundo real pareciendo más sencillo de lo que realmente es? Un caso famoso es el de la teoría de Francis Crick sobre cómo el ADN transmite instrucciones para la síntesis de la proteína mediante un «código sin comas». Como escribió Crick muchos años más tarde: «Naturalmente. Estábamos ilusionados con la idea del código sin comas. Parecía tan bonita, casi elegante. Entrabas los números mágicos 4 (las 4 bases) y 3 (el trillizo) y te salía el número mágico 20, el número de los aminoácidos». Pero, por desgracia, esta teoría encantadora no pudo cuadrarse con datos experimentales. La verdad resultó absolutamente menos elegante.

¿Una burla? Obviamente, no estoy insinuando que la naturaleza estuviera distraendo deliberadamente a Crick. Como dijo Einstein, Dios es sutil pero no malicioso. En este caso, la incapacidad de la explicación más elegante de ser la verdadera es, presumiblemente, cuestión de mala suerte. Y, presuponiendo que eso no ocurre a menudo, tal vez en general todavía podamos esperar que la verdad y la belleza vayan de la mano (como sin duda demostrarán muchas de las otras respuestas a esta Pregunta Edge).

No obstante, hay una clase de casos en los que la elegancia de una teoría no cierta puede no ser en absoluto cuestión de suerte, en la que, de hecho, los fenómenos complejos hayan sido realmente diseñados para disfrazarse de sencillos, o en todo caso, para disfrazarse como tales ante los seres humanos. Y tales casos aparecerán justo cuando, en el transcurso de la evolución, ver ciertas cosas de una manera particularmente simple haya supuesto una ventaja biológica para los humanos. El diseñador de la explicación pseudoelegante no

ha sido Dios, sino la selección natural.

He aquí mi ejemplo favorito. Los humanos individuales, para los otros humanos, parecen estar controlados por las excepcionales estructuras que llamamos mentes. Pero lo sorprendente y maravilloso es que las mentes humanas son bastante fáciles de leer por parte de los otros. Todos lo llevamos haciendo desde que éramos bebés, utilizando la teoría popular que los psicólogos llaman «teoría de la mente» (o a veces «modelo creencia-deseo»). La teoría de la mente es sencilla y elegante, y la puede entender un niño de dos años. No hay duda de que aporta una manera muy efectiva de explicar la manera de comportarse de la gente. Y esta capacidad de leer la mente ha sido fundamental para la supervivencia de los seres humanos en grupos sociales. Sin embargo, lo cierto es que esta teoría no podría haber funcionado nunca tan bien a menos que la selección natural hubiera formado al cerebro humano para que fuera capaz de leerse —y ser leído por— entre ellos de esta manera. Y aquí es donde entra la prestidigitación explicativa. Puesto que, como explicación de cómo funciona el cerebro, la teoría de la mente, sencillamente, no cuadra. Es un mito hecho a medida, hipersimplificado, profundo y elegante, un mito cuya ineptitud tal vez no resulte aparente hasta que esos «números extra» se añadan mediante la locura o las lesiones cerebrales... contingencias que la selección no ha tenido en cuenta.

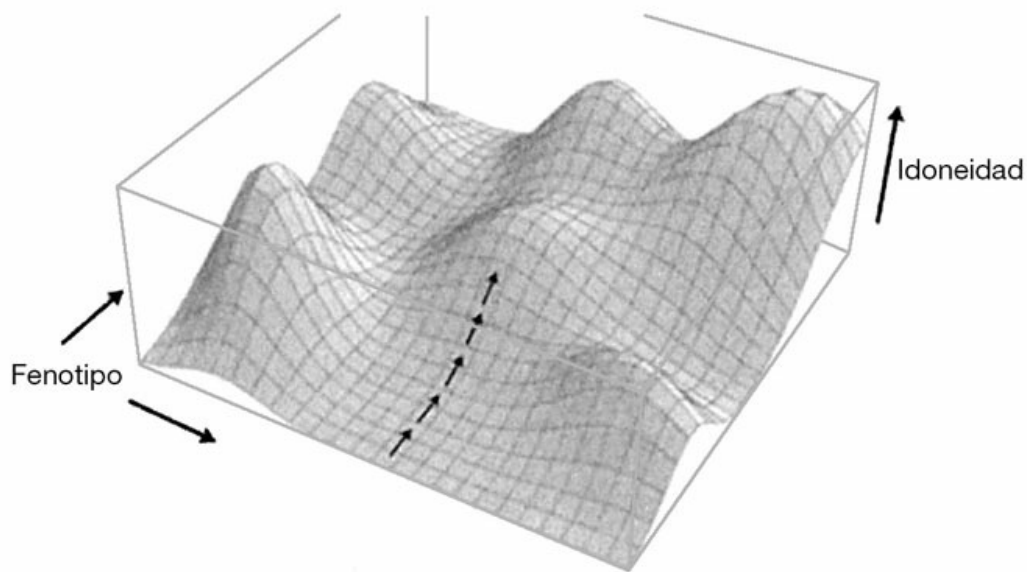
Encuentro bonita esta explicación de la elegancia de la teoría de la mente.

Paisajes adaptativos



STEWART BRAND

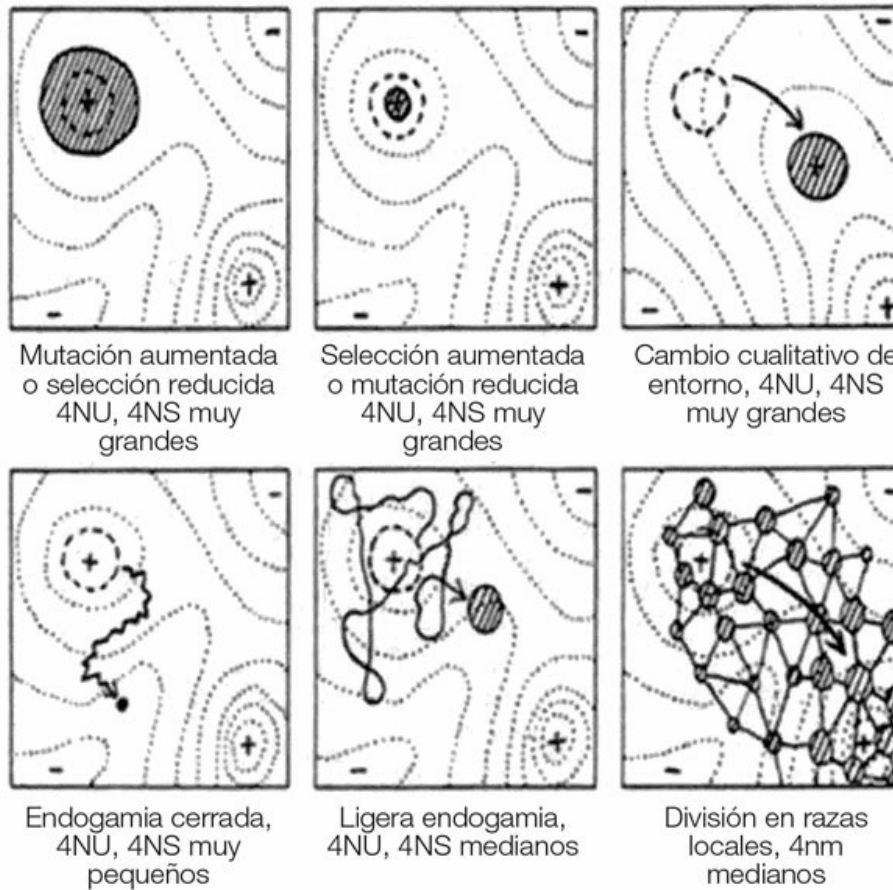
Fundador de *Whole Earth Catalogue*;
cofundador de The Well; cofundador de The
Long Now Foundation; autor de *Whole Earth
Discipline: An Ecopragmatist Manifesto*



La primera vez que vi unos dibujos animados sobre un paisaje adaptativo (en *Nature and Man's Fate* de Garret Hardin, 1965), supe que me estaba dando consejos sobre cómo no quedarme atrapado en el exceso de adaptación —o sea, sobreespecializado— en algún pico local de idoneidad, cuando a lo lejos se podían divisar sierras enteras de oportunidades. Pero alcanzarlas implicaba aventurarse «colina abajo» en zonas de menor adaptación. Aprendí a desconfiar de lo óptimo.

Los paisajes adaptativos (a veces llamados paisajes adaptables) siguen apareciendo cuando la gente intenta averiguar cómo funcionan la evolución o la innovación en un mundo complejo. Hubo una importante crítica de Marvin Minsky y Seymour Papert de optimismo temprano sobre la inteligencia artificial, que advertía de que agentes aparentemente inteligentes subirían estúpidamente «colina arriba» hasta picos locales de óptimos ilusorios, y allí se quedarían atrapados. El teórico de la complejidad Stuart Kauffman utilizó los paisajes adaptativos para visualizar sus ideas sobre el «posible adyacente» en 1993 y 2000, y eso llevó a su vez a la celebración de Steven Johnson de cómo el «posible adyacente» actúa para la innovación en *Where Good Ideas Come From*.

El hombre que hay detrás del genio de los paisajes adaptativos fue el teórico y fundador de la genética poblacional Sewal Wright (1889-1988). En 1932 creó el paisaje como medio de visualizar y explicar cómo las poblaciones biológicas escapan a la trampa potencial de un pico local, imaginando lo que podría empujar su recorrido evolutivo colina abajo desde el pico hacia otras posibilidades. Veamos estos seis diagramas de él:



© Sewall Wright, *The Role of Mutation Inbreeding, Crossbreeding, and Selection in Evolution*; Sexto Congreso Internacional de Genética, Brooklyn Botanical Garden, Brooklyn (Nueva York), 1932.

Los dos primeros diagramas ilustran cómo una presión baja de selección o una tasa alta de mutación (que sucede en las poblaciones pequeñas) pueden expandir el espectro de una especie, mientras que una presión intensa de selección o una tasa baja de mutación pueden limitar severamente una especie al pico mismo de la adaptabilidad local. El tercer diagrama muestra lo que ocurre cuando el propio paisaje cambia y la población ha de evolucionar para cambiar con él.

La fila de abajo explora cómo las poblaciones pequeñas reaccionan a la endogamia errando de manera poco efectiva. Wright consideró que el mejor modo de exploración era el último diagrama, que muestra cómo una especie puede dividirse en una serie de razas que interactúan entre ellas. Esta multitud

agitándose explora bien y es capaz de responder a la oportunidad.

Los paisajes adaptativos expresan tanto y de manera tan económica... no hay mejor forma de mostrar, por ejemplo, los distintos modos de evolución de una isla oceánica remota y de una selva continental. La selva es densa y escarpada, con picos y valles pronunciados, lo que aísla a incontables especies en sus pequeños picos de alta especialización. La isla, con sus pocas especies, es como un paisaje ondulante de suaves colinas con especies que deambulan despreocupadamente por ellas, y pongamos que evolucionan hacia toda una gama de fringílicos de Darwin. Las criaturas y plantas de la isla se van volviendo perezosamente indefensas contra los invasores del continente.

Uno se da cuenta de que el paisaje de cada especie consiste casi por entero en otras especies, todas ellas ocupadas evolucionando rápidamente. Es lo que llamamos coevolución. Somos todos el paisaje adaptativo los unos de los otros.

Sobre océanos y seguridad aeroportuaria



KEVIN P. HAND

Científico planetario y astrobiólogo; científico jefe delegado, Solar System Exploration, Laboratorio de propulsión por reacción de la NASA, California Institute of Technology

Puede que suene extraño, pero por mucho que odie las colas de seguridad de los aeropuertos, debo confesar que mientras me encuentro en ellas, medio desnudo y desprovisto de metal, esperando a cruzar el arco, parte de mi mente vuela hacia océanos que probablemente existen en mundos lejanos de nuestro sistema solar.

Estos océanos están refugiados debajo de las capas de hielo que cubren mundos como Europa, Ganímedes y Callisto (lunas de Júpiter), y Enealdus y Titán (lunas de Saturno). Los océanos de dentro de estos mundos son agua líquida, tal y como la conocemos y nos encanta aquí en la Tierra, y probablemente han existido durante buena parte de la historia del sistema solar (unos 4.600 millones de años). El volumen total de agua que contienen es al menos veinte veces el que se encuentra en la Tierra. Desde el punto de vista de nuestra búsqueda de vida más allá de la Tierra, estos océanos son patrimonio de primera para un segundo origen de la vida y la evolución de ecosistemas extraterrestres.

Pero ¿cómo sabemos que existen? Las lunas están cubiertas de hielo, y no podemos simplemente mirar desde una nave espacial y ver agua líquida. Y aquí es donde interviene la seguridad aeroportuaria. Cuando cruzas un arco de seguridad de un aeropuerto, estás pasando por un campo magnético rápidamente cambiante. Las leyes de la física dictan que si pones un material conductor en un campo magnético cambiante, se producirán corrientes eléctricas, y estas corrientes eléctricas crearán un segundo campo magnético.

A este campo secundario se lo conoce normalmente como campo magnético inducido, porque está inducido por el campo primario del portal. Dentro del portal hay detectores que pueden detectar cuándo hay un campo inducido. Y cuando lo hacen, suena la alarma y te apartan para registrarte más a fondo.

La misma física fundamental es responsable en buena parte de nuestro conocimiento de los océanos en alguno de estos mundos distantes. Europa es un buen ejemplo. A finales de la década de los noventa, la nave de la NASA *Galileo* hizo unos cuantos vuelos de reconocimiento de la luna Europa, y los sensores de campo magnéticos de la nave descubrieron que Europa no tiene un campo interno propio fuerte. En cambio, tiene un campo magnético inducido, creado como resultado del fuerte campo magnético de Júpiter al fondo. Dicho de otro modo, saltó la alarma.

Pero para que la alarma se dispare tiene que haber un conductor. Y para Europa, los datos indicaban que la capa conductora tenía que estar cerca de su superficie. Otras líneas de pruebas ya habían indicado que los aproximadamente 150 kilómetros externos de Europa eran de agua, pero estos grupos de datos no podían ayudar a diferenciar entre hielo sólido y agua líquida. Sin embargo, para los datos del campo magnético, el hielo no funciona: no es un buen conductor. El agua líquida con sus propias sales disueltas en ella, como nuestro propio océano, sí funciona. Los mejores ajustes a los datos indican que Europa tiene una corteza externa de unos 10 km de espesor, debajo de la cual hay un océano global de unos 100 km de profundidad. Debajo de éste hay un suelo rocoso, que puede estar repleto de conductos hidrotermales y de extraños organismos de otro mundo.

Así, la próxima vez que te encuentres en la cola de seguridad de un aeropuerto y te sientas frustrado por culpa de la persona desorganizada que tienes delante y que no parece ser capaz de saber que la hebilla de su cinturón, su cartera y su reloj harán disparar la alarma, respira hondo y piensa en los océanos lejanos posiblemente habitados de los que tenemos noticia, gracias a la misma hermosa física que te está haciendo enloquecer mientras temes perder tu vuelo.

**La tectónica de placas
valida elegantemente la
deriva continental**



PAUL SAFFO

Analista tecnológico; director gerente,
predicción, Discern Analytics; profesor
consultor adjunto, Universidad de Stanford

La tectónica de placas es una explicación maravillosamente elegante de una bella teoría: la deriva de los continentes. Tanto el enigma como la respuesta se ocultaban a simple vista, justo delante de nosotros. Generaciones de jóvenes alumnos de todo el planeta se han dado cuenta de que la curva de Sudamérica parece encajar con el golfo de África, y de que Baja California parece como si la hubieran recortado de la tierra firme mexicana. Estas y otras pistas más sutiles llevaron en 1912 a Alfred Wegener a proponer a la German Geological Society que antaño los continentes habían formado una sola masa de tierra. Su bella teoría fue recibida con abucheos y comentarios hirientes por parte del mundo científico.

El problema era que la bonita teoría de Wegener carecía de mecanismo. Los críticos afirmaron con sarcasmo que era imposible que los continentes, ligeros, se hubieran abierto paso a través de una densa e inflexible corteza oceánica. Nadie, ni siquiera Wegener, podía imaginarse una fuerza que pudiera provocar el movimiento de los continentes. Tampoco ayudaba que Wegener fuera meteorólogo y se estuviera aventurando en territorio geofísico. Moriría en 1930 durante una expedición a Groenlandia, con su teoría arrinconada y prácticamente olvidado.

Mientras tanto, las pistas del mecanismo estaban por todas partes, pero eran al mismo tiempo demasiado pequeñas y demasiado enormes para poder verse. Como hormigas trepando por un globo, los diminutos humanos no se daban cuenta de lo obvio. Habría que esperar la llegada de nuevos y potentes instrumentos científicos para revelar el análisis oculto de la deriva de los

continentes. El sonar rastreó misteriosos surcos lineales que avanzaban a modo de cremallera por los fondos oceánicos. Los magnetómetros arrastrados por el fondo marino revelaron patrones simétricos tipo cebrá de inversiones magnéticas. Los terremotos traicionaron los límites de las placas ante los sismógrafos al acecho. Y los datos radiométricos establecieron una escala que alcanzaban hasta mucho tiempo atrás.

Tres décadas después de la muerte de Wegener, el mecanismo de la tectónica de placas apareció con una claridad pasmosa. Los continentes no se abrían paso por ningún otro cuerpo, sino que habían avanzado como una balsa por encima de la corteza, como frutos secos atrapados en una lámina de chocolate que se está enfriando. Y la corteza oceánica se movía como una cinta transportadora, con una nueva corteza creada en medio del océano que extendía centros y la vieja corteza subducida, destruida, o empujada hacia arriba y que formaba enormes sierras de montañas en los límites en los que se encontraban las placas.

Las explicaciones elegantes son el disolvente kuhniano que quita el pegamento de viejos paradigmas y da lugar a que arraiguen nuevas teorías. La tectónica de placas quedó establecida sin sombra de duda a mediados de la década de los sesenta. Las contradicciones, de pronto, tenían sentido, y cabos tan sueltos que nadie pensaba que podían estar conectados ni de lejos encajaron. Los continentes se contemplaron como los objetos errantes que eran. El Himalaya fue reconocido como el resultado de la presión de una placa india que había colisionado con su vecino euroasiático, y se hizo evidente que estaba naciendo un océano en el Gran Valle del Rif africano. Los misterios fueron cayendo como fichas de dominó ante el poder de predicción de una bella teoría y de su elegante explicación. Los escépticos fueron acallados y Wegener fue reivindicado con carácter póstumo.

Por qué hay tortugas marinas que emigran



DANIEL C. DENNETT

Filósofo; profesor universitario y codirector del Center for Cognitive Studies, Universidad Tufts; autor de *Romper el hechizo: la religión como fenómeno natural*

Mi elección es una explicación que me encanta. Puede ser cierta o falsa, no lo sé, pero, probablemente, alguien que lea Edge será capaz de decirlo, con solvencia, con referencias adecuadas. Estoy ansioso por descubrirlo. Hace años me contaron que el motivo por el que algunas especies de tortugas marinas emigran hasta el Atlántico Sur para poner sus huevos en la costa oriental de Sudamérica, una vez se han aparejado en la costa occidental de África, es que en el momento en que apareció esta conducta Gondwana justo empezaba a separarse (hablamos de entre 130 y 110 millones de años atrás), y estas tortugas tan sólo cruzaban un estrecho para poner sus huevos. Cada año, la travesía se hacía un poco más larga —tal vez un par de centímetros o así—, pero ¿quién se daba cuenta? Al final estaban cruzando el océano para poner los huevos, sin tener ni idea, obviamente, de por qué hacían algo tan extravagante.

Lo delicioso de este ejemplo es que ilustra de manera gráfica varios temas evolutivos importantes: el impactante poder sobre millones de años de un cambio tan gradual es básicamente imperceptible; la inconsciencia de muchas conductas animales, incluso cuando son adaptativas; y, por supuesto, la clarificadora perspectiva de que la evolución a través de la selección natural puede ofrecer a la imaginación del naturalista curioso. También demuestra ya sea la manera en que una hipótesis evolutiva puede rechazarse del todo por datos averiguables (si es refutada), o la manera en que puede ser apoyada por pruebas adicionales (si es aceptada).

Una hipótesis tan atractiva como ésta es el inicio, no el final, de la investigación. Los críticos ridiculizan a menudo las hipótesis evolucionistas sobre acontecimientos prehistóricos como «historias casi-casi», pero como condena global, esta etiqueta debe rechazarse sin más. Miles de hipótesis de este tipo —soñadas primero a partir de pruebas poco sólidas— se han probado y confirmado más allá de la duda razonable. Miles de otras han sido probadas y descartadas. Dicho de otro modo, fueron historias «casi-casi» hasta que dejaron de serlo. Es así como avanza la ciencia.

He advertido que el uso de la acusación de historia «casi-casi» sigue un patrón: casi sin excepciones, se aplica a hipótesis sobre la evolución humana. Parece como si nadie piense en objetar que no podemos saber lo bastante sobre el entorno selectivo que ha llevado hasta la ballena o las flores como para no dejar de opinar con tanta seguridad sobre el cómo y el porqué las ballenas y las flores evolucionaron como lo han hecho. De modo que mi regla de tres es la siguiente: si ves lanzar la etiqueta de historia «casi-casi», busca el motivo político. Casi siempre lo encontrarás. Aunque sin duda es cierto que hay psicólogos evolucionistas que han ofrecido hipótesis sobre la evolución humana cuyas pruebas resultan todavía endebles, y aunque sin duda es cierto que algunos psicólogos evolucionistas han sido menos que diligentes en buscar más pruebas para confirmar o descartar sus hipótesis favoritas, se trata como mucho de una crítica del rigor de algunos investigadores de este campo, no de una condena de su método o de sus hipótesis. Lo mismo podría decirse de muchos otros temas de la biología evolucionista.

**Una tierra joven y
caliente: indudablemente
bella y asombrosamente
errónea**



CARL ZIMMER

Escritor de ciencia; autor de *A Planet of
Viruses*

Hace más o menos 4.567 millones de años, una nube gigante de polvareda se hundió sobre sí misma. En el centro de la nube, nuestro sol empezó a quemar, mientras los granitos de polvo de la capa exterior comenzaron a fusionarse dando vueltas alrededor de la nueva estrella. Al cabo de un millón de años, estos grumos de polvo se habían convertido en protoplanetas. Al cabo de unos 50 millones de años, nuestro propio planeta ya había alcanzado más o menos la mitad de su tamaño actual. A medida que más protoplanetas fueron chocando con la Tierra, ésta siguió creciendo. Con todo, tal vez tardó unos 50 millones de años más hasta alcanzar su tamaño total, un período durante en cual un planeta del tamaño de Marte chocó con ella y dejó tras de sí una prueba de su visita: nuestra luna.

La formación de la Tierra apela a nuestros mayores poderes de imaginación. Es básicamente magnífica. Pero «elegante» no es exactamente la palabra indicada para describir la explicación que acabo de esbozar. Los científicos no la derivaron de principios primeros. No hay ningún equivalente a $E = mc^2$ que prediga cómo la compleja violencia del sistema solar primitivo produjo un planeta acuoso capaz de albergar vida. De hecho, la única razón por la que ahora conocemos cómo se formó la vida es que los geólogos se deshicieron de una explicación elegantemente seductora que les habían endosado hace 150 años. Era indudablemente bella, y asombrosamente errónea.

La explicación fue obra de uno de los físicos más importantes del siglo XIX, William Thomson (alias lord Kelvin). Los logros de Kelvin fueron desde lo concreto (descubrir la manera de extender un cable de telégrafo desde

Europa hasta América) hasta lo abstracto (la primera y la segunda ley de la termodinámica). Kelvin dedicó buena parte de su carrera a escribir ecuaciones que le permitieran calcular lo rápido que se enfrían las cosas. Se dio cuenta de que podía utilizar estas ecuaciones para calcular la edad de la Tierra. «La teoría matemática en la que se basan estos cálculos es muy sencilla», declaró Kelvin cuando la desveló en 1862.[18]

En aquel momento, los científicos aceptaban generalmente que la Tierra había nacido como una bola de roca fundida y que se había estado enfriando desde su origen. Este nacimiento explicaría por qué las rocas del fondo de las minas están calientes: la superficie de la Tierra habría sido lo primero en enfriarse, y desde entonces, el calor restante del interior de la Tierra había ido fluyendo hacia el espacio. Kelvin razonó que, con el tiempo, el planeta se iría enfriando gradualmente. Utilizó sus ecuaciones para calcular el tiempo que debería de tardar una esfera de roca fundida para enfriarse hasta alcanzar la temperatura actual de la Tierra, con su ritmo observado de flujo de calor. Su veredicto fueron unos breves 98 millones de años.

Los geólogos bramaron sus protestas. No sabían lo anciana que era la Tierra, pero lo calculaban en miles de millones de años, no en millones. Charles Darwin —que fue geólogo antes que biólogo— calculó que un valle de Inglaterra había tardado 300 millones de años en erosionarse hasta adquirir su forma actual. La propia Tierra, decía Darwin, era mucho más antigua. Y cuando publicó su teoría de la evolución, dio por sentado que la Tierra era inconcebiblemente antigua; el lujo de disponer de tiempo permitía que la evolución actuara de manera lenta e imperceptible.

A Kelvin no le importó. Su explicación era tan elegante, tan bella y tan sencilla que tenía que ser cierta. No importaba los problemas que representaba para otros científicos que ignoraban la termodinámica. De hecho, cuando revisó sus ecuaciones, Kelvin les dio todavía más problemas a los geólogos. Decidió que su primer cálculo había sido demasiado generoso. La Tierra podía tener tan sólo 10 millones de años.

Resultó que Kelvin se equivocaba, pero no porque sus ecuaciones fueran feas o carecieran de elegancia. Eran impecables. El problema estaba en el modelo de Tierra al que Kelvin las aplicó.

La historia de la refutación de Kelvin se embrolló un poco en años posteriores. Muchos (incluido yo), hemos afirmado erróneamente que su equivocación estaba motivada por su ignorancia de la radioactividad. La radioactividad no se descubrió hasta comienzos de los años 1900, cuando los físicos elaboraron la física cuántica. El físico Ernest Rutherford declaró que el calor liberado por la ruptura de átomos en el interior de la Tierra la mantenía más caliente de lo que estaría de no haberlos. Así, una Tierra caliente no tenía porque ser una Tierra joven.

Es cierto que la radioactividad libera calor, pero dentro del planeta no hay la bastante para justificar el calor que sale de él. En realidad, el error de Kelvin consistió en presuponer que la Tierra era tan sólo una bola sólida de roca. En realidad, la roca fluye como un jarabe, su calor va saliendo hacia la corteza, donde se enfría y luego vuelve a hundirse en las profundidades. Esta agitación de la Tierra es lo que provoca los terremotos, empuja a la vieja corteza a las profundidades del planeta, y crea corteza nueva en los surcos oceánicos. También eleva el calor hacia la corteza a una velocidad mucho mayor de la que concibió Kelvin.

Eso no significa que la radioactividad no tuviera su parte de responsabilidad en demostrar que Kelvin se equivocaba. Los físicos se dieron cuenta de que el *tic-tac* de la descomposición radioactiva creaba un reloj que podían utilizar para calcular la edad de las rocas con una precisión exquisita. Así, ahora podemos decir que la Tierra no tiene sólo miles de millones de años, sino 4.567 millones.

La elegancia desempeña sin duda un papel muy importante en el avance de la ciencia. La simplicidad matemática de la física cuántica es preciosa de contemplar. Pero, en manos de los geólogos, la física cuántica ha sacado a la luz la gloriosa, caótica y muy poco elegante historia de nuestro planeta.

Teoría del conflicto sexual



DAVID M. BUSS

Profesor de psicología, Universidad de Texas,
Austin; coautor (con Cindy M. Meston) de *Why
Women Have Sex: los secretos de la
sexualidad femenina*

En las tradicionalmente separadas disciplinas de la biología evolutiva y la psicología ha surgido un paralelismo fascinante. Los biólogos han considerado históricamente la reproducción como una aventura intrínsecamente cooperativa. Un macho y una hembra se aparejarían con el objetivo compartido de reproducirse en sus cachorros compartidos. En psicología, se presuponía que la armonía romántica era el estado normal. Los grandes conflictos dentro de las parejas románticas eran, y siguen siendo, considerados como síntomas de disfuncionalidad. Una reformulación radical, encarnada en la teoría del conflicto sexual, cambia radicalmente estas posturas.

El conflicto sexual ocurre cuando los intereses reproductivos de un macho y una hembra individuales divergen, o, más exactamente, cuando divergen los «intereses» de sus genes. La teoría del conflicto sexual define las muchas circunstancias en las cuales el desacuerdo es predecible y totalmente esperable.

Valoremos el engaño en el mercado del apareamiento. Si un hombre persigue una estrategia de apareamiento a corto plazo y la mujer por la cual muestra interés sigue una estrategia a largo plazo, el conflicto entre ellos es prácticamente inevitable. Se sabe que los hombres fingen compromiso, interés o implicación emocional a largo plazo con el objetivo de obtener relaciones sexuales esporádicas, lo cual interfiere con la estrategia de apareamiento a largo plazo de las mujeres. Los hombres han desarrollado sofisticadas estrategias de explotación sexual; a la inversa, las mujeres a veces se

presentan como oportunidades a bajo coste y luego invaden la mente de apareamiento del hombre de manera tan rotunda que él se despierta un día por la mañana y se da cuenta de que no puede vivir sin ella... una versión de la táctica del «gato por liebre» del evolucionado arsenal femenino.

Una vez apareados en una unión romántica a largo plazo, un hombre y una mujer siguen divergiendo a menudo en sus intereses evolutivos. La infidelidad sexual por parte de la mujer puede beneficiarla por el hecho de asegurarse unos genes superiores para su progenie, un hecho con costes catastróficos para su desafortunada pareja, que sin saberlo dedica recursos a cuidar del hijo de un rival. Desde el punto de vista de la mujer, la infidelidad masculina supone el riesgo de desviar recursos preciosos a mujeres rivales y sus hijos, y representa el peligro de perder totalmente el compromiso del hombre. La infidelidad sexual, la infidelidad emocional y la infidelidad de recursos son fuentes tan habituales de conflicto sexual que los teóricos han acuñado frases distintas para cada una.

Pero no todo está perdido. Tal y como la evolucionista Helena Cronin ha destacado de manera elocuente, el conflicto sexual surge en el contexto de la colaboración sexual. Las siguientes condiciones evolutivas de la colaboración sexual son bien especificadas: cuando las relaciones son totalmente monógamas; cuando hay cero probabilidad de infidelidad o abandono; cuando la pareja produce hijos, el vehículo compartido de su carga genética; y cuando los recursos comunes no se pueden canalizar de manera diferencial, como a un conjunto de familia política frente a otro. Estas condiciones a veces se cumplen, lo que conduce a un gran amor y armonía entre un hombre y una mujer.

El predominio del engaño, la coacción sexual, el acoso, la violencia de pareja, el asesinato y las muchas formas de infidelidad revelan que el conflicto entre los sexos es omnipresente. La teoría del conflicto sexual, una consecuencia lógica de la genética evolutiva moderna, nos ofrece la explicación teórica más bella de estos lados más oscuros de la interacción sexual humana.

Las semillas del dominio histórico



DAVID PIZARRO

Profesor adjunto de psicología, Universidad de
Cornell

Una de las explicaciones más elegantes con que me he encontrado en las ciencias sociales es cortesía de Jared Diamond, y está enunciada en su maravilloso libro *Armas, gérmenes y acero (Breve historia de la humanidad en los últimos trece mil años)*. Diamond intenta responder a una cuestión enormemente compleja e históricamente controvertida —por qué hay ciertas sociedades que alcanzaron el dominio histórico sobre otras— recurriendo a un conjunto de diferencias básicas en los entornos físicos de los que surgieron estas sociedades, como las diferencias en la disponibilidad de plantas y animales aptos para su domesticación.

Estas diferencias, afirma Diamond, dieron lugar a una serie de ventajas específicas, como una mayor inmunidad a las enfermedades, que fueron responsables directas del triunfo histórico de algunas sociedades. No soy experto en este campo, de modo que soy consciente de que la explicación de Diamond podría muy bien ser errónea... No obstante, el encanto de un mecanismo tan básico que explica un conjunto tan amplio de observaciones complejas aporta tanta satisfacción que espero que sea verdadera.

La importancia del individuo



HOWARD GARDNER

Profesor Hobbs de cognición y educación,
Harvard Graduate School of Education; autor
de *Verdad, belleza y bondad reformuladas:*
Las enseñanza de las virtudes en el siglo XXI

Me considero científico, y la teoría de la evolución es muy fundamental para mi pensamiento. Soy científico social y he sido informado por aportaciones de muchas ciencias sociales distintas, incluida la economía. Y sin embargo, siento poca simpatía por los intentos hegemónicos de explicar todo el comportamiento humano a través de la psicología evolutiva, a través de la economía de la elección racional, y/o a través de una combinación de estos dos marcos.

En un planeta hoy habitado por casi 7.000 millones de personas, me asombra la diferencia que puede marcar un solo ser humano. Pensemos en la música clásica sin Mozart o Stravinsky; o en la pintura sin Caravaggio, Picasso o Pollock; o en el teatro sin Shakespeare o Beckett. Pensemos en las increíbles aportaciones de Miguel Ángel o Leonardo, o, en épocas más recientes, en las manifestaciones de tristeza por la muerte de Steve Jobs (o, en cualquier caso, de Michael Jackson o de la Princesa Diana). Pensemos en los valores humanos si no fuera por Moisés o Jesucristo.

Por desgracia, no todos los individuos singulares marcan una diferencia positiva. La historia del siglo XX hubiera sido mucho más feliz si no llega a ser por Hitler, Stalin o Mao (o el siglo XXI sin Bin Laden). Pero, como reacción a estos individuos, a veces surgen figuras mucho más dignas de admiración: Konrad Adenauer en Alemania, Mikhail Gorbachev en la Unión Soviética, Den Xiaoping en China. Estos sucesores también marcan una señal de diferencia.

Considero a Mahatma Gandhi como el ser humano más importante del último milenio. Sus logros en la India hablan por sí solos. Pero incluso si Gandhi no hubiera aportado energía vital y liderazgo a su propio país, ejerció una influencia enorme sobre los resistentes pacíficos de todo el planeta: Nelson Mandela en Sudáfrica, Martin Luther King Jr. en Estados Unidos, y las figuras solitarias de la plaza Tiananmen en 1989 y de la plaza Tahrir en 2011.

A pesar de los esfuerzos laudatorios de los científicos por averiguar nuestros patrones de conducta humana, sigue impresionándome el impacto de los individuos, o de los pequeños grupos, que luchan contra corriente. Como académicos no podemos ni debemos ocultar estos ejemplos bajo la alfombra investigadora. Debemos tener presente el famoso mandato de la antropóloga Margaret Mead: «No dudéis nunca de que un pequeño grupo de ciudadanos comprometidos es capaz de cambiar el mundo; de hecho, es lo único que ha sido capaz de hacerlo».

Entorno subjetivo



ANDRIAN KREYE

Editor de *The Feuilleton* (arte y ensayo) del
periódico alemán *Süddeutsche Zeitung*,
Múnich

Las explicaciones tienden a adoptar la máxima elegancia cuando la ciencia destila los vagabundeos de la filosofía hasta convertirse en dato. Buscaba explicaciones sobre una observación cuando me tropecé con la teoría de *Umwelt vs. Umfeld* (más o menos, «entorno frente a alrededores») del biólogo estonio y padre fundador de la biosemiótica Jacob von Uexküll. Según su definición, *Umwelt* es el entorno subjetivo, tal y como lo percibe y como actúa un organismo de acuerdo con él, mientras que el *Umfeld* es el entorno objetivo, que engloba y actúa sobre todos los organismos dentro de él.

Mi observación ha sido una mera noción de la diferencia principal entre mi Europa nativa, y América, mi continente de adopción durante un par de décadas. En Europa, el presente se percibe como en final de la historia. En América, en cambio, se percibe como el inicio del futuro. La filosofía o la historia, esperaba yo, tendrían una explicación para esta diferencia tan fundamental y al mismo tiempo simple. Ambas son capaces de ofrecer partes de una explicación, por supuesto. Los diferentes caminos que las historias de las ideas y las historias de los países han experimentado en los últimos doscientos años son impresionantes.

La definición de Uexküll del entorno subjetivo publicada en su libro *Umwelt und Inneewelt der Tiere* (algo así como «Entornos y mundos interiores de los animales»), publicado en el idioma de su exilio alemán) pone tanto a la historia como a la filosofía en perspectiva y contexto. Puesto que desconfiaba de las teorías, quería que las ideas persistieran en la naturaleza, por lo que puso a prueba su noción de entorno subjetivo en el océano Índico,

el Atlántico y el Mediterráneo. Observó a criaturas simples como las anémonas, los erizos de mar y los crustáceos, pero el ejemplo famoso que ilustra su teoría es la garrapata. En ella encontró una criatura cuya percepción y acciones podían definirse mediante tres parámetros. Las garrapatas perciben su entorno por las direcciones arriba y abajo, por cálido y frío, y por la presencia o la ausencia de ácido butírico. Sus acciones para sobrevivir y procrear son reptar, esperar y agarrarse.

Este modelo lo llevó a definir no sólo el entorno sino también el tiempo como noción subjetiva. Averiguó que la percepción del tiempo de cualquier organismo es tan subjetiva como su percepción del espacio, y que está definida por las mismas percepciones y acciones que crean el entorno subjetivo del organismo.

Si el tiempo subjetivo está definido por las experiencias y las acciones de un organismo, el contexto de la historia de un continente, con su infinidad de parámetros, convierte a la filosofía y a la historia en meros factores de un entorno complejo de percepción colectiva. Bueno, ésta era una explicación elegante de una observación más bien simple. Lo que la hace todavía más elegante es la idea de que en el contexto de la evolución de un continente, factores tales como la geografía, el clima, los alimentos y la cultura figurarán en la percepción tanto del entorno subjetivo como del tiempo subjetivo, lo que imposibilita demostrar o descartar la explicación científicamente. Habiendo reducido la filosofía a tan sólo uno de entre varios parámetros, reduce por tanto a una mera divagación sus esfuerzos por desacreditar la definición que hizo Jacob von Uexküll del entorno subjetivo.

**Mi explicación elegante y
fastidiosa preferida: la
teoría cuántica**



RAPHAEL BOUSSO

Profesor de física teórica, Universidad de
California-Berkeley

Mis explicaciones elegantes preferidas ya habrán sido elegidas por otros que han presentado antes sus deberes. Aunque soy físico teórico, mi elección podría fácilmente ser Darwin. Más cercana a mi campo de especialización se encuentra la relatividad general: la comprensión de Einstein de que la caída libre es una propiedad del propio espacio-tiempo, lo que resolvió rápidamente un gran misterio (el porqué de que la gravedad actúa de la misma manera sobre todos los cuerpos). Así, en aras de la diversidad, introduciré una variante y comentaré mi explicación elegante y fastidiosa preferida: la teoría cuántica.

De todas las explicaciones, hay pocas con aplicaciones prácticas tan amplias como el marco revolucionario de la mecánica cuántica, que se desarrolló en el primer cuarto del siglo XX. ¿Por qué son estables los átomos? ¿Por qué brillan las cosas calientes? ¿Por qué puedo mover la mano por el aire, pero no por una pared? ¿Qué facilita la energía al sol? Los extraños mecanismos de la mecánica cuántica figuran en el centro de nuestra comprensión tan precisa y cuantitativa de estos y muchos otros fenómenos.

Y desde luego que son extraños. Un electrón toma todos los caminos entre los dos puntos en los cuales es observado, y no sirve de nada preguntar qué camino ha tomado realmente. Debemos aceptar que su impulso y posición no pueden saberse con precisión arbitraria. Durante un tiempo hasta se pensó que había dos leyes distintas para la evolución temporal: la ecuación de Schrödinger gobierna los sistemas no observados, pero el misterioso «colapso de la función de onda» aparece cuando se hace una medición. Este último, con su inquietante implicación de que los observadores conscientes pudieran

desempeñar un papel en la teoría fundamental, ha sido suplantado, con retraso, por la noción de coherencia. El aire y la luz de una habitación, que en la teoría clásica tendrían poco efecto en un dispositivo de medición, alteran de manera fundamental la descripción mecánico-cuántica de cualquier objeto que no esté cuidadosamente aislado de su entorno. Esto, también, es extraño. Pero hagamos el cálculo y encontraremos que lo que antes llamábamos colapso de la función de onda no necesitapostularse como un fenómeno separado, sino que más bien surge de la ecuación de Schrödinger, una vez tenemos en cuenta la función del entorno.

Por el mero hecho de ser rara no significa que la mecánica cuántica sea errónea. El árbitro es la naturaleza, y los experimentos han confirmado muchas de las propiedades más raras de esta teoría. Y a la mecánica cuántica tampoco le falta elegancia: es un marco más bien simple con un enorme poder de explicación. Lo que me fastidia es esto: no sabemos seguro si la mecánica cuántica es errónea.

Muchas grandes teorías de la física llevan intrínseca la semilla de su desaparición. Esta semilla es algo bello. Nos da indicios de descubrimientos profundos y de revoluciones conceptuales que están todavía por venir. Un día, la bella explicación que acaba de transformar nuestra visión del universo será suplantada por otra, todavía más profunda. Cuantitativamente, la nueva teoría debe reproducir todos los éxitos experimentales de la vieja, pero cualitativamente, es probable que se apoye sobre conceptos nuevos, lo que permitirá plantear preguntas y obtener conocimientos hasta el momento inimaginables.

Newton, por ejemplo, se quedó preocupado por el hecho que su teoría de la gravedad permitía las comunicaciones instantáneas a través de distancias arbitrariamente largas. La teoría general de la relatividad de Einstein resolvió este problema, y como productos derivados nos dio el espacio-tiempo dinámico, los agujeros negros y un universo en expansión que probablemente tuvo un principio.

La relatividad general, a su vez, es sólo una teoría clásica. Se apoya sobre una premisa que sabemos falsa: que la posición y el impulso pueden conocerse simultáneamente. Esto podría ser una buena aproximación para las manzanas,

los planetas y las galaxias, objetos grandes, para los cuales las interacciones gravitacionales tienden a ser mucho más importantes que para las partículas diminutas del mundo cuántico. Pero, en principio, la teoría es errónea. La semilla está ahí. La relatividad general no puede ser la última palabra; puede ser tan sólo una aproximación a una teoría de la gravedad cuántica más general.

Pero ¿qué hay de la propia mecánica cuántica? ¿Dónde está su semilla de destrucción? Sorprendentemente, no es evidente que tenga una. El propio nombre de la gran misión de la física teórica —cuantificar la relatividad general— revela la expectativa de que la teoría cuántica permanezca intacta por la unificación que perseguimos. La teoría de cuerdas —desde mi punto de vista, de lejos el resultado más exitoso, aunque incompleto, de esta investigación— es estrictamente mecánica cuántica, sin ninguna modificación en absoluto del marco que completaron Heisenberg, Schrödinger y Dirac. De hecho, la rigidez matemática de la mecánica cuántica dificulta la concepción de cualquier modificación, sea o no requerida por la observación.

No obstante, hay síntomas sutiles de que la mecánica cuántica sufrirá también el destino de sus predecesoras. Lo más intrigante, a mi entender, es el papel del tiempo. En mecánica cuántica, el tiempo es un parámetro esencial de la evolución, pero en la relatividad general es sólo un aspecto del espacio-tiempo, un concepto que sabemos que se desmonta ante la singularidad de las profundidades de un agujero negro. Donde el tiempo ya no tiene sentido, es difícil de ver cómo la mecánica cuántica podría seguir reinando. Puesto que la mecánica cuántica seguramente plantea problemas para la relatividad general, la existencia de singularidades sugiere que la relatividad general seguramente planteará problemas para la mecánica cuántica. Contemplar el desarrollo de esta batalla resultará fascinante.

**La venganza de Einstein:
la nueva cuántica
geométrica**

ERIC R. WEINSTEIN

Matemático y economista; director de Natron
Group

No fue hasta hace poco que la moderna teoría cuántica se empezó a entender como mucho más exquisitamente geométrica que la relatividad general de Einstein. Cómo se llegó a descubrir esto a lo largo de los últimos cuarenta años es una historia fascinante que, que yo sepa, no ha sido jamás contada totalmente, puesto que no es en especial popular entre las personas que crearon este asombroso logro.

La historia empieza en algún momento alrededor de 1973-1974, cuando nuestra imagen de consenso sobre la teoría fundamental de las partículas dejó de avanzar. Esta parálisis, conocida como el modelo estándar de la física de partículas, inicialmente pareció poco más que un área de descanso temporal en el imparable camino hacia el progreso de la física fundamental, y los teóricos no perdieron el tiempo proponiendo nuevas teorías con la expectativa de que serían rápidamente confirmadas por experimentadores en busca de fenómenos nuevos. Pero esa entrada esperada en la tierra prometida de la nueva física se convirtió en un período de cuarenta años de divagaciones tribales medio enloquecidas en un desierto árido, prácticamente desprovisto de fenómenos nuevos.

Y sin embargo, al mismo tiempo que la teoría de las partículas se quedaba estancada, a mediados de la década de los setenta, algo increíble sucedía silenciosamente durante un almuerzo en la Universidad Estatal de Nueva York, en Stony Brook. Allí, el premio Nobel de física C. N. Yang y el geómetra (y pronto multimillonario) Jim Simons habían puesto en marcha un seminario informal para entender qué tenía que ver (si es que había algo) la geometría moderna con la teoría cuántica. Su asombroso descubrimiento fue que tanto los

expertos en geometría como los teóricos cuánticos habían recogido distintos conjuntos de informaciones de una estructura común que cada grupo había descubierto por su cuenta. Una especie de piedra de Rosetta llamada «diccionario Wu-Yang» fue rápidamente elaborado por los físicos, e Isadore Singer, del MIT, llevó estos resultados de Stony Brook a su colaborador Michael Atiyah, a Oxford, donde su estudio con Nigel Hitchin inició un renacimiento geométrico en geometría inspirada en la física que es todavía vigente.

Aunque la historia de Stony Brook no es tan comentada por los matemáticos y físicos más jóvenes de hoy, tampoco es un punto de disputa entre los distintos miembros de la comunidad. No obstante, la parte polémica de esta historia es que una esperada época dorada de los físicos teóricos no se materializó ni produjo una nueva teoría de consenso de las partículas elementales. En cambio, la interacción subrayó la extraña idea de que, sólo posiblemente, la teoría cuántica era realmente un conjunto natural y elegante de geometría pura que había caído en un estado abismal de dilapidación, colocándolo más allá del reconocimiento matemático. Según este argumento, el choque de trenes de la moderna teoría cuántica de campos era capaz de aferrarse a la vida con las uñas y de sobrevivir a numerosas experiencias casi letales, enfrentándose al rigor matemático sólo porque la sostenía una geometría natural de dimensión infinita que, a día de hoy, sólo se entiende parcialmente.

En resumen, que la mayoría de los físicos intentaban y no lograban cuantificar la teoría geométrica de la gravedad de Einstein porque lo que querían era ir en la dirección opuesta y menos glamorosa de geometrizar el cuanto. Por desgracia para los físicos, los matemáticos habían fallado y no habían desarrollado lo bastante la geometría de los sistemas de dimensiones infinitas (como el modelo estándar), que habría sido análoga a la geometría de Riemannian que Einstein se apropió de las matemáticas.

Este revés podría muy bien considerarse como la venganza de Einstein por el exceso de triunfalismo cuántico, un plato servido bien frío décadas después de su muerte: cuanto más soñaban los investigadores en ser premio Nobel de física por cuantificar la gravedad geométrica, más se les premiaba sólo como

matemáticos por la tarea relativamente auxiliar de geometrizar el cuanto. Cuanto más afirmaban que «el poder y la gloria» de la teoría de cuerda (un trozo de física subatómica fracasada de la década de los setenta que misteriosamente se arrastró hasta el siglo XXI) era la única partida en juego, más aparente era que la unificación basada en las cuerdas, a falta de predicciones demostrables, se estaba hundiendo hasta el fondo del mar.

Lo que aprendimos de este episodio fue profundo. Si los físicos fracasaron, fue sólo en sus propios términos que se encaminaron hacia la derrota. Justo en una época anterior, en la que una serie de físicos se equiparon de nuevo para convertirse en la primera generación de biólogos moleculares, los físicos llegaron a dominar buena parte de la geometría moderna en las últimas cuatro décadas, apuntándose numerosos éxitos que superarán la prueba del tiempo. Igualmente, su intento de cuantificar la geometría salió mal de la manera más romántica y elegante posible, porque en vez de ello geometrizaron el cuanto, lo cual, examinado a toro pasado, era necesario para llenar un vacío que habían dejado los geómetras matemáticos. Era una laguna que los matemáticos habrían descubierto tarde o temprano, puesto que hoy en día se considera como una parte totalmente natural de la matemática pura. La teoría cuántica de campos, a pesar de su nombre, resulta ser un trozo de matemática pura desarrollado por ingeniosos aficionados por la necesidad de extraer las consecuencias de las ecuaciones fundamentales que representaban el auténtico contenido físico.

Pero la lección más importante es que, como mínimo, el sueño menor de Einstein ya se ha hecho realidad como una especie de esfuerzo de grupo. Todos los fenómenos físicos conocidos pueden hoy reconocerse como modelados a partir del mármol puro de la geometría, a través del esfuerzo de un panteón de nuevos gigantes con nombres menos conocidos, como Quillen, Singer, Simons, Atiyah, Witten, Penrose, Yang, Schwartz, Seiberg, Segal, Hitchin y Jackiw. Eso explica, antes de la unificación, que el código original del universo es probablemente un sistema operativo puramente geométrico escrito en un único lenguaje de programación. Aunque eso deja la búsqueda de la física unificadora inacabada y el mármol como una especie de moqueta de colores surtidos, sugiere que los líderes de los tiempos del modelo estandar

emplearon bien ese período de parálisis para el beneficio de los que esperamos seguirlos.

¿Qué hora es?



DAVE WINER

Creador de programas informáticos; fundador
de UserLand Software; editor del weblog
Scripting News

Hace unos años oí que sólo lleva reloj la gente anticuada. Pero yo pensaba que siempre llevaría reloj. Hoy, ya no lo llevo.

¿Cómo sé qué hora es? O prescindo de ella, o mantengo la mirada fijada en una pantalla que tiene la hora en la esquina superior derecha. Tanto es así que me da rabia que la realidad no lleve también la hora en la esquina superior derecha.

El realismo y otras medias verdades metafísicas



TANIA LOMBROZO

Profesora adjunta de psicología, Universidad
de California-Berkeley

Las explicaciones más profundas, más elegantes y más bellas son las que encontramos tan abrumadoramente convincentes que ni siquiera nos damos cuenta de que están ahí. Reconocer su presencia y evaluar sus méritos puede llevar años de formación filosófica. Veamos los tres ejemplos siguientes:

Realismo

Explicamos el éxito de nuestras teorías científicas mediante una alusión a lo que los filósofos llaman realismo: la idea de que son más o menos verdaderas. Dicho de otro modo, la química «funciona» porque los átomos existen de verdad, y lavarse las manos impide las enfermedades porque realmente hay patógenos deambulando.

Otras mentes

Explicamos por qué la gente actúa como lo hace postulando que tienen mentes más o menos parecidas a las nuestras. Presuponemos que tienen sentimientos, creencias y deseos, y que no son (por ejemplo) autómatas zombis que actúan convincentemente como si tuvieran mente. Eso requiere una pirueta intuitiva.

Causación

Explicamos la relación predecible entre algunos acontecimientos que llamamos causas y otros a los que llamamos efectos porque recurrimos a un poder misterioso llamado causación. Sin embargo, tal y como indicó el filósofo del siglo XVIII David Hume, «nunca descubrimos nada más que un hecho que le sigue a otro», y nunca observamos directamente «una fuerza o poder mediante el cual opera la causa, ni ninguna conexión entre ésta y su

supuesto efecto».[19]

Estas explicaciones son el centro de la comprensión humana del mundo, de nuestra metafísica intuitiva. También ilustran los hitos de una explicación satisfactoria: unifican muchos fenómenos dispares recurriendo a un número reducido de principios centrales. Dicho de otro modo, son amplios pero simples. El realismo puede explicar el éxito de la química, pero también de la física, la zoología y de la ecología submarina. La creencia en otras mentes puede ayudar a alguien a entender la política, a su familia y una novela como *Middlemarch*. Y asumir que estamos en un mundo gobernado por relaciones causales ordenadas ayuda a explicar las predecibles asociaciones entre la luna y las mareas, y también la del consumo de cafeína y el insomnio.

No obstante, cada explicación ha sido gravemente atacada en algún u otro momento. Pongamos, por ejemplo, el realismo. Aunque muchas de nuestras actuales teorías científicas son ciertamente impresionantes, son el final de una larga sucesión de fracasos: todas las teorías del pasado han sido erróneas. La astronomía de Ptolomeo fue de larga duración, pero luego vino la revolución copernicana. La mecánica de Newton es realmente impresionante, pero al final quedó desbancada por la física contemporánea. La modestia y el sentido común sugieren que, como sus antecesores, nuestras teorías actuales acabarán siendo anuladas. Pero, si no son verdaderas, ¿por qué son tan efectivas? El realismo intuitivo es como mucho una media verdad metafísica, aunque sea relativamente inofensivo.

De estos ejemplos extraigo dos lecciones importantes. La primera, que la profundidad, la elegancia y la belleza de nuestras explicaciones metafísicas intuitivas pueden ser una carga. Estas explicaciones son tan amplias y tan simples que las dejamos funcionar de fondo, las invocamos constantemente pero en raras ocasiones las escrutamos. El resultado es que la mayoría no somos capaces de defenderlas y que no las revisamos. Las medias verdades metafísicas encuentran un hogar seguro y feliz en la mayoría de las mentes humanas.

La segunda, que la profundidad, la elegancia y la belleza de nuestras explicaciones metafísicas intuitivas nos pueden llevar a apreciarlas menos en vez de más. Como un zumbido constante, nos olvidamos de que están. Es así

que las explicaciones que se celebran más a menudo por sus virtudes —como la selección natural y la relatividad— son muy distintas de aquellas que forman el fundamento de las creencias intuitivas. Las explicaciones celebradas tienen las características de la solución a un buen asesinato misterioso. En tanto que las explicaciones metafísicas intuitivas son fáciles de generar pero difíciles de evaluar, las superestrellas de la ciencia como la evolución son típicamente al contrario: difíciles de generar pero fáciles de evaluar. En el primer caso necesitamos a filósofos como Hume para sacarnos de la complacencia, y en el segundo a científicos como Darwin para hacer avanzar la ciencia.

**Lo único que necesitamos
es ayuda**



SEIRIAN SUMNER

Investigador asociado en evolución de la
socialización; Instituto de Zoología, Zoological
Society of London

Con mis hijos suelo jugar a esto; es un juego de adivinanzas: piensa en un animal, persona u objeto y luego intenta describírselo a otra persona sin desvelar su identidad. La otra persona tiene que adivinar qué/quién eres. Tienes que meterte en el personaje y contar una historia: ¿qué haces, cómo te sientes, qué piensas y qué quieres?

Probémoslo. Lee las escenas de personajes a continuación y mira si puedes adivinar quién o qué son:

«¡Sencillamente, es injusto! Mamá dice que soy un vago y que ya no puede permitirse que me quede con ella. Pero a mí me gusta estar con una familia numerosa, no quiero marcharme. ¿Por qué arriesgarme a marcharme de casa? ¡Quién sabe lo que me espera ahí fuera! Mamá dice que si me quedo en casa, necesitamos algún tipo de “pegamento” que impida separarnos. Y, bueno, el pegamento es caro, y ella dice que no tiene el tiempo ni la energía para hacerlo, puesto que está ocupada criando hijos. Pero entonces tuve esta idea brillante: ¿y si hago yo el pegamento, usando un poco de pared celular (a mamá no le importará) y unas cuantas glicoproteínas (son un poco pegajosas, de modo que debo prometerle a mamá que luego me lavaré las manos) y ¡bingo! Misión cumplida: ya tenemos una agradable y acogedora matriz extracelular. Me encantará hacer la mayor parte del trabajo, siempre y cuando mamá siga dándome más hermanos. Anoche se lo sugerí a mamá y, ¿sabéis qué? ¡Dijo que sí! Pero también dice que me echará si no cumplo mi parte del trato. Nada de oportunistas...».

¿Quién soy? Soy un organismo unicelular evolucionando a multicelular. Si

me agrupo con mis parientes, alguien necesitará pagar el coste de mantenernos juntos: la matriz extracelular. No me importa pagar este precio si me beneficio de la replicación de mis propios genes a través de mis parientes.

Bueno, ésta era difícil. Probemos con esta otra:

«Soy probablemente lo que llamaríamos de tipo maternal. Me gusta tener bebés, y probablemente este año ya he tenido demasiados, al menos eso es lo que me dicen mis hijos. Pero parece que se me da bastante bien. Por su puesto, los quiero a todos por igual. Aunque es un trabajo durísimo, en especial porque su padre no se quedó con nosotros. Sólo le interesaba una cosa, y se largó en un abrir y cerrar de ojos. Pero no veo cómo mis bebés van a sobrevivir si no obtengo un poco de ayuda por aquí: todas esas bocas por alimentar, sin tiempo para despejar el espacio... Así que el otro día le dije al mayor de todos: ¿cómo lo ves, chico? ¿No te gustaría ayudar un poco a tu vieja mamá? He aquí el trato: tú sales a buscar un poco de comida mientras yo aprieto para sacar unos cuantos hermanitos tuyos más. Recuerda, chico, lo hago por ti: todos estos hermanitos que produzco con el tiempo te recompensarán. Un día, uno de ellos será una mamá igual que yo, ¡imagínatelo! Y seguirás recogiendo los beneficios de ella, también, una vez tú y yo ya no estemos. Así no tendrás que preocuparte nunca por el sexo, chico, ni por nada de esas cosas del esperma. Tu vieja tiene todo lo que necesitas, justo aquí. Lo único que tienes que hacer es alimentarnos y recoger el desorden. Así, buen chico... venga, vete, pero no hables con desconocidos, ¡sobre todo si son hombres!».

¿Quién soy? Soy un insecto que se convierte en sociedad. Si hago el nido sola, tengo que encontrar comida, lo que significa tener que dejar solos a mis cachorros. Si alguno de los mayores se queda en casa y me ayuda, pueden salir a cazar y dejarme cuidando de los pequeños. De esta manera, hasta puedo tener más bebés, lo que a mis hijos les encanta, porque eso significa que más y más de sus genes se transmiten a través de sus hermanos. En cualquier caso, para los pequeños el mundo exterior es bastante duro, es mucho menos arriesgado quedarse en casa.

Unos pequeños retoques de los detalles en las escenas anteriores y podría igualmente ser un gen que se convierte en genoma, o un procariota que se

convierte en eucariota. Formo parte del mismo acontecimiento universal en el patio de la evolución. Soy la evolución de la ayuda y la cooperación. Soy la principal transición que da forma a todos los niveles de la complejidad biológica. El motivo por el que ocurro es porque ayudo a otros como yo, y nos podemos de acuerdo en el reparto del trabajo. (Bueno, hay algunas peleas, pero compensamos el conflicto con la cooperación, y a veces un poco de coacción tampoco va mal.) Y el motivo por el que ayudo no es que me haga sentir bien, sino que, paradójicamente, ayudar me beneficia. ¿Mi secreto? Soy bastante selectivo: me gusta ayudar a mis parientes, porque luego ellos acaban ayudándome a mí, transmitiendo nuestros genes compartidos. He adoptado la transición de la autonomía a la cooperación, ¡y siento muy bien!

La evolución de la cooperación y de la conducta cooperadora es una explicación bella y simple de cómo la naturaleza se hizo compleja, diversa y maravillosa. No se limita a las carismáticas suricatas o a las fluffly bumblebees. Es un fenómeno general que pasa por encima de los lados buenos, malos y feos de la naturaleza, generando las jerarquías biológicas que caracterizan el mundo natural. Grupos de individuos (genes, procariotas, organismos unicelulares y multicelulares) que anteriormente podían replicarse independientemente se unen para formar individuos nuevos y más complejos por derecho propio. Este nuevo individuo colectivo sólo puede replicarse como un todo. Si tomamos cada componente de forma aislada no será capaz de funcionar ni de transmitir los genes a la siguiente generación.

La ley más simple y más elegante del mundo natural explica por qué evoluciona esta complejidad: la teoría de William Hamilton de 1964 sobre la adaptación inclusiva, que engloba la esencia de la selección natural. Las entidades cooperan porque ello aumenta su adaptabilidad, es decir, sus posibilidades de transmitir los genes a la generación siguiente. Los receptores de ayuda se benefician de una reproducción personal reforzada, esto es, adaptación directa. Los ayudantes se benefician de la propagación de los genes que comparten con los parientes a los que ayudan. Todavía tenemos insectos solitarios, organismos unicelulares y procariotas, porque las condiciones necesitan ser las adecuadas para que la división del trabajo evolucione: los beneficios deben superar los costes, y esta suma se ve

afectada por las opciones disponibles para las entidades replicadoras independientes. La ecología y el entorno desempeñan una función, igual que el parentesco. La división del trabajo resultante es la base fundamental de la vida en sociedad, que une los genes para formar genomas, que une las mitocondrias y los procariotas para producir eucariotas, que une organismos unicelulares para convertirlos en multicelulares, y animales solitarios para convertirlos en eusociedades. Sin la evolución de la ayuda y la división del trabajo, no habría ni eucariotas, ni organismos multicelulares ni sociedades animales... En resumen, nuestro planeta sería yermo y aburrido.

Hace ya casi medio siglo que comprendemos este concepto; sin embargo, no ha sido hasta hace poco que nos hemos dado cuenta de que la evolución de la ayuda explica no sólo el paso de la eusociedad en los insectos (para la cual Hamilton desarrolló inicialmente la teoría), sino también la evolución de las principales transiciones hacia la complejidad biológica en general. Entre otros, Andrew Bourke elaboró una interesante síntesis de este marco unificado de los orígenes de la complejidad biológica en su reciente libro *Principles of Social Evolution*. Esta explicación satisfactoriamente simple logra que las complejidades del mundo sean menos misteriosas pero no menos maravillosas.

Si los adultos jugáramos más a menudo a juegos de niños, tal vez nos tropezaríamos con otras explicaciones simples de las complejidades de la vida.

Al principio está la teoría



HELENA CRONIN

Codirectora del Centre for Philosophy of
Natural and Social Science de la London
School of Economics; autor de *The Ant and the
Peacock: Altruism and Sexual Selection from
Darwin to Today*

Prestemos atención a un intercambio entre Charles Darwin y Karl Popper. Darwin, exasperado ante la vulgar filosofía de la ciencia difundida por sus críticos, exclama: «¡Qué extraño es que no todo el mundo se dé cuenta de que todas las observaciones han de ser a favor o en contra de algún punto de vista si quiere ser de alguna utilidad!». [20] Y cuando la conversación gira en torno a la evolución, Popper observa: «Toda la vida está orientada a resolver problemas», y hace hincapié en que «desde la ameba hasta Einstein, el crecimiento del conocimiento es siempre el mismo». [21]

En sus pensamientos hay una confluencia. Aunque viajan por caminos distintos, llegaron a la misma idea. Tiene que ver con la primacía y el papel fundamental de las teorías —de ideas, hipótesis, perspectivas, puntos de vista, disposiciones y similares— en la adquisición y el crecimiento del conocimiento. Darwin tenía razón al notar que tal primacía es necesaria «si [la observación] ha de ser de alguna utilidad». Pero el papel de «un punto de vista» va también mucho más allá. Como Darwin sabía, es imposible observar algo sin tener algún punto de vista. Si no estás convencido, prueba esta demostración que a Popper le gustaba utilizar en sus conferencias. «¡Observa!» ¿Lo has logrado? No. Porque, obviamente, necesitas saber «¿observar qué?». Cualquier observación se hace a la luz de alguna teoría; toda observación ha de ser a la luz de alguna teoría. De modo que toda observación está impregnada de una teoría, no a veces, no de manera

contingente, sino siempre y necesariamente.

Esto no es para restar valor a la observación, los datos, los hechos. Al contrario, les da lo que se merecen. Sólo a la luz de una teoría, de un problema, de la búsqueda de una solución, nos puede hablar de manera reveladora.

Así, el conocimiento es inmensamente sencillo, pero tiene una amplia relevancia y una gran potencia. De ahí su elegancia y su belleza. He aquí dos ejemplos, el primero del reino de Darwin; el segundo, de Popper:

- Partamos de la tediosa pero tenaz discusión «genes frente a entorno». Tomaré un caso bien estudiado. Los azulejos migran cada año recorriendo largas distancias. Para resolver el problema de la orientación, la selección natural los ha equipado con la capacidad de construirse una brújula mental estudiando las estrellas del cielo nocturno, a lo boy-scout, durante sus primeros meses de vida. El origen de esta espectacular adaptación es una rica fuente de información que la selección natural, a lo largo del tiempo evolutivo, ha metido en los genes de los pájaros... En concreto, la información sobre la rotación de las constelaciones estelares. Así, los azulejos que emigran hoy pueden utilizar los mismos instintos y las mismas regularidades medioambientales para dar forma al mismo instrumento de precisión que tenían sus ancestros de antaño.

Y todas las adaptaciones funcionan así. Aportando al organismo una información innata sobre el mundo, abren recursos para el organismo que concuerden con sus propias necesidades de adaptación concretas; así, la selección natural crea el entorno hecho a medida del organismo y específico de cada especie. Y, por lo tanto, para cada entorno distinto surgen distintos problemas adaptativos; de modo que las especies distintas, por ejemplo, tienen entornos distintos.

Así, lo que constituye un entorno depende de las adaptaciones del organismo. Sin información innata, transportada por los genes, que especifique lo que constituye un entorno, los entornos no existirían. Y por lo tanto, los

entornos, lejos de ser entes separados de la biología, autónomos e independientes, están en parte hechos ellos mismos por la biología. El entorno es, por tanto, un problema biológico, un tema que empieza necesariamente con información almacenada biológicamente.

Pero ¿no somos todos interaccionistas, hoy día... ya no genes frente a entorno, sino interacción entre genes y entorno? Sí, claro; la interacción es para lo que la selección natural diseñó los genes. Los genes de los azulejos están cargados de información sobre cómo aprender de las estrellas porque éstas son una parte tan vital del entorno de un azulejo como lo es el huevo en el que se gesta o el agua que bebe. Los azulejos sin estrellas están destinados a ser azulejos sin descendientes. Pero interacción no significa paridad; la información ha de venir antes. Hagamos simplemente el test de la paridad. Intentemos especificar «un» entorno sin antes especificar si es de un azulejo o de un humano, un macho o una hembra, una adaptación para la orientación ornitológica o para el lenguaje humano. La tarea es imposible; la especificación debe empezar por la información almacenada en las adaptaciones. Y he aquí otro reto para la paridad. Los genes utilizan los entornos para una finalidad: la autorreplicación. Sin embargo, los entornos no tienen finalidades; de modo que no utilizan los genes. Así, los genes de los azulejos son máquinas de convertir estrellas en más genes de azulejo, pero las estrellas no son máquinas de convertir los genes de azulejo en más estrellas.

- El segundo ejemplo tiene que ver con la noción de objetividad en la ciencia. Escuchemos un poco más las quejas de Darwin sobre los malentendidos por las observaciones científicas: «Cuán profundamente ignorante ha de ser [esta crítica] de la mismísima alma de la orientación. Hace unos treinta años se hablaba mucho de que los geólogos debían observar y no teorizar; y recuerdo bien oír decir a alguien que, a ese paso, un hombre podría muy bien caer en un cascajar y contar los guijarros y describir los colores».[22]

Al cabo de ciento cincuenta años todavía hay variantes de esta actitud que acechan la ciencia. Pongamos por caso la laudable pero algo empañada

iniciativa de establecer políticas basadas en las pruebas. ¿Qué falló? Demasiado a menudo, las pruebas objetivas se interceptaron como datos no contaminados por el sesgo de teorías anteriores. Pero sin «el alma misma» de una teoría como orientación, ¿qué constituye una prueba? La objetividad no tiene que ver con eliminar todas las presuposiciones. De hecho, cuanto más posibles o deseables se consideran, más inadvertidas y no criticadas son las presuposiciones y menor la objetividad. En el peor de los casos, un objetivo deseado pero no expresado puede introducirse de modo silencioso al principio. ¿Y el resultado? Este enfoque benevolente a menudo se ridiculiza justificadamente como «fabricación de pruebas basada en la normativa».

Un ejemplo indignante de mi propia experiencia reciente, que todavía me tiene consternada, es el de un investigador de la «diversidad de género» cuya preocupación era la discriminación contra las mujeres en las profesiones. Afirmaba que su investigación estaba totalmente libre de cualquier suposición anterior sobre las diferencias hombre/mujer y que, por lo tanto, era totalmente neutra y objetiva. Si de sus datos surgía cualquier patrón de diferencias, su suposición neutra y objetiva sería que era el resultado de la discriminación. Así, ¿podía aceptar que existen diferencias evolucionadas entre sexos? Sí, si quedaba demostrado. ¿Y cómo podía ser una prueba de este tipo? Aquí guardaba silencio, como perdido... lo que no es de extrañar, teniendo en cuenta que sus hipótesis «neutras» habían descartado totalmente tales diferencias al principio. Qué ironía que en los alegados intereses de la objetividad científica se considerara ostensiblemente justificada la amplitud de actuales hallazgos científicos.

La sabiduría Darwin-Popper, con toda su belleza, todavía no ha atraído a todos los admiradores que merece.

Thompson sobre el desarrollo



PAUL BLOOM

Profesor de la cátedra Brooks y Suzanne Ragen
de psicología y ciencias cognitivas,
Universidad de Yale; autor de *La esencia del
placer*

«Todo es de la manera que es porque se ha vuelto así.» Este apriorismo se atribuye al biólogo y clasicista D'Arcy Thompson, y es un resumen elegante de cómo Thompson buscó explicar las formas de las cosas, desde las medusas hasta las dunas pasando por los colmillos de los elefantes. La primera vez que vi esta frase citada fue en una discusión de Edge dirigida por Daniel Dennett, que decía que esta información aplica a las explicaciones más generales; todas las ciencias son, al menos hasta cierto punto, ciencias históricas.

Creo que es un lema perfecto para mi propio ámbito de la psicología evolutiva. Toda mente adulta tiene dos historias. Está la evolución, pocos dudarían de que algunas de las explicaciones más elegantes y convincentes de la psicología apelan al proceso constructivo de la selección natural. Y está el desarrollo, cómo nuestras mentes se despliegan con el tiempo, los procesos de maduración y aprendizaje.

Aunque las explicaciones evolutivas funcionan mejor para explicar lo que los humanos compartimos, el desarrollo a veces puede capturar cómo somos distintos. Eso puede resultar obvio: a nadie le sorprende que los adultos que hablan coreano con fluidez hayan sido normalmente expuestos al coreano cuando eran niños, o que los adultos que practican el judaísmo hayan sido normalmente criados como judíos. Pero hay otras explicaciones del desarrollo que resultan bastante interesantes.

Hay pruebas de que si una persona adulta es incapaz de ver en estéreo se debe a una visión deficiente durante un período importante de la niñez. Hay

quien dice que la autoconfianza de los adultos varones está influida por lo jóvenes que eran cuando alcanzaron la pubertad (debido al aumento de estatus que representa ser mayor, aunque sea temporalmente, que sus compañeros de generación). Se ha dicho que los adultos más listos acostumbran a ser los primogénitos (porque los hijos más tardíos se encuentran en entornos, de media, menos sofisticados intelectualmente). Los adultos creativos acostumbran a ser hermanos más pequeños (porque se vieron obligados a encontrar su propio espacio diferenciador). Las relaciones románticas entre adultos están influidas por sus relaciones con sus padres cuando eran niños. La sensibilidad al dolor de un hombre está marcada por si fue circuncidado o no de bebé.

Con la excepción del ejemplo de la visión en estéreo, no sé si alguna de estas explicaciones es cierta. Pero son todas ellas elegantes y poco obvias, y algunas son casi bellas.

**¿Cómo se pasa de
langosta a gato?**



JOHN MCWHORTER

Lingüista; miembro veterano del Manhattan
Institute for Policy Research; autor de *What
Language Is (And What It Isn't and What It
Could Be)*

¿Te has dado cuenta alguna vez de que la «vena» que te dicen que le quites a las gambas antes de comértelas no parece desprender nada que pudieras tener tentaciones de llamar sangre? ¿No parece ser algún tipo de desecho alimentario? Pues sí, porque lo es. A las gambas, les puedes tocar el sistema digestivo por la espalda, porque allí es donde lo tienen. Y el corazón también está ahí, y así es como son los artrópodos, el grupo animal que incluye a los crustáceos y a los insectos. En cambio, si estuvieras interesado en encontrar la principal vía de nervios de la gamba, la encontrarías recorriendo su parte inferior.

A nosotros nos parece al revés, porque somos cordados, otro gran filo animal. Los cordados tenemos el nervio espinal que baja por la espalda, y el corazón y los intestinos en la parte frontal. Es como si nuestros planos corporales fueran imágenes en espejo de los de los artrópodos, y esto es un microcosmos de una división general entre clases más amplias. Los artrópodos se encuentran entre los protostomas, con los intestinos en la espalda, al contrario que los deuterostomas, grupo al que pertenecen los cordados, con los intestinos delante.

Los biólogos lo saben «desde los viejos tiempos», cuando el naturalista Étienne Geoffroy Saint-Hilaire puso a una langosta diseccionada boca abajo y mostró que, de esa manera, su disposición interna se parecía a la nuestra. La cuestión era cómo habían llegado las cosas a ser así, en especial desde la aceptación de la teoría de la selección natural de Darwin. ¿Cómo se podía

llegar paso a paso desde tener las tripas a la espalda y la médula espinal delante, a la situación inversa? Más concretamente, ¿por qué podía resultar ventajoso desde el punto de vista de la evolución, que es el único motivo por el que presuponemos que debería suceder?

Aparte de imaginarnos que el nervio subió hacia arriba y ocupó el intestino, y un intestino nuevo se desarrolló debajo espontáneamente «por necesidad» —de hecho, esta idea fue defendida durante un tiempo por un pensador arriesgado—, lo mejor que se les ocurrió a los biólogos durante una buena temporada fue suponer que el plano artrópodo y el plano cordado eran vías alternativas de evolución de alguna criatura primordial; cuestión de cómo había salido la suerte a los dados, pensaban.

Esta explicación no sólo resultaba aburrida, sino que el problema era que la biología molecular estaba dejando todavía más claro que los artrópodos y los cordados se remontan al mismo plano corporal básico en una buena cantidad de detalles. Los pequeños segmentos de la gamba están generados por los mismos genes que crean nuestra columna vertebral, etc. Lo que nos lleva a la pregunta inicial: ¿cómo se pasa de langosta a gato? Los biólogos coinciden en una respuesta que combina la elegancia con un toque de misterio, con una pizca de humildad en el trato.

Lo que cada vez se cree más que ocurrió es que algún tipo de criatura primitiva acuática tipo gusano con el plano corporal al estilo de los artrópodos empezó a nadar al revés. Las criaturas pueden hacerlo; las artemias, por ejemplo. A menudo se debe a que el color de una criatura es distinto arriba y abajo, y tener el color intercambiado hace que resulten más difíciles de detectar por parte de sus depredadores. De modo que, para esa criatura, el cambio de arriba abajo hubiera supuesto una ventaja evolutiva para siempre. En esta criatura, la médula espinal estaba arriba y los intestinos abajo. Por sí sola, tal vez esta historia resulte entrañable, tal vez un poco triste, pero poco más. Pero supongamos que este gusanito luego evolucionara hasta un cordado actual. No es tanto, teniendo en cuenta que los cordados más primitivos son en realidad unos seres agusanados y sólo vagamente piscícolas llamados lanceletas. Y si tuviéramos la curiosidad de abrir uno, veríamos que tienen la médula espinal en la espalda, no en el frontal.

La biología molecular está demostrando rápidamente la forma precisa en que los organismos que se desarrollan pueden ser señalados para desarrollar un plano corporal tipo gamba o bien tipo gato, siguiendo estas líneas. Incluso parece haber un eslabón perdido... hay unos bichos bastante repugnantes, apestosos y carroñeros llamados gusanos bellota, que tienen médulas espinales delante y detrás, e intestinos que parecen estar a medio camino de bajar a su parte inferior.

Así, el motivo por el que los humanos tenemos una columna vertebral no es que sea algo mejor tener una espina dorsal que puede romperse cuando caemos hacia atrás, ni nada parecido. Volvamos a echar los dados y podríamos ser bípedos con espinas dorsales por delante, tipo cremallera, y los intestinos a la espalda (eso, en realidad, no suena tan mal). Esta explicación de lo que se llama inversión dorsoventral es una prueba añadida de cómo, bajo la selección natural, una variedad tan impresionante puede emerger de manera intacta a partir de unos orígenes tan humildes. Y finalmente, es difícil resistirse a la ilusión que genera una explicación científica cuyos primitivos adoptantes, como Geoffroy Saint-Hilaire, fueron ridiculizados por exponer.

Muy a menudo, cuando cocino gambas, o cuando abro una langosta, o cuando imagino lo que sería ser obligado a diseccionar un gusano bellota, o cuando acaricio el vientre de mi gato, o cuando le doy un abrazo a alguien... pienso un poco en el hecho de que todos estos cuerpos están hechos según un mismo plano, excepto que los cuerpos del gato y del amigo abrazado son el legado de algún gusano que nadaba al revés en un océano precámbrico de hace más de 550 millones de años. Siempre he pensado que es algo realmente maravilloso.

Los gérmenes provocan enfermedades



GREGORY COCHRAN

Asesor de Adaptive Optics; profesor adjunto de antropología, Universidad de UTA; coautor (con Henry Harpending) de *The 10,000-Year Explosion: How Civilization Accelerated Human Evolution*

La teoría de los gérmenes de la enfermedad ha triunfado, en especial si te importan las recompensas prácticas como por ejemplo seguir vivo. Explica cómo las enfermedades se pueden contagiar rápidamente a un gran número de personas (crecimiento exponencial), por qué hay tantas enfermedades distintas (distintas especies patógenas) y por qué hay tipos de contactos (a veces indirectos) que resultan necesarios para la transmisión de enfermedades. En lenguaje moderno, la mayoría de los síndromes de enfermedad resultan ser causados por minúsculas máquinas autorreplicantes cuyos intereses genéticos no están bien alineados con los nuestros.

De hecho, la teoría de los gérmenes ha tenido tanto éxito que casi parece carecer de interés. Una vez comprendimos la causa del cólera, la neumonía y la sífilis, nos libramos de ellos, al menos en los países más avanzados. Ahora estamos en el punto en que la gente se resiste a los medios que nos han llevado a la victoria —a las vacunas, por ejemplo— porque ya no se acuerdan de la amenaza.

No obstante, todavía es digna de estudio, no sólo para luchar contra la plaga siguiente, sino también porque ha sido un importante factor de la historia humana y de la evolución humana. No se puede llegar a entender del todo la historia de Cortés sin hablar de la viruela, ni a Keats sin la tuberculosis. El pasado es otro país, no bebamos de su agua.

Es muy probable que explique patrones que ni siquiera se supone que

vemos, por no hablar de entenderlos. Por ejemplo, hasta hace poco la inteligencia humana era inefectiva a la hora de resolver problemas provocados por microparásitos, como ha señalado William McNeill en *Plagues and Peoples*. Estos enemigos invisibles desempeñaron un papel fundamental a la hora de determinar la adaptabilidad biológica de los humanos... más en algunos lugares que en otros. Tengamos en cuenta las implicaciones.

Finalmente, cuando hojeas un libro ilustrado sobre enfermedades tropicales y te fijas en un caso avanzado de elefantiasis o de sarna encostrada, te das cuenta de que cualquier teoría que explique tanta fealdad, sencillamente, tiene que ser cierta.

**La suciedad es materia
fuera de lugar**



CHRISTINE FINN

Arqueóloga, periodista; autora de *Artifacts: An
Archaeologist's Year in Silicon Valley*

Admiro esta explicación de la relatividad cultural, de la antropóloga Mary Douglas, por sus líneas limpias y su pulcritud. Me gusta su bella sencillez, su manera de iluminar los rincones oscuros de las lecturas incorrectas, cómo subraya lo contracorriente. Hurgar en la suciedad es divertido e irreverente. La explicación de Douglas de la «suciedad» nos hace replantearnos los propios límites que empujamos.

**La información es la
resolución de la
incertidumbre**



ANDREW LIH

Profesor adjunto de periodismo, Universidad del Sur de California; autor de *The Wikipedia Revolution: How a Bunch of Nobodies Created the World's Greatest Encyclopedia*

Casi todo de lo que disfrutamos en la era digital deriva de esta misma idea y, sin embargo, hay poca gente consciente de su creador o de las bases de esta sencilla y elegante teoría de la información. ¿Cuánta gente sabe que la era de la información no ha sido creación de Bill Gates o Steve Jobs, sino de Claude Shannon en 1948? Shannon fue un hombre humilde y un vagabundo intelectual que se ocultó de las apariciones públicas y no concedía nunca entrevistas. Este brillante matemático, genetista y analista de lenguajes codificados (criptógrafo) formuló lo que se convertiría en la teoría de la información después de la segunda guerra mundial, cuando fue obvio que la guerra no había sido tan sólo una lucha de balas y acero.

Si la primera guerra mundial fue el primer conflicto mecanizado, la segunda se consideraría la primera lucha basada en las tecnologías de la comunicación. A diferencia de guerras anteriores, hubo un fuerte uso de las comunicaciones por radio entre las fuerzas militares. Esta rápida coordinación remota empujó la guerra hasta todos los rincones del planeta. El campo de la criptografía avanzó con rapidez con el fin de mantener los mensajes secretos y ocultos, a salvo de los adversarios. Además, por primera vez en combate, se utilizó el radar para detectar y rastrear la aviación, con lo que superó de esta forma las capacidades visuales convencionales que acababan en el horizonte.

Claude Shannon trabajó en el problema de la localización antiaérea y el diseño de sistemas de control del fuego para que funcionaran directamente con el radar. ¿Cómo se podía determinar la actual y futura situación de la aviación

enemiga para poder programar adecuadamente el fuego de artillería para derribarla? La información del radar sobre la posición de los aviones fue un gran avance, pero «ruidoso», por el hecho de que aportaba una aproximación a la situación pero no lo bastante precisa como para resultar útil de manera inmediata. Después de la guerra, eso inspiró a Shannon y a muchos otros a pensar en la naturaleza del filtraje y la propagación de información, ya fuera a través de señales de radar, de voz (mediante llamadas telefónicas) o de vídeo (por televisión). El ruido era el enemigo de la comunicación, de modo que cualquier manera de almacenar y de transmitir información que rechazara el ruido resultaba interesante para la empresa para la que trabajaba Shannon, los Laboratorios Bell, el centro investigador del monopolio telefónico estadounidense de mediados de siglo XX.

Shannon consideraba la comunicación como la más matemática de las ciencias de la ingeniería y dedicó su intelecto a este problema. Habiendo trabajado en las complejidades del computador analógico analizador de diferencial de Vannevar Bush en sus inicios en el MIT, y con una tesis doctoral muy orientada a las matemáticas («An Algebra for Theoretical Genetics»), Shannon estaba especialmente bien dotado para entender los fundamentos de la manipulación de información mediante el uso de conocimiento de varias disciplinas distintas. Hacia 1948 ya tenía lista su tesis, básica, sencilla y potente: «La información es la resolución de la incertidumbre».

Siempre y cuando se pueda transmitir algo que resuelva la incertidumbre, ésta es la naturaleza fundamental de la información. Aunque suena obvio, fue un punto importante, teniendo en cuenta los idiomas distintos que la gente habla y cómo una afirmación puede tener significado para alguien y resultar ininteligible para otros. Hasta la formulación de la teoría de Shannon, no se supo cómo compensar adecuadamente estos tipos de «factores psicológicos». Shannon partió del trabajo de sus colegas investigadores Ralph Hartley y Harry Nyquist para demostrar que la codificación y los símbolos eran la clave para resolver si dos comunicadores compartían una comprensión común de la incertidumbre por resolver.

Shannon, entonces, preguntó: «¿Cuál es la resolución más sencilla de la incertidumbre?» Para él, eso era echar la moneda al aire: cara o cruz, sí o no.

Un acto con sólo dos resultados posibles. Concluyó que cualquier tipo de información podía ser codificada como una serie de respuestas sí o no. Hoy conocemos estas respuestas como bits de información digital, unos y ceros, que lo representan todo, desde el texto de los correos electrónicos hasta las fotos digitales, la música de los cedés o el vídeo de alta definición. El hecho de que cualquiera y toda la información pudiera representarse y codificarse en discretos bits, no sólo de manera aproximada, sino a la perfección, sin ruido ni errores, era un avance que asombró hasta a sus compañeros de las instituciones académicas y de los Laboratorios Bell, que habían desistido de inventar una teoría universal sencilla de la información.

El compact disk, el primer sistema de codificación digital omnipresente a disposición del consumidor medio, llevó el legado de Shannon a las masas en 1982. Ofrece una reproducción perfecta del sonido dividiendo cada segundo de ondas audio musicales en 44.100 cortes (simples), y grabando el punto álgido de cada corte en números digitales (cuantificación). Los mayores ritmos de *sampling* y una cuantificación más afinada elevan la calidad del sonido. Convertir este flujo digital otra vez a sonido analógico audible mediante el uso de circuitos modernos permitió obtener una alta fidelidad continuada. Para la imagen y el vídeo se han utilizado enfoques digitales similares, de modo que actualmente disfrutamos de archivos multimedia MP3, DVD, TV en HD y AVCHD que pueden almacenarse, transmitirse y copiarse sin sufrir pérdidas de calidad.

Shannon se hizo profesor del MIT, y con los años sus alumnos realizaron muchos de los más importantes avances de la edad de la información, incluyendo los módems digitales, el diseño por ordenador, la compresión de datos, la inteligencia artificial y la comunicación digital sin cables. La teoría de la información como descubrimiento nuevo y previamente inimaginado ha convertido en digitales casi todos los aspectos de nuestra vida diaria, desde cómo trabajamos hasta cómo vivimos y nos relacionamos. ¡Bella, elegante e increíblemente poderosa!

**Todo es como es porque se
ha convertido en ello**



PZ MYERS

Profesor adjunto de biología, Universidad de Minnesota Morris; autor de *Atheist Voices of Minnesota: an Anthology of Personal Stories*

No se puede negar que el concepto fundamental de la biología moderna es la evolución, pero yo fui una víctima del sistema de escuela pública estadounidense y pasé por doce años de formación sin oír ni una sola vez esa palabra que empieza por *e*. Diseccionamos gatos, memorizamos cápsulas de taxonomía, regurgitamos fragmentos extremadamente elementales de bioquímica en los exámenes, pero no recibimos ningún marco en el que todo esto tuviera sentido. Un motivo por el que hoy me preocupa tanto la formación científica es que la mía fue muy mala.

La situación no mejoró demasiado en el *college*. Allí, la evolución se suponía de manera universal, pero tampoco nos dieron ninguna introducción de refuerzo al tema... era nadar o hundirse. Decidido a no ahogarme, busqué contexto, es decir, cualquier cosa que me ayudara a entender todos aquellos datos que mis profesores esperaban que supiera. Lo encontré en una librería de segunda mano, en un libro que elegí porque, al hojearlo, me di cuenta de que estaba escrito con claridad, a diferencia de los enormes, densos y opacos libros de consulta que mis clases me imponían. Se trataba de *On Development: The Biology of Form*, de John Tyler Bonner, y me dejó patidifuso, además de pervertirme para siempre para que contemplara la biología a través del cristal de la evolución.

Lo primero que el libro me enseñó no fue una explicación, lo cual era un alivio; mis clases ya estaban lo bastante llenas de explicaciones. El libro de Bonner planteaba preguntas, algunas de las cuales tenían respuestas y otras simplemente se planteaban para que maduraran. Por ejemplo, ¿Cómo define la

genética la forma biológica? Es la pregunta implícita en el título, pero el libro afinaba las preguntas que necesitamos responder con el fin de explicar el problema. Tal vez eso sea explicar a un nivel distinto: la ciencia no es un cuerpo lleno de conocimientos archivados, es el camino que seguimos para adquirir nuevos conocimientos.

Bonner también me llevó hasta D'Arcy Wentworth Thompson y su clásico libro, *On Growth and Form*, que me dio mi aforismo favorito sobre la visión científica del universo: «Todo es como es porque se ha convertido en ello». Es una manera sutil de enfatizar la importancia del proceso y de la historia al entender por qué todo es como es. Sencillamente, no podremos comprender los conceptos de la ciencia si nuestro enfoque consiste en diseccionar los detalles en una imagen estática de su estado actual; nuestra única esperanza será entender los mecanismos subyacentes que generan ese estado, y cómo ha llegado a ser. La necesidad de esta comprensión está implícita en la biología del desarrollo, en la que lo único que hacemos es estudiar el proceso de cambio en el embrión en desarrollo, pero también lo encontré imprescindible en genética, en fisiología comparada, en anatomía y en bioquímica. Y, por supuesto, es fundamental en biología evolutiva.

Así, mi explicación más esencial es una manera de pensar: para entender cómo funciona algo, antes tenemos que entender cómo llegó a ser como es.

La idea de surgimiento



DAVID CHRISTIAN

Profesor de historia en Universidad
Macquarie, Sídney; autor de *Mapas del tiempo*
(*Introducción a la Gran Historia*)

Una de las ideas más bellas y profundas que conozco, y cuyo poder todavía no es del todo apreciado, es la idea del surgimiento y de las propiedades emergentes.

Cuando fue creado, nuestro universo era bastante simple. Durante varios cientos de millones de años no hubo estrellas, casi ningún átomo superaba al helio en complejidad, y obviamente no había ni planetas, ni organismos vivos, ni personas ni poesía.

Luego, a lo largo de 13.700 millones de años, todas estas cosas aparecieron, una a una. Cada una de ellas tenía cualidades que nunca se habían visto hasta entonces: es creatividad en su forma más básica y misteriosa. Las galaxias y las estrellas fueron los primeros objetos grandes y complejos, y tenían nuevas y extrañas propiedades nuevas: las estrellas fusionaban átomos de hidrógeno en átomos de helio, creando cantidades inmensas de energía y formando manchas calientes que salpicaban todo el universo. En sus estertores de muerte, las estrellas más grandes crearon todos los elementos de la tabla periódica, mientras la energía que bombeaban hacia el espacio frío que las rodeaba ayudaba a ensamblar estos elementos formando nuevas formas de materia con propiedades totalmente nuevas. Ahora ya era posible crear planetas, bacterias, dinosaurios y personas.

¿De dónde vinieron todas estas exóticas novedades? ¿Cómo «surgieron» las nuevas cosas y las nuevas cualidades? ¿Estaban presentes en los componentes de los que estaban hechos? Los argumentos más simples y reduccionistas presuponen que tenían que estarlo. Pero, si es así, pueden ser

endiablamente difíciles de encontrar. ¿Se puede encontrar «acuosidad» en los átomos de hidrógeno y de oxígeno que forman las moléculas de agua? Es por esto por lo que la idea de surgimiento nos parece tan a menudo mágica y misteriosa.

Pero, en realidad, no lo es. Una de las explicaciones más bellas del surgimiento se encuentra en un *sutra* budista que probablemente se compuso hace más de 10.000 años, el Milinda Panha («Las preguntas de Milinda», una paráfrasis a partir de una traducción virtual).

Milinda era un gran emperador. Fue una figura histórica real, el emperador grecobactriano Menander, que gobernó un reino de Asia central fundado por generales del ejército de Alejandro Magno. En el *sutra*, Milinda se encuentra con Nagasena, un gran sabio budista, probablemente en las llanuras del actual Afganistán. Milinda había convocado a Nagasena porque se estaba empezando a interesar por el budismo, pero estaba extrañado porque el Buda parecía negar la realidad del yo. Para la mayor parte de nosotros, el sentido del yo es el fundamento mismo de la realidad. (Cuando Descartes dijo «Pienso, luego existo», sin duda quiso decir algo así como «El yo es lo único que sabemos que existe de verdad».)

Así, debemos imaginarnos a Milinda sentado en una carroza real, seguido de una enorme comitiva de cortesanos y soldados, encontrándose con Nagasena, con su séquito de monjes budistas, para mantener un interesante debate sobre la naturaleza del yo, la realidad y la creatividad. Es una visión espléndida.

Milinda le pide a Nagasena que explique la idea de «yo» del Buda. Nagasena pregunta: «Señor, ¿cómo ha llegado hasta aquí?», y Milinda responde «En una carroza, por supuesto, reverendo señor».

«Señor, y si le quitara las ruedas, ¿seguiría siendo una carroza?»

«Sí, claro», responde Milinda, un poco molesto, mientras se pregunta a dónde va la conversación.

«Y si le quitara el chasis, o el mástil, o el yugo, o las riendas, ¿seguiría siendo una carroza?»

Al cabo de un rato Milinda empieza a entenderlo. Admite que, en algún momento, su carroza dejaría de ser una carroza, porque habría perdido la

cualidad de carroza y ya no haría la función que hacen las carrozas.

Y entonces Nagasena ya no puede evitar regodearse, porque Milinda no ha sido capaz de definir en qué sentido exacto existe realmente su carroza. Entonces llega la frase clave: «Su majestad ha hablado bien de la carroza. Es lo mismo que ocurre conmigo... Este nombre, “Nagasena”, es tan sólo un nombre. En la realidad última, esta persona no puede ser comprendida».

O, dicho en lenguaje moderno, yo y todas las cosas complejas que me rodean existen sólo porque muchas cosas se han construido con precisión. Las propiedades «emergentes» no son mágicas. Están realmente ahí, y con el tiempo pueden empezar a reorganizar los entornos que las generaron. Pero no existen en las piezas y fragmentos que los han formado; surgen de las disposiciones de esas piezas y fragmentos de maneras muy precisas. Y eso es también cierto de las entidades emergentes conocidas como «tú» y «yo».

Sistemas de referencia



DIMITAR D. SASSELOV

Profesor de astronomía, Universidad de Harvard; director de Harvard Origins of Life Initiative; autor de *The Life of Super-Earths: How the Hunt for Alien Worlds and Artificial Cells will Revolutionize Life on Our Planet*

Las explicaciones profundas y elegantes están relacionadas con fenómenos naturales o sociales, y a menudo el observador no tiene lugar en ellas. Como joven estudiante, me fascinaba entender cómo funcionan los sistemas de referencia... es decir, aprender lo que significa ser observador.

El concepto de sistema de referencia es básico en física y astronomía. Por ejemplo, el estudio de los fluidos se apoya casi siempre en dos especificaciones básicas: una en la que el fluido se describe mientras se mueve por el espacio, llamado sistema de referencia euleriano; y otro, llamado sistema de referencia lagrangiano, que se mueve con el fluido, estirándose y curvándose a medida que avanza. La ecuación de movimiento en el sistema euleriano me parecía intuitivamente evidente, pero me sentí entusiasmado cuando entendí el mismo flujo descrito por ecuaciones en el sistema lagrangiano.

Es bonito. Pensemos en una corriente de agua, en un río serpenteante. Estamos apostados en una colina junto a la orilla, observando el agua que fluye, que está puntuada por multitud de hojas de árbol flotantes. Las orillas del río, los detalles de su entorno, ofrecen un sistema natural de coordenadas, exactamente igual que en un mapa geográfico. Casi podrías crear una imagen mental de líneas fijas entrecruzadas, tu sistema de referencia. El fluir del río avanza por ese mapa fijo; puedes describir los giros y curvas de las corrientes y su velocidad cambiante, todo gracias a ese sistema fijo de referencia

euleriano, llamado así por Leonhard Euler (1707-1783).

Resulta que se podría describir el flujo con el mismo éxito si, en vez de quedarnos tranquilamente encima de la colina, nos metiéramos en el río y flotáramos corriente abajo, observando los remolinos de las hojas formados a nuestro alrededor. Nuestro sistema de referencia —el nombrado en honor de Joseph-Louis Lagrange (1736-1813)— ya no es fijo; al contrario, ahora describimos todos los movimientos en relación con nosotros mismos. Tu descripción del flujo cuadraría exactamente con la descripción que hicimos observando desde la colina, aunque las ecuaciones matemáticas aparecen irreconociblemente distintas.

Para el joven que yo era en aquellos tiempos, la transformación entre los dos sistemas parecía mágica. Tal vez no era profunda, pero era elegante e inmensamente útil. Sin embargo, era también sólo el inicio de un viaje, un viaje que me sacaría de encima los viejos sistemas de referencia. Empezó con la ingenua imagen de una Tierra inmóvil como el sistema de referencia absoluto de Aristóteles, que pronto sería rechazado y remplazado por Galileo con un sistema de referencia en el que el movimiento no es absoluto. Oh, cómo me gustaba flotar río abajo con Lagrange por el río de Euler, sólo para volverme a sentir inquietado de nuevo por la relatividad especial de Einstein e intentando comprender la pérdida de simultaneidad. Y fue una auténtica pérdida.

Un cambio fundamental en nuestro sistema de referencia, especialmente el que define nuestro lugar en el mundo, nos afecta en profundidad a todos y cada uno de nosotros personalmente. Vivimos y aprendemos. La siguiente generación nace en un mundo nuevo, sin vínculos con lo viejo.

En ciencias resulta fácil, pero los sistemas humanos de referencia van más allá de las matemáticas, la física y la astronomía. ¿Sabemos cómo transformar acertadamente entre sistemas de referencia humanos? ¿Son más a menudo lagrangianos y relativos? Tal vez podríamos seguir la pista de las ciencias y encontrar una solución elegante. O al menos, una explicación elegante.

Epigenética: el eslabón perdido

HELEN FISHER

Antropóloga biológica, Universidad Rutgers;
autora de *Why Him? Why Her? How to Find
and Keep Lasting Love*

Para mí, la epigenética es la explicación más monumental que ha surgido en las ciencias sociales y biológicas desde que Darwin propuso sus teorías de la selección natural y sexual. Más de 2.500 artículos, muchas reuniones científicas, el San Diego Epigenome Center y otros institutos, un Epigenomics Program de cinco años lanzado en 2008 por el National Institutes of Health, y muchas otras instituciones, foros académicos y personas están dedicados a este nuevo campo. Aunque la epigenética se ha definido de muchas maneras, todas ellas se basan en el concepto de que las fuerzas medioambientales pueden afectar el comportamiento de los genes, ya sea encendiéndolos o apagándolos. Como antropóloga sin formación en genética avanzada, no intentaré explicar los procesos implicados, aunque sabemos que intervienen dos mecanismos básicos: uno tiene que ver con las moléculas conocidas como grupos metil que se aferran al ADN para eliminar y silenciar la expresión genética; el otro con las moléculas conocidas como grupos acetil, que activan y potencian la expresión genética.

Las consecuencias de los mecanismos epigenéticos es probable que sean importantes. Los científicos proponen la hipótesis de que los factores epigenéticos desempeñan una función en la etiología de muchas enfermedades, trastornos y variaciones humanas, desde el cáncer hasta la depresión clínica, y desde las enfermedades mentales hasta las variaciones de la conducta y la cultura humanas.

Pongamos a los *amazighs* o bereberes marroquí, gente con perfiles genéticos muy similares que actualmente residen en tres entornos distintos:

algunos recorren el desierto como nómadas, otros desempeñan actividades agrícolas en las laderas de las montañas, y otros habitan en los pueblos y ciudades de la costa marroquí. Y dependiendo del lugar en el que viven, hasta un tercio de sus genes tienen una expresión diferenciada, según informa el investigador Youssef Idaghdour.[\[23\]](#)

Por ejemplo, entre los urbanitas, hay genes en el sistema respiratorio que están activados, tal vez, sugiere Idaghdour, para contrarrestar su nueva vulnerabilidad al asma y la bronquitis en estos entornos contaminados. Idaghdour y sus colegas proponen que los mecanismos epigenéticos han alterado la expresión de muchos genes en estas tres poblaciones bereberes, lo que ha producido las diferencias en su población.

Los psiquiatras, psicólogos y terapeutas hace tiempo que se preocupan por nuestras experiencias infantiles —en concreto por cómo afectan a nuestras actitudes y conductas como adultos—, pero se han centrado en cómo el cerebro integra y recuerda estos acontecimientos. Los estudios epigenéticos ofrecen una explicación distinta. Por ejemplo, las madres ratas que dedican más tiempo a lamer y a acicalar a sus cachorros durante la primera semana posterior al parto producen pequeños que más tarde se convertirán en adultos mejor adaptados. Y el investigador Moshe Szyf propone que esta adaptación de comportamiento ocurre porque los mecanismos epigenéticos se detonan durante este período crítico, lo que produce una versión más activa de un gen que codifica una proteína específica. Luego, esta proteína, a través de caminos complejos, establece un bucle de retroalimentación en el hipocampo del cerebro, lo que permite a las ratas enfrentarse al estrés con mayor eficiencia.

[\[24\]](#)

Estas modificaciones de la conducta permanecen estables durante la edad adulta. No obstante, Szyf observa que cuando se inyectaban sustancias químicas específicas en los cerebros de las ratas adultas para alterar estos procesos epigenéticos y suprimir esta expresión genética, estas ratas tan bien adaptadas se volvían ansiosas y asustadizas. Y cuando se inyectaban sustancias químicas distintas para provocar procesos epigenéticos que, al contrario, potencian la acción de este gen, las ratas adultas asustadizas (las que habían recibido poca atención materna durante su niñez) se volvían más

relajadas.

Los genes contienen las instrucciones; los factores epigenéticos dirigen cómo se desarrollan estas instrucciones. Y a medida que nos hacemos mayores, dicen los científicos, estos procesos epigenéticos siguen modificando y construyendo quiénes somos. Los gemelos de cincuenta años de edad, por ejemplo, muestran el triple de modificaciones epigenéticas que los de tres años; y los gemelos criados por separado muestran más alteraciones epigenéticas que los que crecen juntos. Las investigaciones epigenéticas están demostrando que los genes no son el destino; pero tampoco lo es el entorno... ni siquiera en las personas.

Shelley Taylor lo ha demostrado. Mediante el estudio de un alelo (variante genética) en el sistema de la serotonina, ella y un grupo de colegas demostraron que los síntomas de la depresión sólo son visibles cuando ese alelo se expresa combinado con condiciones medioambientales específicas. Además, Taylor sostiene que los individuos que se crían en hogares inestables tienen tendencia toda su vida a sufrir depresión, ansiedad, cánceres específicos, enfermedades coronarias, diabetes u obesidad.[\[25\]](#) ¿Epigenética en marcha? Probablemente.

Y todavía más destacable, hay instrucciones epigenéticas que pasan de una generación a la siguiente. Las modificaciones epigenéticas transgeneracionales están hoy documentadas en plantas y hongos, y han sido sugeridas en los ratones. Los genes son como las teclas de un piano; los procesos epigenéticos dirigen cómo se tocan las teclas, modificando la melodía, e incluso transmitiendo estas modificaciones a las generaciones futuras. De hecho, en 2010, los científicos escribieron en la revista *Science* que los sistemas epigenéticos hoy día se consideran heredables, autoperpetuables y reversibles.

Si los mecanismos epigenéticos pueden no sólo modular nuestras capacidades intelectuales y físicas, sino también transmitir estas alteraciones a nuestros descendientes, la epigenética tiene unas implicaciones inmensas y profundas para el origen, la evolución y la vida futura en la Tierra. En las próximas décadas, los científicos que estudian la epigenética podrían entender cómo muchísimas fuerzas medioambientales afectan nuestra vida y nuestra longevidad de formas específicas, encontrar curas de muchas enfermedades y

trastornos, y explicar variaciones complejas de la personalidad humana.

El filósofo del siglo XVII John Locke estaba convencido de que la mente humana es una tabla rasa en la que el entorno inscribe la personalidad. Con la misma seguridad, otros han afirmado convencidos que los genes orquestan nuestro desarrollo, nuestras enfermedades y nuestro estilo de vida. Sin embargo, los científicos sociales han sido incapaces durante décadas de explicar los mecanismos que gobiernan las variaciones de comportamiento entre gemelos y entre miembros de una misma familia o grupo cultural. Y los biólogos no fueron capaces de especificar las bases genéticas de muchas enfermedades mentales y enfermedades complejas. El mecanismo central que explica estos problemas complejos ha sido hallado.

No soy en absoluto la primera en saludar este nuevo ámbito de la biología como revolucionario: el proceso fundamental mediante el cual interactúan la naturaleza y la crianza. Pero, para mí, como antropóloga que intenta desde hace mucho tiempo encontrar el camino medio en una disciplina científica inevitablemente inmersa en una guerra entre naturaleza y crianza, la epigenética es el eslabón perdido.

El comportamiento de bandada en los pájaros



JOHN NAUGHTON

Columnista en prensa escrita; vicepresidente del Wolfson College, Cambridge; autor de *From Gutenberg to Zuckerberg: What You Really Need to Know About the Internet*

Mi explicación favorita es la sugerencia de Craig Reynolds (publicada por primera vez en 1987) de que el comportamiento de bandada de los pájaros se puede explicar partiendo de la base de que cada pájaro sigue tres simples reglas: separación (no te apiñes con los vecinos), alineación (dirígete hacia el rumbo medio de tus vecinos) y cohesión (dirígete hacia la posición media de tus vecinos).[\[26\]](#) Que un comportamiento tan complejo pueda describirse de una manera tan asombrosamente simple es, bueno..., simplemente bello.

Los limones son rápidos



BARRY C. SMITH

Profesor y director, Institute of Philosophy,
School of Advanced Study, Universidad de
Londres; autor de *Questions of Taste: The
Philosophy of Wine*

Cuando se pide a la gente que coloque los limones en una escala entre rápido y lento, casi todo el mundo dice «rápidos» y no tenemos ni idea del porqué. Tal vez el cerebro humano esté simplemente hecho para responder así. Probablemente. Pero y eso ¿de qué nos sirve? Es una especie de explicación, pero parece ser un punto final cuando lo que queríamos era saber más. Eso nos lleva a preguntar qué es lo que le pedimos a una explicación: ¿que sea cierta, o que nos satisfaga? Hay cosas que antaño dábamos por buenas y que ahora sabemos que son falsas. Una línea recta es, obviamente, la distancia más corta entre dos puntos, hasta que pensamos que el espacio es curvo. Lo que satisface nuestra manera de pensar no tiene por qué reflejar la realidad: ¿por qué esperar una teoría sencilla de un mundo complejo?

Wittgenstein tenía cosas interesantes que decir sobre lo que queremos de las explicaciones, y sabía que podían servir distintos tipos. A veces sólo queremos más información; a veces necesitamos examinar un mecanismo, como una válvula o una polea, para entender cómo funciona; a veces precisamos una manera de ver algo conocido desde un nuevo punto de vista para ver lo que realmente es. También sabía que había veces en las que las explicaciones no sirven: «Para alguien preocupado por el amor, una hipótesis explicativa no le sirve de mucho».[27]

Entonces, ¿qué hay de la casi-universal respuesta a la aparentemente absurda pregunta de si los limones son rápidos o lentos? Que nos digan que, sencillamente, nuestros cerebros están hechos para responder así no nos

satisface. Pero es precisamente la explicación lo que nos deja a medias, lo que nos impulsa a dedicarle un mayor esfuerzo; es el inicio de una historia, no el final. Porque la siguiente pregunta obvia es ¿por qué están los cerebros humanos hechos de esta manera? ¿Qué función cumple? Y aquí el fenómeno de las asociaciones automáticas nos puede dar una fuerte pista sobre el funcionamiento del cerebro, porque es sintomático de lo que llamamos correspondencias intermodales: asociaciones no arbitrarias entre rasgos en la modalidad de un sentido con rasgos en el otro.

Hay correspondencias intermodales entre el sabor y la forma, entre el sonido y la visión, y entre el oído y el olfato, muchas de las cuales están siendo estudiadas por el psicólogo experimental Charles Spence y la filósofa Ophelia Deroy. Estas conexiones inesperadas son fiables y compartidas, a diferencia de los casos de sinestesia, que son idiosincrásicos, aunque individualmente coherentes. Y el motivo por el que establecemos estas asociaciones en el cerebro es ofrecernos múltiples visiones de los objetos del entorno que podemos tanto oír como ver. También nos permite comunicar aspectos huidizos de nuestra experiencia.

Decimos a menudo que los sabores resultan difíciles de describir, pero cuando sabemos que podemos adaptar el vocabulario y hablar sobre un sabor redondeado o agudo, se nos abren nuevas posibilidades. Las notas musicales son altas o bajas; los sabores ácidos son altos, y las notas amargas son bajas. Los aromas pueden tener notas bajas y altas. Te puedes sentir bajo de ánimo, o tenerlo increíblemente subido. Este cambio en el vocabulario nos permite utilizar modalidades sensoriales bien entendidas para trazar un mapa de varias posibilidades de experiencia.

Los publicistas lo saben intuitivamente y explotan las correspondencias intermodales entre las formas abstractas y los productos concretos, o entre sonidos e imágenes. Las formas angulosas sugieren agua carbonatada, no natural, mientras que un helado llamado *frisch* se consideraría más cremoso que otro llamado *frosch*. Observemos además que hay muchas empresas de éxito que tienen un nombre que empieza por el sonido *k*, y muy pocas con el sonido *s*. Estas asociaciones establecen expectativas mentales que no sólo nos ayudan a percibir, sino que pueden dar forma a nuestras experiencias.

Y no se trata solamente de los vocabularios que empleamos. En su tratado del siglo XIX sobre psicología de la arquitectura, Heinrich Wolfflin nos dice que por el hecho de tener cuerpo y estar sujetos a la gravedad, la torsión y el equilibrio, somos capaces de apreciar la forma de edificios y columnas sintiendo empatía por su peso y su tensión. Las formas físicas poseen un carácter sólo porque nosotros poseemos un cuerpo.

Esta idea ha llevado a conceptos recientes sobre la apreciación estética en la obra de Chris McManus en la Escuela Universitaria de Londres. Como todas las buenas explicaciones, inspira más explicaciones e ideas derivadas. Es un ejemplo más de cómo utilizamos la interacción de la información sensorial para entender y responder al mundo que nos rodea. Así, el hecho de que todos pensemos que los limones son rápidos puede ser una parte muy importante del motivo por el que somos tan listos.

**Caer en el lugar
adecuado: la entropía y la
desesperada ingenuidad
de la vida**



JOHN TOOBY

Fundador de la psicología evolutiva;
codirector, Center for Evolutionary
Psychology, Universidad de California-Santa
Bárbara

La decisión más difícil que tuve que hacer al principio de mi trayectoria científica fue si dejar de lado los bellos rompecabezas de la mecánica cuántica, la no-localidad y la cosmología por algo igualmente impresionante: trabajar en la ingeniería contraria del código que creó la selección natural en los programas que configuran la arquitectura de circuito de nuestra especie. En 1970, el frenesí cultural y la geopolítica que nos rodeaban daban sus primeros pasos hacia una comprensión no-ideológica y computacional de nuestro diseño evolucionado, la «naturaleza humana», que parecía urgente. La reciente emergencia de la ciencia informática y de la cibernética hizo que pareciera posible. La evitación casi completa y la hostilidad hacia la biología evolutiva por parte de los científicos sociales y de la conducta que habían casi neutralizado estos campos hicieron que pareciera necesario.

Lo que finalmente me hizo decidir fue que la teoría de la selección natural fuera en sí misma un ingenio de deducción tan extraordinariamente bello y elegante. Llevar sus lentes teóricas era una revelación permanente, que llenaba la mente con cadenas de deducciones que competían como estructuras cristalinas por soluciones ultrasaturadas. Y lo mejor es que parte de principios primeros (como la teoría de conjuntos y la física), con lo cual buena parte de ella es no-opcional.

Pero, así y todo, desde el punto de vista de la física, debajo de la selección natural seguía habiendo un problema profundo en busca de una explicación: el mundo que nos da la física es absolutamente desalentador. Nos

explota cuando no nos está quemando o machacando invisiblemente nuestras células y macromoléculas hasta que hemos muerto. Se lleva por delante nuestros planetas, hábitats, trabajos, seres amados, a nosotros mismos. Los estallidos de rayos gama se cargan nuestras regiones galácticas enteras; las supernovas, los impactos de asteroides, los supervolcanes y las glaciaciones devastan ecosistemas y acaban con especies. Las epidemias, los derrames cerebrales, los traumatismos, la oxidación, los enlaces cruzados proteicos, el ADN codificado por ruido térmico... todos ellos son movimientos arbitrarios alejados del conjunto estrechamente ordenado de estados que nosotros valoramos, hacia un orden cada vez mayor. La segunda ley de la termodinámica es el reconocimiento de que los sistemas físicos tienden a avanzar hacia estados más probables, y al hacerlo tienden a alejarse de estados menos probables (organización) en su trayecto a ciegas por el tobogán hacia el desorden máximo.

La entropía, pues, plantea el problema: ¿cómo pueden ser las cosas vivientes en absoluto compatibles con un mundo físico gobernado por la entropía? Y, dada la entropía, ¿cómo puede la selección natural llevar, a largo plazo, hacia la creciente acumulación de organización funcional en las criaturas vivientes? Las criaturas vivientes destacan como un alejamiento extraordinario de lo físicamente normal (por ejemplo, el núcleo metálico de la Tierra, los cráteres de la luna o el viento solar). Lo que diferencia a todos los organismos —desde un endrino a un aliso, hasta las garcetas y otros— de todo lo demás en el universo es que entretejidos por sus diseños hay una diversidad sorprendentemente improbable de interrelaciones afinadas con sumo cuidado, un alto orden que resulta altamente funcional. No obstante, como sistemas físicos altamente ordenados, los organismos deben tender a deslizarse con rapidez hacia un estado de desorden máximo o de probabilidad máxima. Como dijo el físico Edwin Schrödinger: «Es al evitar el rápido deterioro hacia el estado inerte de “equilibrio” que un organismo parece tan enigmático».[28]

La respuesta rápida, normalmente atribuida a los creacionistas, es en sí cierta, pero dista mucho de ser completa: la Tierra no es un sistema cerrado, los organismos no son sistemas cerrados, de modo que la entropía aumenta globalmente (coherentemente con la segunda ley de la termodinámica),

mientras que, a veces, decrece de forma local en los organismos. Eso permite, pero no explica, los altos niveles de organización que encontramos en la vida. Sin embargo, la selección natural puede ser (correctamente) invocada para explicar el orden en los organismos, incluyendo las adaptaciones que retrasan la entropía que nos protegen de oxidarnos de inmediato hasta convertirnos en una nube de cenizas.

La selección natural es el único contrapeso conocido a la tendencia de los sistemas físicos a perder en vez de ganar organización funcional, es decir, el único proceso físico natural que empuja a las poblaciones de organismos hacia arriba, (a veces) hasta grados superiores de orden funcional. Pero ¿cómo podría esto funcionar, exactamente?

Es aquí donde, junto con la entropía y a la selección natural, la tercera de nuestro trío de ideas realmente elegantes se puede adaptar al problema: el brillante concepto de Galileo de los marcos de referencia, que utilizó para aclarar la física del movimiento.

El concepto de entropía se desarrolló originariamente para el estudio del calor y la energía, y si el único tipo de entropía real fuera la entropía termodinámica de la dispersión energética, entonces, nosotros (la vida) no seríamos posibles. Pero con la aportación de Galileo, uno puede considerar muchos tipos de orden (disposiciones físicas improbables), cada uno definido respecto de un marco de referencia distinto.

Puede haber tantos tipos de entropías como marcos de referencia significativos hay. Los organismos están definidos como sistemas físicos que se autorreplican. Eso crea un marco de referencia que define su tipo de orden en términos de interrelaciones causales que promueven la replicación del sistema (orden replicativo más que termodinámico). Desde luego, los organismos deben estar diseñados físicamente para capturar la energía no dispersa, y como las presas hidroeléctricas que utilizan las cascadas para impulsar las turbinas, emplean este flujo termodinámico entrópico para alimentar su replicación, propagando múltiples copias de ellos mismos por todo el paisaje.

La entropía introduce a veces errores de copia en la replicación, pero el desorden inyectado en los sistemas replicativos se autocorrije. Por definición,

los menos bien organizados son peores replicándose, de modo que quedan descartados de la población. En contraste, los errores de copia que aumentan el orden funcional (capacidad replicadora) se vuelven más habituales.

Los organismos explotan el truco de desplegar diferentes marcos de referencia entrópicos de muchas maneras diversas y sutiles, pero el punto subyacente es que lo que de forma natural es un desorden creciente (avanzando hacia estados máximamente probables) para un marco de referencia dentro de un terreno físico se puede aprovechar para disminuir el desorden respecto de otro marco de referencia. La selección natural elige y asocia distintos campos entrópicos (por ejemplo, células, órganos, membranas) que imponen cada uno localmente su propio marco de referencia entrópico. Cuando los apropiados se asocian entre ellos, hacen un trabajo de replicación mediante el aprovechamiento de varios tipos de entropía en aumento para reducir otros tipos de entropía de maneras que resulten útiles para el organismo. Por ejemplo, la difusión del oxígeno desde los pulmones al riego sanguíneo y hasta las células es la entropía de la mezcla química, que cae hacia estados más probables de alta entropía pero que aumenta el orden desde el punto de vista de la promoción de la replicación.

La entropía hace que las cosas caigan, pero la vida equipa ingeniosamente el juego para que, cuando lo hacen, lo hagan a menudo en su lugar.

Por qué ocurren las cosas



PETER ATKINS

Profesor emérito de química, Universidad de Oxford; autor de *Reactions: The Private Life of Atoms*

Hay una maravillosa simplicidad en la idea de que los hechos ocurren porque las cosas empeoran. Tengo en mente la segunda ley de la termodinámica y el hecho de que todo cambio natural está acompañado de un aumento de la entropía. Aunque están en mi mente, entiendo estas palabras en cuanto a la tendencia de la materia y la energía a dispersarse sin orden. Las moléculas de gas experimentan un incesante movimiento prácticamente arbitrario y se propagan por el volumen disponible. El movimiento caótico termal de los átomos en un bloque de metal caliente empuja a sus vecinos a moverse, y a medida que la energía se propaga hacia los alrededores, el bloque se enfría. Todo cambio natural es básicamente una manifestación de este proceso... la dispersión en desorden.

El rasgo asombroso de esta percepción del cambio natural es que la dispersión puede generar orden: a través de la dispersión en desorden puede aparecer la estructura. Lo único que necesita es un dispositivo que pueda conectarlo con la dispersión, e igual que una corriente descendiente de agua puede aprovecharse y utilizarse para impulsar a construir, la corriente de la dispersión también puede aprovecharse. En general, hay un aumento del desorden a medida que el mundo progresa, pero localmente, las estructuras — entre ellas las catedrales y los cerebros, los dinosaurios y los perros, la piedad y las acciones malignas, la poesía y las diatribas— pueden contarse como disminuciones locales del caos.

Pongamos, por ejemplo, un motor de combustión interna. La chispa provoca la combustión del combustible hidrocarburo, con la generación de

moléculas más pequeñas de agua y dióxido de carbono que tienden a dispersarse y, al hacerlo, bajan por un pistón. Al mismo tiempo, la energía liberada en la combustión se disemina por los alrededores. El diseño mecánico del motor aprovecha estas propagaciones y, a través de una cadena de marchas, el aprovechamiento se puede utilizar para levantar una catedral a base de ladrillo. Así, la dispersión resulta en una estructura local, a pesar de que, en general, el mundo se ha hundido un poco más en el caos.

El combustible puede ser nuestra cena, la cual, al metabolizarse, libera moléculas y energía que se propagan. La analogía de las marchas de un vehículo es la cadena de reacciones bioquímicas dentro de nosotros, y, en vez de una pila instantánea de ladrillos apilados hasta formar una catedral, los aminoácidos se juntan para generar la intrincada estructura de una proteína. Así, cuando comemos, crecemos. Nosotros somos también reducciones locales del caos conducidas a ser por la generación de desorden en otras partes.

Así, ¿es demasiado fantástico imaginar la creatividad intelectual, o la mera ensoñación sin consecuencias, como provocadas de cualquier otra manera? En alguna especie de descanso nocional, el cerebro es un hervidero de actividad eléctrica y sináptica. Los procesos metabólicos impulsados por la digestión de alimentos pueden resultar en el ordenamiento no de ladrillos para construir una catedral, no de aminoácidos para formar proteínas, sino de corriente en conceptos, en obra artística, en decisiones temerarias y en comprensión científica.

Incluso ese otro gran principio, la selección natural, puede considerarse como un relajamiento reticulado extraordinariamente complejo del mundo, con los cambios que acontecen en la biosfera y su evolución impulsados finalmente por el descenso al desorden. ¿Resulta, pues, extraño, que considere la segunda ley como una inmensa ilustración? Que desde un principio tan simple fluyan consecuencias tan inmensas es, en mi opinión, un criterio de la grandeza de un principio científico. No hay ningún principio, creo yo, que pueda ser tan sencillo como que las cosas empeoran, y ninguna consecuencia más grande que el universo de toda la actividad, de modo que, sin duda, esta ley es la más maravillosa de todas.

Por qué sentimos la presión del tiempo



ELIZABETH DUNN

Psicóloga social, Universidad de Columbia
Británica

Hace poco me encontré en la cuneta, limpiándome la gravilla de la rodilla y preguntándome cómo había acabado ahí. Regresaba del trabajo en bicicleta e iba a encontrarme con una amiga en el gimnasio, de modo que pedaleaba frenéticamente para recuperar los pocos minutos que llevaba de retraso. Sabía que iba demasiado rápido, y, cuando me encontré sobre una zona de gravilla suelta justo cuando frenaba para tomar una curva, la bici se resbaló por debajo de mí. ¿Cómo me había metido en una situación como aquella? ¿Tenía en verdad tanta prisa?

Creí tener la respuesta. El ritmo de vida está aumentando; la gente trabaja más y se relaja menos de lo que hace cincuenta años, al menos, ésta es la impresión que sacamos de la prensa popular. Pero, como psicóloga social, quise ver los datos. Lo cierto es que hay pocas pruebas de que la gente actualmente trabaje más y se relaje menos de lo que lo hacía unas cuantas décadas atrás. De hecho, algunos de los mejores estudios sugieren exactamente lo contrario. Entonces, ¿por qué la gente dice sentirse tan presionada por el tiempo?

Una bella explicación de este desconcertante fenómeno la ofrecieron hace poco Sanford DeVoe, de la Universidad de Toronto, y Jeffrey Pfeffer, de Stanford. Afirman que, a medida que el tiempo vale más y más dinero, se percibe como más escaso. La escasez y el valor se perciben como gemelos siameses; cuando un recurso —desde los diamantes hasta el agua que bebemos— escasea, aumenta de valor, y viceversa. Así, cuando tu tiempo se vuelve más valioso, sientes que tienes menos disponible. Estudios de todo el mundo han demostrado que las personas con remuneraciones más altas afirman

sentirse más presionadas por el tiempo, aunque hay otros motivos plausibles de ello, incluyendo el hecho de que los ricos suelen trabajar más horas, lo que les deja menos tiempo libre.

No obstante, DeVoe y Pfeffer, aseguran que simplemente percibirse a uno mismo como acaudalado puede bastar para generar sensación de presión temporal. Más allá de análisis correlacionales del pasado, utilizaron experimentos controlados para poner a prueba esta explicación.[29] En uno de estos experimentos, DeVoe y Pfeffer pidieron a 128 estudiantes universitarios que declararan la suma total de dinero que tenían en el banco. Todos los alumnos respondieron a la pregunta mediante una escala de once puntos, pero, para la mitad de ellos, la escala estaba dividida en incrementos de 50 dólares, de cero a cincuenta hasta más de 500, mientras que para el resto la escala se dividió en incrementos mucho más amplios, de cero a quinientos hasta más de 400.000. La mayor parte de los estudiantes que empleó la escala de incrementos de 50 indicaron una cifra cercana al máximo, lo que les dejaba con una sensación de que eran relativamente ricos. Y esta manipulación aparentemente trivial los llevó a sentir que estaban apresurados y estresados. La mera sensación de ser ricos los llevaba a experimentar la misma presión del tiempo declarada por individuos genuinamente ricos. Mediante otros métodos, los investigadores han confirmado que aumentar el valor económico percibido del tiempo aumenta su percepción de escasez.

Si la sensación de escasez del tiempo radica en parte en la sensación de que el tiempo tiene un alto valor, entonces una de las mejores cosas que podemos hacer para reducir esta sensación de presión puede ser regalar nuestro tiempo. De hecho, hay nuevos estudios que sugieren que dedicar tiempo a ayudar a los demás puede realmente aliviar la sensación de presión. Empresas como Home Depot ofrecen a sus empleados oportunidades de voluntariado para ayudar a los demás, lo que potencialmente reduce su sensación de estrés y agotamiento. Y Google anima a sus empleados a dedicar un 20 por ciento de su tiempo a sus propios proyectos favoritos, tengan o no un beneficio potencial. Aunque algunos de ellos han dado productos económicamente valiosos, como Gmail, el mayor valor de este programa es probablemente aliviar la sensación de escasez de tiempo que tienen los

empleados.

La obra de DeVoe y Pfeffer puede ayudar a explicar importantes tendencias culturales. A lo largo de los últimos cincuenta años, la sensación de presión temporal ha aumentado de forma espectacular en América del Norte, a pesar del hecho de que las horas de trabajo semanal se han mantenido relativamente iguales y las horas semanales de ocio han aumentado. Esta aparente paradoja podría explicarse en buena parte por el hecho de que los sueldos han subido de forma sustancial en este mismo período. Este efecto causal puede también ayudar a explicar por qué los transeúntes caminan más rápido en ciudades ricas como Tokio o Toronto que en ciudades como Nairobi o Yakarta. Y a nivel individual, esta explicación sugiere que, a medida que la remuneración crece a lo largo de la propia vida, el tiempo parece cada vez más escaso. Lo que significa que, a medida que avanza mi carrera profesional, puede que tenga que obligarme a tomarme estas curvas con más calma.

Por qué sigue brillando el sol



BART KOSKO

Profesor de ingeniería eléctrica y leyes,
Universidad del Sur de California; autor de
Noise

Una de las explicaciones más profundas tiene que ser la respuesta a por qué el sol sigue brillando... y, por lo tanto, a por qué el sol no hace mucho que se ha consumido, como lo hacen los fuegos de la vida convencional. Eso era algo que preocupaba a los observadores del sol de la antigüedad mientras observaban las hogueras y los incendios forestales quemarse con su propio ciclo vital. Preocupaba a los científicos del siglo XIX que sabían que la gravedad por sí sola no podía explicar la probablemente larga vida del sol.

Desde luego, a mí me preocupó cuando pensé en ello por primera vez, de niño.

La explicación de que los átomos de hidrógeno se funden formando helio me servía de poco consuelo. Llegó en el momento álgido de la paranoia «sálvese quien pueda» de la guerra fría de comienzos de los años sesenta, cuando mi padre había convertido parte del sótano de nuestra nueva casa en un refugio contra la bomba nuclear. El refugio, de una sola habitación, estaba reforzado con cemento armado y ventanas metálicas y un congelador lleno de comidas preparadas. El sol brillaba tanto tiempo y tan fuerte porque, en efecto, había explosiones termonucleares de bomba de hidrógeno tipo nube de champiñón dentro de él, porque el sol tenía el material suficiente para producir bombas de hidrógeno. Las explosiones eran exactamente iguales que las de bomba H capaces de abrasar la Tierra y hasta de incinerar el pequeño refugio si explotaban lo bastante cerca.

La lógica iba más allá de explicar el equilibrio estratégico de una situación de jaque nuclear a escala global. La buena noticia de que el sol no se

apagaría en ningún momento cercano vino acompañada de la mala noticia de que el sol se apagaría seguro dentro de unos cuantos miles de millones de años. Pero antes se tragaría la Tierra fundida en su fase de gigante roja.

La misma explicación decía además que en el momento cósmico oportuno, todas las estrellas se apagarían o estallarían. No hay nada gratuito en el calor y la luz que resultan cuando simples átomos se fusionan formando átomos ligeramente más complejos y cuando la masa se transforma en energía. Tal vez ya no hubiera estrellas durante mucho más tiempo. El universo se quedaría a oscuras y se acercaría más al frío de cero-absoluto. El resultado sería un leve zumbido. Ese zumbido homogéneo contendría, efectivamente, cero información. Serán los últimos pasos escasos en una secuencia asombrosamente larga de pasos o procesos no lineales irreversibles que conforman la evolución del universo. De modo que no habrá manera de saber sobre las vidas y mundos que la preceden, ni siquiera si apareciera algo que pudiera saberlo.

La explicación de por qué el sol sigue brillando es todo lo profunda que se puede ser. Explica el Apocalipsis.

**La explicación de
bosovich de las fuerzas
atómicas**



CHARLES SIMONYI

Creador del word processor WYSIWYG,
cofundador de Intencional Software; antiguo
director de desarrollo de aplicaciones y
arquitecto jefe de software de Microsoft
Corporation

Un ejemplo de cómo pueden surgir informaciones sorprendentes de consideraciones simples es la explicación de las fuerzas atómicas que dio el jesuita del siglo XVIII Roger Boscovich.

Una de las grandes discusiones filosóficas de la época tuvo lugar entre los seguidores de Descartes que, siguiendo a Aristóteles, creían que las fuerzas sólo pueden ser el resultado del contacto inmediato, y los que seguían a Newton y creían en su concepto de fuerza que actúa a distancia. Aquí Newton era el revolucionario, pero sus oponentes aducían —con cierta justificación— que la «acción a distancia» reintroducía en la física explicaciones «ocultas» que no se derivan de la comprensión clara que Descartes exigía. Boscovich, un acérrimo defensor del punto de vista newtoniano, dio la vuelta al problema: entendamos exactamente lo que ocurre durante la interacción que llamaríamos «contacto inmediato».

Sus argumentos son fáciles de comprender y resultan realmente convincentes. Imaginemos dos cuerpos, uno que viaja a la velocidad de, por ejemplo, 6 unidades, y el otro a 12, con el más rápido atrapando al más lento durante el mismo itinerario recto. Cuando los dos cuerpos chocan, por conservación de la cantidad de movimiento, ambos deben continuar después de la colisión por el mismo camino, cada uno a una velocidad de 9 unidades en el caso de colisión inelástica (o, en caso de colisión elástica, durante un breve período justo después de la colisión).

¿Cómo sucede que la velocidad del cuerpo más rápido se reduce de 12 a 9, y la del más lento aumenta de 6 a 9? Claramente, el intervalo de tiempo para el cambio de las velocidades no puede ser cero, puesto que entonces, según Boscovich, el cambio instantáneo de velocidad violaría la ley de la continuidad. Además, deberíamos decir que, en el momento del impacto, la velocidad de un cuerpo es simultáneamente 12 y 9, lo cual es ostensiblemente absurdo.

Por lo tanto es necesario que el cambio de velocidad suceda en un período breve pero finito de tiempo. Pero, con esta presuposición, llegamos a otras contradicciones. Supongamos, por ejemplo, que después de un pequeño intervalo de tiempo, la velocidad del cuerpo más rápido sea 11 y la del lento, 7. Pero eso significaría que no están avanzando a la misma velocidad, y la superficie frontal del cuerpo más rápido avanzaría por la superficie trasera del más lento, lo cual resulta imposible porque hemos supuesto que los cuerpos son impenetrables. Así, se hace obvio que la interacción ha de producirse inmediatamente antes del impacto de los dos cuerpos y que esta interacción sólo puede ser repulsiva, porque está expresada en la reducción de velocidad de un cuerpo y la aceleración del otro.

Además, este argumento es válido para las velocidades arbitrarias, de modo que uno ya no puede hablar de dimensiones definidas de las partículas (concretamente, los átomos) que hasta ahora se consideraban impenetrables. Un átomo debe verse más bien como un punto fuente de fuerza, con la fuerza que emana del mismo actuando de alguna manera complicada que depende de la distancia.

Según Boscovich, cuando los cuerpos están lejos el uno del otro, actúan mutuamente a través de una fuerza correspondiente a la de la gravedad, que es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia. Pero con la distancia decreciente esta ley debe modificarse porque, de acuerdo con las consideraciones anteriores, la fuerza cambia de signo y tiene que convertirse en fuerza repulsiva. Boscovich tramó incluso imaginativos itinerarios de cómo la fuerza debe variar con la distancia en que ha cambiado de signo varias veces, insinuando la existencia de mínimo en la potencia y a la existencia de vínculos estables entre las partículas o átomos.

Con esta idea, Boscovich no sólo ofreció una nueva imagen para las interacciones establecidas de la teoría aristotélica-cartesiana basada en el contacto inmediato, sino que además predijo nuestra comprensión de la estructura de la materia, en especial la de los cuerpos sólidos.

**Los pájaros son los
descendientes directos de
los dinosaurios**



GREGORY S. PAUL

Investigador independiente; autor de *The Princeton Field Guide to Dinosaurs*

El ejemplo más grácil de una idea científica elegante en uno de mis campos de experiencia es la idea de que los dinosaurios eran taquienergéticos, es decir, que eran endodermos con la alta producción de energía interna y la alta capacidad de ejercicio aeróbico propias de los pájaros y los mamíferos que pueden aguantar largos períodos de actividad intensa. Aunque no dependientes de ello, la idea del dinosaurio de alta energía se entremezcla con la hipótesis de que los pájaros son descendientes directos de los dinosaurios; es decir, que los pájaros son dinosaurios voladores, tanto como los murciélagos son mamíferos voladores.

Es imposible exagerar el sentido de la idea taquienergética, ni tampoco de hasta qué punto revolucionó buena parte de nuestra comprensión de la evolución y de 230 millones de años de historia de la Tierra, en relación con lo que se pensó desde mediados del siglo XIX hasta la década de los sesenta. Hasta entonces, se aceptó generalmente que los dinosaurios eran un grupo de reptiles bradienergéticos que se extinguieron y que podían asumir un alto nivel de actividad durante períodos breves; hasta andar a una velocidad de 7,5 km/h requiere una gran capacidad pulmonar, mejor que la de los reptiles, que deben avanzar a menos de 2 km/h si tienen que recorrer una distancia larga. Los pájaros se consideraban un grupo diferenciado y emplumado en el cual la ineficiencia energética había evolucionado para impulsar el vuelo. Aunque esta última hipótesis no era intrínsecamente ilógica, divergía de la evolución de los murciélagos, cuya alta capacidad aeróbica ya estaba presente en sus peludos ancestros.

Supe por primera vez de la existencia de los dinosaurios de «sangre

caliente» en mi último año de instituto, a través de un anuncio en el *Smithsonian Magazine* del artículo de Robert Bakker en la revista *Nature* en el verano de 1972. Yo había estado ilustrando dinosaurios siguiendo el consenso reptiliano, pero era una mala adaptación, porque es tan evidente que los dinosaurios están contruidos como los pájaros y los mamíferos, y no como cocodrilos y lagartijas... Hacia la misma época, John Ostrom, que también tuvo su parte en el descubrimiento de la endotermia de los dinosaurios, presentaba las pruebas de que los pájaros son una versión aérea de los dinosaurios terópodos, un concepto tan obvio que debería haberse convertido en tesis dominante ya a comienzos del siglo XIX.

Durante un cuarto de siglo, las hipótesis fueron muy controvertidas —en especial las referentes al metabolismo de los dinosaurios— y algunas de las primeras justificaciones resultaron fallidas. Pero las pruebas se han ido acumulando. Los anillos de crecimiento en los huesos de los dinosaurios muestran que crecieron a un ritmo rápido, que los reptiles no son capaces de asumir. Sus huellas indican que avanzaban a velocidades regulares demasiado altas para los bradiaerobios. Muchos dinosaurios pequeños tenían plumas, y los dinosaurios, pájaros y mamíferos polares superaron gélidos y ventosos inviernos mesozoicos que excluían a los ectotermos.

Debido a la revolución saúrica, nuestra comprensión de la evolución de los animales que dominaron los continentes se acerca mucho más a la verdad que antes. Los anfibios y reptiles ahorradores de energía dominaron los continentes durante sólo 70 millones de años en la última parte del Paleozoico, la era que había empezado por los trilobitas y nada sobre la tierra. Durante los últimos 270 millones de años, una taquienergía más potente pero menos eficiente desde el punto de vista energético ha sido la reina suprema en tierra, desde los terápsidos protomamíferos cerca del final del Paleozoico. Cuando los terápsidos quedaron extinguidos en el Mesozoico (cuyos supervivientes serían los entonces muy pequeños mamíferos), hasta al cabo de 150 millones de años fueron remplazados, no por dinosaurios de menos potencia, sino por dinosaurios que rápidamente desarrollaron la capacidad de ejercicio aeróbico hasta niveles mayores.

El excepcional complejo respiratorio aviar es tan efectivo que hay pájaros

que vuelan tan alto como los aviones, pero el sistema no evolucionó para el vuelo. Y es porque el aparato esquelético para operar los pulmones ventilados por saco aéreo se desarrolló primero en dinosaurios terópodos no voladores para fines terrestres (hay investigadores, aunque no todos, que alegan bajos niveles globales de oxígeno como factor selectivo). Así, los fundamentos de la energía aviar aparecieron en los dinosaurios depredadores y sólo más tarde se utilizarían para alzar el vuelo. Un poco parecido a la manera en que el motor de combustión acabó haciendo posible el vuelo humano, aun cuando no se había desarrollado para ello.

Complejidad a partir de la simplicidad



BRUCE HOOD

Director del Bristol Cognitive Development
Centre, Universidad de Bristol, Reino Unido;
autor de *The Self Illusion: How the Social
Brain Creates Identity*

Como científico que trata con procesos cognitivos y de comportamiento complejos, mi explicación profunda y elegante no proviene de la psicología (que es raramente elegante) sino de las matemáticas o la física. Para mi dinero, el teorema de Fourier tiene toda la simplicidad y, al mismo tiempo, más potencia que otras explicaciones científicas conocidas. Expuesto con sencillez, cualquier patrón complejo, ya sea en el tiempo o en el espacio, se puede describir como una serie de ondas senoidales solapadas de múltiple frecuencia y varias amplitudes.

Mi primer contacto con el teorema de Fourier fue como estudiante de doctorado en Cambridge, mientras investigaba sobre desarrollo visual. Ahí conocí a Fergus Campbell, quien en la década de los sesenta había demostrado que el teorema de Fourier no sólo era una manera elegante de analizar patrones visuales complejos, sino que también era biológicamente plausible. Esta información se convertiría más tarde en una piedra angular de varios modelos informáticos de visión. Pero ¿por qué limitar el análisis a la visión?

En efecto, cualquier acontecimiento físico complejo puede reducirse a la simplicidad matemática de las ondas senoidales. No importa si es la *Noche estrellada* de Van Gogh, el réquiem de Mozart, el N. 5 de Chanel, el *El pensador* de Rodin o una ensalada Waldorf. Cualquier patrón complejo en el entorno puede traducirse en patrones neurales que, a su vez, se pueden descomponer en la multitud de actividad de ondas senoidales que surge del resultado de poblaciones de neuronas.

Tal vez sienta envidia de los físicos, pero citaré a lord Kelvin: «El teorema de Fourier [...] es no sólo uno de los más bellos resultados del análisis moderno, sino que podría decirse que aporta un instrumento indispensable en el tratamiento de casi toda cuestión recóndita en la física moderna».[30]

Teoría de las descripciones de Russell



A.C. GRAYLING

Filósofo; master, New College of the
Humanities, Londres; miembro
supernumerario, St. Anne's College, Oxford;
autor de *El buen libro: Una Biblia humanista*

Mi ejemplo favorito de una teoría elegante e inspiradora en filosofía es la teoría de las descripciones de Bertrand Russell. No demostró ser definitiva, pero abrió caminos ricos y reveladores de indagación sobre la estructura del lenguaje y el pensamiento.

En esencia, la teoría de Russell gira sobre la idea de que debajo de las formas superficiales de lenguaje hay una estructura lógica que el análisis saca a la luz; y cuando esta estructura se revela vemos lo que estamos diciendo realmente, con qué creencias nos estamos comprometiendo y qué condiciones han de ser satisfechas para la verdad o falsedad de lo que, por tanto, se dice y se cree.

Un ejemplo que Russell utilizó para ilustrar la idea es la afirmación de que «el actual rey de Francia es calvo», pronunciada cuando no hay rey de Francia. ¿Es una afirmación verdadera o falsa? Una respuesta podría ser que no es ni lo uno ni lo otro, puesto que en la actualidad no hay rey de Francia. Pero Russell deseó encontrar una explicación a la falsedad de la afirmación que no sugiriera bivalencia en la lógica, es decir, la exclusiva alternativa de verdad y falsedad como los únicos valores de dos verdades.

Postuló que la forma subyacente de la afirmación consiste en la conjunción de tres afirmaciones lógicamente más básicas: a) hay algo que tiene la propiedad de ser rey de Francia; b) hay una sola cosa así (eso se ocupa de la implicación del artículo definido «el»); y c) esta cosa tiene la propiedad añadida de ser calva. En el simbolismo del cálculo de predicado de primer

orden, que Russell interpretó como la representación propiamente inambigua de la forma lógica de la afirmación (omito estrictamente los paréntesis correctos, para no embarullar):

$$(Ex)Kx \ \& \ [(y)Ky \rightarrow y=x] \ \& \ Bx$$

Que se traduce por: «Hay una x tal que x es K ; y para cualquier y , si y es K , entonces y y x son idénticos» —eso resuelve lógicamente el artículo «el», que implica unicidad— «y x es B », donde K representa «tiene la propiedad de ser rey de Francia» y B representa «tiene la propiedad de ser calvo». «E» es el cuantificador existencial «hay», o «hay al menos uno», e «(y)» representa el cuantificador universal «para todos» o «cualquiera».

Ahora podemos ver que hay dos maneras en que la afirmación puede ser falsa; una es si no hay ninguna x tal que x es K , y la otra es si hay una x pero x no es calva. Conservando la bivalencia y desnudando la afirmación hasta su esqueleto lógico, Russell aporta lo que Frank Ramsey llamaba maravillosamente «un paradigma de filosofía».

Para los irredimiblemente escépticos de la filosofía, todo eso se parece sin duda a «ahogarse en un vaso de agua», como se dice popularmente, pero, de hecho, es por sí mismo un caso ejemplar de análisis filosófico, y ha sido muy fructífero como predecesor del trabajo en un amplio abanico de campos, desde las aportaciones de Wittgenstein y W. V. Quine al estudio de la filosofía del lenguaje, la lingüística, la psicología, la ciencia cognitiva, la informática y la inteligencia artificial.

El salvavidas de Feynman



TIMO HANNAY

Director gerente, *Digital Science*, McMillan
Publishers, Ltd.; antiguo editor de Nature.com;
coorganizador de SciFoo

Me gustaría proponer no sólo una explicación particular sino también una exposición y exponente particularares: las conferencias de Richard Feynman sobre aerodinámica cuántica (QED) presentadas en la Universidad de Auckland en 1979. Se encuentran sin duda entre las mejores jamás presentadas en toda la historia de la ciencia.

Para empezar, la teoría es genuinamente profunda y tiene que ver con la conducta y las interacciones de las partículas (aparentemente) más fundamentales, los protones y los electrones. Y, con todo, explica un abanico amplísimo de fenómenos, desde el reflejo, la refracción y la difracción de la luz hasta la estructura y la conducta de los electrones en los átomos y su química resultante. Feynman tan vez estuviera exagerando cuando dijo que la QED explica todos los fenómenos del mundo «excepto la radioactividad y la gravedad», pero sólo lo hacía ligeramente.

Dejadme ofrecer un breve ejemplo. Todo el mundo dice que la luz viaja en líneas rectas, excepto cuando no lo hace, como cuando se cruza con un cristal, o con agua, o con cualquier cosa que no sea un ángulo recto. ¿Por qué? Feynman explica que la luz siempre elige el camino de menos tiempo de un punto al otro, y utiliza la analogía de un salvavidas que corre por la playa para salvar a una bañista que se está ahogando. (Tratándose de Feynman, hemos de suponer que la bañista es, efectivamente, una bella joven.) El salvavidas podría correr en línea recta hasta la orilla y luego nadar en diagonal por la costa y mar adentro, pero eso comportaría mucho tiempo nadando, lo cual es más lento que correr por la playa. Como alternativa, podría correr hasta la

orilla hasta el punto más cercano a la bañista y allí lanzarse al agua. Pero eso alarga la distancia total que hay que cubrir. Lo óptimo, si su objetivo es alcanzar la chica lo antes posible, está en algún lugar entre estos dos extremos. La luz también elige este camino del menor tiempo de un punto al otro, y es por eso por lo que se curva cuando pasa por entre materiales distintos.

Luego pasa a revelar que esto es, en realidad, una visión incompleta. Mediante la llamada *integral de camino* (aunque él evita ese nombre horrible), Feynman explica que la luz, en realidad, toma cualquier camino concebible para ir de un punto al otro, pero que la mayoría de ellos se cancelan el uno al otro, y el resultado neto es que aparenta seguir solamente el único camino de tiempo menor. Resulta que esto también explica por qué la luz ininterrumpida (junto con todo lo demás) viaja en líneas rectas, un fenómeno tan fundamental que seguramente muy poca gente considera que ni siquiera necesita explicarse. En tanto que a primera vista tal teoría puede parecer absurdamente innecesaria, consigue el resultado bienvenido de minimizar ese atributo que es el más insatisfactorio de todos, la arbitrariedad.

Mis intentos de aficionado de comprimir y transmitir esta explicación tal vez la hayan hecho sonar esotérica. Pero, más bien al contrario, un segundo motivo para maravillarse es que es casi increíblemente sencilla e intuitiva. Hasta yo, un antiguo biólogo negado para los números, no salí simplemente con una vaga apreciación de que unos expertos en alguna parte habían encontrado algo nuevo, sino con la convicción de que era capaz de compartir directamente esta nueva concepción de la realidad. Tal experiencia es bastante rara en general en el mundo de la ciencia, pero en el mundo abstracto e ininteligible de la física cuántica es totalmente desconocida. El motivo principal de esta perspicacia fue la adopción de una gramática visual (esos famosos diagramas de Feynman) y una evitación casi total de las matemáticas duras (el hecho de que los vectores giratorios tan esenciales de la teoría representen en realidad números complejos parece casi incidental). Aunque el mundo que presenta es todo lo desconocido que puede, tiene un sentido completo en sus propios y extraños términos.

Los límites de la intuición



BRIAN ENO

Artista, compositor, productor discográfico de
U2, Coldplay, Talking Heads, Paul Simon

A veces tendemos a pensar que las ideas y los sentimientos que surgen de nuestra intuición son intrínsecamente superiores a los alcanzados por la razón y la lógica. La intuición —las «entrañas»— se diviniza como el «buen salvaje» de la mente, avanzando sin miedo por la pedantería de la razón. Los artistas, que buena parte del tiempo trabajan a partir de la intuición, tienen una tendencia especial a esta creencia. Un par de experiencias me han hecho volver escéptico.

La primera es una cuestión que Wittgenstein solía plantear a sus estudiantes. Es la siguiente: tienes una cinta que quieres atar alrededor del centro de la Tierra (presupongamos que la Tierra es una esfera perfecta). Por desgracia, la has atado un poco demasiado suelta; le sobra un metro. La cuestión es: si pudieras repartir el trozo sobrante —el metro extra— homogéneamente alrededor del planeta para que la cinta rondara justo encima de la superficie, ¿cuán por encima de la superficie debería ser?

Las intuiciones de la mayoría de la gente tienden a responder cerca de una fracción mínima de un milímetro. La respuesta real son casi 16 centímetros. En mi experiencia, hay sólo dos tipos de personas que se acercan intuitivamente a ella: los matemáticos y los modistos. Y sigo encontrándolo más bien extraordinario. De hecho, cuando me lo contaron, como estudiante de arte, me pasó buena parte de la noche calculando y recalculándolo, porque mi intuición me gritaba incredulidad.

No muchos años más tarde, en el Exploratorium de San Francisco, recibí otro golpe-a-la-intuición. Vi por primera vez una demostración informática del Juego de la Vida de John Conway. Para aquellos que no lo conocéis, es una

simple cuadrícula con puntos que actúan siguiendo un conjunto de reglas igualmente simples y totalmente deterministas. Las reglas deciden qué puntos viven, mueren o nacen al siguiente paso. Todo el sistema es tan transparente que no debería haber sorpresas, pero, de hecho, las hay y muchas. La complejidad y lo orgánico de la evolución de los patrones de puntos supera totalmente la predicción. Si cambias la posición de un punto al principio, toda la historia resulta absolutamente distinta. Si modificas una de las reglas de manera casi imperceptible, puede producirse una explosión de crecimiento o un apocalipsis instantáneo. Simplemente, no tienes manera intuitiva de suponer cuál de los dos ocurrirá.

Estos dos ejemplos, para mí, demuestran elegantemente lo siguiente: (a) «Determinista» no significa «predecible»; (b) no somos buenos intuyendo la interacción de las normas simples con las condiciones iniciales (y lo más significativo aquí es que el cerebro humano puede estar intrínsecamente limitado en su capacidad de intuir ciertas cosas, como la física cuántica y la probabilidad, por ejemplo); y (c) la intuición no es una voz casi-mística que viene de nuestro exterior y que habla a través de nosotros, sino una especie de procesamiento «a saco» de nuestra experiencia anterior (lo que explica por qué los modistos aciertan y el resto de nosotros no). Esta herramienta de procesamiento a veces da resultados impresionantes a una velocidad extraordinaria, pero vale la pena que de vez en cuando recordemos que también puede estar totalmente equivocada.

El mecanismo de Higgs



LISA RANDALL

Física, Universidad de Harvard; autora de
*Knocking on Heaven's Door: How Physics
and Scientific Thinking Illuminate the
Universe and the Modern World*

La belleza de la ciencia —a la larga— es su falta de subjetividad, de modo que, para un científico, responder a la pregunta «¿cuál es tu explicación bella, profunda o elegante preferida?» puede resultar inquietante, puesto que las únicas palabras objetivas de la pregunta son «cuál», «es», «o» y (en un mundo científico ideal) «explicación». Es cierto que la belleza y la elegancia desempeñan un papel en la ciencia, pero no son los árbitros de la verdad. Pero aceptaré que la simplicidad, que a menudo se confunde con la elegancia, puede ser una guía útil para maximizar el poder explicativo.

En cuanto a la pregunta, me quedaré con una explicación que creo que es extremadamente bonita y relativamente sencilla (aunque sutil), y que incluso puede ser verificada dentro de este año. Se trata del mecanismo de Higgs, llamado así por el físico Peter Higgs, que fue quien lo desarrolló. El mecanismo de Higgs es probablemente responsable de las masas de partículas elementales como el electrón. Si el electrón tuviera una masa cero (como el fotón), no estaría ligado formando átomos y ninguna de las estructuras de nuestro universo estarían presentes.

En cualquier caso, los experimentos han medido las masas de las partículas elementales y no se desvanecen, sabemos que existen. El problema es que estas masas infringen la estructura simétrica subyacente que sabemos que está presente en la descripción física de estas partículas. Más concretamente, si las partículas elementales tuvieran masa nada más empezar, la teoría haría predicciones ridículas sobre partículas muy energéticas; por

ejemplo, predeciría probabilidades de interacción mayores de uno.

De modo que ahí tenemos un importante rompecabezas. ¿Cómo pueden las partículas tener masas que tienen consecuencias físicas y que pueden medirse a energías bajas pero actuar como si no tuvieran masas a energías altas, cuando las predicciones se vuelven más absurdas? Esto es lo que nos dice el mecanismo de Higgs. Todavía no sabemos seguro que sea de hecho responsable del origen de las masas de las partículas elementales, pero nadie ha encontrado una explicación alternativa satisfactoria.

Una manera de entender el mecanismo de Higgs es en términos de lo que se conoce como la rotura espontánea de la simetría, que yo diría que es, por sí misma, una idea bella. Una simetría rota espontáneamente se rompe por el estado real de la naturaleza, pero no por las leyes físicas. Por ejemplo, si te sientas a cenar a una mesa y utilizas el vaso de tu derecha, el resto de comensales harán lo mismo. La mesa es simétrica: tienes un vaso a la derecha y uno a la izquierda. No obstante, todo el mundo elige el vaso de la derecha y, por lo tanto, rompe la simetría izquierda-derecha que, de lo contrario, estaría presente.

La naturaleza hace algo similar. Las leyes físicas que describen un objeto llamado un campo de Higgs respetan la simetría de la naturaleza. No obstante, el estado real del campo de Higgs rompe la simetría. A poca energía, adopta un valor particular. Este campo de Higgs no-desvaneciente es de alguna manera semejante a una carga propagada por el vacío (el estado del universo sin partículas reales). Las partículas adquieren sus masas interactuando con esas «cargas». Puesto que este valor aparece sólo a energías bajas, las partículas, efectivamente, tienen masas sólo a estas energías, y el aparente cuello de botella de las masas de las partículas elementales queda aparentemente resuelto.

Tengamos en cuenta que el modelo estándar de física de partículas ha funcionado extremadamente bien, aunque no sabemos todavía si el mecanismo de Higgs es correcto. No necesitamos conocer el mecanismo de Higgs para saber que las partículas tienen masas y para hacer muchas predicciones acertadas con el modelo estándar. Pero el mecanismo de Higgs es esencial para explicar cómo esas masas pueden aparecer en una teoría razonable. Sin embargo, el

éxito del modelo estándar ilustra otra bonita idea esencial para toda la física, que es el concepto de «teoría efectiva». La idea es sencillamente que cuando haces predicciones puedes concentrarte en cantidades mensurables y dejar la comprensión de la fuente de esas cantidades para un estudio posterior, cuando dispones de una mejor precisión.

Por suerte, para el mecanismo de Higgs, este momento ya ha llegado, o al menos su implementación más simple, que implica a una partícula llamada el bosón de Higgs. El Large Hadron Collider («colisionador de partículas») del CERN, cerca de Ginebra, en menos de un año debería tener un resultado definitivo sobre si esta partícula existe.^[31] Si se confirma, se demostrará que el mecanismo de Higgs es correcto y nos dirá más cosas sobre la estructura subyacente responsable de la rotura espontánea de la simetría y de propagar la «carga» por el vacío. Además, el bosón de Higgs sería una nueva partícula (un bosón fundamental, para aquellos iniciados en la terminología de la física) y, en cierto sentido, sería un nuevo tipo de fuerza. Ciertamente, todo esto es muy sutil y esotérico. No obstante, a mí (y a muchos en la comunidad de físicos teóricos) me parece bello, profundo y elegante.

La simetría es fantástica, pero romperla también lo es. A lo largo de los años, muchos aspectos de la física de partículas al principio se consideraron feos y luego elegantes. La subjetividad en la física va más allá de las comunidades hasta los científicos individuales. E incluso esos científicos, con el tiempo, cambian de opinión. Por eso resultan tan importantes los experimentos. Con todo lo difíciles que son, los resultados son mucho más fáciles de identificar que la naturaleza de la belleza.

La mente piensa en metáforas personificadas



SIMONE SCHNALL

Directora del Cambridge Embodied Cognition
and Emotion Laboratory; profesora
universitaria, departamento de psicología
social y evolutiva, Cambridge, Reino Unido

Los filósofos y los psicólogos llevan bastante tiempo debatiendo sobre un tema fundamental: ¿cómo deriva significados el cerebro? Si los pensamientos consisten en la manipulación de los símbolos abstractos, de la misma forma que los ordenadores procesan ceros y unos, entonces, ¿cómo se traducen esos símbolos abstractos en representaciones cognitivas con significado? Ese llamado problema de los rudimentos del símbolo ha sido ahora superado en gran manera porque muchos hallazgos de la ciencia cognitiva sugieren que, de entrada, el cerebro no traduce la información entrante a símbolos abstractos. En cambio, las aportaciones sensoriales y perceptivas de la experiencia cotidiana se asumen en su forma específica de cada modalidad, y constituyen los bloques de construcción de los pensamientos.

Los empiristas británicos como Locke y Berkeley reconocieron hace mucho que la cognición es inherentemente perceptiva. Pero, siguiendo la revolución cognitiva de la década de los cincuenta, la psicología ha tratado el ordenador como el modelo más adecuado para estudiar la mente. Ahora sabemos que un cerebro no funciona como un ordenador: su trabajo no es almacenar o procesar información, sino impulsar y controlar las acciones de su gran apéndice, el cuerpo. Hay en marcha una nueva revolución que algunos consideran que pondrá fin al cognitivismo y que dará paso a una forma transformada de ciencia cognitiva, en concreto, una ciencia cognitiva *personificada*.

La principal afirmación es que la mente piensa en metáforas

personificadas. Los primeros proponentes de esta idea fueron lingüistas como George Lakoff, y en años recientes psicólogos sociales han estado haciendo experimentos pertinentes que han aportado pruebas convincentes. Pero la cosa no acaba ahí; hay también un camino inverso. Como el pensamiento es para actuar, muchos procesos corporales retroalimentan la mente para impulsar la acción.

Observemos los siguientes hallazgos recientes relacionados con el concepto espacial básico de la verticalidad. Puesto que moverse por el espacio es una experiencia física común, conceptos como «arriba» o «abajo» son inmediatamente significativos en relación con el propio cuerpo. La experiencia concreta de la verticalidad sirve de andamio ideal para comprender conceptos abstractos como la moralidad: la virtud está arriba, mientras que la depravación está abajo. Las buenas personas son ciudadanos con altos principios y una gran rectitud, mientras que las malas personas son retorcidas y tienen bajos instintos. Estudios recientes realizados por Brian Meier, Martin Sellbom y Dustin Wygant ilustraban que los participantes en el estudio son más rápidos a la hora de categorizar las palabras morales cuando se presentan en una situación «alta», y las inmorales cuando se presentan en una situación «baja». Por tanto, las personas relacionamos intuitivamente el terreno moral con la verticalidad; no obstante, Meier y sus colegas descubrieron también que la gente que no reconoce las normas morales —es decir, los psicópatas— no logran hacer esta relación.[32]

La gente no sólo piensa en todo lo bueno y lo moral como alto, sino que también consideran que Dios está arriba y el demonio abajo. Además, los que tienen poder son «los de arriba» en relación con aquellos de los que están por encima y controlan, como demuestra Thomas Schubert.[33] Todas las evidencias empíricas sugieren que hay, desde luego, una dimensión conceptual que va en cabeza, tanto literal como metafóricamente. Esta dimensión vertical que arrastra la mente hacia arriba hacia cualquier poder superior que pueda haber está íntimamente conectada en la experiencia física básica de la verticalidad.

La verticalidad no sólo influye en la representación de las personas de lo que es bueno, moral y divino, sino que el movimiento espacial por la

dimensión vertical puede llegar a cambiar sus acciones morales. Lawrence Sanna, Edward Chang, Paul Miceli y Kristjen Lundberg demostraron recientemente que manipulando la situación de la gente por la dimensión vertical puede convertirla en ciudadanos más «altos» y más «rectos». Vieron que las personas en un centro comercial que acababan de subir por las escaleras mecánicas eran más proclives a depositar dinero en una hucha para una obra de caridad que las que justo acababan de bajar. De manera parecida, los participantes en el estudio que acababan de ver una película en la que se veían vistas desde el cielo —concretamente, vistas de las nubes desde la ventanilla de un avión— luego mostraban una conducta más solidaria que los que habían visto unas vistas más corrientes y menos «elevadas» rodadas desde la ventanilla de un coche. Así, estar físicamente elevadas inducía a las personas a aplicar unos valores morales «superiores».[34]

El creciente reconocimiento de que las metáforas personificadas aportan un lenguaje común de la mente ha llevado a maneras fundamentalmente distintas de estudiar la forma de pensar de las personas. Por ejemplo, con la presuposición de que la mente funciona como un ordenador, los psicólogos esperaron descubrir el mecanismo de pensar de la gente observando cómo jugaban al ajedrez o memorizaban listas de palabras arbitrarias. Desde una perspectiva de la personificación, es obvio que tales intentos científicos estaban condenados al fracaso. Es cada vez más claro que las operaciones cognitivas de cualquier criatura, incluidos los humanos, han de resolver ciertos retos adaptativos del entorno físico. En el proceso, las metáforas personificadas son los bloques de construcción de la percepción, la cognición y la acción. No se puede ser mucho más simple y elegante que esto.

Las metáforas están en la mente



BENJAMIN K. BERGEN

Profesor adjunto, ciencias cognitivas,
Universidad de California-San Diego

Estudio el lenguaje y, a lo largo de los siglos, en mi campo ha habido dos explicaciones que han modificado las reglas del juego. Una de ellas explica cómo cambian las lenguas con el tiempo. La otra explica por qué todas las lenguas comparten ciertas características. Pero mi favorita es la que logró originariamente engancharme al lenguaje y a la mente: es una explicación de la metáfora.

Cuando miras de cerca cómo utilizamos el lenguaje, te das cuenta de que muchas de las cosas que decimos son metafóricas, es decir, hablamos de ciertas cosas como si fueran otras cosas. Describimos las campañas políticas como carreras de obstáculos: «El candidato Jones va en cabeza». La moralidad es limpieza: «Eso ha sido una maniobra sucia». Y entender es ver: «El nuevo descubrimiento ilumina la estructura del universo».

Hace mucho tiempo que sabemos de las metáforas. Hasta finales del siglo XX, casi todo el mundo estaba de acuerdo en una explicación particular, articulada claramente por Aristóteles. La metáfora se consideraba como un instrumento estrictamente lingüístico —una especie de giro «resultón» de la frase— por el que nombras una cosa con el nombre de otra a la que se parece. Ésta es probablemente la definición de metáfora que aprendiste en la clase de lengua del instituto. Según esta definición, puedes decir metafóricamente que «Julietta es el sol» si, y solamente si, Julieta y el sol se parecen... por ejemplo, porque ambos son especialmente luminosos.

Pero en su libro de 1980 *Metaphors We Live By*, George Lakoff y Mark Johnson propusieron una explicación del lenguaje metafórico que dejaba de lado esta suposición popular. Argumentaban que si la metáfora es tan sólo un

instrumento lingüístico de libre circulación basado en las semejanzas, entonces deberíamos poder describir metafóricamente cualquier cosa en términos de cualquier otra cosa a la que se asemeja. Pero Lakoff y Johnson observaron que el auténtico lenguaje metafórico, tal y como se utiliza en la realidad, no es en absoluto casual, sino que es sistemático y coherente.

Es sistemático en el sentido de que uno no se limita a describir metafóricamente cualquier cosa como otra cosa cualquiera. En cambio, son más bien las cosas abstractas las que describimos en términos de cosas concretas. La moralidad es más abstracta que la limpieza. Entender es más abstracto que ver. Y las metáforas no son reversibles: podemos decir que una persona «está limpia» para decir que no tiene antecedentes penales, pero no puedes decir que «está moral» para decir que acaba de ducharse. La metáfora es unidireccional.

Las expresiones metafóricas son también coherentes entre ellas. Tomemos el ejemplo de entender y ver. Hay muchas expresiones metafóricas que las combinan: por ejemplo, «ya veo lo que quieres decir», «vamos a aclarar un poco más el tema» y «examinemos la idea con lupa y veamos si realmente tiene sentido». Etcétera. Aunque son expresiones metafóricas totalmente distintas —utilizan palabras totalmente distintas—, todas apuntan de manera coherente ciertos aspectos del entendimiento en cuanto a aspectos específicos de la visión. Siempre se describe a quien entiende como a alguien que ve, la idea entendida como la idea vista, el acto de entender como el acto de ver, la comprensión de la idea como la visibilidad del objeto... Dicho de otro modo, los aspectos de ver que se utilizan para hablar de aspectos de comprender figuran en un esquema fijo los unos frente a los otros.

Estas observaciones llevaron a Lakoff y Johnson a proponer que había algo en las metáforas que iba más allá de las palabras. Afirmaron que las expresiones metafóricas en el lenguaje son en realidad sólo fenómenos superficiales, organizados y generados por esquemas en las mentes de las personas. Para ellos, el motivo por el que existe el lenguaje metafórico y por el que es sistemático y coherente es que las personas pensamos metafóricamente. No sólo hablamos de entender y ver; pensamos en entender como ver. No sólo hablamos de moralidad y limpieza; pensamos en la

moralidad como pulcritud. Y es por el hecho de pensar metafóricamente — porque sistemáticamente colocamos ciertos conceptos sobre otros en nuestro esquema mental— que hablamos metafóricamente. Las expresiones metafóricas son simplemente (por decirlo de alguna manera) la punta del iceberg.

Tratándose de explicaciones, ésta cubre todas las bases. Es elegante por el de hecho que explica fenómenos embrollados y complicados con los términos de algo mucho más sencillo, un esquema estructurado entre dos campos conceptuales en la mente. Es potente por el de hecho que explica más cosas que el lenguaje metafórico: recientes estudios en psicología cognitiva demuestran que las personas piensan metafóricamente, incluso en ausencia de lenguaje metafórico (afecto como calidez, moralidad como pulcritud). La explicación de la metáfora conceptual sugiere que entendemos los conceptos abstractos como el afecto o la moralidad colocándolos metafóricamente sobre conceptos más concretos. En términos de utilidad, la explicación de la metáfora conceptual ha generado amplios estudios en muchos campos distintos; los lingüistas han documentado la riqueza del lenguaje metafórico y han explorado su diversidad por todo el planeta; los psicólogos han probado sus predicciones en el comportamiento humano; los neurocientíficos han buscado en el cerebro sus fundamentos físicos. Y, finalmente, la explicación de la metáfora conceptual es transformadora, es decir, se desprende de la idea aceptada de que la metáfora es tan sólo un instrumento lingüístico basado en la similitud. En un instante, nos hizo repensar dos mil años de sabiduría popular. Eso no significa que la explicación de la metáfora conceptual no tenga sus puntos débiles ni que sea la última palabra en el estudio de la metáfora, pero es una explicación que proyecta una sombra enorme. Por así decirlo.

El principio del palomar



JON KLEINBERG

Cátedra Tisch University en ciencias
informáticas, Universidad de Cornell; coautor
(con David Easley) de *Networks, Crowds, and
Markets: Reasoning About a Highly
Connected World*

Hay ciertos datos en matemáticas que transmiten la sensación de contener una especie de potencia comprimida: cuando los conoces parecen inocuos y amables, pero cuando los ves en acción te deslumbran. Uno de los ejemplos más irresistibles de este caso es el principio del palomar.

He aquí lo que dice el principio. Supongamos que una bandada de palomas se posa sobre un grupo de árboles y hay más palomas que árboles. Luego, una vez han aterrizado, al menos en uno de los árboles hay más de una paloma.

Este dato parece obvio, porque lo es: sencillamente, hay demasiadas palomas, de modo que no todas pueden tener su propio árbol. De hecho, si esto fuera el final del cuento, no estaría claro por qué es un hecho que merece mencionarse u observarse. Pero para apreciar el principio del palomar tenemos que ver algunas de las cosas que se pueden hacer con él.

Así, pasemos a un dato que no parece en absoluto tan claro. La propia afirmación ya es intrigante, pero lo que intriga todavía más es la manera natural que se derivará del principio del palomar. He aquí el dato: en algún momento de los últimos 4.000 años hubo dos personas de tu árbol genealógico —llamémoslas A y B— con la propiedad de que A era ancestro de la madre de B y también ancestro del padre de B. Tu árbol familiar tiene un bucle por el que dos ramas que crecen de B vuelven juntas a A; dicho de otro modo, hay una pareja de padres en tus ancestros que son parientes de sangre entre ellos, gracias a ese ancestro compartido A relativamente reciente.

Aquí vale la pena mencionar un par de cosas. La primera, el «tú» del párrafo anterior eres realmente tú, el lector. De hecho, uno de los aspectos interesantes de este dato es que puedo hacer tales afirmaciones sobre ti y tus ancestros a pesar de no saber ni siquiera quién eres. La segunda, la afirmación no se apoya en ninguna presuposición sobre la evolución de la especie humana ni sobre los movimientos geográficos de la historia humana. He aquí, en concreto, las únicas presuposiciones que necesitaré:

1. Todo el mundo tiene dos progenitores biológicos.
2. Nadie tiene hijos una vez cumplidos cien años.
3. La especie humana tiene al menos 4.000 años.
4. Como mucho, en los últimos 4.000 años han vivido un billón de seres humanos. (El cálculo real de los científicos hasta ahora es que en toda la historia humana han vivido aproximadamente unos 100.000 millones de seres humanos; yo lo alargo a un billón para ir sobre seguro.)

Las cuatro suposiciones están pensadas para ser lo menos polémicas posible; y aun así, unas cuantas excepciones a las dos primeras y una estimación todavía más amplia en la cuarta tan sólo precisarían una ligera manipulación del argumento.

Ahora volvamos a ti y a tus ancestros. Empecemos por crear tu árbol genealógico hasta cuarenta generaciones atrás: tú, tus padres, tus abuelos, y así hasta cuarenta pasos atrás. Puesto que cada generación dura, como mucho, cien años, las últimas cuarenta generaciones de tu árbol familiar han vivido todas en los últimos 4.000 años. (De hecho, es casi seguro que vivieran sólo en los últimos mil, o mil doscientos años, pero recuerda que estamos intentando no generar polémicas.)

Podemos contemplar la imagen de tu árbol familiar como una especie de organigrama en el que aparecen una serie de trabajos o funciones desempeñados por personas. Es decir, alguien ha de ser tu madre; alguien, tu padre; alguien tiene que ser el padre de tu madre, etc., subiendo por el árbol. Llamaremos a cada uno de éstos una «función de ancestro», un oficio que existe en tu linaje, y podemos hablar de este oficio sin tener en cuenta quién lo

ejerció. La primera generación atrás de tu árbol contiene dos funciones de ancestro, las de tus progenitores. El segundo contiene cuatro, que son tus abuelos; el tercero contiene ocho, tus bisabuelos. Cada paso hacia atrás que das dobla el número de funciones de ancestro que han de atribuirse, de modo que, si haces los cálculos, verás que con cuarenta generaciones tienes más de un billón de ancestros que debes atribuir.

Llegados a ese punto, es el momento de que haga su aparición el principio del palomar. Las cuarenta generaciones más recientes de tu árbol genealógico vivieron todas dentro de los últimos 4.000 años, y hemos decidido que, como mucho, en ese período vivieron un billón de personas. Así, hay más funciones de ancestro (más de un billón) que personas a las que asignarlas (como mucho, un billón). Eso nos lleva al punto crucial: al menos dos funciones en tu linaje han sido desempeñadas por la misma persona. Llamémosla A.

Ahora que hemos identificado a A, básicamente, hemos terminado. Empezando por las dos funciones distintas que A desempeñó en tu linaje, volvamos a descender por el árbol hacia ti. Estos dos recorridos descendentes desde A deben primero coincidir en alguna función de ancestro más abajo del árbol, desempeñada por una persona B. Puesto que los dos recorridos coinciden por primera vez en B, uno de ellos ha llegado vía la madre de B, y el otro vía el padre de B. Dicho de otro modo, A es ancestro de la madre de B y también del padre de B, que es precisamente la conclusión a la que queríamos llegar.

Una vez retrocedes y absorbes cómo funciona el argumento, puedes apreciar unas cuantas cosas. La primera, de alguna manera, es más un dato sobre estructuras matemáticas simples que sobre las personas. Estamos tomando un árbol genealógico gigante —el tuyo— para intentar meterlo en los últimos 4.000 años de historia humana. Es demasiado grande para caber en ella, de modo que hay personas que deben ocupar más de un lugar en él.

La segunda, el argumento contiene lo que los matemáticos llaman un aspecto no constructivo. En realidad, nunca te ha dado una receta para identificar a A y a B en tu árbol genealógico; te ha convencido de que deben estar ahí, pero poco más.

Y, finalmente, me gusta considerarlo un episodio típico de las vidas del

principio del palomar y de todas las otras afirmaciones silenciosamente potentes que salpican el paisaje matemático, un puñado de pequeños datos subestimados que a menudo parecen asomar la cabeza en el momento preciso y, sin ningún esfuerzo visible, arreglan una situación que sin ellos sería caótica.

Por qué los programas tienen virus



MARTI HEARST

Científico informático, Universidad de
California-Berkeley, School of Information;
autor de *Search User Interfaces*

Desde los primeros tiempos de la programación informática hasta el presente, nos hemos enfrentado a la desafortunada realidad de que nuestro ámbito no es capaz de diseñar programas libres de errores.

¿Por qué no podemos controlar el diseño de programas informáticos para emular los éxitos de otras áreas de la ingeniería? Quizá el pensador más lírico a la hora de enfocar esta cuestión es Frederick Brooks, autor de *The Mythical Man-Month*. (Si nos fijamos en que este libro de título desafortunado fue publicado en 1975, resulta más fácil ignorar el lenguaje sexista que lo impregna; las afirmaciones que Brooks hacía hace treinta y siete años son hoy casi todas ellas precisas, excepto la presuposición de que todos los programadores son «él».)

Abrazando las alegrías de la programación, Brooks escribe:

El programador, como el poeta, trabaja a poca distancia de las ideas puras. Levanta sus castillos en el aire, a partir de aire, creando a partir del ejercicio de la imaginación. Hay pocos medios de creación que sean tan flexibles, tan fáciles de pulir y reelaborar, tan capaces de hacer realidad al instante grandes estructuras conceptuales. [...] Y sin embargo, el concepto del programa, a diferencia de las palabras del poeta, es real en el sentido de que se mueve y funciona, produciendo resultados visibles separados del concepto mismo. Imprime resultados, dibuja imágenes, produce sonidos, mueve brazos. La magia del mito y la leyenda se ha vuelto realidad en nuestro tiempo.

Pero esta magia viene acompañada con un bit de su otra cara de la moneda:

En muchas actividades creativas, el medio de ejecución es intratable. La madera se astilla; la pintura

mancha; los circuitos eléctricos zumban. Estas limitaciones físicas del medio constriñen las ideas que se pueden expresar, y también crean dificultades inesperadas en la implementación.

[...] No obstante, la programación informática crea con un medio extremadamente tratable. El programador crea a partir de la idea pura: conceptos y representaciones muy flexibles a partir de los mismos. Puesto que el medio es tratable, esperamos pocas dificultades en la implementación; de ahí nuestro optimismo omnipresente. Puesto que nuestras ideas son falibles, tenemos virus; por lo tanto, nuestro optimismo es injustificado.

De la misma manera que en una redacción hay un número arbitrariamente amplio de formas de disponer las palabras, hay una variedad impresionante de programas distintos que pueden diseñarse para llevar a cabo la misma función. El universo de la posibilidad es demasiado abierto, demasiado ilimitado como para permitir la eliminación de errores.

Hay otras causas irremediables de errores informáticos, siendo la más importante la complejidad de la interacción autónoma de sistemas independientes con resultados impredecibles, a menudo impulsados por acciones humanas todavía más impredecibles interconectadas con una red mundial. Pero, en mi opinión, la explicación bella está en la creación desatada de ideas.

Los patrones de Cage



HANS-ULRICH OBRIST

Conservador de la Serpentine Gallery,
Londres; autor de *Ai Weiwei Speaks*; coautor
(con Rem Koolhaas) de *Project Japan:
Metabolism Talks*; editor de *A Brief History of
Curating*

En arte, el título de una obra puede ser a menudo su primera explicación. Y en este contexto estoy pensando especialmente en los títulos de Gerhard Richter. En 2006, cuando visité a Richter en su estudio de Colonia, acababa de terminar una serie de seis pinturas abstractas a las que puso por título *Cage*.

Hay muchas correlaciones entre la pintura de Richter y las composiciones de John Cage. En un libro sobre la serie *Cage*, Robert Storr rastrea su origen desde la asistencia de Richter a una *performance* de Cage en el Festum Fluxorum Fluxus en Düsseldorf en 1963 hasta las analogías en sus procesos artísticos. Cage aplicaba a menudo ingredientes de azar a sus composiciones, en especial mediante el uso del I Ching. Richter, en sus pinturas abstractas, permite también intencionadamente efectos del azar. En esas pinturas, aplica la pintura al óleo a la tela con una espátula grande. Selecciona los colores con la espátula, pero la traza real que deja la pintura en la tela es, en buena medida, obra del azar. El resultado constituye entonces la base de las decisiones de Richter sobre cómo proceder con la capa siguiente. En tal inclusión del «azar controlado» podemos encontrar una similitud artística entre Cage y Richter. Además de la referencia a John Cage, el título *Cage* de Richter tiene también una asociación visual, puesto que las seis pinturas tienen un aspecto hermético, casi impermeable. El título apunta a distintas capas de significado.

Más allá de las pinturas abstractas de Richter, las analogías con Cage pueden encontrarse en otras de sus obras. Su libro *Patterns* es mi libro

favorito de 2011. Muestra el experimento de Richter de tomar una imagen de su *Abstract Painting [CR: 724-4]* y dividirla verticalmente en franjas: primero 2, luego 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256, 512, 1.024, 2.048 y hasta 4.096 franjas verticales. Esta metodología llevó hasta 8.190 franjas. A lo largo del proceso, las franjas se vuelven más y más delgadas. El experimento lleva entonces a las franjas que se reflejan y se repiten, lo cual conduce a una diversidad de patrones. El resultado son 221 patrones publicados en 246 imágenes a doble página. En *Patterns*, Richter estableció las normas precisas pero no manipuló el resultado, de modo que las imágenes son, de nuevo, una interacción entre un sistema definido y el azar.

Patterns es uno entre muchos de los libros excepcionales de arte que Richter ha creado en los últimos dos años, como *Wald* (2008) o *Eis* (1981), que incluye una maqueta especial del artista con sus impresionantes fotos de un viaje a la Antártida. La maqueta de estos libros está compuesta por intervalos con distintas disposiciones de las fotos, pero también de espacios en blanco, a modo de pausas. Richter me dijo que este diseño tiene que ver con la música, Cage y el silencio.

En 2007, Richter diseñó una vidriera policromada de veinte metros de altura para ocupar el transepto sur de la catedral de Colonia. La *Cologne Cathedral Window* comprende 11.000 cuadrados de cristal soplado en 72 colores derivados de la paleta del vidriado medieval original que fue destruido durante la segunda guerra mundial. La mitad de los cuadrados se asignaron mediante un generador aleatorio; la otra mitad, en forma de imagen reflejada de los primeros. En este caso, el control se vuelve a ceder hasta cierto punto, lo que sugiere su interés en las ideas de Cage relacionadas con el azar y la sumisión de la voluntad individual a fuerzas que escapan al control personal. «Las coincidencias son sólo útiles —me ha dicho Richter— porque han sido calculadas; eso significa o bien eliminadas, o bien permitidas, o bien destacadas».

En Halberstadt, hace poco tuvo lugar un concierto de la pieza de Cage *ORGAN²/ASLSP* (1987). ASLSP significa *as slow as possible*, o «lo más lento posible». Cage no especifica más su instrucción, de modo que cada interpretación de la partitura sea distinta. La interpretación real llevará 639

años en completarse. La lentitud de la pieza de Cage es un aspecto esencial de nuestro tiempo. Con la globalización e internet, todos los procesos se han acelerado a una velocidad en la que no queda tiempo para la reflexión crítica. Por lo tanto, el presente «movimiento lento» nos aconseja dedicar tiempo a tomar decisiones bien elegidas junto con un enfoque más orientado a lo local. La idea de lentitud es uno de los muchos aspectos que siguen convirtiendo a Cage en uno de los artistas más relevantes para el siglo XXI.

El conciso título de Richter, *Cage*, puede desplegarse para formar una interpretación amplia de estas pinturas abstractas (y de otras obras), pero se puede decir que la forma abreviada ya lo contiene todo. El título, como la explicación de un fenómeno, da la clave de las obras, describiendo su relación con una de las figuras culturales más importantes del siglo XX, John Cage, que comparte con Richter los grandes temas del azar y la incertidumbre.

La auténtica simetría rotacional del espacio



SETH LLOYD

Profesor de ingeniería mecánica cuántica, MIT;
autor de *Programming the Universe*

La siguiente explicación profunda, elegante y bella de la auténtica simetría rotacional del espacio proviene del fallecido Sydney Coleman, tal y como la presentó a sus alumnos de posgrado de física de Harvard. Esta explicación adopta la forma de un acto físico que harás tú mismo. Aunque es elegante, la explicación es verbalmente incómoda de explicar y físicamente incómoda de interpretar. Puede que haya que practicarla varias veces. Así que, a calentar motores y listos: ¡estás a punto de experimentar de una manera profunda y personal la auténtica simetría rotacional del espacio!

En el fondo, las leyes de la física están basadas en las simetrías, y la simetría rotacional del espacio es una de las más profundas de estas simetrías. El objeto más rotacionalmente simétrico es la esfera. Así, toma una esfera, como una pelota de fútbol o de baloncesto que tenga una marca, un logotipo o algo anotado en algún lugar. Haz rotar la esfera sobre un eje: la simetría rotacional del espacio implica que la forma de la esfera es invariable bajo rotación. Además, si hay una marca en la esfera, cuando la haces rotar 360° , la marca vuelve a su posición inicial. Adelante, Pruébalo. Sostén la pelota con las dos manos y hazla rotar 360° hasta que la marca regrese.

Eso no es tan raro, podrías decir. Pero es porque todavía no has demostrado la auténtica simetría rotacional del espacio. Demostrar esta simetría requiere movimientos más sofisticados. Ahora sostén la bola sobre la palma de una mano hacia arriba. Tu objetivo es hacerla rotar mientras mantienes la palma hacia arriba. Esto es más difícil, pero si Michael Jordan puede hacerlo, tú también.

Los pasos son los siguientes:

Manteniendo la palma hacia arriba, haz girar la bola hacia dentro, en dirección a tu cuerpo. A 90° , la bola está cómodamente guardada bajo tu brazo.

Sigue girándola en la misma dirección, con la palma hacia arriba. A los 180° , media rotación, el brazo te sale por detrás del cuerpo para mantener la bola equilibrada sobre la palma.

Cuando sigues girándola hasta 270° , tres cuartos de una rotación, para mantener la palma hacia arriba, el brazo te sale incómodamente hacia el lado, con la bola posada precariamente encima.

Llegados a ese punto, tal vez sientas que es imposible girar los últimos 90° para completar una rotación entera. Sin embargo, si lo intentas, te darás cuenta de que puedes seguir rotando la bola con la palma hacia arriba si levantas el brazo y doblas el codo de modo que tu antebrazo sale directamente hacia delante. Ahora la bola ha girado 360° , una rotación completa. Sin embargo, si lo has hecho todo bien, tendrás el brazo torcido en una postura de lo más dolorosa e incómoda.

Para aliviar el dolor, sigue rotando unos 90° adicionales hasta un giro y cuarto, siempre con la palma hacia arriba. Ahora la pelota debería estar planeando por encima de tu cabeza, y la tensión dolorosa del hombro se habrá aliviado un poco.

Finalmente, cual camarero presentando una bandeja con el plato principal de la cena, sigue con el movimiento para los últimos tres cuartos de un giro, para acabar con la pelota y el brazo (¡qué alivio!) de nuevo en su posición original.

Si te las has arreglado para hacer estos pasos correctamente y sin hacerte daño, te darás cuenta de que la trayectoria de la pelota ha dibujado una especie de ocho inclinado, o un símbolo del infinito (∞), en el espacio, y que ha rotado no una vez sino dos. La auténtica simetría del espacio no es la rotación de 360° , sino la de 720° .

Aunque tal vez este ejercicio pueda parecer poco más que una pirueta de baloncesto sofisticada y dolorosa, el hecho de que la auténtica simetría del espacio sea la rotación hecha dos veces, en vez de una, tiene profundas consecuencias para la naturaleza del mundo físico en su nivel más

microscópico. Implica que las «bolas», como los electrones, unidos a un punto distante por «cuerdas» flexibles y deformables, como las líneas de campo magnético, han de rotar dos veces para volver a su configuración original. Si lo analizamos todavía más, la naturaleza rotacional doble de la simetría esférica implica que dos electrones, ambos girando en la misma dirección, no pueden colocarse en el mismo lugar al mismo tiempo. Este principio de exclusión, a su vez, sustenta la estabilidad de la materia. Si la auténtica simetría del espacio consistiera en rotar sobre uno mismo una sola vez, entonces todos los átomos de tu cuerpo caerían en la nada en una diminuta fracción de segundo. Pero, por suerte, la auténtica simetría del espacio consiste en rotar dos veces sobre uno mismo y tus átomos son estables, un hecho que debería consolarte mientras te aplicas hielo al hombro.

El principio del palomar **revisado**



CHARLES SEIFE

Profesor de periodismo, Universidad de Nueva York; antiguo redactor de *Science*; autor de *Proofiness: The Dark Art of Mathematical Deception*

A veces, incluso el simple acto de contar te puede enseñar algo profundo. Un día, a finales de la década de los noventa, cuando hacía de corresponsal para la revista *New Scientist Magazine*, recibí un correo electrónico de un periodista que cantaba las excelencias de un extraordinario nuevo programa informático. Se trataba de un revolucionario programa de compresión de datos tan eficiente que era capaz de aplastar cualquier archivo digital en un 95 por ciento o más sin perder ni un solo bit de datos. ¿No saltaría de alegría mi revista ante la oportunidad de hablar al mundo sobre este programa que haría que los discos duros pudieran contener veinte veces más información que antes?

No, mi revista no lo haría.

Un algoritmo de compresión de este tipo, simplemente, no podía existir; era el equivalente algorítmico a una máquina de movimiento perpetuo. El programa era un timo. El motivo: el principio del palomar.

El principio del palomar es un sencillo argumento de cálculo. Dice que si tienes n palomas y te las arreglas para meterlas en menos de n cajas, en al menos una caja habrá más de una paloma. Con todo lo descaradamente obvio que resulta, se trata de una herramienta muy poderosa. Por ejemplo, imaginemos que el programa de compresión funcionara realmente tal y como se anunciaba y todos los archivos se encogieran en un factor 20 sin perder fidelidad. Cada archivo de 2.000 bits sería aplastado para ocupar sólo 100 bits, y luego, cuando se revirtiera el algoritmo, se volverían a expandir en su

forma original, immaculados.

Cuando se comprimen archivos, nos encontramos con el principio del palomar. Hay muchos más de 2.000 bit-palomas ($2^{2.000}$, para ser exactos) que cajas de 100 bits (2^{100}). Si un algoritmo mete los primeros en los segundos, al menos una de las cajas debe contener varias palomas. Tomemos esta caja —el archivo de 100 bits— y revirtamos el algoritmo, expandiéndolo a su forma original de 2.000 bits. ¡No podemos! Puesto que hay múltiples archivos de 2.000 bits que acaban todos siendo comprimidos en el mismo archivo de 100 bits, el algoritmo no tiene manera de diferenciar cuál era el auténtico original, es decir, no puede revertir la compresión.

El principio del palomar pone un límite absoluto en lo que un algoritmo de compresión es capaz de hacer. Puede comprimir algunos archivos, a menudo de manera espectacular, pero no puede comprimirlos todos... Al menos no si insistes en una fidelidad perfecta.

Argumentos parecidos a éste nos han abierto reinos totalmente nuevos para explorar. El matemático alemán Georg Cantor utilizó una especie de técnica inversa del principio del palomar para demostrar que era imposible meter los números reales en cajas etiquetadas con los enteros, a pesar de que hay un número infinito de enteros. La consecuencia casi impensable fue que hay distintos niveles de infinito. El infinito de los enteros está empequeñecido por el infinito de los reales que, a su vez, está empequeñecido por otro infinito, y éste por otro... un infinito de infinitos, todos ellos inexplorados hasta que aprendamos a contarlos.

Llevar el principio del palomar al espacio tiene una consecuencia todavía más extraña. Hay un principio en física, el límite holográfico, que implica que en cualquier volumen finito de espacio hay sólo un número finito de configuraciones posibles de materia y energía. Si, como los cosmólogos tienden a creer, el universo es infinito, ahí fuera hay un número infinito de volúmenes visibles del tamaño del universo, enormes burbujas del tamaño del cosmos que contienen materia y energía. Y si el espacio es más o menos homogéneo, no hay nada particularmente especial en la burbuja del tamaño del cosmos en la que vivimos. Estas suposiciones, tomadas juntas, llevan a una conclusión inquietante. Infinitas burbujas del tamaño del universo, con sólo un

número finito de configuraciones de materia y energía en cada una de ellas, significa que no hay sólo una copia exacta de nuestro universo —y de nuestra Tierra— por ahí fuera; la versión transfinita del principio del palomar dice que hay un número infinito de copias de cada (técnicamente, «casi cada», según una definición matemática precisa) universo posible. No sólo hay infinitas copias de ti en infinitas Tierras alternativas, sino que hay infinitas copias de incontables variaciones del tema: versiones de ti con cola prensil, versiones de ti con múltiples cabezas, versiones de ti que han hecho carrera intercambiando animales carnívoros parecidos a liebres a cambio de joyería. Hasta algo tan simple como contar uno, dos, tres te puede llevar a reinos estrambóticos e inesperados.

La ley de Moore



RODNEY A. BROOKS

Experto en robótica; Cátedra Panasonic de robótica, profesor emérito, MIT; fundador, presidente y director técnico de Heartland Robotics, Inc.; autor de *Cuerpos y máquinas: de los robots humanos a los hombres robot*

La ley de Moore tiene su origen en un artículo de cuatro páginas publicado en una revista por Gordon Moore, que entonces trabajaba en Fairchild Semiconductor y más tarde sería uno de los fundadores de Intel. En él, predecía que el número de componentes de un circuito integrado sencillo aumentaría del entonces aproximadamente 2^6 hasta aproximadamente 2^{16} en los diez años siguientes, es decir, el número de componentes se duplicaría cada año. Basaba su predicción en cuatro puntos de referencia empíricos y un punto de referencia nulo, adaptados a una línea recta de un gráfico que representa el registro del número de componentes en un solo chip comparado con una escala lineal con los años del calendario. Más tarde, Intel corrigió la ley de Moore para decir que «el número de transistores en un chip se duplica aproximadamente cada dos años».

La ley de Moore se considera correctamente como el impulsor fundamental de la revolución de la tecnología de la información en nuestro mundo de los últimos cincuenta años. Duplicar el número de transistores cada equis tiempo ha convertido a nuestros ordenadores en el doble de potentes por el mismo precio, ha doblado la cantidad de datos que pueden almacenar o mostrar, los ha hecho el doble de rápidos, más pequeños, más baratos y, en general, los ha mejorado en cualquier aspecto posible en un factor de 2 en un calendario anual.

Pero ¿por qué ocurre? Los automóviles no han obedecido a la ley de

Moore; ni las pilas, ni la ropa, ni la producción de alimentos, ni el nivel del discurso político. Todo menos eso último ha mejorado demostrablemente debido a la influencia de la ley de Moore, pero ninguno ha experimentado las mismas incansables mejoras exponenciales.

La explicación más elegante sobre lo que hace posible la ley de Moore es que la lógica digital está totalmente basada en la abstracción —y, de hecho, una abstracción de un bit, una respuesta de sí/no a una pregunta— y que la abstracción es independiente del volumen físico.

En un mundo que consiste totalmente en montones de arena roja y montones de arena verde, el tamaño de los montones es irrelevante. Un montón es o rojo o verde, y te puedes llevar medio montón y sigue siendo un montón de arena roja o uno de arena verde. Y te puedes llevar otra mitad, y otra, y así sucesivamente, y la abstracción sigue manteniéndose. Y la división repetida a un ritmo constante se convierte en una exponencial.

Es por eso por lo que la ley de Moore funciona en la tecnología digital, pero no lo hace en tecnologías que requieren fuerza física, o volumen físico, o que deben librar cierta cantidad de energía. La tecnología digital emplea la física para mantener una abstracción y nada más.

Pero hay que hacer algunas advertencias:

1. En su breve artículo, Moore expresó cierta duda en cuanto a si su predicción sería válida para circuitos integrados lineales, más que digitales, señalando que, por su naturaleza, «estos elementos requieren el almacenaje de energía en un volumen».
2. Eso es importante cuando te quedas con pilas de arena con sólo un grano, y entonces la tecnología debe cambiar y necesitas utilizar alguna propiedad física nueva para definir la abstracción. Tales cambios de tecnología han ocurrido una, y otra, y otra vez en el mantenimiento de la ley de Moore a lo largo de casi cincuenta años.
3. La idea no explica la sociología de cómo se implementa la ley de Moore o qué determina la constante temporal de una duplicación, pero sí explica por qué las exponenciales son posibles en este terreno.

Complejidad cósmica



JOHN C. MATHER

Astrofísico sénior, Observational Cosmology
Laboratory, Goddard Space Center de la
NASA; coautor (con John Boslough) de *The
Very First Light*

¿Qué es lo que explica la extraordinaria complejidad del universo observado, a todas las escalas, desde los quarks hasta el universo en aceleración? Mi explicación favorita (que, desde luego, no he inventado yo) es que las leyes fundamentales de la física producen naturalmente inestabilidad, flujos de energía y caos. Algunos llaman al resultado «fuerza vital», otros destacan que la Tierra es ella misma un sistema vivo (Gaia, una «bruja muy dura», según la difunta Lynn Margulis), y hay quien concluye que la complejidad observada requiere una explicación sobrenatural (de las cuales tenemos muchas). Pero mi padre era estadístico (de vacas lecheras) y desde que yo era muy pequeño me habló de las células y los genes y la evolución y el azar. De modo que un científico debe buscar la explicación de cómo las leyes de la naturaleza y la estadística nos han llevado hasta la existencia consciente. Y de cómo es que acontecimientos en apariencia improbables ocurren constantemente.

Bueno, los físicos tienen incontables ejemplos de la inestabilidad natural, en la cual se libera energía para impulsar el cambio desde la simplicidad a la complejidad. Uno de los más comunes es que enfriar vapor de agua por debajo del punto de congelación produce copos de nieve, ninguno de ellos igual a otro y todos ellos complejos y bellos. Lo vemos a menudo, de modo que no nos sorprendemos. Pero los físicos han observado tantos tipos de estos cambios de una estructura a otra (lo llamamos transiciones de fase) que el Premio Nobel de 1992 fue otorgado por entender las matemáticas de sus rasgos comunes.

Y ahora veamos unos cuantos ejemplos de cómo las leyes de la naturaleza

producen las inestabilidades que llevan hasta nuestra propia existencia. Primero, el big bang (¡qué nombre tan insignificante!) surgió aparentemente de una inestabilidad, en la que el «falso vacío» acabó descomponiéndose hasta el vacío ordinario que tenemos hoy, más las partículas fundamentales que hoy conocemos, los quarks y los leptones. De modo que el universo en su conjunto empezó por una inestabilidad. Luego sucedió una gran expansión y un enfriamiento, y los quarks sueltos, encontrándose también inestables, se fusionaron para formar las actuales partículas menos elementales —los protones y los neutrones—, liberando un poco de energía y creando la complejidad. Entonces el universo en expansión se enfrió un poco más, y los neutrones y los protones, que ya no estaban separados por temperaturas inmensas, se encontraron inestables y formaron núcleos de helio. Un poco más de enfriamiento y los núcleos atómicos y los electrones ya no se mantenían separados, y el universo se volvió transparente. Luego, algo más de enfriamiento y empezó la siguiente inestabilidad: la gravedad fue aproximando la materia a lo largo de distancias cósmicas para formar las estrellas y las galaxias. Esta inestabilidad está descrita como una «capacidad calorífica negativa», por la que extraer energía de un sistema gravitatorio lo vuelve más caliente; claramente, la segunda ley de la termodinámica aquí no es aplicable. (Es la versión física de la noción de E. E. Cummings de «la maravilla que mantiene las estrellas separadas».) Luego, la siguiente inestabilidad es que los núcleos de hidrógeno y de helio se fusionaran para liberar energía y conseguir que las estrellas ardieran durante miles de millones de años. Y luego, al final de la fuente de combustible, las estrellas se vuelven inestables y explotan y liberan sus elementos químicos al espacio. Y debido a ello, en planetas como la Tierra, los flujos sostenidos de energía apoyan el desarrollo de inestabilidades adicionales y todo tipo de patrones complejos. La inestabilidad gravitacional arrastra los materiales más densos al centro de la Tierra, dejando una fina piel de agua y aire, y hace que el interior se agite incesantemente a medida que el calor va aflorando a la superficie. Y el calor del sol, recibido en su mayor parte cerca del Ecuador y que fluye en dirección a los polos, sostiene las complejas circulaciones atmosféricas y oceánicas.

Y debido a todo ello, la Tierra está llena de laboratorios químicos

naturales, concentrando elementos aquí, mezclándolos allí, subiendo y bajando temperaturas, experimentando incesantemente con incontables acontecimientos por los que pueden aparecer nuevas inestabilidades. Al menos uno de ellos fue el nuevo experimento llamado Vida. Ahora que sabemos que hay al menos tantos planetas como estrellas, cuesta imaginar que la experimentación incesante de la naturaleza no sea capaz de haber producido vida en otras partes... pero no tenemos ninguna seguridad al respecto.

Y la vida siguió causando nuevas inestabilidades, evolucionando constantemente, con elementos vivos en una extraordinaria gama de entornos, cambiando el medio ambiente global, con grandes altibajos, con depredadores para cada tipo de presa, con criminales para cada crimen posible, con gobiernos para evitarlos, e inestabilidades en los propios gobiernos.

Una de las inestabilidades es que los humanos exigen nuevas armas y nuevos productos de todo tipo, lo que conduce a fuertes inversiones en ciencia y tecnología. Así, el mundo natural/humano de competición y de combate está estructurado para conducir al armamento avanzado y los teléfonos móviles. Y así estamos, en 2012, con personas que escriben artículos y se preguntan si sus descendientes serán formas de vida artificial que viajarán por el espacio. Y reflexionando sobre cuáles son los orígenes de estas fuerzas de la naturaleza que han dado origen a todo. El físico teórico holandés Eric Verlinde ha argumentado que la gravedad, la única fuerza que hasta ahora ha resistido a nuestros esfuerzos de descripción cuántica, no es ni siquiera una fuerza fundamental, sino que es ella misma una fuerza estadística, como la ósmosis.

¡Qué giro tan sorprendente! Pero después de todo lo que acabo de decir, no debería asombrarme en absoluto.

La hipótesis de Gaia



SCOTT SAMPSON

Paleontólogo especialista en dinosaurios y
divulgador científico; autor de *Dinosaur
Odyssey: Fossil Threads in the Web of Life*

Para mi dinero, la explicación científica más profunda y bella es la hipótesis de Gaia, la idea de que los procesos físicos y biológicos de la Tierra están intrínsecamente interconectados para formar un sistema autorregulado. Esta noción —fruto en 1965 del químico James Lovelock, posteriormente desarrollada por la microbióloga Lynn Margulis— propone que el aire (la atmósfera), el agua (la hidrosfera), la tierra (la geosfera) y la vida (la biosfera) interactúan para formar un solo sistema en desarrollo capaz de mantener condiciones medioambientales consecuentes con la vida. Inicialmente, Lovelock esgrimió la hipótesis de Gaia para explicar cómo la vida en la Tierra ha persistido durante casi 4.000 millones de años a pesar de un 30 por ciento de aumento en la intensidad del sol en ese intervalo.

Pero ¿cómo funciona Gaia? Lovelock y Margulis demostraron que, a falta de un sistema consciente de mando-y-control, Gaia utiliza bucles de información para rastrear y ajustar parámetros medioambientales clave. Pongamos el oxígeno, un derivado de la vida altamente reactivo, generado y continuamente rellenado por algas y plantas fotosintéticas. La presente concentración atmosférica de oxígeno es de aproximadamente un 21 por ciento. Si este porcentaje bajara unos pocos puntos, las formas de vida que respiran no podrían sobrevivir; si subiera unos puntos, los ecosistemas terrestres se volverían exageradamente combustibles, tendentes a la conflagración. Según la hipótesis de Gaia, los organismos productores de oxígeno han utilizado estos bucles de información durante cientos de millones de años para mantener el oxígeno atmosférico entre estos estrechos límites.

Argumentos parecidos, apoyados por un cuerpo creciente de estudios, se pueden afirmar de otros constituyentes atmosféricos, y también para la temperatura global de la superficie, la salinidad de los océanos y otras mediciones medioambientales clave. Aunque la hipótesis de Gaia subraya la cooperación a escala de la biosfera, los investigadores han documentado múltiples ejemplos que indican cómo la cooperación a un nivel podría evolucionar a través de la competición y la selección natural a niveles inferiores. Inicialmente criticado por los científicos serios, que lo trataban de rollo New Age, la noción radical de Lovelock se ha ido incorporando cada vez más a la ortodoxia científica, y sus elementos clave hoy se enseñan a menudo como «ciencia de los sistemas terrestres». Una lección oportuna que resulta al menos en parte de los estudios gaianos es que la complejidad de la cadena alimenticia, incluyendo la diversidad de las especies superiores, tiende a potenciar la estabilidad ecológica y climática.

Así, aunque la Tierra puede encontrarse en una zona «Ricitos de Oro» —ni demasiado cerca ni demasiado lejos del sol—, el éxito estrepitoso de la vida en este «punto azul claro» no puede atribuirse solamente a la suerte. La vida ha tenido una mano directa en asegurarse su propia pervivencia.

La ciencia todavía no ha adoptado plenamente la hipótesis de Gaia y debemos admitir que, como explicación, la idea sigue siendo incompleta. Las enseñanzas que se derivan de Gaia son indudablemente profundas y bellas, uniendo el conjunto de la biosfera y los procesos de la superficie terrestre en un sistema único, emergente y autorregulado. Pero esta explicación está todavía por alcanzar el tercer hito definido en la Pregunta Edge de este año: la elegancia. La hipótesis de Gaia carece de la precisión matemática de la fórmula $e = mc^2$ de Einstein. No se ha presentado una teoría unificada de la Tierra que explique por qué la vida estabiliza más que no desestabiliza.

El biólogo evolucionista W. D. Hamilton una vez comparó los estudios de Lovelock con los de Copérnico, y añadió que todavía esperamos al Newton que definirá las leyes de esta importante y en apariencia improbable relación. El propio Hamilton se implicó profundamente en la búsqueda de la respuesta a esta cuestión, y desarrolló un modelo informático que parecía demostrar cómo la estabilidad y la productividad podían crecer al unísono. Si no llega a ser

por su inoportuna muerte, tal vez hubiera sido el Newton de la edad moderna.

Las implicaciones culturales de Gaia también continúan debatiéndose. Probablemente, la implicación más profunda de la idea de Lovelock es que la Tierra, considerada en su conjunto, tiene muchas de las cualidades de un organismo. Pero ¿está Gaia realmente viva, análoga a una forma de vida individual, o es más exacto pensar en ella como un ecosistema del tamaño de un planeta? Lynn Margulis apostaba con firmeza (y convincentemente, a mi entender) a favor de lo segundo. Margulis, cuya obra revolucionó la biología evolutiva a la más pequeña y la más grande de las escalas, murió el año pasado. Siempre una científica de fuertes convicciones, una vez afirmó: «Gaia es una bruja muy fuerte, un sistema que ha funcionado durante más de 3.000 millones de años sin gente. La superficie de este planeta y su atmósfera y medio ambiente seguirán evolucionando mucho después de que las personas y los prejuicios hayan desaparecido».

Aunque no discrepo de esta rotunda valoración, encuentro una inspiración mucho más grande en el pensamiento gaiano. De hecho, hasta me atrevería a sugerir que esta idea puede ayudar a cambiar la percepción humana de la naturaleza. En la perspectiva moderna, el mundo natural es poco más que un puñado de recursos prácticamente infinitos disponibles para la explotación humana. La óptica gaiana nos anima a revisar la naturaleza terráquea como un todo finito y entretejido del que hemos evolucionado y al que permanecemos totalmente integrados. Aquí, entonces, tenemos una perspectiva profunda y bella desesperadamente necesitada de una amplia difusión.

Las ecuaciones de continuidad



LAURENCE C. SMITH

Profesor de geografía, UCLA; autor de *El mundo en 2050: las cuatro fuerzas que determinarán el futuro de la civilización*

Éstas ya os resultan familiares... al menos, en forma de anécdota. Casi todo el mundo ha oído hablar de la ley de la conservación de la masa (a veces con la palabra «materia» en lugar de «masa») y probablemente también de su pareja, la ley de la conservación de la energía. Estas leyes nos dicen que para los fenómenos prácticos, del mundo real (es decir, de la relatividad no-cuántica, no-general), la materia y la energía no se pueden crear ni destruir nunca, sólo transformarse. Este concepto tiene unos orígenes tan lejanos como la antigua Grecia, se articuló formalmente en el siglo XVIII (un gran avance para la química moderna) y hoy día apuntala prácticamente todos los aspectos de las ciencias físicas, biológicas y naturales. La conservación de la masa (o de la materia) es lo que finalmente frustró las ansias de los alquimistas de transformar el plomo en oro; la conservación de la energía es lo que consigna el asombroso poder de la varita de un mago para la imaginación de ejércitos de fans de *El señor de los anillos*.

Las ecuaciones de continuidad hacen dar a estas leyes un importante paso al frente, ofreciendo formulaciones matemáticas explícitas que rastrean el almacenamiento y/o transferencias de masa (continuidad de la masa) y energía (continuidad de la energía) de un compartimiento o estado al otro. Como tales, en realidad no son solamente un par de ecuaciones, sino que están escritas en una variedad de formas, desde la muy simple a la muy compleja, con el fin de representar de la mejor manera los fenómenos físicos que se supone que deben describir. Las formas más elegantes, adoradas por los matemáticos y los físicos, tienen un detalle exquisito y son, por tanto, las más complejas. Un

ejemplo clásico es la serie de ecuaciones de Navier-Stokes —a veces llamadas ecuaciones de Saint-Venant—, utilizadas para entender los movimientos y aceleraciones de los fluidos. La belleza de Navier-Stokes está en la repartición y el seguimiento explícitos que hace de la masa, la energía y el impulso a través del espacio y del tiempo. No obstante, en la práctica, tal detalle también hace que estas ecuaciones resulten difíciles de resolver y requieran, o bien un considerable esfuerzo informático, o el ejercicio de presuposiciones simplificadoras de las propias ecuaciones.

Pero el poder de las ecuaciones de continuidad no está limitado a las formas complejas solamente comprensibles para los físicos y los matemáticos. Un ingeniero forestal, por ejemplo, puede emplear una forma sencilla, llamada de equilibrio de masa, de una ecuación de continuidad de la masa, para estudiar su bosque, sumando el número, el tamaño y la densidad de los bosques, determinando el ritmo al que aparecen las plántulas de los semilleros, y luego restándole el índice de mortalidad de los árboles y el número de cargas de camión de leña eliminada, para calcular si su contenido total de madera (biomasa) aumenta, decrece o se mantiene estable. Los ingenieros de automóviles aplican de forma rutinaria sencillas ecuaciones de equilibrio de energía cuando, por ejemplo, diseñan un coche eléctrico híbrido para recuperar energía cinética de su sistema de frenos. Ninguna parte de la energía se crea o destruye realmente, tan sólo se vuelve a capturar, en este caso, de un motor de combustión, que la ha recibido a partir de la separación de antiguos vínculos químicos, que la obtuvieron de reacciones fotosintéticas, que se alimentaron del sol... Cualquier energía restante no recapturada por los frenos no está realmente perdida, por supuesto, sino que, en vez de ello, se transfiere al atmósfera en forma de calor de bajo grado.

La presuposición esencial detrás de estas leyes y ecuaciones es que la masa y la energía se conservan dentro de un sistema cerrado. En principio, el coche eléctrico híbrido satisface la continuidad de la energía sólo si rastreamos su consumo desde el principio (el sol) al final (la dispersión del calor en la atmósfera). Se trata de un cálculo muy engorroso, de modo que el proceso suele tratarse como un sistema abierto. Los metales utilizados en la fabricación del coche satisfacen la continuidad de la masa solamente si se

rastrear desde su origen (mineral) hasta el vertedero. Este seguimiento es más factible, y este cálculo de los recursos de la cuna hasta la tumba —una alta prioridad para muchos ecologistas— es, por tanto, más compatible con las leyes naturales que nuestro actual modelo económico, que tiende a crear estos flujos de recursos como sistemas abiertos.

Al igual que el coche, nuestro planeta es, desde un punto de vista práctico, un sistema abierto respecto de la energía, y un sistema cerrado respecto de la masa. (Aunque la Tierra sigue siendo bombardeada por meteoritos, ese input es hoy lo bastante pequeño como para ignorarlo.) Lo primero es lo que hace posible la vida: sin la infusión regular por parte del sol de energía fresca externa, la vida tal y como la conocemos se acabaría con rapidez. Se requiere una fuente externa porque, aunque la energía no puede destruirse, se degrada constantemente a formas más débiles y menos útiles, de acuerdo con la segunda ley de la termodinámica. (Veamos las pastillas de freno del coche híbrido: su calor disipado no le sirve de nada a nadie.) La obertura de este sistema es bidireccional, porque la Tierra también expulsa energía térmica infrarroja al espacio. Para nosotros su radiación es invisible, pero para los satélites con «visión» en esta franja del espectro electromagnético, la Tierra es un orbe que brilla con fuerza, de manera parecida al sol.

Curiosamente, esta dicotomía entre cerrado y abierto es un motivo más por el que la física del cambio climático resulta irrefutable. Quemando combustibles fósiles, arrastramos carbono (masa) fuera del subsuelo —donde no tiene prácticamente interacción con el equilibrio energético del planeta— hacia la atmósfera, donde sí la tiene. Es bien conocido que el carbono en la atmósfera altera el equilibrio energético del planeta; la física de este proceso se conoce desde 1893, gracias al químico sueco Svante Arrhenius. Sin los gases con base de carbono y otros de efecto invernadero, nuestro planeta sería una roca moribunda cubierta de hielo. Los gases de efecto invernadero lo impiden a base de alterar selectivamente el equilibrio energético de la Tierra en la troposfera, las pocas millas más bajas de la atmósfera, donde residen la inmensa mayoría de los gases, lo que provoca el aumento de la cantidad de radiación térmica infrarroja que emite la Tierra. Puesto que parte de esta energía vuelve a bajar a la Tierra como vuelve también al espacio, la

troposfera inferior se calienta para lograr un equilibrio energético. La continuidad de la energía así lo exige.

No obstante, los átomos de carbono de nuestro planeta están pegados a nosotros para siempre; la continuidad de la energía así lo exige, también. La pregunta es ¿qué decisiones tomaremos sobre hasta qué punto y con qué rapidez los barreremos del suelo? La física de los recursos naturales, el cambio climático y otros problemas se pueden reducir a menudo a ecuaciones simples y elegantes. ¡Ojalá tuviéramos instrumentos lo bastante virtuosos para dictar su solución!

La apuesta de Pascal



TIM O'REILLY

Fundador y consejero delegado de O'Reilly
Media

En 1661 o 1662, en sus *Pensamientos*, el filósofo y matemático Blaise Pascal articuló lo que se acabaría conociendo como «apuesta de Pascal», la cuestión de si creer o no en Dios frente a la incapacidad de la razón o la ciencia de ofrecer una respuesta definitiva:

Debes apostar. No es una opción. Estás embarcado. ¿Cuál elegirás, pues? [...] Hay dos cosas que puedes perder, lo cierto y lo bueno; y dos cosas en juego, tu razón y tu voluntad, tu sabiduría y tu felicidad; y tu naturaleza tiene dos cosas que evitar, el error y la miseria. Tu razón no se altera más en elegir la una o la otra, puesto que necesariamente debes elegir. Ese punto está claro. Pero ¿y tu felicidad? Ponderemos el beneficio de la pérdida en decidir qué es Dios. Valoremos estas dos alternativas. Si ganas, lo ganas todo; si pierdes, no pierdes nada. Apuesta, pues, sin dudar que Él es.

En tanto que esta propuesta de Pascal está envuelta en un oscuro lenguaje religioso y versa sobre un tema religioso, es una expresión temprana importante de la teoría de la decisión. Y si la despojamos de sus peculiaridades, representa una manera simple y efectiva de razonar sobre problemas actuales como el cambio climático.

Para actuar, no necesitamos estar seguros al ciento por ciento de que los peores temores de los científicos de la climatología sean correctos. Lo único en lo que necesitamos pensar son las consecuencias de equivocarnos.

Supongamos por un momento que no exista un cambio climático provocado por el ser humano, o que sus consecuencias no sean nefastas, y que hayamos hecho grandes inversiones para evitarlo. ¿Qué es lo peor que ocurre?

1. Hemos hecho grandes inversiones en energías renovables. Éste es un tema urgente hasta en ausencia de calentamiento global, puesto que la Agencia Internacional de Energía ya ha revisado la

- fecha del «pico petrolero» al 2020, dentro de ocho [siete] años.
2. Hemos invertido en una fuente potente de creación de nuevo empleo.
 3. Hemos mejorado nuestra seguridad nacional al reducir nuestra dependencia del petróleo procedente de zonas hostiles o inestables.
 4. Hemos mitigado las enormes pérdidas económicas imprevistas derivadas de la polución. (China estimó recientemente estas pérdidas en un 10 por ciento de su PIB.) Actualmente subvencionamos los combustibles fósiles de decenas de maneras, permitiendo que las compañías energéticas, automovilísticas y otras mantengan ocultos sus costes medioambientales, y financiando las infraestructuras automovilísticas a cargo del erario público, mientras se exige a los ferrocarriles que construyan sus propias infraestructuras, etc.
 5. Hemos renovado nuestra base industrial, invirtiendo en nueva industria en vez de apoyar la antigua. A los escépticos del clima, como Bjorn Lomborg, les gusta citar los costes de enfrentarnos al calentamiento global, pero estos costes son parecidos a los de la industria discográfica al adoptar la distribución digital, o a los de los periódicos ante la irrupción de internet. Es decir, son costes para las industrias existentes, pero ignoran las oportunidades de las nuevas industrias que explotarán la nueva tecnología. Todavía no he visto ninguna argumentación convincente de que los costes de enfrentarnos al cambio climático no sean principalmente los costes de proteger las viejas industrias.

Por el contrario, presupongamos que los escépticos del cambio climático se equivoquen. Nos enfrentamos al desplazamiento de millones de personas, sequías e inundaciones y otros daños extremos en catástrofes meteorológicas, extinción de especies y pérdidas económicas que nos harán anhelar los buenos/viejos tiempos de la actual crisis financiera e industrial.

El cambio climático es una versión moderna de la apuesta de Pascal. Por un lado, el resultado es que hemos creado una economía más robusta. Por el otro, el peor resultado de todos es el infierno. En resumen, nos irá mejor si creemos en el cambio climático y actuamos basándonos en esta premisa, aunque al final resulte que estábamos equivocados.

Pero me estoy yendo por las ramas. La ilustración se ha convertido en el argumento entero: la apuesta de Pascal no es sólo para matemáticos ni sólo para personas con inclinaciones religiosas. Es un instrumento muy útil para cualquier persona que piense.

Estrategias evolutivamente estables



S. ABBAS RAZA

Editor, fundador de 3quarksdaily.com

Mi ejemplo de una explicación profunda, elegante y bella en ciencia es el concepto de John Maynard Smith de una *estrategia evolutivamente estable* (ESS). Esta idea maravillosamente clara no sólo explica una serie de fenómenos biológicos, sino que además proporciona una útil herramienta heurística para probar la plausibilidad de varios tipos de afirmaciones en biología evolutiva, lo que nos permite, por ejemplo, descartar rápidamente ideas erróneas de selección de grupo. Así pues, la idea de los actos altruistas llevados a cabo por individuos se puede explicar por el beneficio que obtiene el conjunto de la especie. Desde luego la idea es tan potente que explica cosas que ni siquiera me había dado cuenta de que precisaban explicarse hasta que me dieron la explicación.

Presentaré ahora una explicación de este tipo para ilustrar el poder de la ESS. Debo apuntar que aunque Smith desarrolló la ESS mediante las matemáticas de la teoría del juego (junto con sus colaboradores J. R. Price y G. A. Parker), intentaré explicar su idea principal sin usar prácticamente las matemáticas.

Pensemos en especies comunes de animales como los gatos, los perros, los humanos o las águilas reales. ¿Por qué tienen todos ellos (casi) el mismo número de machos y hembras? ¿Por qué no hay a veces un 30 por ciento de machos y un 70 por ciento de hembras en una especie? ¿O al contrario? ¿O alguna otra proporción? ¿Por qué son las proporciones de sexos casi exactamente mitad y mitad? Yo, al menos, jamás me lo había planteado hasta que leí la respuesta elegante.

Pongamos por caso las focas: existen en la proporción normal de sexos al 50 por ciento, pero la mayoría de los machos foca morirán vírgenes, mientras

que la mayoría de las hembras se aparearán. Unos pocos machos dominantes monopolizan a la mayor parte de las hembras. Así, ¿de qué sirve tener a todos esos machos adicionales? Consumen alimentos y recursos, pero lo único que importa en la evolución es que resultan inútiles porque no se reproducen. Desde el punto de vista de una especie sería mejor y más eficiente si sólo fueran machos una pequeña proporción de focas y el resto fueran hembras; tal especie de focas haría un uso mucho más eficiente de sus recursos, y, según la lógica de los partidarios de la selección de grupo, pronto eliminaría la actual especie existente de las focas con su ineficiente proporción de género de mitad y mitad. Así, ¿cómo es que no ha sucedido de esta forma?

He aquí el porqué: porque una población de focas (puedes sustituir cualquier otra especie de animales que he mencionado, incluido los humanos, por las focas de este ejemplo) con, pongamos, un 10 por ciento de machos y un 90 por ciento de hembras (o cualquier otra proporción que no sea al 50 por ciento) no sería estable al cabo de un número amplio de generaciones. ¿Por qué no? En el caso del 10 por ciento de machos y 90 por ciento de hembras de este ejemplo, cada macho produce unas nueve veces más de cachorros que cualquier hembra apareándose con un promedio de nueve hembras. Imaginemos tal población. Si fueras un macho en este tipo de población, jugaría a tu favor evolutivo producir más machos que hembras, porque se podría esperar que cada macho produjese más o menos tantos cachorros como cualquiera de las hembras. Hagamos un cálculo para que el ejemplo sea todavía más claro: supongamos que el macho foca medio tiene 90 hijos, de los cuales sólo 9 son machos y 81 hembras de promedio, y que la hembra foca tiene 10 cachorros de promedio, de los cuales sólo 1 macho y 9 hembras. ¿De acuerdo?

He aquí la clave del asunto: supongamos que en uno de los machos foca se produce una mutación —y es muy posible que fuese en numerosas generaciones— que da a ese macho en particular más esperma Y (productor de machos) que X (productor de hembras). Este gen se extendería como un incendio a través de la población descrita. Al cabo de unas pocas generaciones, cada vez más machos foca tendrían el gen que les hace tener más cachorro macho que hembra, y pronto veríamos la proporción 50/50 que

observamos en el mundo real.

El mismo argumento se puede aplicar a las hembras: cualquier mutación en la hembra que la llevara a producir más cachorros macho que hembra (aunque el sexo lo determinaría el esperma, no el óvulo, hay otros mecanismos que la hembra puede emplear para afectar la proporción de sexos) se extendería rápidamente entre esa población, acercando la proporción a 50/50 con cada generación posterior. De hecho, cualquier desviación significativa de la proporción de géneros 50/50 será, por este motivo, evolutivamente inestable, y a través de la mutación aleatoria, pronto revertirá a ella. Y éste es tan sólo un ejemplo del profundo, elegante y bello poder explicativo de la ESS.

El dilema de Collingridge



EUGENY MOROZOV

Periodista; profesor visitante de la Universidad de Stanford; Schwartz Fellow de la New America Foundation; autor de *El desengaño de Internet: Los mitos de la libertad en la red*

En 1980, David Collingridge, un oscuro académico en la Universidad de Aston del Reino Unido, publicó un importante libro titulado *The Social Control of Technology*, que marcó el tono de muchos debates posteriores sobre la evaluación tecnológica. En él articulaba lo que se ha dado en llamar el dilema de Collingridge: la idea de que siempre hay una compensación entre el hecho de conocer el impacto de una tecnología concreta y la facilidad de influir en sus trayectorias social, política y de innovación.

La aportación básica de Collingridge es que podemos conseguir regular una tecnología concreta mientras es todavía joven y poco conocida, y por tanto, aún oculta sus consecuencias inesperadas e indeseables; o podemos optar por esperar a ver cuáles son estas consecuencias, pero entonces perderemos el control sobre su regulación. O, como el propio Collingridge dijo con tanta elocuencia: «Cuando el cambio es fácil, su necesidad no puede ser anticipada; cuando la necesidad de cambio es aparente, el cambio ya se ha vuelto caro, difícil y laborioso». El dilema de Collingridge es una de las maneras más elegantes de explicar muchas de las disyuntivas éticas y tecnológicas complejas —pensemos en los drones o en el sistema de reconocimiento facial— que acosan nuestro mundo globalizado.

Confiar en la confianza



ERNEST PÖPPEL

Psicólogo, neurocientífico; consejero delegado
de la Human Science Center, Universidad de
Múnich; autor de *Mindworks: Time and
Conscious Experience*

Después de muchos años,
un regalito a Edge
desde la primera cultura.

Mediante el *haiku*
cinco/siete/cinco sílabas
para expresar una idea.

Buscando la belleza
para explicar lo inexplicado,
¿por qué debo hacerlo?

¿Cuál es mi problema?
¡No necesito explicaciones!
¡Vivo feliz sin ellas!

Llega un nuevo día,
despierto abandonando mis sueños
y no sé por qué.

No entiendo
por qué puedo confiar en mi cuerpo
de día y de noche.

Miro la luna,
siempre con la misma cara.
¡Pero no sé por qué!

¿Debo explicarlo?
Hay gente que, desde luego, puede.
¡No está en mis manos!

Miro un árbol.
¿Pero es realmente un árbol?
Confío en mis ojos.

Pero ¿por qué confío?
No entiendo el cerebro.
Demasiado complejo

En busca de respuestas,
en busca de explicaciones,
pero viviendo sin ellas.

Confío en mis percepciones.
Y confío en mis recuerdos.
Confío en mis sentimientos.

¿De dónde vienen
esa absoluta certeza,
esa confianza en el mundo?

Mientras confío en el futuro
y hago planes para mañana,
¿por qué creo?

¡No tengo respuesta!
El conocimiento no basta.
Sólo las preguntas.

¿Qué es una pregunta?
¡Éste es el verdadero reto!
Encontrar un nuevo camino.

Pero se requiere confianza,
creer en las nuevas respuestas,
ocultas en una sombra.

Explicaciones profundas

descansan en la fe de las respuestas,
que queda inexplicada.

¿Hay una salida?
¿Evitar la paradoja?
¡La respuesta es no!

El mayor de los retos:
aceptar el presente,
¡sin dar respuestas!

¿Simplemente es así?



BRUCE PARKER

Profesor visitante, Center for Maritime
Systems, Stevens Institute of Technology;
oceanógrafo; autor de *The Power of the Sea:
Tsunamis, Storm Surges, Rogue Waves, and
our Quest to Predict Disasters*

El concepto de un componente indivisible de la materia, algo que ya no se puede dividir más, lleva al menos dos milenios y medio con nosotros, propuesto por vez primera por los antiguos filósofos griegos e indios. Demócrito llamó a la partícula indivisible más pequeña *átomos*, que significa «incortable». Los átomos eran también simples, eternos e inalterables. Pero en el pensamiento griego (y en general, durante los 2.000 años posteriores), los átomos perdieron territorio a favor de los cuatro elementos básicos de Empédocles —fuego, aire, agua y tierra—, que eran también simples, eternos e inalterables, pero no hechos de pequeñas partículas. Y Aristóteles creía que estos cuatro elementos eran infinitamente continuos.

Un desarrollo posterior en nuestra comprensión del mundo, basado en el concepto de átomo, debería esperar hasta el siglo XVIII. Para entonces, los cuatro elementos de Aristóteles se habían sustituido por los 33 elementos de Lavoisier, basados en el análisis químico. Dalton utilizó entonces el concepto de átomo para explicar por qué los elementos reaccionan siempre en proporciones de números enteros, y propuso que cada elemento está hecho de átomos de un solo tipo y que estos átomos se pueden combinar para formar compuestos químicos. Obviamente, a comienzos del siglo XX (a través de los trabajos de Thomson, Rutherford, Bohr y muchos otros), se descubrió que los átomos no eran indivisibles y que, por lo tanto, no eran la unidad básica de la materia. Todos los átomos estaban hechos de protones, neutrones y electrones,

que heredaron el título de componentes indivisibles (bloques básicos de construcción) de la materia.

Tal vez porque el modelo del átomo de Rutherford-Bohr se considera hoy de transición hacia modelos más elaborados basados en la mecánica cuántica, o tal vez porque evolucionó con el tiempo a partir del trabajo de mucha gente (y no fue una única y bella ley propuesta), hemos olvidado lo mucho que el mundo puede explicarse a través del concepto de protones, neutrones y electrones, probablemente más que cualquier teoría jamás propuesta. Con sólo tres partículas básicas, se podía explicar las propiedades de 118 átomos/elementos y las propiedades de miles y miles de compuestos de estos elementos combinados químicamente. Un hito más bien asombroso, y que en verdad convertía el modelo Rutherford-Bohr en merecedor de considerarse «explicación profunda, bella y elegante favorita».

Desde esa gran simplificación, los posteriores desarrollos en nuestra comprensión del universo físico se han vuelto más complicados, no menos. Para explicar las propiedades de nuestras tres partículas básicas de la materia, seguimos buscando partículas todavía más básicas. Acabamos necesitando doce fermiones (seis quarks, seis leptones) para «explicar» las propiedades de las tres partículas que antes se consideraban básicas (además de las propiedades de algunas otras partículas desconocidas para nosotros hasta que creamos los colisionadores de alta energía). Y añadimos cuatro partículas más, las partículas transportadoras de las fuerzas, para «explicar» los cuatro campos de fuerzas fundamentales (electromagnetismo, gravitación, fuerza nuclear fuerte y fuerza nuclear débil) que afectan estas tres partículas antes consideradas básicas. De estas dieciséis partículas ahora consideradas básicas, la mayoría no son observables de manera independiente (al menos, a baja energía).

Aunque el presente «modelo estándar de física de partículas» acabe siendo real, todavía podemos preguntarnos: «¿Y luego qué?» Cada partícula, sea cual sea su nivel en la jerarquía, tendrá ciertas propiedades o características. Cuando se nos pregunta por qué los quarks tienen una carga eléctrica, una carga de color, una rotación o una masa concretas, ¿decimos simplemente «es así»? ¿O intentamos encontrar partículas todavía más básicas que parezcan

explicar las propiedades de quarks, leptones y bosones? Y, en este caso, ¿seguiremos hasta partículas todavía más básicas? ¿Podemos continuar así hasta el infinito? ¿O, en algún momento, cuando se nos pregunte «¿por qué tiene esta partícula estas propiedades?», simplemente diremos «porque, simplemente, es así»? En algún punto, ¿tendremos que decir que no hay «porqué» del universo? Simplemente, es así.

¿En qué nivel de nuestra jerarquía de la comprensión recurriremos a responder «simplemente, es así»? El primer nivel (con la menor cantidad de comprensión sobre el mundo) es religioso: los dioses del Monte Olimpo, cada uno responsable de algún fenómeno mundial, o el dios sabelotodo monoteísta que creó el mundo e hizo que todo funcionara a través de mecanismos realmente incomprensibles para los humanos. En sus teorías sobre el funcionamiento del mundo, Aristóteles y otros filósofos griegos incorporaron los dioses del Olimpo (tierra, agua, fuego y aire se asignaron cada uno a dioses concretos), pero Demócrito y otros filósofos fueron deterministas y materialistas, y buscaron patrones predecibles y bloques de construcción simples capaces de crear el mundo complejo que veían a su alrededor. En la evolución del pensamiento científico, ha habido varios momentos «simplemente, es así», cuando una explicación o teoría parece toparse con una pared, hasta que aparece alguien que dice «tal vez no» y sigue avanzando en nuestra comprensión. Pero a medida que nos acercamos a las preguntas más básicas sobre nuestro universo (y sobre nuestra existencia), la respuesta «simplemente, es así» se vuelve más probable. Una pregunta científica básica es si las partículas realmente indivisibles de la naturaleza se llegarán a encontrar nunca. La pregunta filosófica que la acompaña es si las partículas de la naturaleza realmente indivisibles pueden existir.

En alguna etapa, el grupo siguiente de «partículas» matemáticamente derivadas serán tan obviamente no observables en la realidad que, en cambio, las describiremos como simples entidades en un modelo matemático que parece describir con precisión las propiedades de las partículas observables del nivel superior. En esta etapa, a la pregunta del porqué estas partículas actúan tal y como las describe el modelo matemático, la respuesta será «simplemente, es así». Lo lejos que llevemos estos modelos dependerá

probablemente de hasta qué punto un nuevo nivel del modelo nos permita explicar fenómenos observados antes inexplicables, o predecir correctamente fenómenos nuevos. (O tal vez nos detengamos cuando el modelo se vuelva demasiado complejo.)

Para los deterministas que siguen inquietos por las probabilidades inherentes a la mecánica cuántica o por la cuestión filosófica sobre qué habría ocurrido antes de un big bang, estamos a un solo paso del reconocimiento del misterio irresoluble de nuestro universo; reconocimiento, pero tal vez todavía no aceptación. Un modelo nuevo y mucho mejor podría todavía aparecer.

Subvertir la biología



PATRICK BATESON

Profesor de etología, Universidad de
Cambridge; coautor (con Paul Martin) de
Design for a Life

Hace dos años revisé las pruebas que existen sobre la endogamia en los perros con pedigrí. La endogamia puede provocar una reducción de la fertilidad, tanto en forma de camadas menos numerosas y de menor viabilidad del esperma, en la alteración del desarrollo, en una reducción de la ratio de nacimientos, alta mortalidad infantil, menor esperanza de vida, una mayor expresión de los trastornos hereditarios y una reducción de las funciones del sistema inmunológico. El sistema inmunológico está muy asociado a la eliminación de las células cancerosas de un cuerpo saludable y, de hecho, una función inmunológica reducida aumenta el riesgo de desarrollar tumores. Estos casos bien documentados en perros domésticos confirman lo que ya se sabía de muchas poblaciones de otras especies en estado salvaje. No resulta sorprendente, por tanto, que haya una variedad de mecanismos que conviertan la endogamia en menos probable en el mundo natural. Uno de ellos es la elección de individuos desconocidos como parejas sexuales.

A pesar de todas las evidencias, la historia es más complicada de lo que parece a primera vista, y aquí es donde la explicación de lo que ocurre posee cierta belleza. Aunque la endogamia, por lo general, se considera indeseable, en los últimos años el debate se ha vuelto mucho más matizado. La purga de los genes con efectos gravemente perjudiciales conlleva unos beneficios obvios, y eso puede ocurrir cuando una población se reproduce de manera endogámica. La reproducción exogámica, que se percibe normalmente como ventajosa, conlleva la posibilidad de deshacer los beneficios de la purga, con la introducción de nuevos genes perjudiciales en la población. Además, una

población adaptada al entorno puede no desarrollarse bien si se cruza con una población que está adaptada a un entorno distinto. De modo que se llega a un equilibrio entre la endogamia y al exogamia.

Cuando la historia biológica de una especie exige un cuidado delicado de las crías, los padres pueden ir muy lejos para aparearse con el mejor candidato posible. Una pareja no debe ser demasiado parecido a uno mismo, pero tampoco demasiado distinto. La codorniz japonesa de ambos sexos prefiere a los primos de primer grado como parejas. Estudios animales posteriores han sugerido que un grado de consanguinidad óptimo es el más beneficioso para el organismo en cuanto a éxito reproductivo. Un estudio de una población humana islandesa también apuntó a la misma conclusión. Las parejas que son primos de tercer o cuarto grado tienen un mayor número de nietos que las parejas más próximas o más alejadas de parentesco. Hay muchas pruebas de animales humanos y no humanos que sugieren que la elección de una pareja depende de las experiencias al principio de la vida, y que los individuos tienden a elegir aquellas que son un poco distintas pero no demasiado de los individuos de su familia, que son normalmente, pero no siempre, parientes cercanos.

El papel de las experiencias tempranas en la determinación de las preferencias sexuales y sociales está relacionado con un hecho bien conocido, y es que los humanos son extremadamente leales a los miembros de su propio grupo. Hasta están dispuestos a renunciar a su propia vida para defender a otros con los que se identifican. Como contraste brutal, pueden actuar con una agresividad letal con aquellos que no les resulten familiares. Eso sugiere, pues, una resolución esperanzada del racismo y la intolerancia que atormenta a muchas sociedades. A medida que la gente de distintos países e historiales étnicos se van conociendo mejor entre ellos, tendrán más tendencia a tratarse bien entre ellos, en especial si su familiaridad empieza a una edad temprana. Si la familiaridad conduce al apareamiento, las parejas puede que tengan menos nietos, pero eso podría ser una bendición para un planeta que ya está superpoblado. Este principio tan optimista, generado por el conocimiento de cómo se ha logrado un equilibrio entre la endogamia y la exogamia, subvierte la biología, pero contiene, a mi entender, una belleza considerable.

El sexo al alcance de los dedos



SIMON BARON-COHEN

Psicólogo; director del Autism research Center, Universidad de Cambridge; autor de *Empatía cero: Nueva teoría de la crueldad*

Todos sabemos que los varones y las hembras son distintos de cuello para abajo. Y hay evidencia creciente de que también hay diferencias de cuello para arriba. Analizar la mente revela que, de media, las hembras desarrollan antes la empatía, y que, de media, los varones desarrollan un interés más intenso en los sistemas, en la manera de funcionar de las cosas. Se trata de diferencias no tanto en capacidad como en estilo cognitivo y patrones de interés. No deben interponerse en el camino hacia la plena igualdad de oportunidades en la sociedad ni en la igual representación en todas las disciplinas y campos, pero tales aspiraciones políticas son un asunto separado de la observación científica de las diferencias cognitivas.

Observar el cerebro también revela diferencias. Por ejemplo, mientras que los varones, de media, tienen un mayor volumen cerebral que las hembras, incluso una vez hecha la corrección de altura y peso, las hembras, de media, alcanzan su volumen máximo de materia gris y blanca al menos un año antes que los varones. Hay también una diferencia en el número de neuronas en el neocórtex: de media, los hombres tienen 23 millones y las mujeres 19 millones, una diferencia de un 16 por ciento. Si miramos a otras regiones del cerebro, observamos también diferencias: por ejemplo, los hombres, de media, tienen la amígdala (una zona de emociones) más grande, y las mujeres, de media, tienen un mayor plano temporal (una zona de lenguaje). Pero en todo este discurso sobre las diferencias entre sexos, al final, lo que queremos saber es lo que provoca estas diferencias, y aquí es donde yo, al menos, encuentro algunas explicaciones profundas, elegantes y bellas.

Mi favorita es la testosterona fetal, puesto que unas gotas de más de esta molécula especial parecen tener efectos «masculinizadores» en el desarrollo del cerebro y de la mente. El crédito de esta sencilla idea debe darse a Charles Phoenix y sus colegas de la Universidad de Kansas, que la propusieron en 1959,[35] y a Norman Geschwind y Albert Galaburda de Harvard, que la recuperaron a comienzos de la década de los ochenta. No se trata del único mecanismo masculinizador (otro es el cromosoma X), pero es uno que ha sido elegantemente diseccionado.

No obstante, los científicos que estudian las propiedades causales de la testosterona fetal a veces recurren a experimentos animales poco éticos. Pongamos, por ejemplo, una parte de la amígdala llamada el núcleo medio posterodorsal (MePD), que es mayor en las ratas macho que en las ratas hembra. Si castramos al pobre rata macho (lo que lo priva de su fuente principal de testosterona), el MePD se le encoge hasta tener el mismo volumen que el de la hembra en tan sólo cuatro semanas. O se puede hacer el experimento inverso, administrando testosterona adicional a la rata hembra, lo cual le provoca un crecimiento de la MePD hasta el mismo tamaño de un macho, igualmente en sólo cuatro semanas.

En los humanos, buscamos maneras más éticas de estudiar cómo funciona la testosterona fetal. Se puede medir esta hormona especial en el líquido amniótico que baña al feto en el útero. Llega al líquido amniótico al ser excretada por el feto, con lo cual se cree que refleja los niveles de esta hormona en el cuerpo y el cerebro del bebé. Mis colegas de Cambridge y yo medimos de esta manera la testosterona en bebés varones antes de nacer, y luego los invitamos a hacerse un escáner de cerebro MRI al cabo de unos diez años. En un artículo reciente del *Journal of Neuroscience*, nuestro grupo muestra, por ejemplo, que cuanto más testosterona hay en el líquido amniótico, menos materia gris hay en el plano temporal.[36]

Esto cuadra con un hallazgo anterior que publicamos: cuanto más testosterona hay en el líquido amniótico, menor es el vocabulario del niño a los dos años de edad.[37] Eso ayuda a aclarar un misterio de toda la vida sobre el porqué las niñas hablan antes que los niños, y por qué los niños están desproporcionadamente representados en las clínicas que tratan los retrasos y

trastornos del lenguaje, puesto que, dentro del útero, los niños producen al menos el doble de testosterona que las niñas.

También ayuda a aclarar el misterio de las diferencias individuales en el ritmo de desarrollo del lenguaje en los niños normales, sin tener en cuenta su sexo: por qué a los dos años hay niños que poseen un vocabulario amplio (600 palabras) y hay otros que ni siquiera han empezado a hablar. La testosterona fetal no es el único factor implicado en el desarrollo del lenguaje —también los están las influencias sociales, puesto que los primogénitos desarrollan el lenguaje antes que los nacidos más tarde—, pero parece ser una parte clave de la explicación. Y la testosterona fetal se ha demostrado que está asociada con numerosos rasgos más vinculados al sexo, desde el contacto visual hasta la atención por el detalle o los rasgos de autismo.

La testosterona fetal es difícil de estudiar directamente, puesto que lo último que desea un científico es interferir con la delicada homeóstasis del entorno uterino. En años recientes se ha propuesto un sustituto de la testosterona fetal: la proporción entre la longitud del segundo y el cuarto dedo de la mano, también conocido como ratio 2D:4D. Los varones tienen una ratio menor que las mujeres, y se considera que este rasgo se define en el útero y se mantiene estable a lo largo de la vida. Así, los científicos ya no tienen que pensar en maneras imaginativas de medir los niveles de testosterona directamente en el útero. Se pueden limitar a fotocopiar la mano de la persona, con la palma hacia abajo, en cualquier momento de su vida, para medir lo que representaría sus niveles de testosterona en el útero.

Durante mucho tiempo me mostré escéptico ante la medición 2D:4D, simplemente porque no tenía demasiado sentido que la longitud relativa del segundo y el cuarto dedo tuviera nada que ver con los niveles de hormona prenatal. Pero el año pasado, en *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Zheng y Cohn demostraron que, incluso en las patas de los ratones, la densidad de los receptores de testosterona y estrógeno varía en el segundo y el cuarto dígito, lo que convierte en bella explicación el porqué la proporción entre la longitud de los dedos está afectada directamente por estas hormonas. [38] La misma hormona que masculiniza tu cerebro funciona en la punta de tus dedos.

¿Por qué se mueven las películas?

ALVY RAY SMITH

Cofundador de Pixar; pionero de la imaginería digital

Las películas no son continuas. El tiempo entre fotogramas está vacío. La cámara graba sólo veinticuatro instantáneas por segundo y descarta todo lo que ocurre entre fotogramas, pero nosotros lo percibimos igualmente. Vemos imágenes inmóviles, pero percibimos movimiento. ¿Cómo podemos explicarlo? Podemos hacer la misma pregunta sobre las películas digitales, los vídeos y los videojuegos —de hecho, sobre todos los medios digitales modernos—, de modo que la explicación es bastante importante, y una de mis favoritas.

La vieja y gastada «persistencia de la visión» no puede ser la explicación. Es real, pero sólo explica por qué no vemos el vacío entre fotogramas. Si un actor o un personaje animado se mueve entre fotogramas, entonces —por la persistencia de la visión—, lo veremos en ambas posiciones: dos Humphrey Bogart, dos Buzz Lightyear. De hecho, tu retina las ve a las dos, y una se va desvaneciendo mientras irrumpe la siguiente. Cada fotograma se proyecta lo bastante como para asegurarse de ello. Lo que hace tu cerebro con la información de la retina es lo que determina si percibes a dos Bogart en dos posturas distintas o un a un solo Bogart en movimiento.

Por sí solo, el cerebro percibe el movimiento de un extremo, pero solamente si ese extremo no se mueve demasiado lejos, ni demasiado rápido, del primer fotograma al segundo. Como la persistencia de la visión, se trata de un efecto real, llamado visión aparente. Es interesante, pero no es la explicación que a mí tanto me gusta. La animación clásica de celuloide —en la vieja variedad de tinta sobre celuloide— se apoya en el fenómeno del movimiento aparente. Los antiguos animadores sabían intuitivamente cómo

mantener los fotogramas sucesivos de un movimiento dentro de unos límites «no demasiado lejos ni demasiado rápidos». Si precisaban exceder esos límites, tenían trucos para ayudarnos a percibir el movimiento, como las líneas dibujadas de velocidad y una nube de polvareda para subrayar el rápido descenso del Coyote cuando baja inesperadamente de un altiplano en una alocada persecución del taimado Correcaminos.

Si sobrepasamos los límites del movimiento aparente sin esos trucos de los animadores, los resultados son feos. Tal vez hayas visto animaciones en *stop-motion* de la vieja escuela —como la clásica lucha de esgrima entre esqueletos de Ray Harryhausen en *Jasón y los argonautas*—, plagadas de desagradables movimientos bruscos de los personajes. En este caso, estabas viendo doble —varios límites de un esqueleto al mismo tiempo— y lo interpretabas correctamente como movimiento, pero con cierta dificultad. Los lados tartamudean, o «tiemblan», o parpadean como una luz estroboscópica por la pantalla... cosas que reflejan el efecto que provoca el movimiento en *staccato*.

¿Por qué no tiemblan las películas de imagen real? (Imaginemos dirigir a Uma Thurman para mantenernos dentro de los límites no demasiado lejos ni demasiado rápidos.) ¿Por qué no tiemblan las películas animadas por ordenador tipo Pixar? Y, en contraste, ¿por qué los videojuegos, en cambio, parpadean horriblemente? Todos ellos son secuencias de fotogramas discontinuos. Hay una explicación general que se puede aplicar a los tres casos; se llama *motion blur* («desenfoque de movimiento») y es sencilla y bonita.

He aquí lo que hace una cámara de filmar real: el fotograma que graba no es una muestra de un solo instante, como los del Correcaminos o los de Harryhausen. Al contrario, el obturador de la cámara se abre durante un breve momento, llamado tiempo de exposición. Un objeto en movimiento se mueve durante ese breve intervalo, claro está, y por lo tanto queda ligeramente manchado por el fotograma durante el tiempo de exposición. Es como lo que ocurre cuando intentas tomar una foto de larga exposición de tu hijo pequeño tirando una pelota, y su brazo queda emborronado. Pero un borrón en una foto fija resulta ser un elemento para las películas. Sin ese movimiento, todas las

películas parecerían tan entrecortadas como los esqueletos de Harryhausen.

Una explicación científica se puede convertir en una solución tecnológica. Para las películas digitales —como *Toy Story*—, la solución para evitar el efecto de parpadeo se derivó de la explicación de la acción real: emborronar deliberadamente un objeto en movimiento por el fotograma a lo largo del recorrido de su acción. Así, el brazo con movimiento oscilatorio de un personaje ha de emborronarse por el arco que dibuja el brazo cuando pivota a partir de la articulación de su hombro. Y el otro brazo, separadamente, debe emborronarse siguiendo su propio arco, a menudo en la dirección opuesta a la del primer brazo. Lo único que había que hacer era saber cómo hacer con un ordenador lo mismo que hace una cámara, y, lo más importante, cómo hacerlo de forma eficiente. Las películas de acción real obtienen el desenfoque de movimiento «gratis», pero en las películas digitales resulta muy costoso. La solución —para el grupo que hoy se conoce como Pixar— abrió las puertas para la primera película digital. El desenfoque de movimiento fue el paso crucial.

En efecto, el desenfoque de movimiento le indica a tu cerebro el camino que toma un movimiento, y también su magnitud: un desenfoque más largo ilustra un movimiento más rápido. En vez de desechar la información temporal sobre movimiento entre fotogramas, lo almacenamos espacialmente en los fotogramas como desenfoque. Así, una sucesión de este tipo de fotogramas un poco solapados —por la persistencia de visión— expresa un movimiento de una manera lo bastante clara como para que el cerebro pueda hacer toda la deducción.

Pixar invierte miles de ordenadores en una película, a veces dedicando más de treinta horas a un solo fotograma. En cambio, un videojuego — básicamente una película digital restringida al tiempo real— debe ofrecer un nuevo fotograma cada treintava fracción de segundo. Hace sólo diecisiete años que el inexorable aumento de velocidad informática por dólar (descrito por la ley de Moore) hizo factibles las películas digitales. Los videojuegos, simplemente, todavía no han llegado. No pueden ir lo bastante rápido como para ofrecer desenfoque de movimiento. Algunos lo intentan débilmente, pero la velocidad del juego baja de forma tan espectacular que los jugadores lo

apagan y prefieren sufrir el parpadeo. Pero la ley de Moore sigue siendo aplicable, y pronto —¿cinco años, diez?— hasta los videojuegos con desenfoque de movimiento entrarán en el mundo moderno de manera total y adecuada.

Lo mejor de todo es que el desenfoque de movimiento es tan sólo un ejemplo de una potente explicación general llamada el teorema del fragmento. El teorema funciona cuando los fragmentos son fotogramas, tomados regularmente para crear una película, o cuando son píxeles, tomados regularmente en el espacio para crear una imagen. También funciona para el audio digital. En resumen, la explicación del movimiento continuo para películas no continuas se expande para explicar el mundo de los medios modernos, es decir, por qué son ni tan siquiera posibles. Pero eso requeriría una explicación más larga.

**¿Quieres un poco más de
salsa de queso?**



ALBERT-LÁSZLÓ BARABÁSI

Científico especialista en redes complejas;
profesor distinguido y director del Center for
Complex Network Research de la Universidad
Northeastern; autor de *Bursts: The Hidden
Pattern Behind Everything We Do*

Tardaríamos unos cien años en probar todas las cien mil recetas que aparecen en Epicurious, el mayor portal de recetas culinarias de Estados Unidos. Lo que me fascina de este número no es lo enorme que es, sino lo pequeño que resulta. De hecho, un plato normal tiene unos ocho ingredientes. Por lo tanto, los más o menos trescientos ingredientes usados hoy en día para cocinar nos permitirían hacer un cuatrillón de platos distintos. Añadamos a éstos tu preferencia de ultracongelado, frito, triturado, centrifugado o hacer explotar tus ingredientes, y empezarás a ver por qué la cocina es una industria en crecimiento. Actualmente utiliza solamente una parte desdeñable de sus recursos: menos de uno entre el billón de platos que la combinatoria culinaria permite.

¿No te gustan los huevos a la florentina con jamón? ¿O por qué dejar sin explorar esta inmensa *terra incognita*? ¿Nos falta, sencillamente, el tiempo para ir probando cosas a través de esta abundancia sin fin, o es porque la mayoría de las combinaciones son repugnantes? ¿Podría haber algunas reglas que expliquen por qué nos gustan algunas combinaciones de ingredientes y evitamos otras? La respuesta parece ser sí, lo que me lleva hasta mi explicación más sabrosa hasta la fecha.

A medida que vamos buscando pruebas a favor (o en contra) de cualquier «ley» que pueda gobernar nuestras experiencias culinarias, debemos tener en mente que la sensación gustativa está afectada por muchos factores, desde el

color a la textura, desde la temperatura hasta el sonido. Y aun así, la palatabilidad está determinada en buena parte por el sabor, que representa un grupo de sensaciones que incluyen los olores, los gustos, el frescor y la agudeza. No obstante, esto es básicamente química, los olores son moléculas que se unen a los receptores olfativos, los sabores son compuestos químicos que estimulan las papilas gustativas, el frescor o la agudeza se ponen de relieve por los irritantes químicos de nuestra boca y garganta. Por lo tanto, si queremos entender por qué valoramos algunas combinaciones de ingredientes y aborrecemos otras, tenemos que estudiar el perfil químico de nuestras recetas.

Pero ¿cómo puede la química decirnos qué ingredientes saben bien juntos? Bueno, podemos formular dos hipótesis ortogonales. La primera, puede que nos guste la combinación de determinados ingredientes porque su química (por lo tanto, su sabor) es complementaria: lo que le falta a unos lo aportan los otros. La alternativa es totalmente lo contrario: el sabor es como la combinación de colores de moda, y así preferimos combinar ingredientes que ya comparten algunos componentes de sabor, armonizándolos químicamente entre ellos. Antes de que sigas leyendo, te pido que te detengas y que pienses cuál de las dos encuentras más plausible.

La primera me parece más lógica: pongo sal a la tortilla no porque la composición química del huevo comparta los elementos químicos de la sal, NaCl, sino precisamente porque carece de ellos. No obstante, últimamente, los chefs y los gastrónomos moleculares apuestan por la segunda hipótesis, a la que incluso le han dado un nombre, llamándola principio de maridaje. Sus consecuencias ya están en tu mesa. Hay restaurantes contemporáneos que sirven chocolate blanco con caviar porque comparten trimetilamina y otros componentes del sabor, o chocolate con queso azul porque comparten al menos setenta y tres componentes de sabor. Y, en cambio, las evidencias del maridaje son, como mucho, anecdóticas, lo que lleva a un científico como yo a preguntarse: ¿es algo más que un mito?

Entonces, ¿en qué debo confiar, en mi intuición o en los gastrónomos moleculares? ¿Y cómo probar realmente si dos ingredientes, de hecho, combinan bien? Nuestro primer instinto nos llevó a probar, bajo condiciones

controladas, todos los pares de ingredientes. Pero 300 ingredientes ofrecían unos 44.850 pares que catar, lo que nos obligó a buscar maneras más prácticas de arreglar la cuestión. Habiendo dedicado la década pasada a intentar entender las leyes que gobiernan las redes, desde la red social hasta la enrevesada red de genes que gobiernan nuestras células, mis colegas y yo decidimos apoyarnos en la ciencia de las redes. Recopilamos los componentes de sabor de más de 300 ingredientes y los organizamos en una red, asociando dos ingredientes si compartían componentes de sabor. Si dos ingredientes corrientes casi nunca se combinan, como el ajo y la vainilla, debe de haber un buen motivo; los que han probado la combinación la han encontrado poco inspirada, o directamente repugnante. Si, en cambio, dos ingredientes se combinan más a menudo de lo que cabría esperar, basándonos en su popularidad individual, lo tomamos como indicación de que juntos deben de saber bien. El tomate y el ajo entran dentro de esta categoría, combinados en un 12 por ciento de todas las recetas.[39]

La verdad, al final, es un poco del Dr. Seussian: puede que nos gusten algunas combinaciones aquí, pero no allá. Es decir, en la cocina de Norteamérica y de Europa occidental hay una fuerte tendencia a combinar ingredientes que comparten química. Si estás aquí, puedes servir parmesano con papaya con fresas con cerveza. Pero no lo intentes allá: la cocina de Asia oriental avanza evitando ingredientes que comparten química del sabor. Así, si eres natural de Asia, el ying/yang es la fuerza que te guía: en busca de la armonía a base de combinar los polos opuestos. ¿Qué te parece la salsa de soja con miel? Pruébalas juntas y tal vez te encanten.

Las leyes de la madre naturaleza



STUART PIMM

Cátedra Doris Duke de ecología
conservacionista, Nicholas School of the
Environment, Universidad Duke; autor de *A
Scientist Study Audits the Earth*

Escribiendo desde Sarawak, Alfred Russel Wallace clavó la ley más importante de las cosas vivientes con unas breves y nítidas palabras: «Toda especie ha acabado existiendo coincidiendo tanto en espacio como en tiempo con una especie preexistente relacionada muy de cerca».

Con una edición acertada, Wallace podría haber adaptado su artículo «Leyes de la evolución» de 1855 dentro de los actuales límites de palabras del actual *PNAS* o *Nature*. No encontramos trilobites en el Devoniano, el Jurásico y el Eoceno con nada entre medio. El artículo pide a gritos una explicación de las generalidades asociadas de paleontología y de biogeografía, pero la comunidad científica estaba adormilada al volante y apenas se dio cuenta. Al cabo de unos pocos años, esta ausencia de atención obligó a Wallace a enviar su explicación profunda, bella y elegante a Darwin, para obtener su apoyo moral. Darwin encontró la misma explicación, por supuesto.

¿Qué otras leyes nos ha dado la Madre Naturaleza para la diversidad biológica?

El área de distribución geográfica media de un grupo de especies es mucho más grande que el área mediana.

La media de las áreas de distribución geográfica de 1.684 especies de mamíferos en el Nuevo Mundo es de 1,8 millones de km², pero la mitad de estas especies tienen áreas inferiores a 250.000 km² (una proporción de siete a

uno). Para los tres grupos principales de pájaros de la zona, la proporción es de cinco y ocho veces, y para los anfibios, de cuarenta veces. Hay muchas especies con áreas pequeñas y pocas con áreas grandes.

Hay más especies en los trópicos que en las regiones templadas.

Los primeros exploradores que llegaron a los trópicos descubrieron esta ley. Rembrandt pintaba aves del paraíso y conchas marinas cónicas a comienzos del siglo XVII. Wallace fue primero al Amazonas porque se ganaba la vida detectando nuevas especies.

Las especies con áreas pequeñas de distribución geográfica se concentran en lugares que no suelen ser donde habita un mayor número de especies.

Esto, simplemente, no tiene sentido. Desde luego, con más especies, uno debería encontrar a más especies con áreas amplias, áreas pequeñas, y todo lo que hay en medio. No es así. Las especies con áreas pequeñas se concentran en partes muy concretas. Aproximadamente la mitad de todas las especies viven en un par de decenas de sitios que, juntos, constituyen un 10 por ciento de las partes sin hielo del planeta.

Las especies con áreas pequeñas de distribución geográfica son raras en estas áreas, mientras que las de áreas amplias son comunes.

Disculpad el vocabulario, pero la Madre Naturaleza es muy zorra. Tenderíamos a pensar que es amable con las especies que tienen una amplitud pequeña, y que las hace localmente comunes, pero no. Las especies más extendidas tienden a ser comunes en todas partes, mientras que las locales son raras hasta allí donde se encuentran.

Lo que inspiró a Darwin y a Wallace fueron los encuentros con lugares ricos en pájaros y mamíferos que no se hallan en ningún otro lugar: las Galápagos y las islas del Sureste Asiático. En Europa no hay lugares así. Darwin se pasó buena parte del viaje en el *HMS Beagle* demasiado alejado por Suramérica, mientras que el primer viaje de Wallace fue al Amazonas. El Amazonas es muy rico en especies, pero es un ejemplo espectacular de la ley que en lugares así raramente se encuentran especies con un área pequeña de

distribución. (Sospecho que esto le costaría mucho a Wallace, porque sus patrocinadores querían novedades. Y él las encontró en su siguiente expedición, a Oriente.)

Los científicos encontraron antes las especies bien extendidas. Darwin y Wallace fueron de los primeros naturalistas que hallaron la mayoría de las especies, las de áreas pequeñas de distribución concentradas en pocos lugares. Incluso para grupos de especies muy conocidos, las de áreas pequeñas se han descubierto solamente en décadas recientes.

¿Qué explicación profunda, elegante y bella subyace en estas leyes ineludiblemente conectadas? No la hay.

Si tenemos en cuenta los tamaños de áreas de distribución, los trópicos deben albergar más especies sencillamente por estar en el centro del globo. Áreas lo bastante grandes tienen que ocupar esta zona media: es la única manera de que quepan. Pero no necesitan estar en los extremos: las zonas templadas o árticas. Y aun así, las zonas del centro albergan más especies que los extremos, incluso cuando los centros no son tropicales. Hay más especies en medio de las selvas húmedas de Madagascar, aunque el extremo norte (con menos especies) esté más cerca del Ecuador, por ejemplo.

Además, en los centros cálidos y húmedos —selvas tropicales húmedas— hay más especies que en los centros más calurosos y secos. La correlación de especies con calor y humedad es aplastante, pero un mecanismo llamativo es a veces una ilusión.

Las especies con un área de distribución pequeña pueden estar en cualquier parte —cerca de los centros o de los extremos—, pero no lo están. Tienden a estar en islas (las Galápagos, el archipiélago de Malasia) o en hábitats aislados (cimas montañosas, como los Andes). Eso cuadra con nuestra idea de cómo se forman las especies. Por desgracia, no están en islas y montañas templadas, de modo que Darwin y Wallace tuvieron que marcharse lejos para inspirarse. Excepto en el caso de las salamandras: los montes Apalaches del oeste de Estados Unidos parecen albergar a distintas especies debajo de cada roca, formando un centro teóricamente obstinado de endemismo no igualado por los pájaros, mamíferos, plantas ni, desde luego, otros anfibios.

Para empeorar las cosas, todo eso presupone que sabemos por qué hay especies que tienen un área amplia, y otras un área pequeña de distribución. No lo sabemos. Para resumir, tenemos correlaciones, casos especiales y algún nuevo alegato en réplica, pero la elegancia brilla por su ausencia. No tiene por qué haber una explicación profunda, por supuesto.

Nuestra ignorancia duele. Las concentraciones de especies raras locales se producen donde la actividad humana condena a las especies a su extinción entre cien y mil veces más rápido de lo que sería el ritmo natural. Sí, podemos trazar mapas de pájaros y mamíferos y, así, saber dónde debemos actuar para salvarlos. Pero no de mariposas, por no hablar de nemátodos. Sin explicaciones, no podemos decir si los lugares en los que protegemos a los pájaros también podemos proteger a las mariposas. A menos que entendamos las leyes de la Madre Naturaleza y las amplíemos a la gran mayoría de las especies todavía desconocidas para la ciencia, puede que nunca sepamos lo que hemos destruido.

La pirámide de Oklo



KARL SABBAGH

Escritor y productor de televisión; autor de
*Remembering Our Childhood: How Memory
Betrays Us*

En ciencia, cuando una observación no es explicable por la teoría actual se requieren nuevas explicaciones. El poder del método científico está en la extraordinaria riqueza de comprensión que puede surgir de un intento de trazar una nueva explicación. Es como una pirámide invertida, con la primera observación —a menudo una leve desviación de la norma— como punta y luego capas que se van ensanchando de deducciones, cada una dependiente de una capa inferior, hasta que la pirámide entera ofrece un conjunto explicativo satisfactorio y conclusivo.

Una de mis explicaciones favoritas de este tipo es de 1972, con la observación de una pequeña anomalía en una muestra rutinaria de mineral de uranio de Oklo, una región de la provincia del Haut-Ogooué del estado centroafricano de Gabón, que se analizó en un laboratorio francés. Las muestras de rocas de uranio extraído naturalmente suelen contener dos tipos de átomos de uranio, los isótopos U-238 y U-235. La mayoría de los átomos son U-238, pero más o menos un 0,7 por ciento son U-235. De hecho, para ser exactos, la cifra es del 0,72 por ciento, pero la muestra que llegó a Francia tenía «sólo» un 0,717 por ciento, lo que significa que faltaba un 0,003 por ciento de los átomos de U-235 esperados.

Se sabía que tales diferencias en la proporción ocurrían sólo en los alrededores artificiales de un reactor nuclear, donde el U-235 es bombardeado con neutrones en una reacción en cadena que transforma los átomos y provoca el cambio en las proporciones de las rocas naturales. Pero esta muestra salía de una mina de Gabón, y en aquel momento no había ni un solo reactor nuclear

en todo el continente africano, de modo que ésta no podía ser la explicación. ¿O sí?

Casi veinte años antes, los científicos habían sugerido que en algún lugar de la Tierra podían haber existido alguna vez las condiciones para que un depósito de uranio actuara como un reactor natural de fisión nuclear. Propusieron tres condiciones necesarias:

1. El tamaño del depósito tenía que ser mayor que la longitud media a la que viajan los neutrones inductores de la fisión, que son unos 70 cm.
2. Los átomos U-235 tenían que estar presentes en mayor abundancia que en las rocas naturales actuales, hasta en un 3 por ciento en vez del 0,72.
3. Tenía que haber lo que en un reactor nuclear se llama un moderador, una sustancia que «envuelve» los neutrones emitidos y les reduce la velocidad para que sean más aptos para inducir la fisión.

Estas tres condiciones eran las mismas que aplicaban a los depósitos de Oklo hace 2.000 millones de años. Los depósitos eran mucho mayores que el tamaño mínimo predicho. Además, el uranio-235 tiene una vida media de 704 millones de años, y se descompone unas seis veces más rápido que los átomos de U-238, de modo que varias vidas medias atrás (alrededor de unos 2.000 millones de años) habría habido mucho más U-235 en los depósitos, el suficiente para provocar una reacción en cadena sostenible. Extrapolando hacia atrás, las proporciones relativas de los dos isótopos habrían sido de aproximadamente 97 a 3, más que de 99,3 a 0,7, como es hoy. Y, finalmente, las capas de roca habrían estado originariamente en contacto con aguas freáticas, lo que sugiere que lo ocurrido sería lo siguiente: una reacción en cadena habría empezado en rocas rodeadas de agua, y los átomos de uranio se habrían dividido y habrían generado calor. El calor habría convertido el agua en vapor, destruyendo su capacidad de moderar la reacción, y los neutrones se habrían escapado, deteniendo la reacción. El vapor se habría vuelto a condensar para formar agua y habría envuelto la emisión de neutrones. Más neutrones habrían sido retenidos, dividiendo los átomos y reiniciando la reacción en cadena.

Explicar una diminuta anomalía en la proporción de dos tipos de átomo en una pequeña muestra de roca ha llevado a la descripción de una serie de acontecimientos que sucedieron en un lugar específico de la Tierra hace miles de millones de años. A lo largo de un período de 150 millones de años, un reactor nuclear natural habría producido calor durante una media hora y luego se habría apagado durante dos horas y media antes de volver a empezar, produciendo una energía media de 100 kilovatios, como la producida en un motor de coche típico. Esta explicación no es sólo profunda, elegante y bella, sino que, además, es incontrovertible. No depende de opiniones, sesgos ni deseos, a diferencia de muchas otras «explicaciones» sobre cómo funciona el mundo, y éste es el poder de la mejor ciencia.

Kitty Genovese y la apatía de grupo



ADAM ALTER

Psicólogo; profesor adjunto de marketing,
Stern School of Business, Universidad de
Nueva York

La explicación más elegante de la psicología social me convenció para cursar un doctorado en este campo. Cada equis años, una tragedia prominente atrae mucha atención de la prensa porque nadie hace nada para ayudar. Justo antes del alba de una mañana de abril de 2010, un hombre yacía muriéndose en una acera de Queens. El hombre, un indigente guatemalteco llamado Hugo Alfredo Tale-Yax, había intervenido para ayudar a una mujer cuyo acompañante masculino había empezado a gritarle y a sacudirla con violencia. Cuando Tale-Yax intervino, el hombre lo apuñaló varias veces en el torso. Durante noventa minutos, Tale-Yax estuvo tumbado sobre un charco cada vez más abundante de su propia sangre mientras decenas de transeúntes lo ignoraban o lo miraban fugazmente antes de proseguir su camino. Cuando los servicios médicos de emergencia llegaron a socorrerle, el sol ya había salido y Tale-Yax había muerto.

Casi medio siglo antes, otra neoyorquina, Kitty Genovese, fue asaltada y finalmente asesinada mientras decenas de transeúntes, al parecer, decidían no intervenir. Un colaborador del *New York Times* denunció la insensibilidad de los neoyorquinos, y los expertos afirmaron que la vida en la ciudad había vuelto desalmados a sus residentes. Como lo harían en reacción a la muerte de Tale-Yax, los expertos se preguntaron cómo decenas de personas con brújulas morales totalmente servibles habían llegado a rehusar la ayuda a una persona que se estaba muriendo.

A los psicólogos sociales se les enseña a superar la tendencia natural a culpar a la gente por la conducta aparentemente condenable y a buscar, en

cambio, explicaciones en el entorno. Después de la muerte de Genovese, los psicólogos sociales Bibb Latané y John M. Darley se mostraron convencidos de que algo en aquella situación explicaba la falta de intervención de los transeúntes. Su elegante aportación fue que las reacciones humanas no son aditivas de la misma manera que lo son los objetos. En tanto que cuatro bombillas son más efectivas para iluminar una estancia que tres, y tres altavoces llenan una sala de ruido con mayor efectividad que dos, dos personas son a menudo menos efectivas que una sola. Las personas se replantean las situaciones, se detienen para entender una cadena de hechos antes de actuar, y a veces el orgullo y el miedo a parecer tontas les impiden del todo actuar.

En uno entre una serie de estudios brillantes, Latané y Darley grabaron en vídeo a alumnos que estaban sentados en una sala que iba llenándose de humo. [40] Los autores del estudio bombearon humo en la sala con una máquina oculta tras una ventana de ventilación de la pared, con un efecto que sugería que podía haber un incendio cerca. Cuando un sujeto estaba solo en la sala, normalmente salía rápidamente y avisaba a los experimentadores de que algo iba mal. Pero cuando el sujeto estaba rodeado de dos o tres personas más (algunas de ellas compinchadas, a las que se había pedido que se quedaran sentadas sin moverse), a menudo permanecía sentado, incluso cuando perdía de vista a los otros por la densa humareda. Cuando luego se les preguntaba, estos estudiantes declaraban que habían elegido no actuar porque habían deducido que el humo era benigno (vapor, o humo del aire acondicionado), y alegaban que no habían prestado atención, o habían prestado poca, a cómo reaccionaban las demás personas de la sala.

Según Latané y Darley, los patrones de pensamiento que nos distinguen de los animales de menor orden al final menoscaban nuestra disposición a ayudar en estas situaciones, en las que nos encontramos con otras personas que actúan con la misma reticencia.

El mago de yo



GERALD SMALLBERG

Neurólogo en activo; dramaturgo, Off-Off
Broadway Productions, *Charter Members*,
The Gold Ring

La consciencia es la fusión de estímulos inmediatos con la memoria que combina el sentimiento simultáneo de ser tanto el observador como el observado, en un flujo de tiempo tranquilo y envolvente que no es ni el verdadero pasado ni el presente, sino inexplicablemente cada uno de ellos. Es la autoridad y el árbitro finales de nuestra realidad perceptiva. Que la consciencia siga siendo un problema intratable para que lo entiendan los científicos y los filósofos no resulta sorprendente. Sea cual sea la respuesta final, sospecho que será una ilusión hacia la que la mente evolucionó para ocultar los complicados funcionamientos de su computación modular paralela.

Los neurofisiólogos están descubriendo —mientras tiran siempre tan delicadamente del velo que envuelve el «Mago de Yo»— que este automonitor atento y observador indispensable llamado consciencia depende de un truco a la hora de pasar por alto nuestras percepciones. Nuestro subjetivo sentido del tiempo no se corresponde con la realidad. Los potenciales evocados por el córtex —grabaciones eléctricas— del cerebro normal durante la actividad rutinaria se ha demostrado que precede de casi un tercio de segundo a la consciencia de un movimiento voluntario real o a una respuesta al estímulo sensorial. Los potenciales evocados por el córtex indican que el cerebro está iniciando o reaccionando a lo que ocurre mucho antes de la percepción instantánea que experimentamos. A escala fisiológica, esto representa una enorme discrepancia que nuestra mente corrige falsificando el tiempo real en el que ocurre una acción o acontecimiento, lo que permite a nuestra experiencia consciente conformarse con que percibimos.

Pero hay datos que todavía perjudican más nuestra confianza en la fiabilidad de nuestras percepciones, que provienen del estudio del movimiento rápido del ojo, llamado sacada, que está desencadenado por estímulos visuales nuevos. Durante los breves instantes de estos movimientos oculares bruscos, los inputs visuales al cerebro se suprimen activamente; somos literalmente ciegos. Sin esta censura ocular involuntaria, estaríamos plagados repetidamente de momentos de visión totalmente borrosa que resultarían desagradables, además de peligrosos. Desde el punto de vista de la supervivencia, eso plantearía una desventaja extrema, puesto que ocurriría invariablemente a cada nuevo estímulo, que por su propia naturaleza requieren no la peor sino la mejor agudeza visual.

La solución del Mago a esta situación intolerable es excluir estos intervalos de nuestro flujo de consciencia y sustituirlos en cambio por una visión extrapolada entre lo que acaba de ocurrir y lo que se anticipa de manera inmediata. La consciencia, como un antiguo presidente, ha de pensar en una excusa por el período borrado. Para intentar salvar «los micros» en este engaño necesario, la evolución ofreció una épica mucho más larga que el limitado espacio de tiempo que da estar bajo el escrutinio de un fiscal. En vez de tratar de ocultar la existencia de las grabaciones, la consciencia ideó un truco mucho más astuto para emborronar la delación. Su método consiste en falsificar el tiempo, antedatando esos momentos necesarios para que no haya ninguna apariencia de huecos.

Esta ilusión de continuidad visual a partir de la deducción y la extrapolación revela una vulnerabilidad innata en el software del cerebro de la que cualquier hacker podría aprovecharse. Los magos, los jugadores de cartas y los trileros saben sacar partido de este fallo de percepción. En un gag cómico, Richard Pryor lo expresó mejor cuando su esposa lo sorprendió en la cama con otra mujer: «¿A quién creerás antes, a mí o a tus ojos mentirosos?».

Una casualidad, dos *déjà-*

vu



DOUGLAS COUPLAND

Escritor, artista, diseñador; autor de *Marshall McLuhan: You Know Nothing of My Work!*

Me resulta reconfortante el hecho de que haya dos momentos humanos que parecen estar repartidos igual y democráticamente dentro de la condición humana, y que no hay una explicación final satisfactoria para ninguno de los dos. Uno es la casualidad, el otro es el *déjà-vu*. No importa si eres la reina de Inglaterra, uno de los treinta y tres mineros rescatados en Chile, un ama de casa surcoreana o un pastor nómada de Zimbabwe: en un período de 365 días, experimentarás dos *déjà-vu* y una casualidad que te harán pararte y exclamar: «¡Vaya, qué casualidad!»

Lo que ocurre con la casualidad es que cuando imaginas los tropecientos trillones de casualidades que pueden ocurrir en cualquier momento dado, el hecho es que a la práctica, la casualidad casi nunca ocurre. Es tan rara que, cuando ocurre, resulta memorable. Esto me sugiere que el universo está diseñado para evitar la casualidad en la medida de lo posible. El universo odia las casualidades; no sé por qué, simplemente parece ser así. De esta forma, cuando una casualidad ocurre, esta casualidad ha tenido que esforzarse terriblemente para huir del sistema. Y eso contiene un mensaje. ¿Cuál es? Mira. Mira con más atención. Los matemáticos tal vez tengan un teorema para esto, y si lo tienen, puede que sea, por defecto, un teorema de algo más amplio de lo que creen que es.

Lo que me resulta al mismo tiempo escalofriante e interesante sobre los *déjà-vu* es que ocurren de manera casi metronómica a lo largo de nuestras vidas, más o menos cada seis meses, como un dispositivo cronológico poético que, como mínimo, nos recuerda que estamos vivos. Puedo presuponer con seguridad que mi sobrina de trece años, Stephen Hawking y alguien que

trabaja en una fábrica de maletas de Beijing experimentan cada uno dos *déjà-vu* al año. Ni uno, ni tres. Dos.

La biodinámica subyacente del *déjà-vu* es probablemente atribuible a algún tipo de neuronas cosquilleantes de cierta parte del cerebro, pero eso no nos explica por qué existen. A mí me parecen como una señal de un punto de vista más amplio que nos quiere recordar que nuestras vidas son distintas, que tienen un significado, y que ocurren dentro de un período determinado. Somos importantes, y lo que nos hace valiosos para el universo es nuestra sensibilidad, y nuestro infortunio y bendición de ser perpetuamente autoconscientes.

La navaja de Ockham



KATINKA MATSON

Artista; cofundadora de Edge.org; presidenta
de Brockman, Inc.; autora de *Short Lives*

Simplificalo.

La profundidad del tiempo



ALUN ANDERSON

Asesor sénior y antiguo editor jefe y director editorial de *New Scientist*; autor de *After the Ice: Life, Death, and Geopolitics in the New Arctic*

Hay una idea simple y potente que me resulta profunda y bella por derecho propio y como la madre de una serie de otras teorías y explicaciones elegantes. La idea es la de «profundidad del tiempo», que la Tierra es extremadamente antigua y la vida de nuestra especie ha sido extremadamente breve. Cuando esta idea surgió por primera vez, se alzó ante todo lo que se había creído hasta entonces y acabaría cambiando la visión de las personas sobre ellas mismas tanto como lo había hecho el anterior descubrimiento de que la Tierra gira alrededor del sol.

Sabemos cuándo nació la idea de la profundidad del tiempo, o al menos cuándo se reivindicó por primera vez, porque un profesor de la Universidad de Edimburgo llamado John Playfair registró su reacción en 1788: «La mente parecía quedar aturdida —escribió— al mirar hasta tan lejos hacia el abismo del tiempo».[41] Había viajado a la costa escocesa con su amigo geólogo James Hutton, que más tarde plasmaría sus ideas en un libro llamado *Theory of the Earth*. Hutton le estaba mostrando una serie de dibujos diferenciados en las rocas que podían tener su explicación más simple presuponiendo que la actual tierra había nacido primero en el mar, luego había sido elevada, deformada, erosionada y cubierta por nuevos sedimentos marinos. La Tierra no tenía 6.000 años, como decretaban los cálculos bíblicos aceptados entonces; ni tampoco se habían precipitado los estratos en una enorme inundación, tal y como afirmaban visiones científicas predominantes, informadas por la mejor química del momento.

Fue un cambio enorme contemplar el mundo como lo hacía Hutton. Aprender a apreciar la inmensidad del espacio es fácil. Cuando miramos a las estrellas, la inmensidad del Universo es tan obvia como maravillosa. Pero la inmensidad del tiempo no entra dentro de la experiencia humana. La naturaleza, observada a escala humana, pasa solamente por el ciclo repetido de las estaciones, interrumpido por terremotos, erupciones volcánicas e inundaciones catastróficas ocasionales. Es por este motivo por el que las teorías creacionistas y catastróficas sobre el origen de la Tierra parecían más plausibles que las que apuntaban a una evolución lenta y gradual. Pero Hutton tenía fe en lo que veía escrito en las rocas, exhortando a otros a «abrir el libro de la naturaleza y leer en sus registros».

Su pensamiento sobre el tiempo creó una base fértil para otras teorías extraordinarias. Con enormes períodos disponibles, procesos imperceptiblemente lentos podían dar forma al mundo natural. Después de Hutton vino la geología moderna, luego la teoría de la evolución para explicar cómo surgieron lentamente nuevas especies, y, con el tiempo, la teoría del movimiento gradual de los propios continentes. Todos ellos tienen su base en la profundidad del tiempo.

Las teorías de Hutton supusieron también un gran desafío a la ortodoxia religiosa, puesto que cuando escribió, al final de su libro, que «no encontramos ningún vestigio de un origen, ni ninguna perspectiva de un final», desafió tanto la idea de la Creación como la del Juicio Final.

La belleza de su idea permanece. Si miramos al abismo del tiempo puede que no nos sintamos aturdidos, pero podemos sentir nuestra propia insignificancia en los 4.600 millones de historia terráquea y la importancia del momento preciso en este inmenso período en el que vivimos.

**Colocar la psicoterapia
sobre una base científica:
cinco lecciones fáciles**



ERIC R. KANDEL

Profesor universitario y de la cátedra Kavli de ciencias del cerebro, Universidad de Columbia; autor de *La era del inconsciente: La exploración del inconsciente en el arte, la mente y el cerebro (Transiciones)*

¿Cómo ha podido el psicoanálisis, que había sido uno de los métodos principales para tratar los trastornos mentales no psicóticos, caer tan bajo en la valoración tanto de la comunidad médica como del público en general? ¿Cómo puede cambiarse esta percepción? Permittedme que intente enfrentarme a esta cuestión, dándole un poco de perspectiva histórica.

Mientras estudiaba para obtener mi licenciatura en el Harvard College me empezó a atraer la psiquiatría y, especialmente, el psicoanálisis. Durante mis años de formación práctica, 1960-1965, la psicoterapia era la manera principal de tratar la enfermedad mental, y esta terapia se derivaba del psicoanálisis y se basaba en la creencia de que uno necesita entender los síntomas mentales a partir de sus raíces históricas en la infancia. Estas terapias tendían a llevar años, y ni los resultados ni los mecanismos se estudiaban de manera sistemática, puesto que eso se consideraba muy difícil. La psicoterapia y el psicoanálisis, cuando se demostraban acertados, permitían a la gente trabajar un poco mejor y amar un poco, y éstas eran dimensiones que se consideraban difíciles de medir.

En la década de los sesenta, Aaron Beck lo cambió todo con la introducción de varias grandes innovaciones bastante obvias, pero igualmente elegantes y bellas: en primer lugar, introdujo instrumentos para medir la enfermedad mental. Hasta el trabajo de Beck, la investigación psiquiátrica estaba dificultada por una escasez de técnicas para operar con los distintos

trastornos y medir su gravedad. Beck desarrolló una serie de instrumentos, empezando por un inventario de la depresión, una escala de la desesperanza y una escala de la intención de suicidio. Estas escalas ayudaban a objetivizar el estudio de la psicopatología y a establecer ensayos mejorados de resultados clínicos.

En segundo lugar, Beck introdujo una nueva terapia a corto plazo y basada en las pruebas que llamó terapia cognitivo-conductual.

En tercer lugar, Beck «manualizó» sus tratamientos: escribió un manual, de manera que el método pudiera enseñarse de modo fiable a los demás. Tú y yo podríamos, en principio, a prender a hacer terapia cognitivo-conductual.

Cuarto, llevó a cabo, con la ayuda de varios colegas, estudios progresivamente mejor controlados que mostraban que la terapia cognitivo-conductual funcionaba con más efectividad que los placebos, y que era tan efectiva como los antidepresivos en cuadros de depresión leve y moderada. En la depresión severa, no actuaba tan efectivamente como los antidepresivos pero actuaba en sinergia con ellos para potenciar la recuperación.

Los trabajos de Beck fueron recuperados por Helen Mayberg, otra de mis heroínas en psiquiatría. Llevó a cabo estudios IRMf (imágenes por resonancia magnética funcional) de pacientes deprimidos y descubrió que el área 25 de Brodmann era un foco de actividad anómala en la depresión. Luego descubrió que en el caso, y sólo en el caso, de que un paciente respondiera a la terapia cognitivo-conductual o al antidepresivo ISRSI (inhibidores selectivos de la recepción de serotonina), esta anomalía volvía a la normalidad.

Lo que encuentro tan interesante de este recital es la Pregunta Edge: ¿qué explicación elegante y profunda aportó Aaron Beck a su trabajo que lo diferenció del resto de mi generación de psicoterapeutas y le permitió ser tan original?

Beck se formó como psicoanalista en Filadelfia, pero pronto se quedó impresionado con la idea radical de que el problema central de muchos trastornos psiquiátricos no es el conflicto inconsciente, sino los patrones distorsionados de pensamiento. Concibió su novedosa idea mientras escuchaba con mente crítica —y abierta— a sus pacientes aquejados de depresión. En sus primeros trabajos sobre la depresión, Beck se propuso

poner a prueba una idea psicoanalítica específica: que la depresión era debida a la «rabia introyectada». Los pacientes con depresión, se decía, experimentaban una profunda hostilidad y rabia hacia alguien a quien querían. No eran capaces de enfrentarse al hecho de tener sentimientos hostiles hacia alguien a quien apreciaban, de modo que reprimían su rabia y la dirigían hacia dentro, contra ellos mismos. Beck puso a prueba esta idea comparando los sueños —la vía real al inconsciente— de pacientes deprimidos con los de pacientes no deprimidos, y descubrió que en sus sueños los pacientes deprimidos mostraban, en cualquier caso, menos hostilidad que los pacientes no deprimidos. En cambio, en sus sueños, como en su vida de vigilia, los pacientes deprimidos presentan un sesgo negativo sistemático en su estilo cognitivo, en su manera de pensar en sí mismos y en su futuro. Se ven a ellos mismos como «perdedores».

Beck consideró que estos patrones distorsionados de pensamiento no eran simplemente un síntoma —un reflejo de un conflicto muy enterrado en la psique—, sino un agente etiológico clave en el mantenimiento de los trastornos. Esto lo llevó a desarrollar un tratamiento psicológico sistemático para la depresión que se centraba en el pensamiento distorsionado. Descubrió que aumentar la objetividad de los pacientes respecto de sus interpretaciones erróneas de las situaciones, o sus distorsiones cognitivas y sus expectativas negativas, tenía como resultado un cambio sustancial en su pensamiento y una posterior mejora de sus afectos y conducta.

Durante sus trabajos con la depresión, Beck se centró en el suicidio y ofreció por primera vez una base racional para la clasificación y evaluación de las conductas suicidas, lo que permitía identificar a los individuos de alto riesgo. Su estudio prospectivo de 9.000 pacientes lo llevó a la formulación de un algoritmo para la predicción del suicidio futuro que ha demostrado tener un elevado índice de aciertos. Fue especialmente importante su identificación de variables clínicas y psicológicas, como la desesperanza y la indefensión para predecir los futuros suicidios. Resultaron ser un indicador más acertado del suicidio que la depresión clínica *per se*. Los trabajos de Beck sobre el suicidio —y los de otros, como los de John Mann en Columbia— demostraron que una intervención cognitiva a corto plazo puede reducir significativamente

los subsecuentes intentos de suicidio.

En la década de los setenta, Beck llevó a cabo los mencionados ensayos controlados. Más tarde, el National Institute of Mental Health hizo experimentos semejantes, y juntos establecieron la terapia cognitiva como el primer tratamiento psicológico efectivo en el tratamiento de la depresión clínica.

Tan pronto como la terapia cognitiva se reconoció como efectiva en dicho tratamiento, Beck se fijó en otros trastornos. En un número de ensayos clínicos controlados, demostró que la terapia cognitiva es efectiva en los trastornos del pánico, el estrés postraumático y en el trastorno obsesivo-compulsivo. De hecho, incluso antes de los estudios de Helen Mayberg sobre la depresión, Lewis Baxter de la UCLA ya había obtenido imágenes de pacientes con trastorno obsesivo-compulsivo y había identificado una anomalía en el núcleo caudado que retrocedía cuando mejoraban con el tratamiento de terapia cognitivo-conductual.

Hace poco, Aaron Beck ha empezado a estudiar a pacientes con esquizofrenia y ha descubierto que la terapia cognitiva ayuda a mejorar sus síntomas cognitivos y negativos, en particular sus déficits de motivación. Otro avance espectacular.

Así, la respuesta al declive del psicoanálisis puede que no esté simplemente en la limitación del pensamiento freudiano, sino mucho más en la falta de una actitud profunda, crítica y científica de muchos miembros de la posterior generación de terapeutas. Tengo pocas dudas de que la terapia en profundidad es extremadamente útil como terapia, y hay estudios que apoyan esta opinión. Pero una prueba elegante, profunda y bella requiere colocar juntas una serie de aproximaciones muy bien validadas para ofrecer el argumento de una manera convincente, y tal vez hasta aportar una idea sobre cómo se consigue el resultado terapéutico.

Objetos de transición



SHERRY TURKLE

Cátedra Abby Rockefeller Mauzé de estudios sociales de ciencia y tecnología, MIT; autora de *Alone Together: Why We Expect More from Technology and Less from Each Other*

A mediados de la década de los setenta yo era estudiante de psicología en la Universidad de Harvard. El Magnífico experimento que había sido «Relaciones Sociales» en Harvard acababa de derrumbarse. Su ambición había sido unificar las ciencias sociales en un solo departamento, de hecho, la mayor parte de ellas en un solo edificio, el William James Hall. La psicología clínica, la psicología experimental, la antropología física y cultural, y la psicología... todas ellas estarían cerca y en una intensa conversación.

Pero ahora todo el mundo volvía a su departamento, en su propia planta. Desde mi punto de vista, lo que era más difícil era que la gente que estudiaba el pensamiento estuviera en una planta y la que estudiaba los sentimientos estuviera en otra.

En este mundo balcanizado, seguí un curso con George Goethals en el que aprendimos sobre la pasión en el pensamiento y la estructura lógica que esconde la pasión. Goethals, psicólogo especialista en la adolescencia, daba un seminario de posgrado en psicoanálisis. Se centraba en una escuela particular de pensamiento analítico: la teoría británica de la relación de objetos. Esta tradición psicoanalítica se fijaba en una cuestión engañosamente simple: ¿cómo llevamos a las personas y lo que significan para nosotros «dentro» de nosotros? ¿Cómo nos llevan estas interiorizaciones a crecer y cambiar? Los «objetos» del nombre de la teoría eran, en realidad, personas.

Se dedicaron varias clases a la obra de David Winnicott y su noción del objeto de transición. Winnicot llamaba «de transición» a los objetos de la

niñez —los peluches, las mantitas de bebé, la almohada favorita— que el niño experimenta tanto como parte de su yo como de la realidad exterior. Winnicott escribe que tales objetos median entre la sensación del niño de conexión con el cuerpo de la madre y un reconocimiento creciente de él mismo como ser separado. Los objetos de transición del cuarto del bebé están destinados a abandonarse; sin embargo, según Winnicott, dejan rastros que marcarán el resto de la vida. En concreto, influyen en lo fácilmente que un individuo desarrolla la capacidad de sentir la alegría, la experiencia estética y la gracia creativa. Los objetos de transición, con su lealtad compartida con el yo y con el otro, demuestran al niño que los objetos del mundo externo pueden amarse.

Winnicott cree que durante todas las etapas de la vida seguimos buscando objetos que experimentamos tanto dentro como fuera del yo. Dejamos la mantita de bebé, pero seguimos buscando el sentimiento de unidad que nos proporcionaba. Lo encontramos en momentos de sentirnos «en comunión» con el mundo, lo que Freud llamaba «sentimiento oceánico». Experimentamos estos momentos cuando estamos en comunión con una obra de arte, con una vista natural, en una experiencia sexual.

Como proposición científica, la teoría del objeto de transición tiene sus limitaciones, pero, como manera de pensar en la conexión, nos ofrece una muy buena herramienta para el pensamiento. En concreto, a mí me ofreció una manera de empezar a entender las nuevas relaciones que la gente comenzaba a desarrollar con los ordenadores, algo que empecé a estudiar a finales de la década de setenta y a comienzos de los ochenta. Desde un primer momento, cuando me inicié en el estudio de la naciente cultura digital, me di cuenta de que los ordenadores no eran «simples herramientas». Eran máquinas íntimas: la gente los vivía como una parte del yo, separada pero conectada con el yo.

Un novelista que empleaba un programa de procesador de textos se refirió a «mi ESP[42] con la máquina. Las palabras fluyen solas. Comparto la pantalla con mis palabras». Un arquitecto que utilizaba el ordenador para diseñar fue todavía más lejos: «No veo el edificio en mi cabeza hasta que empiezo a jugar con formas y volúmenes en la máquina. Cobra vida en el espacio entre mis ojos y la pantalla». Después de estudiar programación, una niña de trece años dijo que, cuando trabajaba con el ordenador, «hay un trocito

de tu mente, y ahora es un trocito de la mente del ordenador, y llegas a verte a ti mismo de manera distinta». Un programador habló de su «fusión mental de Vulcano»[43] con el ordenador.

Cuando empecé a estudiar el especial poder evocador de los ordenadores, me volvió a venir a la cabeza el período compartido con George Goethals y el pequeño círculo de estudiantes de posgrado de Harvard inmersos en Winnicott. Los ordenadores sirven de objetos de transición. Nos devuelven la sensación de estar «en unidad» con el mundo. Los músicos oyen a menudo la música en sus mentes antes de tocarla, experimentando la música tanto interior como externamente. El ordenador, de manera semejante, se puede experimentar como un objeto en el límite entre el yo y el no-yo. De la misma manera que los instrumentos musicales pueden ser una extensión de la construcción del sonido en la mente, los ordenadores pueden ser una extensión de la construcción del pensamiento de la mente.

Esta manera de pensar en los ordenadores, como un objeto evocador, nos pone dentro de una nueva broma interna, puesto que siempre que los psicoanalistas hablaban de relaciones de objeto, siempre hablaban de persona. Desde el principio, la gente veía a los ordenadores como «casi vivos» o «vivos de alguna manera». Con el ordenador, el psicoanálisis de las relaciones de objeto ahora puede aplicarse, bueno, a objetos. La gente se siente en comunión con los videojuegos, con líneas de la codificación informática, con los avatares con los que juegan en los mundos virtuales, con sus *smartphones*. Los objetos clásicos de transición están destinados a abandonarse, y su poder se recupera en momentos de experiencia intensa. Cuando nuestros dispositivos digitales habituales —*smartphones* y teléfonos móviles— adoptan el poder de objetos de transición, entra en juego una nueva psicología. Estos objetos digitales no están llamados a abandonarse nunca; somos nosotros los que estamos llamados a convertirnos en androides.

**La selección natural es
simple pero los sistemas
que conforma son
inimaginablemente
complejos**



RANDOLPH NESSE

Profesor de psiquiatría y psicología,
Universidad de Michigan; coautor (con George
C. Williams) de *¿Por qué enfermamos?*

El principio de la selección natural es extraordinariamente simple. Si hay individuos en una población que tienen un rasgo hereditario asociado con tener más descendencia, ese rasgo, en general, se volverá más común en la población a lo largo de las generaciones.

Los productos de la selección natural son complejos en muy gran medida. No son complicados meramente de la misma manera en que son complicadas las máquinas; en lo orgánico resultan complejas de maneras fundamentalmente distintas de cualquier producto diseñado. Eso los hace difíciles de describir o de comprender en su totalidad para las mentes humanas, de modo que usamos esa gran táctica para entender: la metáfora; en este caso, el cuerpo como máquina.

Esta metáfora permite retratar los sistemas que median en la división celular, en las respuestas inmunológicas, en la regulación de la glucosa y en todo el resto, usando cuadrados para las partes y flechas para indicar qué provoca qué. Tales diagramas resumen información importante de manera que la podamos entender. Los profesores la enseñan, los estudiantes las memorizan debidamente. Pero, en esencia, tergiversan la naturaleza de la complejidad orgánica. Como observó John Scott Haldane en un libro profético de 1917, «un organismo vivo tiene, en verdad, poca semejanza con una máquina ordinaria».[44] Las máquinas se han diseñado, tienen partes diferenciadas con funciones específicas, y la mayoría se quedan intactas cuando se las apaga. Las máquinas individuales están fabricadas siguiendo copias idénticas de un solo modelo. En cambio, los organismos evolucionan. Tienen componentes

con límites indistintos y funciones múltiples que interaccionan con muchas otras partes y con el entorno para crear sistemas de reproducción autosostenibles cuya supervivencia requiere de la constante actividad y cooperación de miles de subsistemas interdependientes. Los organismos individuales se desarrollan a partir de combinaciones únicas de genes que actúan entre ellos y con los entornos para crear fenotipos, de los cuales no hay dos idénticos.

Pensar en el cuerpo como en una máquina fue un gran avance en el siglo XVI, cuando ofrecía una alternativa al vitalismo y las vagas nociones de fuerza vital. Ahora está obsoleto. Distorsiona nuestra visión de los sistemas biológicos promoviendo una tendencia a pensar en ellos como si fueran más simples y más razonablemente diseñados de lo que en verdad son. Pero los expertos saben que no es así. Reconocen que los mecanismos que regulan la coagulación de la sangre tan sólo están representados de una manera tosca en los estupendos diagramas que memorizan los estudiantes de medicina; la mayoría de las moléculas en el sistema de coagulación interactúan con muchas otras. Los expertos en la amígdala saben que tiene muchas funciones, no sólo una o dos, y que están condicionadas por montones de vías a otros lugares del cerebro. La serotonina existe no tan sólo para regular el humor y la ansiedad, sino que es esencial para el tono vascular, la motilidad intestinal y la fijación de los huesos. La leptina no es sólo una hormona de la grasa, sino que tiene varias funciones y realiza distintas de ellas en momentos diversos, incluso en la misma célula. La realidad de los sistemas orgánicos es enormemente caótica. ¡Si sus partes fueran todas diferenciadas, con funciones específicas para cada una...! Pero resulta que estos sistemas no son como máquinas. Nuestras mentes humanas tienen tan poca sensación intuitiva por la complejidad orgánica como la tienen para la física cuántica.

El avance reciente en genética se enfrenta al problema. Nombrar a los genes según funciones postuladas es tan natural como definir las sillas y los barcos según sus funciones. Si cada gen fuera un cuadradito en un esquema etiquetado con su función correspondiente, ¡la biología sería mucho más fácil! En cambio, es cada vez más claro que la mayoría de los rasgos están influidos por muchos genes, y que la mayor parte de los genes influyen muchos

rasgos. Por ejemplo, cerca de un 80 por ciento de la variación en estatura de los humanos se atribuye a la variación genética. Lo más obvio parecería encontrar a los genes responsables, pero buscarlos ha revelado que los 180 lugares genéticos con los mayores efectos, juntos, representan sólo un 10 por ciento aproximado de la variación fenotípica. Hallazgos recientes en genética médica son más descorazonadores. Hace tan sólo una década, había grandes esperanzas de encontrar pronto las variaciones que representan enfermedades muy hereditarias, como la esquizofrenia y el autismo. Pero escanear el genoma entero ha revelado que no hay alelos comunes que tengan efectos amplios sobre estos trastornos. Hay quien dice que deberíamos haberlo sabido. La selección natural, al fin y al cabo, debería tender a eliminar los alelos que provocan enfermedades. Pero pensar en el cuerpo como una máquina ofreció esperanzas poco realistas.

La visión amplia de algunos neurocientíficos consiste en trazar cada molécula y trayectoria para caracterizar todos los circuitos con el fin de entender cómo funciona el cerebro. Las moléculas, los sitios y los itinerarios sí sirven a funciones distintas; esto es conocimiento real, de una gran importancia para la salud humana. Pero entender cómo funciona el cerebro a base de dibujar un diagrama que describe todos los componentes y sus conexiones y funciones es un sueño que seguramente no se cumplirá. El problema no es sólo meter un millón de elementos en una página; el problema es que no hay ningún diagrama que pueda describir de modo adecuado la estructura de sistemas orgánicos. Son productos de cambios minúsculos (desde mutaciones diversas, migraciones, desviaciones y selección) que evolucionan a sistemas con partes incompletamente diferenciadas y conexiones incomprensibles, sistemas que, sin embargo, funcionan realmente bien. El intento de revertir la mecánica de los sistemas cerebrales dedica una gran atención a la importancia funcional, pero resulta inherentemente limitado porque los sistemas cerebrales, de entrada, no han sido nunca mecánicos.

La selección natural da forma a sistemas cuya complejidad resulta imposible de describir de manera satisfactoria para la mente humana. Habrá quien crea que esta afirmación es nihilista. Sí que desanima las esperanzas de encontrar descripciones simples y específicas de todos los sistemas

biológicos. No obstante, reconocer una investigación como imposible es a menudo la clave del progreso. Como dijo Haldane:

Por tanto, nos encontramos cara a cara con una conclusión que, para el biólogo es tan significativa y fundamental, e igual de cierta con los hechos observados, como la conclusión de que la masa se conserva para los físicos. [...] la estructura de un organismo vivo no tiene semejanza real en su comportamiento con el de una máquina [...]. En el organismo vivo, [...] la «estructura» es sólo el aspecto dado por lo que al principio parece un flujo constante de material específico, que empieza y acaba en el medio ambiente. [45]

Si los cuerpos no son como máquinas, ¿a qué se parecen? Son más bien como el «ribazo enmarañado» de Darwin, con «estas formas, primorosamente construidas, tan diferentes entre sí, y que dependen mutuamente de modos tan complejos».[46] Bello, pero ¿puede una metáfora ecológica sustituir la metáfora del cuerpo como máquina? No es probable. Tal vez algún día, entender cómo la selección natural da forma a la complejidad orgánica se entenderá tan amplia y profundamente que los científicos podrán decir «un cuerpo es... como un cuerpo humano», y todo el mundo sabrá exactamente lo que eso significa.

Cómo tener una buena idea



MARCEL KINSBOURNE

Profesor de psicología, The New School;
coautor (con Paula J. Kaplan) de *Children's
Learning and Attention Problems*

Para tener una buena idea no hace falta ser humano. Hasta se puede ser un pez.

En las aguas poco profundas de Micronesia hay un pez grande que come peces pequeños. Los peces pequeños moran en agujeros en el lodo pero salen en bandada en busca de alimento. El pez grande se pone a devorarlos, uno a uno, pero ellos se retiran de inmediato a sus agujeros apenas empieza su festín. ¿Qué hacer?

A lo largo de años he planteado este problema en mis clases y sólo recuerdo un alumno a quien se le ocurrió la «buena idea» del pez grande. Claro que la tuvo después de pensar un rato, no después de millones de años de evolución, pero ¿quién lo cuenta?

He aquí el truco elegante. Cuando aparece la bandada de pececitos, en vez de devorarlos, el pez grande nada bajo, de modo que su vientre roza con el barro del fondo y bloquea los agujeros de huida, y entonces puede comer a placer.

¿Qué aprendemos? Para tener una buena idea, deja de tener una mala. El truco consistió en inhibir los intentos fáciles, obvios pero inefectivos, lo que permitió que apareciera una solución mejor. Eso funcionó para el pez grande a través de algún mecanismo de mutación y selección natural en antigüedad piscícola. En vez de jugar con el inútil y obvio plan A —obsesionarse con comer más rápido, tomar bocados más grandes, etc.—, dejar nadar al plan B. Para los humanos, si la segunda solución tampoco funciona, también la bloqueamos y esperamos. Y la tercera nos viene a la consciencia, y así sucesivamente, hasta que lo irresoluble queda resuelto, incluso si las premisas

más obvias intuitivamente deben invalidarse en el proceso.

Para los recién llegados, la «buena idea» parece magia, un salto de iluminación intelectual. Pero lo más probable es que sea el resultado de un proceso iterativo, como el antes descrito, con la experiencia suficiente para ayudar a rechazar premisas seductoras pero engañosas. Así, lo extraordinario se hace realidad, paso a paso, a partir de lo ordinario.

Tener una buena idea no es nada raro en la evolución de las especies no humanas. De hecho, muchas, si no la mayoría, de las especies necesitan tener una idea o un truco que funcione lo bastante bien para poder seguir existiendo. Cierto es que tal vez no sean capaces de extrapolar su principio del contexto del que surgió y de generalizarlo, como pueden (algunas) personas, cortesía de su córtex prefrontal.

Cuando las mejores mentes no logran resolver un problema clásico después de décadas o siglos de intentarlo, lo más probable es que estén atrapadas por una premisa que está tan culturalmente «asentada» que ni siquiera se les haya ocurrido desafiarla... o ni siquiera se hayan dado cuenta de que existe. Pero el contexto cultural cambia, y lo que ayer parecía totalmente obvio parecerá dudoso, como mucho, hoy o mañana. Tarde o temprano, a alguien que no tendrá más talento que sus predecesores pero que carecerá de las trabas de alguna presuposición básica e incorrecta se le ocurrirá la solución con relativa facilidad.

Otra opción es ser un pez, esperar uno o dos millones de años y ver lo que ocurre.

De las bocas de los niños



NICHOLAS A. CHRISTAKIS
Físico y científico social, Universidad de
Harvard; coautor (con James Fowler) de
*Conectados: El sorprendente poder de las
redes sociales y cómo nos afectan*

Mi explicación favorita es una que buscaba desde niño. ¿Por qué es azul el cielo? Es una pregunta que se hacen todos los niños, pero también se la han hecho la mayoría de los grandes científicos desde los tiempos de Aristóteles, lo que incluye a Leonardo da Vinci, Isaac Newton, Johannes Kepler, René Descartes, Leonhard Euler y hasta Albert Einstein.

Una de las cosas que me gustan más de esta explicación —más allá de la simplicidad ingenua de la propia pregunta— es los muchos siglos de esfuerzo que costó resolverla y a cuántas ramas de la ciencia implica.

A diferencia de otros fenómenos cotidianos, como la salida y la puesta del sol, el color del cielo no provocó demasiados mitos, ni siquiera por parte de los antiguos griegos o chinos. Había unas cuantas explicaciones no científicas de su color. Al azul del cielo le llevó cierto tiempo convertirse en problema, pero cuando lo hizo supo mantener nuestra atención (científica). ¿Cómo podía tener color la atmósfera, si el aire que respiramos no lo posee?

Aristóteles es el primero, por lo que sabemos, en preguntar por qué el cielo es azul. Su respuesta, en el tratado *De los colores*, es que el aire que tenemos cerca es claro y que el aire profundo del cielo es azul, de la misma manera que una capa fina de agua se ve clara pero un agujero profundo de agua se ve negro. Esta idea todavía la repetía Roger Bacon. Kepler reinventó una explicación similar, aduciendo que el aire, simplemente, se ve transparente porque el tinte de su color es muy leve cuando la capa es fina. Pero ninguno de ellos ofrecía una explicación de la «azulidad» de la atmósfera.

En el *Codex Leicester*, Leonardo da Vinci, escribiendo a comienzos del siglo XVI, observó: «Yo digo que el azul que se ve en la atmósfera no es su propio color, sino que está causado por la humedad calentada que se ha evaporado hasta reducirse en las más diminutas e imperceptibles partículas, a las que los rayos de sol atraen y hacen que se vean luminosos sobre la profunda e intensa oscuridad de la región de fuego que forma una cubierta por encima de ellas». Por desgracia, Leonardo tampoco dice por qué estas partículas deberían ser azules.

Newton contribuyó tanto preguntando por qué el cielo era azul como demostrando, a través de sus experimentos fundamentales con la refracción, que la luz blanca se podía descomponer en sus colores constituyentes.

Desde los tiempos de Newton, muchos científicos, unos hoy olvidados y otros todavía recordados, se apuntaron al mismo tema. ¿Qué era lo que causaba que más luz azul se refractara hacia nuestros ojos? En 1760, el matemático Leonard Euler especuló que la teoría de las ondas de la luz podía ayudar a explicar por qué el cielo es azul. El siglo XIX vio un montón de experimentos y observaciones de todo tipo, desde expediciones a cumbres para observar hasta esfuerzos elaborados para recrear el cielo azul dentro de una botella, tal como lo cuenta Peter Pesic en su maravilloso libro *El cielo en una botella*. Se llevaron a cabo incontables observaciones detalladas del azul desde diferentes localidades, altitudes y horarios, incluyendo algunas con unos instrumentos hechos a medida llamados cianómetros. Horace-Bénédict de Saussure inventó el primero en 1789. Su versión tenía cincuenta y tres secciones con varios matices de azul dispuestos en círculo. Saussure razonaba que algo suspendido en el aire debía de ser responsable del tono azul.

De hecho, durante mucho tiempo se había sospechado que en el aire había algo que modificaba la luz y la hacía parecer azul. Finalmente se dieron cuenta de que era *el propio aire* el que lo hacía, que las moléculas gaseosas que componen el aire son esenciales para que aparezca azul. Y así, resulta que el azul del cielo está conectado con el descubrimiento de la realidad física de los átomos. El color del cielo está profundamente conectado con la teoría atómica, y hasta con el número Avogadro. Eso, a su vez, atrajo la atención de Einstein en el período 1905-1910.

Así, el cielo es azul porque la luz incidente interactúa con las moléculas de gas del aire de tal manera que la luz de la parte azul del espectro es la que más se dispersa, y llega a nuestros ojos en la superficie del planeta. Todas las frecuencias de la luz incidente pueden dispersarse de esta manera, pero el azul de alta frecuencia (longitud corta de onda) se expande más que las bajas frecuencias en un proceso que se conoce como dispersión de Rayleigh, descrito en la década de 1870. John William Strutt, lord Rayleigh, que recibió el Premio Nobel de física en 1904 por el descubrimiento del argón, demostró que cuando la longitud de onda de la luz es del mismo orden que el tamaño de las moléculas de gas, la intensidad de la luz dispersa varía inversamente con la cuarta potencia de su longitud de onda. Las longitudes de onda más cortas, como la azul, se expanden más que las más largas. Es como si todas las moléculas del aire brillaran preferentemente de azul, que es lo que luego vemos por todas partes a nuestro alrededor.

No obstante, el cielo debería parecer violeta, puesto que la luz violeta se esparce con mayor rapidez que la azul. El cielo no lo vemos violeta debido a la parte final, biológica, del rompecabezas, que es la manera en que nuestros ojos están diseñados: son más sensibles a la luz azul que a la violeta.

La explicación del porqué el cielo es azul implica muchas más cosas que las ciencias naturales: los colores en el espectro visual, la naturaleza ondulatoria de la luz, el ángulo con el que la luz del sol incide sobre la atmósfera, las matemáticas de la dispersión, el tamaño de las moléculas de nitrógeno y oxígeno, y hasta la manera en que nosotros, los seres humanos, percibimos el color. En la pregunta que un niño puede hacer está casi toda la ciencia.

La belleza de un amanecer



PHILIP CAMPBELL
Editor jefe de la revista *Nature*

Cuando empecé a ilusionarme por la física, las profundidades de sus explicaciones me resultaban llamativas y en contextos muy esotéricos. Por ejemplo, la unión entre materia, energía y espacio-tiempo en la relatividad general parecía (y es, de hecho) una explicación extraordinariamente elegante y profunda.

Hoy en día me siento todavía más atraído por las potentes explicaciones que hay detrás de las cosas que vemos a nuestro alrededor y que se dan por sentadas con demasiada facilidad. Y me encuentro arrastrado hacia un contexto que prácticamente todos experimentamos cada día.

Qué generoso es que el mismo sol,
llegando sinceramente, lealmente
(nunca, ni por un momento, deje de iniciar
el misterio del día para los ojos de alguien).

Eso escribió E. E. Cummings en la apertura de su celebración lírica de nuestra estrella. Estas palabras subrayan un momento diario —un amanecer— cuya sensación humana asociada de (in)significancia y misterio puede que para algunos sólo se vea aumentado apreciando (al menos) tres grandes explicaciones que subrayan la experiencia. Y cada una tiene al menos una de las cualidades requeridas por la Pregunta Edge. Profundidad, elegancia y belleza.

Si te importan este tipo de cosas, y (como yo) vives en una latitud media del hemisferio norte, sabrás en qué parte del horizonte visible desde tu casa, entre más o menos el sureste y el noreste, el sol sale con cierta variación a lo largo del año, con el amanecer cada vez más tarde a medida que avanza hacia

el norte y los días se acortan, y el movimiento contrario en el solsticio de invierno. Y tras este comportamiento tan complejo está la sencilla verdad de la fidelidad del sol: desde luego, podemos confiar en que cada mañana saldrá por algún lugar del este.

Como una gran obra de arte, una gran explicación científica no pierde en absoluto su poder de dejarnos maravillados cada vez que la contemplamos. Ocurre así con la explicación que esos ciclos diarios y anuales de amaneceres son explicables por una Tierra inclinada en rotación que se mueve por la órbita del sol, cuya dirección axial media se puede considerar fija en relación con las estrellas, gracias a una todavía misteriosa ley de la conservación.

A diferencia de mis otras dos explicaciones elegidas, ésta se topó con el escepticismo de los científicos durante décadas. La visión heliocéntrica del sistema solar, articulada por Copérnico a mediados del siglo XVI, no gozó de una aceptación amplia hasta bien entrado el siglo XVII. Para mí, este triunfo frente a la combinación de escepticismo científico y hostilidad religiosa no hace más que incrementar su atractivo.

Otra explicación es ciertamente elegante y reposa tras los tonos cambiantes del cielo a medida que el sol se pone. Lord Raleigh sucedió a James Clerk Maxwell en Cambridge al frente de la cátedra Cavendish de física. Uno de sus primeros logros fue deducir leyes sobre la dispersión de la luz. Su primer esfuerzo dio con la respuesta correcta sobre una base inválida —la dispersión de la luz en un éter elástico. Aunque la existencia de tal éter no se demostró falaz hasta unos cuantos años más tarde, rehizo sus cálculos basándose en las teorías profundamente unificadoras del electromagnetismo de Maxwell. «Dispersión de Raleigh» es la expresión de estas teorías en contextos en los que una onda electromagnética se topa con partículas polarizadas eléctricamente mucho menores que su longitud de onda. La cantidad de luz dispersada, descubrió Raleigh, es inversamente proporcional a la cuarta potencia de su longitud de onda. En 1899 ya había mostrado que las propias moléculas de aire eran potentes dispersores.

Ahí, las dos juntas, está la explicación esencial del porqué el cielo es azul y por qué las puestas de sol son rojizas. La luz azul se dispersa mucho más por las moléculas del aire que la luz de mayores longitudes de onda. El disco

solar, en consecuencia, se enrojece, y mucho más cuando se ve a través del largo recorrido atmosférico del amanecer y el ocaso. (Para explicar totalmente el efecto, también hay que tener en cuenta el espectro del sol y las respuestas visuales del ojo humano.) Las nubes rosadas que añaden tanta belleza al amanecer consisten en gotitas comparativamente grandes que dispersan las longitudes de onda de la luz solar enrojecida de manera más regular que las moléculas de aire —en cuanto al color, lo que ves es lo que son.

La tercera explicación detrás de un amanecer es conceptual y cosmológicamente la más profunda. ¿Qué ocurre en el sol para que genere su aparentemente eterna luz y calor? Entender las reacciones nucleares del centro del sol fue sólo parte de una explicación que, gracias especialmente a Burbidge, Burbidge, Fowler y Hoyle en 1957,^[47] nos permitió entender de forma simultánea no sólo la luz de muchos tipos de estrellas sino también cómo casi todos los elementos químicos que existen de manera natural se producen por todo el universo: en reacciones en cadena que ocurren dentro de bolas de gas cósmicas estables y cataclísmicamente inestables en sus varias etapas de evolución estelar, impulsadas por las influencias cambiantes de todas las fuerzas fundamentales de la naturaleza, esto es, gravedad, electromagnetismo y las fuerzas nucleares fuertes y débiles.

Los lectores de Edge saben que el conocimiento científico potencia más que destruye la belleza natural. Todas estas explicaciones, a mi entender, contribuyen a la belleza del amanecer.

¡Ah! Pero ¿cuál es la explicación de la belleza? Los científicos que estudian el cerebro humano forcejean con imágenes de resonancia magnética nuclear; un metaanálisis reciente indicó que todas nuestras apreciaciones estéticas parecen incluir el uso de circuitos neuronales de la ínsula derecha anterior, un área del córtex cerebral que suele estar asociada con la percepción visceral. Tal vez nuestro sentido de la belleza derive del mantenimiento evolutivo de los sentidos de pertenencia y de rechazo. Por si sirve de algo, a medida que los exoplanetas circulan por nuestros telescopios, creo que encontraremos pruebas astroquímicas de alguna forma de organismo extraterrestre mucho antes de lograr una explicación profunda, elegante o bella de la estética humana.

El origen del dinero



DYLAN EVANS

Fundador y consejero delegado de Projection Point; autor de *Risk Intelligence: How to Live with Uncertainty*

La narración de Carl Menger sobre el origen del dinero es mi explicación científica preferida. Es muy satisfactoria porque muestra cómo el dinero puede surgir a partir del trueque sin que nadie lo invente conscientemente. Como tal, es un gran ejemplo de la «mano invisible» de Adam Smith, o de lo que los científicos llaman ahora «emergencia».

Menger (1840-1921) fundó la escuela austriaca de economía, una escuela heterodoxa de pensamiento ridiculizada por muchos economistas reconocidos. No obstante, sus explicaciones sobre el origen del dinero esquivan la propia pregunta a la que Menger respondió. Los típicos libros de texto de los economistas convencionales repasan los problemas del intercambio en forma de trueque y luego explican cómo el dinero supera estos problemas. No obstante, eso no explica cómo surgió realmente el dinero mejor de lo que una lista de las ventajas de viajar por aire explicaría la invención del avión. Como dice Lawrence White en *The Theory of Monetary Institutions* (1999): «Uno se queda con la impresión de que los que se dedicaban al trueque, una mañana, de pronto, fueron conscientes de los beneficios del intercambio monetario y, aquella misma tarde, ya estaban empleando algún objeto como dinero».

Esto es, obviamente, ridículo. En la explicación de Menger, el dinero aparece a través de una serie de pequeños pasos, cada uno de ellos basado en opciones de interés personal de comerciantes individuales con pocos conocimientos. Primero, los trocadores se dan cuenta de que, cuando el intercambio directo es complicado, pueden obtener lo que quieren mediante el

intercambio indirecto. En vez de encontrar a alguien que tiene lo que yo quiero y desea lo que yo tengo, sólo tengo que encontrar a alguien que quiera lo que tengo. Luego puedo cambiar lo que tengo por ese producto, aunque no quiera consumirlo yo mismo, y luego cambiarlo por algo que quiera consumir. En este caso, habré usado el producto intermedio como medio de cambio.

Menger observa que no todos los bienes son igual de comerciables, pues hay productos más fáciles de comprar y vender que otros. Así, al comerciante le compensa acumular un inventario de productos muy comerciables para utilizarlos como medio de cambio. Otros comerciantes avisados del mercado comprenden la idea y, al final, el mercado acuerda un solo medio de intercambio: el dinero.

La teoría de Menger muestra no sólo cómo el dinero puede evolucionar sin ningún plan consciente, sino que tampoco depende de decretos legales ni de bancos centrales. No obstante, eso también lo pasan a menudo por alto los economistas convencionales. Pongamos a Michael Woodford como ejemplo. Woodford es uno de los economistas monetarios académicos vivos más influyente de nuestros tiempos; sin embargo, en su libro *Interest and Prices: Foundations of a Theory of Monetary Policy*, un banco central, de alguna manera, pasa a formar parte de la economía en menos de una página una vez introducidas las presuposiciones iniciales. Woodford no se detiene a reflexionar ni una sola página a considerar cómo sería un sistema bancario sin un banco central. No obstante, la banca libre tiene una larga historia; el primero de este tipo de sistemas empezó en China aproximadamente en el 995 a. C., más de 600 años antes del primer banco central.

¿Podemos atribuir la aparición de la banca central al mismo tipo de explicación tipo «mano invisible» que Menger proponía para el dinero? La respuesta depende, según Lawrence White, de lo que queremos decir exactamente por «banco central». Si el patrocinio del gobierno está entre los rasgos definidores de un banco central, entonces la respuesta es no. La aparición de los bancos centrales no puede ser atribuida enteramente a las fuerzas del mercado; en algún punto, la acción deliberada del Estado tiene que entrar en juego. Los motivos que tiene el gobierno para involucrarse no resultan difíciles de imaginar. Por un lado, una reserva exclusiva de billetes de

banco le confiere al gobierno una fuente de beneficios monopolísticos en forma de préstamo a interés cero de la propiedad pública de estos billetes sin interés.

En estos tiempos tan complicados, cuando los bancos centrales están ampliando el stock del dinero de alto nivel a través de una enorme facilitación, la teoría de Menger es más relevante que nunca. Nos alerta de la posibilidad de que la respuesta a la actual crisis en la zona euro no precisara ser una mayor centralización, sino que, al contrario, pudiera consistir en un movimiento en la dirección opuesta: hacia un régimen en el que cualquier banco sea libre de emitir su propio dinero, y en el que las fuerzas de mercado, no los bancos centrales, controlaran el suministro de dinero.

La precesión de los simulacros



DOUGLAS RUSHKOFF

Analista de medios de comunicación; creador de documentales; autor de *Life, Inc.: How the World Became a Corporation and How To Take It Back*

Por el hecho de haber descubierto demasiado tarde en la vida que las muchas cosas que había dado por sentadas como condiciones preexistentes del universo eran, en realidad, creaciones e ideas de personas, encontré que la «precesión de los simulacros» del filósofo y sociólogo francés Jean Baudrillard era una manera infinitamente valiosa de entender lo desconectados que podemos llegar a estar de cualquier cosa que tenga que ver con la realidad.

La idea principal es que hay un mundo real, están los mapas que usamos para describir este mundo, y luego están todas esas otras actividades que ocurren en el mapa, a veces con poca consideración por el territorio que se supone que representa. Está el mundo real, está la representación del mundo, y está la confusión de esta simulación por la realidad.

Esta idea se volvió a poner de moda cuando entró en escena la realidad virtual. Los escritores evocaban a Baudrillard como si necesitáramos que nos advirtieran de que no debemos escapar a esos mundos virtuales ni dejar atrás el de ladrillos y cemento, carne y hueso, que tenemos. Pero nunca consideré tan peligrosas las simulaciones informáticas. En todo caso, la evidente falsedad de las simulaciones informáticas —desde los videojuegos hasta Facebook— no sólo nos mantenía alerta de su naturaleza simulada, sino que ponía en cuestión la realidad de todo lo demás.

Así pues, ahí está la tierra, la base real por la que caminamos. Luego está el territorio, los mapas y líneas que empleamos para definir la tierra. Pero

luego están las guerras libradas por sobre dónde deben dibujarse estas líneas del mapa.

Los niveles pueden seguir construyéndose uno sobre el otro, llevando a las personas hasta mayores abstracciones y desconexiones del mundo real. La tierra se convierte en territorio; el territorio en propiedad a manos de alguien. La propiedad en sí misma se puede representar mediante una escritura, y la escritura puede ser hipotecada. La hipoteca es en sí una inversión que se puede apostar contra un producto derivado, el cual puede ser asegurado mediante un CDS (cobertura de tipo de interés por riesgos de crédito).

El algoritmo informático que comercia con el riesgo crediticio hace un intercambio (al igual que los programadores que intentan seguir las acciones de ese algoritmo con el fin de identificar algoritmos competidores), es un nivel de interacción real. Y en términos financieros, tiene más influencia sobre quién acaba viviendo en tu casa que casi cualquier otro factor. Una crisis de riesgo crediticio puede acabar llevando a la bancarrota a una nación del tamaño de Estados Unidos sin cambiar nada sobre la tierra real a la que se refiere.

O hablemos del dinero: hay el aspecto del valor (la mano de obra, el pollo, el zapato). Luego están las cosas que utilizamos para representar el valor (pongamos el oro, recibos de cereal, certificados de oro). Pero una vez nos hemos acostumbrado a usar estos recibos y billetes como equivalentes a algo con valor, podemos ir un paso más allá: el billete de la reserva federal, o dinero «fiduciario», que no tiene ninguna conexión con el oro, ni los cereales, ni la mano de obra, ni el pollo ni los zapatos. Tres pasos principales: el valor, la representación del valor y luego la desconexión de lo que tiene valor.

Pero esta última desconexión es la importante, y la triste, en muchos aspectos, porque es el momento en el que nos olvidamos de dónde vinieron las cosas, cuando olvidamos lo que representan. La simulación aparece como realidad. El paisaje inventado se naturaliza y se lo toma erróneamente por naturaleza.

Y ahí es donde nos volvemos especialmente vulnerables a la ilusión, al abuso y a la fantasía. Porque una vez que vivimos en un mundo de símbolos creados y simulaciones, quien sea que controla el mapa controla la realidad.

Teoría de la perspectiva del tiempo



PHILIP ZIMBARDO

Profesor emérito de psicología, Universidad de Stanford; autor de *El efecto Lucifer: El porqué de la maldad*

Estoy aquí para contaros que la influencia más potente en todas y cada una de nuestras decisiones capaces de llevarnos a una acción con resultados importantes es algo que la mayoría de nosotros ignoramos totalmente y, en cambio, es el más obvio de todos los conceptos psicológicos imaginables.

Estoy hablando de la sensación de tiempo psicológico, más concretamente de cómo nuestras decisiones se enmarcan en las zonas horarias que hemos aprendido a preferir y que tendemos a utilizar demasiado. Todos vivimos en zonas horarias múltiples, aprendidas de la niñez, formadas por la educación, la cultura, nuestra clase social y las experiencias con la estabilidad o inestabilidad económica y familiar. La mayoría desarrollamos una orientación temporal sesgada que favorece un período por encima de otros, volviéndonos excesivamente orientados al pasado, al presente o al futuro.

Por lo tanto, a la hora de tomar decisiones mayores o menores, algunos estamos totalmente orientados por factores pertenecientes a la situación inmediata: lo que los otros hacen, dicen, desean, y nuestras propias necesidades biológicas. Otros que se enfrentan a la misma matriz de decisión ignoran todas estas cualidades presentes, y se centran en cambio en el pasado: las semejanzas entre las situaciones actuales y pasadas, recordando lo que se ha hecho y sus efectos. Un tercer grupo de tomadores de decisiones ignoran el presente y el pasado y se centran básicamente en las consecuencias futuras de las acciones actuales, calculando los costes frente a los beneficios.

Para complicar todavía más las cosas, hay subconjuntos de cada una de estas zonas primarias. Hay gente orientada al pasado que tiende a centrarse en

lo negativo de sus experiencias pasadas (arrepentimiento, fracaso, abuso, trauma), mientras que otros son básicamente felices por el pasado, y en cambio se centran en los buenos tiempos vividos con nostalgia, gratitud y éxitos. Hay dos maneras de orientarse al presente: vivir en un territorio presente-hedonístico (buscando el placer, la novedad, la sensación) o ser presente-fatalista, creyendo que nada de lo que hagas puede cambiar tu futuro. Las personas orientadas al futuro son las que se marcan metas, planifican estrategias, que tienden a tener éxito. Pero hay otras que se centran en el futuro trascendental: la vida empieza después de la muerte del cuerpo mortal.

Mi interés en la teoría de la perspectiva temporal me ha inspirado a crear un inventario para determinar exactamente hasta qué punto nos adaptamos en cada una de estas zonas temporales. El Zimbardo Time Perspective Inventory, o ZTPI, correlaciona los resultados de estas dimensiones temporales con un montón de otros rasgos y conductas psicológicos. Hemos demostrado que la perspectiva temporal tiene un efecto muy importante en buena parte de la naturaleza humana. De hecho, algunas de las relaciones desveladas revelan coeficientes de correlación mucho más altos que cualquiera de los vistos en evaluaciones de la personalidad tradicionales. Por ejemplo, la orientación futura se correlaciona en un .70 con el rasgo de la meticulosidad, que a su vez predice la longevidad. El hedonismo presente se correlaciona en un .70 con la búsqueda de sensaciones y de novedad. Los que tienen una alta negatividad hacia el pasado son mucho más propensos a tener altos los índices de ansiedad, depresión y rabia, con correlaciones tan robustas como un .75. Otras correlaciones que son igualmente importantes se descubren entre el fatalismo del presente y estas medidas de angustia personal. Debo añadir que este análisis del factor de confirmación se llevó a cabo entre una muestra de estudiantes de college en activo, por lo que tales efectos deberían ser causa de preocupación entre sus terapeutas. Más allá de las meras correlaciones de medidas a escala, el ZTPI predice una amplia gama de conductas: notas de curso, asunción de riesgo, consumo y adicción a las drogas, conservación del medio ambiente, revisiones médicas, creatividad, resolución de problemas y muchos más.

Finalmente, uno de los descubrimientos más sorprendentes es la aplicación

de la teoría de la perspectiva temporal a la terapia para «curar» el TEPT (trastorno de estrés postraumático) en veteranos de guerra, mujeres que han sufrido abusos sexuales o personas que han sufrido accidentes de circulación. Los doctores Richard y Rosemary Sword han estado tratando con resultados notablemente positivos a una serie de veteranos de contiendas recientes de Estados Unidos, y también a pacientes civiles. En esencia, el tratamiento sustituye las zonas temporales sesgadas de pasado-negativo y presente-fatalista que comparten los afectados de TPET por una perspectiva temporal equilibrada que subraya el papel crítico del futuro lleno de esperanza, le añade un poco de hedonismo presente seleccionado e introduce recuerdos de naturaleza pasado-positivas. En una muestra de treinta veteranos aquejados de TPET de varias edades y etnias, tratados con la terapia de perspectiva temporal durante relativamente pocas sesiones (comparado con las tradicionales terapias cognitivo conductuales), se obtuvieron unos cambios espectacularmente positivos en cuanto a todas las valoraciones estándares del TPET, y también en las cambiantes relaciones sociales y profesionales de estos pacientes. Resulta gratificante ver cómo muchos de nuestros veteranos, que durante décadas han seguido sufriendo sus graves traumas relacionados con sus experiencias en combate, descubren una nueva vida llena de oportunidades, amigos, familia, diversión y trabajo, por el mero hecho de haber sido expuestos a esta sencilla y elegante manera de reencuadrar su actitud mental.

**El ritmo del desarrollo
explica las aflicciones de la
adolescencia**



ALISON GOPNIK

Profesora de psicología y profesora afiliado de filosofía en la Universidad de California-Berkeley; autora de *El filósofo entre pañales*

«¿En qué estaría pensando?», suele ser el grito de alarma de los padres que intentan explicarse por qué su hijo adolescente actúa de la manera como lo hace. Los psicólogos del crecimiento, los neurocientíficos y los psicólogos clínicos tienen una explicación interesante y elegante de la rareza adolescente. Es aplicable a una amplia gama de conductas adolescentes, desde las asombrosamente admirables, hasta las levemente molestas y hasta las claramente patológicas. La idea es que hay dos sistemas neurológicos y funcionales distintos que interactúan para convertir a nuestros hijos en adultos. La relación evolutiva entre estos dos sistemas ha cambiado y eso, a su vez, cambia en profundidad al adolescente.

Primero, hay un sistema motivador y emocional que está muy vinculado a los cambios biológicos y químicos de la pubertad. Eso es lo que convierte a los pacíficos chicos de diez años, seguros en su protegida inmadurez de la niñez, en adolescentes inquietos, eufóricos y emocionalmente intensos, desesperados por lograr todas las metas, por satisfacer todos los deseos y por experimentar todas las sensaciones. Y para los adolescentes, la meta más importante de todas es obtener el respeto de sus iguales. Estudios recientes indican que los adolescentes no son imprudentes porque subestimen el riesgo, sino porque sobreestiman la gratificación, en especial la de carácter social... o, dicho de otro modo, encuentran las gratificaciones más gratificantes que los adultos. Pensemos en la incomparable intensidad del primer amor, en la gloria que no se va a repetir nunca más del campeonato de baloncesto del instituto. Cuando eres joven deseas cosas, y cuando eres mayor deseas desearlas.

El segundo sistema es un sistema de control capaz de canalizar y aprovechar toda esta energía en ebullición. El córtex prefrontal se extiende para guiar y controlar otras partes del cerebro. Es el sistema que inhibe los impulsos y guía la toma de decisiones. Este sistema de control depende mucho más del aprendizaje que el sistema motivador. Puedes tomar decisiones mejores tomando decisiones no tan buenas y luego corrigiéndolas. Llegas a ser un buen planificador a base de hacer planes, implementarlos y ver sus resultados una y otra vez. Te conviertes en experto a base de experiencia.

En el pasado evolutivo lejano —de hecho, hasta en el pasado histórico reciente— estos dos sistemas estaban sincronizados. La mayor parte de la educación durante la infancia implicaba aprendizajes formales e informales. Los niños tenían muchas oportunidades de practicar exactamente las aptitudes que necesitarían para cumplir sus objetivos como adultos y, así, convertirse en planificadores y actores expertos. Para llegar a ser un buen recolector o cazador, cocinero o cuidador, practicabas realmente la recolección, la caza, la cocina y el cuidado de los niños desde la mitad de la niñez y al principio de la adolescencia, lo cual ajustaba el cableado prefrontal que necesitarías como adulto. Pero hacías todo esto bajo la experta supervisión de un adulto y en el mundo protegido de la niñez, donde el impacto de tus inevitables fallos era corregido delicadamente. Cuando llegara el jugo motivador de la adolescencia ya estarías listo para salir en busca de las nuevas gratificaciones con nueva intensidad y exuberancia, pero también tendrías el conocimiento y el control para actuar con eficiencia y con razonable seguridad.

Pero en la vida contemporánea la relación entre estos dos sistemas ha cambiado. Por motivos que son algo misteriosos pero probablemente biológicos, la pubertad llega cada vez a una edad más temprana. (La teoría principal apunta a cambios en el equilibrio energético, puesto que los niños comen más y se mueven menos.) El sistema motivador llega con ella.

Al mismo tiempo, los niños de hoy tienen muy poca experiencia con el tipo de tareas que deberán hacer de mayores. Tienen cada vez menos oportunidades ni siquiera de practicar aptitudes tan básicas como la cocina o el cuidado de otros niños. De hecho, es habitual que los adolescentes y preadolescentes de hoy no hagan prácticamente nada más que ir al colegio. La experiencia de

intentar conseguir una meta real en tiempo real en el mundo real se retrasa cada vez más, y el desarrollo del sistema de control depende solamente de estas experiencias. El psicólogo del crecimiento Ron Dahl tiene una bonita metáfora de este resultado: los adolescentes desarrollan un acelerador mucho antes de tener cambio de marchas y frenos.

Eso no significa que los adolescentes sean más tontos que antes; en muchos aspectos, son mucho más listos. De hecho, hay cierta evidencia de que un desarrollo frontal tardío tiene que ver con un coeficiente intelectual (CI) más alto. El énfasis creciente en la escolarización significa que los niños saben más de más temas de lo que supieron nunca en la época en la que eran aprendices. Convertirse en un cocinero experto no te explica nada sobre la evolución en el uso de los utensilios o sobre la composición del cloruro sódico, ese tipo de cosas que se aprenden en el colegio. Pero hay maneras distintas de ser listo; saber de historia y de química no resulta útil para preparar un suflé. Un aprendizaje amplio, flexible y con una base amplia podría dificultar el desarrollo de una auténtica experiencia, bien perfeccionada, controlada y bien dirigida en un campo particular.

Es cierto que los viejos siempre se quejan de los jóvenes. Pero esta explicación responde con elegancia a las paradojas y problemas de nuestra cosecha particular de adolescentes. Parece que en efecto hay muchos jóvenes adultos inmensamente listos y llenos de conocimientos pero que carecen de dirección, que son entusiastas y alegres pero incapaces de comprometerse con un trabajo concreto o un amor concreto hasta bien entrada la veintena o la treintena. Y está el caso más grave de los niños que se enfrentan a la realidad inflexible del impulso hacia el sexo, el poder y el respeto sin contar con la experiencia y el control de los impulsos necesarios para protegerse de los embarazos no deseados o la violencia.

Me gusta la explicación porque justifica muchos de los fenómenos cotidianos que nos provocan perplejidad. Pero también me gusta porque enfatiza dos hechos importantes sobre la mente y el cerebro que a menudo se pasan por alto. Uno es el hecho de que la experiencia da forma al cerebro. Es más cierto decir que nuestra experiencia de controlar los impulsos hace desarrollar el córtex prefrontal que decir que el desarrollo prefrontal nos hace

ser mejores a la hora de controlar nuestros impulsos.

El otro es que es cada vez más aparente que el desarrollo desempeña un papel crucial a la hora de explicar la naturaleza humana. La vieja imagen de la psicología evolutiva nos decía que un pequeño grupo de genes —un «módulo»— era directamente responsable de algún patrón particular de conducta adulta. Pero cada vez hay más pruebas de que los genes son sólo el primer paso en secuencias complejas del desarrollo, cascadas de interacciones entre el organismo y el entorno, y que estos procesos evolutivos dan forma al cerebro del adulto. Hasta los pequeños cambios en el ritmo del desarrollo pueden provocar grandes cambios en quiénes somos.

**Implicaciones del gran
descubrimiento de Ivan
Pavlov**



STEPHEN M. KOSSLYN

Psicólogo; director del Center for Advanced
Study in the Behavioral Sciences, Universidad
de Stanford

ROBIN ROSENBERG

Psicólogo clínico; autor de *What's the Matter
with Batman?*

Resulta fácil imaginarse a un político objetando a que los fondos federales se dediquen al estudio del babeo canino. Pero negarse a apoyar ese estudio hubiera sido en realidad ser corto de miras. Como parte de sus estudios sobre la digestión, merecedores de un Premio Nobel, el gran fisiólogo ruso Ivan Pavlov (1849-1936) midió la cantidad de saliva producida por los perros cuando se les da comida. A lo largo de sus investigaciones, él y sus colegas observaron algo inesperado: los perros empezaban a salivar mucho antes de que los alimentaran. De hecho, salivaban ya cuando oían los pasos que se acercaban de la persona que les llevaba la comida. La observación esencial llevó al descubrimiento del condicionamiento clásico.

La idea clave que hay detrás del condicionamiento clásico es que un estímulo neutro (como el sonido de unos pasos que se acercan) llega a ser asociado con un estímulo (como la salivación), y, al cabo de un tiempo, el estímulo neutro provoca la respuesta producida de manera refleja por los estímulos vinculados. Para ser más claros sobre el fenómeno necesitaremos extendernos un poco para explicar la jerga. El estímulo neutro se vuelve «condicionado», y a partir de ahí se lo conoce como estímulo condicionado (EC), mientras que el estímulo que de manera refleja produce la respuesta se

conoce como estímulo incondicional (EIC). Y a la respuesta producida por el EIC se le llama respuesta incondicionada (RI). El condicionamiento clásico ocurre cuando el EC se presenta justo antes de un EIC, de modo que, después de un rato, el EC produce la respuesta por sí mismo. Cuando eso sucede, a la respuesta se le llama respuesta condicionada (RC). En resumen, al principio un EIC (como la comida) produce una RI (como la salivación); cuando un EC (el sonido de los pasos del que lleva la comida) se presenta antes del EIC, pronto es capaz de producir la respuesta, una RC (salivación), por sí solo.

Este simple proceso da lugar a todo un conjunto de explicaciones elegantes y no intuitivas.

Por ejemplo, pensemos en las muertes accidentales por sobredosis. En general, los usuarios de narcóticos tienden a tomar las drogas en lugares específicos, como el cuarto de baño de su casa. El escenario es un estímulo neutro, pero después de que alguien tome drogas en él unas cuantas veces, acaba funcionando como EC: tan pronto como el consumidor entra en el baño con drogas, su cuerpo reacciona al estímulo preparándose para la ingestión de droga. Reacciones fisiológicas específicas permiten al cuerpo tolerar la droga, y estas reacciones se vuelven condicionadas al baño (dicho de otro modo, la reacción se convierte en una RC). Para obtener la satisfacción suficiente, el usuario debe ahora tomar bastante del narcótico para superar la preparación de su organismo. Pero si el usuario toma la droga en un escenario distinto, tal vez en el dormitorio de un amigo durante una fiesta, la RC no ocurre. Es decir, la preparación fisiológica habitual para el narcótico no sucede. Así, la cantidad habitual de droga funciona como si fuera una dosis mayor y puede sobrepasar lo que el usuario es capaz de tolerar sin la preparación preventiva de su cuerpo. Por tanto, aunque el proceso del condicionamiento clásico fue formulado para explicar fenómenos muy distintos, se puede aplicar a la explicación del porqué las sobredosis de droga ocurren a veces accidentalmente cuando se toman dosis habituales en lugares distintos.

Por el mismo motivo, el condicionamiento clásico desempeña un papel en el efecto placebo: los analgésicos tomados regularmente por muchos de nosotros, como el ibuprofeno o la aspirina, empiezan a hacer efecto antes de que sus ingredientes activos hayan tenido tiempo de actuar. ¿Por qué? Por la

experiencia previa, el mero hecho de tomar esa píldora en particular se ha convertido en un EC, que detona el proceso del alivio del dolor que invoca el medicamento en sí (y estos procesos se han convertido en una RC).

El condicionamiento clásico también puede resultar de un desfibrilador implantado, o marcapasos. Cuando el corazón late demasiado deprisa, este dispositivo lo hace entrar en shock, lo que lo hace volver a su ritmo normal. Hasta que el nivel de shock está adecuadamente calibrado, el shock puede resultar incómodo y actuar como EIC, lo que produce miedo y ECR. Puesto que no ocurre en un entorno siempre igual, la persona le asocia aspectos aleatorios del entorno en el que se encuentra, que entonces funcionan como EC. Y cuando cualquiera de estos aspectos medioambientales está presentes, la persona puede experimentar una severa ansiedad, a la espera del posible shock.

Este mismo proceso explica por qué encontramos algunos alimentos desagradables, si éstos nos han provocado una intoxicación. En este caso, pueden funcionar como EC y si lo tomamos —incluso si nos imaginamos que lo tomamos— nos podemos sentir mareados, una RC. Puede que te encuentres evitando ese alimento, y así nace la aversión alimentaria. De hecho, asociar simplemente imágenes de alimentos concretos (como las patatas fritas) con fotos asquerosas (como la de un cuerpo terriblemente quemado) es capaz de cambiar lo atractivo que te parece ese alimento.

Por tanto, el descubrimiento de Pavlov de la salivación de anticipación se puede ampliar fácilmente a toda una serie de fenómenos. Pero, dicho esto, debemos señalar que su concepción original del condicionamiento clásico no era del todo acertada. Él creía que el estímulo sensorial estaba directamente relacionado con respuestas específicas, lo que llevaba el estímulo a producir la respuesta automáticamente. Ahora sabemos que la conexión no es tan directa; el condicionamiento clásico implica a muchos procesos cognitivos, como la atención y los que subyacen en la interpretación y la comprensión. De hecho, el condicionamiento clásico es una forma de aprendizaje implícito. Como tal, nos permite navegar por la vida con menos esfuerzo (y estrés) cognitivo del que necesitaríamos sin él.

No obstante, este tipo de condicionamiento tiene derivados que pueden ser

potentes, sorprendentes y, a veces, hasta peligrosos.

**La naturaleza es más lista
que nosotros**



TERRENCE J. SEJNOWSKI
Neurocientífico computacional; cátedra
Francis Crick, Salk Institute; coautor (con
Patricia S. Churchland) de *The Computational
Brain*

Tenemos la clara impresión de que nuestras mentes deliberativas toman las decisiones más importantes de nuestras vidas: el trabajo al que nos dedicamos, dónde vivimos, con quién nos casamos. Pero, contrariamente a esta idea, la evidencia biológica nos señala un proceso de decisión en un viejo sistema cerebral que se llama ganglios basales, unos circuitos cerebrales a los que la consciencia no es capaz de acceder. No obstante, la mente elabora debidamente explicaciones plausibles de las decisiones.

El recorrido científico que llevó hasta esta conclusión empezó con las abejas melíferas. Las abejas obreras rebuscan en los campos primaverales en busca de néctar, que identifican por el color, la fragancia y la forma de una flor. El circuito de aprendizaje del cerebro de la abeja converge en VUMmx1, una neurona individual que recibe el impulso sensorial y, un poco después, el valor del néctar, y aprende a predecir el valor del néctar de esa flor la vez siguiente que la abeja se la encuentra. La demora es importante, puesto que la clave es la predicción, más que la simple asociación. Eso es también la esencia del aprendizaje TD (*temporal-difference*), que implica aprender una secuencia de decisiones que llevan a un objetivo y que es especialmente efectivo en entornos inciertos, como el mundo en el que vivimos.

Muy al fondo de tu cerebro medio hay un pequeño grupo de neuronas — halladas en nuestros ancestros vertebrados más primitivos y que se proyectan por todo el manto cortical y los ganglios basales— que son muy importantes para la toma de decisiones. Estas neuronas liberan un neurotransmisor llamado

dopamina, que tiene una potente influencia sobre nuestra conducta. La dopamina ha sido llamada «molécula de la gratificación», pero más importante que la propia gratificación es la capacidad de estas neuronas de predecirla. Si tuviera este trabajo, ¿sería feliz? Las neuronas de la dopamina, elementales para la motivación, implementan el aprendizaje TD de la misma forma que lo hace la VUMmx1.

El aprendizaje TD resuelve el problema de encontrar el camino más corto para llegar a una meta. Es un algoritmo virtual, porque aprende a base de explorar y descubre el valor de las decisiones intermedias en el logro de la meta. Lo hace creando una función de valor interno, el cual puede utilizarse para predecir las consecuencias de las acciones. Las neuronas de la dopamina evalúan el estado actual de todo el córtex e informan al cerebro sobre el mejor procedimiento a partir del estado en que se encuentra. En muchos casos, el mejor procedimiento es una suposición, pero como las suposiciones se pueden mejorar, el aprendizaje TD crea, con el tiempo, una función de valor de poderes proféticos. La dopamina puede ser la fuente de la «corazonada» que experimentas a veces, aquello de lo que está hecha la intuición.

Cuando te planteas varias opciones, los circuitos cerebrales prospectivos evalúan cada situación, y el nivel transitorio de dopamina registra el valor predicho de cada decisión. El nivel de dopamina está también relacionado con tu nivel de motivación, de manera que un alto nivel de dopamina no sólo indica una gratificación muy esperada, sino que también tendrás un mayor nivel de motivación para buscarla. Es literalmente el caso del sistema del motor, en el que un nivel superior de dopamina tónica produce movimientos más rápidos. El poder adictivo de la cocaína y las anfetaminas es consecuencia de una mayor actividad de la dopamina, que secuestra el sistema de motivación interno del cerebro. Los niveles reducidos de dopamina provocan anhedonia, que es una incapacidad de experimentar placer; y la pérdida de neuronas de dopamina resultan en la enfermedad de Parkinson, una incapacidad de iniciar acciones y pensamientos.

El aprendizaje TD es poderoso porque combina información sobre el valor en muchas dimensiones distintas, comparando en efecto las naranjas con las manzanas a la hora de lograr metas lejanas. Eso es importante porque la

toma racional de decisiones es muy difícil cuando hay muchas variables e incógnitas. Tener un sistema interno que facilite rápidamente suposiciones acertadas es una gran ventaja, y puede marcar la diferencia entre la vida o la muerte cuando se requiere una decisión rápida. El aprendizaje TD depende de la suma de tus experiencias vitales. Extrae lo esencial de esas experiencias mucho después de que los detalles de las experiencias individuales ya se hayan olvidado.

El aprendizaje TD también explica muchos de los experimentos realizados por psicólogos que entrenaron a ratones y a palomas para realizar tareas sencillas. Los algoritmos del aprendizaje de refuerzo se han considerado tradicionalmente demasiado débiles para explicar los comportamientos complejos, porque la respuesta del entorno es mínima. Sin embargo, el aprendizaje de refuerzo es universal entre prácticamente todas las especies y es responsable de algunas de las formas más complejas de coordinación motora sensorial, como tocar el piano y hablar. El aprendizaje de refuerzo ha sido pulido por cientos de millones de años de evolución, y ha servido muy bien a incontables especies, en especial a la nuestra.

¿Qué nivel de complejidad de un problema es capaz de resolver el aprendizaje TD? El TD-Gammon es un programa informático que aprendió a jugar al backgammon jugando solo. La dificultad de este enfoque es que la gratificación llega sólo al final del juego, de modo que no se sabe cuáles fueron las buenas jugadas que condujeron al triunfo. El TD-Gammon empezó sin ningún conocimiento del juego, excepto las reglas. Jugando muchas veces contra él mismo y aplicando el aprendizaje TD para crear una función de valor para evaluar las posiciones de juego, el TD-Gammon escaló del nivel principiante al nivel de experto y por el camino adquirió estrategias sutiles similares a las empleadas por los humanos. Después de jugar contra él mismo un millón de veces, llegó a nivel de campeonato y empezaba a descubrir un nuevo juego de posiciones que asombró a los humanos expertos. Enfoques similares al juego del Go han logrado niveles impresionantes de juego y están en vías de alcanzar niveles profesionales.

Cuando hay una explosión combinatoria de posibles resultados, una poda selectiva resulta útil. La atención y la memoria a corto plazo nos permiten

centrarnos en la mayoría de las partes importantes de un problema. El aprendizaje de refuerzo está también sobrecargado por nuestro sistema de memoria explícita, que rastrea los objetos y acontecimientos singulares. Cuando los cerebros grandes evolucionaron en los primates, la capacidad de memoria aumentada potenció enormemente su capacidad de tomar decisiones complejas, lo que les llevó a poder hacer secuencias más largas de acciones para lograr objetivos. Somos la única especie que ha creado un sistema educativo y que se ha asignado años de instrucción y exámenes. La gratificación retardada se puede extender hacia el futuro lejano (en algunos casos, hasta una ultratumba imaginada), un tributo al poder de la dopamina de controlar el comportamiento.

Al principio de la revolución cognitiva en la década de los sesenta, las mentes más brillantes no podían imaginarse que el aprendizaje de refuerzo podía ser la base de la conducta inteligente. Las mentes no son de fiar. La naturaleza es más lista que nosotros.

Imponer la arbitrariedad



MICHAEL I. NORTON

Profesor adjunto de administración de
empresas y Marvin Bower Fellow, Harvard
Business School

Paul Meier, fallecido en 2011, era conocido principalmente por su presentación del estimador Kaplan-Meier. Pero Meier era también una figura trascendental en la extendida adopción de una inestimable herramienta de explicación: el experimento aleatorizado. La decidida falta de *sex-appeal* del término enmascara una forma realmente elegante, que en manos de sus mejores practicantes se acerca al arte. Dicho de modo simple: los experimentos ofrecen una forma singular y potente de concebir respuestas a las preguntas que los científicos de todas las disciplinas buscan responder: ¿cómo sabemos si algo funciona?

Tomemos una pregunta que aparece de nuevo en la prensa, cada año: ¿el vino tinto es bueno o malo para nuestra salud? Aprendemos mucho sobre cómo funciona el vino tinto si preguntamos a la gente sobre su consumo y su salud, y observando las correlaciones entre los dos aspectos. Pero para calcular el impacto específico del vino tinto sobre la salud, tenemos que hacerle a la gente muchas preguntas, sobre todo lo que consumen (alimentos, medicación con prescripción facultativa, otras formas menos saludables de medicación), sus hábitos (ejercicio, sueño, actividad sexual), su pasado (su historial médico, el historial médico de sus padres y abuelos), etc. Y luego tratar de controlar según estos factores, aislar el impacto del vino tinto sobre la salud. Piensa en lo larga que es la encuesta.

Los experimentos aleatorizados replantean totalmente nuestra manera de enfocar el funcionamiento del vino tinto. Damos por sentado que la gente varía en la multitud de maneras antes descritas (y otras), pero nos enfrentamos a esta

variedad asignando aleatoriamente a las personas que tomen o no vino tinto. Si la gente que come donuts y no hace nunca ejercicio, es igualmente probable que estén en el «tratamiento de vino» o el «tratamiento de control», entonces podemos hacer un trabajo bastante decente al evaluar el impacto medio del vino tinto por encima y sobre el impacto probable de otros factores. Suena simple porque, bueno, lo es, pero cualquier ocasión en que una técnica simple da tanto fruto, «elegante» es una descripción mucho más adecuada.

El aumento de los experimentos en las ciencias sociales que empezó en la década de los cincuenta —incluyendo las contribuciones de Meier— ha explotado estos últimos años con la adopción de experimentos aleatorizados en campos que van desde la medicina (intervenciones de prueba, como la terapia cognitiva conductual) hasta las ciencias políticas (haciendo experimentos de resultados de votaciones), pasando por la educación (probando con niños a los que se paga por sacar buenas notas) y por la economía (animando a la práctica del ahorro). El método experimental también ha empezado a infiltrarse y a impactar en las políticas públicas: el presidente Obama nombró al economista conductualista Cass Sunstein como jefe de la oficina de Información y Asuntos de Regulación, y el primer ministro David Cameron instituyó un Behavioural Insights Team.

Los experimentos aleatorizados no son en absoluto una herramienta perfecta para encontrar explicaciones. Hay cuestiones importantes que, sencillamente, no se prestan a ellos, y el método en las manos equivocadas puede hacer más mal que bien, como en el infame caso del experimento de la sífilis de Tuskegee. Pero sus aplicaciones, cada vez más extendidas, hablan de su flexibilidad a la hora de informarnos de cómo funcionan las cosas y de por qué funcionan así.

La unificación de la electricidad y el magnetismo



LAWRENCE M. KRAUSS

Físico/cosmólogo, Universidad Estatal de
Arizona; autor de *Un universo de la nada*

Ninguna de las explicaciones que conozco en la reciente historia científica es tan bella o profunda, o finalmente tan elegante, como la explicación del siglo XIX de la notable conexión entre dos fuerzas de la naturaleza conocidas pero aparentemente diferenciadas: la electricidad y el magnetismo. Para mí representa lo mejor de la ciencia: combinaba descubrimientos empíricos sorprendentes con un camino tortuoso hacia un sistema matemático notablemente simple y elegante, que explicaba mucho más de lo que nunca se le pidió y, en el proceso, produjo la tecnología que impulsa a la civilización moderna.

Extraños experimentos con ranas saltarinas y circuitos eléctricos llevaron finalmente hasta el descubrimiento inesperado, por parte del autodidacta pero gran experimentador de su tiempo Michael Faraday, de una extraña conexión entre los imanes y las corrientes eléctricas. Para entonces, se sabía que una carga eléctrica en movimiento (o corriente) creaba un campo magnético a su alrededor capaz de repeler o atraer otros imanes cercanos. Lo que quedaba sin responder era si los imanes eran capaces de producir alguna fuerza eléctrica en objetos cargados. Faraday descubrió, accidentalmente, que cuando encendía o apagaba un interruptor para iniciar o detener una corriente, creando un campo magnético que crecía o menguaba con el tiempo, de pronto aparecía una fuerza en un cable cercano, que movía las cargas eléctricas de su interior para crear una corriente.

La ley de la inducción de Faraday, como acabó conociéndose, no sólo es responsable del principio básico que gobierna todos los generadores eléctricos desde las cataratas del Niágara hasta las centrales eléctricas, sino

que también produjo un rompecabezas teórico que requirió la mente del mejor físico teórico de su tiempo, James Clerk Maxwell, para aclarar las cosas. Maxwell se dio cuenta de que el resultado de Faraday implicaba que era el campo magnético cambiante (un concepto visual introducido por el propio Faraday porque se sentía más cómodo con las imágenes que con el álgebra) el que producía un campo eléctrico que empujaba las cargas por el cable, creando así una corriente.

Lograr la simetría matemática en las ecuaciones que gobernaban los campos eléctricos y magnéticos requirió entonces que un campo eléctrico cambiante, y no meramente unas cargas en movimiento, produjera un campo magnético. Eso no sólo dio lugar a una serie de ecuaciones matemáticamente congruentes que conocen todos los estudiantes de física (y a algunos les encanta), llamadas ecuaciones de Maxwell —que podrían caber estampadas en una camiseta veraniega—, sino que además estableció la realidad física de lo que era fruto de la imaginación de Faraday, es decir, alguna cantidad asociada con cada punto del espacio y del tiempo.

Además, Maxwell se dio cuenta de que si un campo eléctrico cambiante producía un campo magnético, entonces un campo eléctrico siempre cambiante —como el que se produce si sacudes constantemente una carga arriba y abajo— produciría un campo magnético siempre cambiante. Eso, a su vez, crearía un campo eléctrico siempre cambiante, lo que crearía un campo magnético siempre cambiante, y así sucesivamente. Este «alboroto» de campos saldría de la fuente original (la carga sacudida) a un ritmo que Maxwell pudo calcular con sus ecuaciones. Los parámetros de estas ecuaciones provenían del experimento, es decir, de medir la intensidad de la fuerza entre dos cargas conocidas y la intensidad de la fuerza magnética entre dos corrientes conocidas.

A partir de estas dos propiedades fundamentales de la naturaleza, Maxwell calculó la velocidad de la alteración y descubrió que era exactamente la velocidad que se había calculado que la luz tenía. Así, descubrió que la luz es realmente una onda, pero una onda de campos eléctricos y magnéticos que se mueve por el espacio a una velocidad precisa, determinada por dos constantes fundamentales de la naturaleza. Eso sentó las bases para que Einstein, una

generación o más después, demostrara que la velocidad constante de la luz requería una revisión en nuestras nociones de espacio y tiempo.

Así, de las ranas saltarinas y las ecuaciones diferenciales vino una de las más bellas unificaciones de toda la física: la de la electricidad y el magnetismo en una única teoría del electromagnetismo. La teoría de Maxwell explicó la existencia de aquello que nos permite observar el universo que nos rodea, en concreto, la luz. Sus implicaciones prácticas producirían los mecanismos que alimentan la civilización moderna actual y los principios que gobiernan esencialmente todos los dispositivos electrónicos que nos rodean. Y la naturaleza de la teoría misma dio pie a una serie de enigmas posteriores que permitieron a Einstein aportar nuevos conocimientos sobre el espacio y el tiempo.

No está mal por ser una serie de experimentos cuyo valor fue puesto en duda por Gladstone (o por la reina Victoria, según la historia apócrifa que nos creamos), que entró en el laboratorio de Faraday y se preguntó a qué venía tanto alboroto y de qué iban a servir todos aquellos experimentos. Una versión es que se le respondió (a Gladstone o a la reina): «¿De qué servirá un bebé recién nacido?», o, en otra versión que me gusta mucho más: «¿De qué servirá? Bueno, ¡algún día todo esto será tan útil que ustedes nos harán pagar impuestos por ello!» Belleza, elegancia, profundidad, utilidad, aventura y emoción... ¡La ciencia en su mejor versión!

Gomas elásticas peludas



NEIL GERSHENFELD

Director, Center for Bits and Atoms, MIT;
autor de *Fab: The Coming Revolution on Tour*
Desktop — From Personal Computers to
Personal Fabrication

Aprendí electrodinámica en Swarthmor, con el profesor Mark Heald y su conciso texto, y con una serie todavía más concisa de ecuaciones, las de Maxwell. En cuatro líneas, y solo treinta y un caracteres (o menos, por algunos trucos de notación), las ecuaciones de Maxwell unificaron lo que había parecido como fenómenos inconexos (la dinámica de los campos eléctrico y magnético), predijeron nuevas observaciones experimentales, y contenían tanto avances teóricos que vendrían (incluyendo la solución de la onda lumínica y la relatividad especial) como tecnologías futuras (incluyendo la fibra óptica, los cables coaxiales y las señales sin cable que llevan internet).

Pero la explicación que encontré memorable no fue la del electromagnetismo de Maxwell, que es bien conocida por su belleza y sus consecuencias, sino la explicación de Heald de que las líneas de campo eléctrico se comportan como gomas elásticas peludas: quieren ser lo más cortas posibles (la goma) pero no quieren estar juntas (el pelaje). Es una descripción cualitativa fácil de entender que me ha servido mucho para el diseño de dispositivos, y además ofrece una información cuantitativa más profunda sobre la naturaleza de las ecuaciones de Maxwell: la solución local de la geometría de campo puede entenderse como la solución de una optimización global.

Estos tipos de semejanzas científicas que son tan predictivas como descriptivas nos ayudan a razonar sobre regímenes tales que nuestras mentes no han evolucionado para operar en ellos. Unificar fuerzas no es algo que

suceda cada día, pero explicarlas puede serlo. Reconocer que algo es precisamente como otro algo es una especie de pensamiento orientado al objeto que ayuda a crear pensamientos más elevados a partir de ideas más pequeñas.

Entendí la fase de Berry de los cuerpos en rotación tratando de hacer girar la mano mientras sostenía una copa hacia arriba; llegué a dominar los ecos de espín de resonancia magnética nuclear haciendo balancear los brazos mientras yo giraba; los niveles de Fermi de un semiconductor cobraron sentido cuando me los explicaron como si se tratara de llenar cubos de agua. Como las gomas elásticas peludas y los campos eléctricos, estas relaciones representan analogías entre ecuaciones gobernantes. A diferencia de las palabras, pueden ser exactas, aportando explicaciones que conectan formalismos desconocidos con experiencias familiares.

El principio de inercia



LEE SMOLIN

Físico del Perimeter Institute; autor de *Las dudas de la física en el siglo XXI*, *The Life of the Cosmos* y *Three Roads to Quantum Gravity*

Mi explicación favorita en ciencias es el principio de inercia. Explica por qué no podemos sentir que la Tierra se mueve. Este principio fue tal vez el paso más contraintuitivo y revolucionario tomado en todo el ámbito científico. Lo propusieron tanto Galileo como por Descartes, y ha sido la base de incontables explicaciones acertadas de la física de todos los siglos desde entonces. El principio es la respuesta a una pregunta muy sencilla: *¿cómo se movería un objeto que está libre (en el sentido de que ninguna influencia ni fuerza externas afectan su movimiento)?*

Para responder a esta pregunta, necesitamos una definición de movimiento. ¿Qué significa que algo se mueve? La concepción moderna es que el movimiento debe describirse en relación con un observador.

Toma un objeto en reposo con relación a ti —pongamos, un gato durmiendo en tu regazo— e imagina cómo parece moverse según otros observadores. Según cómo se mueva el observador, el gato puede parecer con cualquier movimiento. Si el observador gira sobre sí mismo delante de ti, le parecerá que el gato también gira. Así, para dar sentido a la pregunta de cómo se mueven los objetos libres, debemos referirnos a una clase especial de observadores. La respuesta a la pregunta es la siguiente:

Hay una clase especial de observadores, en relación con los cuales todos los objetos libres parecen estar o bien en reposo, o bien moviéndose en línea recta a una velocidad constante.

Acabo de enunciar el principio de inercia.

El poder de este principio es que es completamente general. Una vez que un observador especial ve un objeto libre moviéndose en línea recta con una velocidad constante, observará que todos los demás objetos libres se mueven de la misma forma.

Es más, imagina que eres un observador especial. Cualquier observador que se mueve en línea recta a una velocidad constante respecto de ti también verá los objetos libres moverse a una velocidad constante en una línea recta respecto de él. Los observadores especiales forman un gran grupo, un grupo cuyos miembros están todos moviéndose los unos respecto de los otros. Estos observadores especiales se llaman observadores inerciales.

Una consecuencia inmediata y trascendental es que no moverse no tiene ningún significado absoluto. Un objeto puede estar en reposo respecto de un observador inercial, pero otros observadores inerciales lo verán moverse (siempre en línea recta y a una velocidad constante). Eso se puede formular como un principio:

No es posible, al observar objetos en movimiento, diferenciar a los observadores en reposo de otros observadores inerciales.

Cualquier observador inercial puede decir de manera plausible que él es quien está en reposo y que los otros se mueven. Es lo que llamamos el principio de relatividad de Galileo. Explica por qué la Tierra puede moverse sin que nosotros experimentemos los efectos brutos de este hecho.

Para apreciar lo revolucionario que fue este principio, tengamos en cuenta que los físicos del siglo XVI podían refutar, por una simple observación, la afirmación de Copérnico de que la Tierra se mueve alrededor del sol: simplemente, deja caer una bola desde arriba de una torre. Si la Tierra rotara sobre su eje y orbitara alrededor del sol a las velocidades que Copérnico afirmaba, la bola caería lejos de la torre, en vez de caer a sus pies. Ergo: la Tierra está en reposo.

Pero esta prueba presupone que el movimiento es absoluto, definido con respecto de un observador especial que está en reposo, respecto del cual los

objetos que no reciben fuerzas quedan en reposo. Alterando la definición de movimiento, Galileo pudo argumentar que este mismo experimento demuestra que la Tierra puede, de hecho, moverse.

El principio de inercia fue la esencia de la revolución científica del siglo XVII, además de contener las semillas de otras revoluciones futuras. Para ver el porqué, fijémonos en el calificador en la formulación del principio de relatividad de Galileo: «al observar objetos en movimiento». Durante muchos años, se pensó que algún día haríamos otros tipos de observaciones que determinarían que observadores inerciales se están realmente moviendo y cuáles están realmente en reposo. Einstein creó su especial teoría de la relatividad, sencillamente, eliminando este calificador. Su principio de la relatividad dice:

No hay manera de distinguir a los observadores en reposo de otros observadores inerciales.

Y todavía hay más. Una década después de la relatividad especial, el principio de inercia fue la semilla de la siguiente revolución: el descubrimiento de la relatividad general. El principio se generalizó sustituyendo el «moviéndose en línea recta a una velocidad constante» por «moviéndose por una geodésica en el espacio-tiempo». Una geodésica es la generalización de una línea recta en una geometría curva; es la distancia más corta entre dos puntos. Así, ahora el principio de la inercia dice:

Hay una clase especial de observadores, en relación con los cuales todos los objetos libres parecen moverse por geodésicas en el espacio-tiempo. Se trata de observadores que están en caída libre en un campo gravitacional.

Y hay una generalización consecuente:

No hay manera de distinguir entre ellos a los observadores en caída libre.

Esto se convierte en el principio de la equivalencia de Einstein, la esencia

de su teoría general de la relatividad.

Pero ¿es realmente cierto el principio de inercia? Hasta el momento, ha sido probado en circunstancias en las que la energía del movimiento de una partícula es tanto como 11 órdenes de magnitud mayor que su masa. Esto resulta bastante impresionante, pero todavía queda mucho espacio para que el principio de inercia falle. Sólo la experimentación es capaz de decirnos si él, o su fracaso, serán la base de las revoluciones de la ciencia del futuro.

Pero, sea cual sea el resultado, es la única explicación científica que ha sobrevivido inmaculada durante tanto tiempo, que se ha demostrado válida por encima de una amplitud tan grande de escalas, y que ha desencadenado tantas revoluciones científicas.

**Ver es creer: desde los
placebos hasta las
películas en nuestro
cerebro**



ERIC J. TOPOL

Cátedra Gary and Mary West de medicina
innovadora y profesor de genómica
transnacional del Scripps Research Institute;
autor de *The Creative Destruction of
Medicine*

Nuestro cerebro —con sus 100.000 millones de neuronas y su cuatrillón de sinapsis, tal vez 1.000 millones más o menos— es una de las entidades más complejas por desmitificar. Y eso puede ser bueno, puesto que no queremos necesariamente que otros nos lean la mente, lo cual representaría llevar demasiado lejos la actual megatendencia de la transparencia.

Pero el uso de la resonancia magnética (RM) y la tomografía por emisión de positrones (PET, por sus siglas en inglés) para sacar imágenes del cerebro y construir sofisticados mapas de activación valida el aforismo de «ver es creer» para los más escépticos. Una de las polémicas más largas del mundo de la medicina ha sido sobre si el efecto placebo, un producto final notoriamente complejo, tiene un mecanismo biológico genuino. Esta controversia parece haberse resuelto con el reconocimiento de que el recorrido de las drogas opioides —inducido por drogas como la morfina y la oxicodona— comparte el mismo patrón de activación cerebral que el de la administración de placebos para el alivio del dolor. Y se ha detectado una segregación de dopamina en regiones específicas del cerebro después de administrar placebo a pacientes aquejados de la enfermedad de Parkinson. De hecho, la actualización del efecto placebo para que incluya mecanismos psicobiológicos discretos y perceptibles ha dado pie a que actualmente se tenga en cuenta la consideración de medicación placebo como terapia (la Universidad de Harvard ha instaurado hace poco una institución especial llamada Program in

Placebo Studies and the Therapeutic Encounter).

La decodificación del efecto placebo parece acercarnos un paso hacia el camino de una búsqueda más ambiciosa de la lectura de la mente. En el verano de 2011, un grupo de la Universidad de California-Berkeley produjo, habiendo reconstruido mapas de activación mediante la imagen cerebral, un duplicado razonable de los breves vídeos de YouTube mostrados a los sujetos de sus experimentos.[\[48\]](#) De hecho, provocaba inspiración y auténtico miedo ver el parecido de las comparaciones fotograma-a-fotograma de las películas y lo que se reconstruía a partir de las imágenes cerebrales.

A todo esto, sumémosle el actual desarrollo de las minirresonancias magnéticas portátiles y tal vez estemos en vías de poder ver nuestros sueños cada mañana en el iPad. O, todavía más angustiante, de poder mostrar los vídeos de nuestro cerebro a cualquiera que esté interesado en verlos.

La discontinuidad de la ciencia y la cultura



GERALD HOLTON

Cátedra Mallinckrodt de física y profesor
emérito de historia de las ciencias,
Universidad de Harvard; coeditor (con Peter
Galison y Silvan Schweber) de *Einstein for
the 21st Century: His Legacy in Science, Art,
and Modern Culture*

De vez en cuando, grandes porciones de la humanidad se encuentran, sin previo aviso, en un universo distinto. La ciencia, la cultura y la sociedad han experimentado un cambio tectónico, a mejor o a peor —la llegada de un poderoso líder religioso o político, una declaración de independencia, el final de la esclavitud— o, por otra parte, hechos como la caída del Imperio romano, las grandes plagas, las guerras mundiales.

Y eso también ocurre en el mundo de las artes. Así, Virginia Woolf tiene una famosa frase: «Más o menos en diciembre de 1910, el carácter humano cambió», que hace referencia a la explosiva exposición de las telas postimpresionistas que se celebró en Londres aquel año. Y cuando se anunció el descubrimiento del núcleo, Wassili Kandinski escribió: «La caída del modelo de átomo equivalió, en mi alma, a la caída del mundo entero. De pronto cayeron los muros más gruesos [...]», y él pudo cambiar a un nuevo estilo de pintura.

Cada uno de estos sucesos capaces de cambiar el mundo tiende a provocar una gran perplejidad o angustia. De pronto, en el tejido familiar de la historia, se abren fisuras que requieren explicaciones, con tratados publicados año a año, cada uno intentando aportar una respuesta, buscando en la causa de la consternación.

Me centraré aquí en uno de estos fenómenos.

En el año 1611, John Donne publicó su poema *The First Anniversary*, que contiene los conocidos versos: «Y una nueva filosofía lo pone todo en cuestión, / el elemento fuego está bastante apagado» y, más adelante, «[...] se vuelve a hacer añicos hasta sus átomos / todo él a trocitos, sin rastro de coherencia;/ todo reducido a reserva, y todo Relación». Él y muchos otros sentían que el viejo orden y unidad habían sido desplazados por el relativismo y la discontinuidad. La explicación de esta angustia fue un hecho totalmente inesperado del año anterior: el descubrimiento por parte de Galileo del hecho de que la luna tiene montañas, que Júpiter tiene montañas, que hay muchísimas más estrellas de las que se habían conocido.

Sobre este hecho y sus posteriores hallazgos, la historiadora Marjorie Nicolson escribió: «Tal vez podamos datar el inicio del pensamiento moderno la noche del 7 de enero de 1610, cuando Galileo, a través del instrumento que él mismo había desarrollado [el telescopio], pensó que percibía nuevos planetas y nuevos mundos ampliados».

Lo cierto es que con esta obra, Galileo dio una explicación profunda y elegante a la pregunta de cómo está organizado nuestro cosmos, por muy doloroso que eso les hubiera podido resultar a los aristotélicos y a los poetas de su época. Finalmente, la teoría copernicana, formulada mucho tiempo atrás, cobraba más credibilidad. Desde ese enorme paso en adelante pudieron nacer nueva ciencia y nueva cultura.

**La hormesis es
redundancia**



NASSIM NICHOLAS TALEB

Profesor distinguido de ingeniería del riesgo,
NYU-Poly; autor de *El cisne negro: el
impacto de lo altamente improbable*

La naturaleza es maestra en estadística y probabilidad. Sigue cierta lógica basada en capas de redundancias, como un enfoque central de gestión del riesgo. La naturaleza crea con partes sobrantes (dos riñones) y capacidad extra en muchas, muchas cosas (por ejemplo, los pulmones, el sistema neurológico, el aparato arterial), mientras que los diseños de los humanos tienden a ser justos y bien optimizados, y tienen el atributo opuesto a la redundancia, es decir, el apalancamiento. Tenemos un historial muy largo de meternos en deudas, que es lo contrario de la redundancia (tener 50.000 dólares extra en efectivo en el banco o, todavía mejor, debajo del colchón, es redundancia; deberle al banco una cantidad equivalente es deuda).

Ahora, de modo extraordinario, el mecanismo llamado hormesis es una forma de redundancia, estadísticamente sofisticado en maneras en que la ciencia humana (hasta el momento) nos ha fallado.

La hormesis ocurre cuando una pequeña cantidad de sustancia dañina, o estresante, en la dosis o con la intensidad adecuadas, estimula el organismo y lo mejora, lo refuerza, lo hace más sano y lo prepara para una dosis mayor a la siguiente exposición. Éste es el motivo por el cual vamos al gimnasio, nos sometemos a ayunos intermitentes o a la privación calórica, o compensamos los retos endureciéndonos. La hormesis perdió parte del respeto, el interés y la práctica científicos después de los años treinta, en parte porque había gente que, erróneamente, la asoció con la práctica de la homeopatía. La asociación era injusta, puesto que los mecanismos son extremadamente distintos. La homeopatía se basa en otros principios, como el que dice que dosis diminutas

y muy diluidas de los agentes de una enfermedad (tan pequeñas que apenas son perceptibles, y por lo tanto no pueden provocar hormesis) podrían ayudar a medicar contra la propia enfermedad. Eso ha demostrado tener poca base empírica y actualmente pertenece a la medicina alternativa, mientras que la hormesis, como efecto, ha demostrado contar con una amplia evidencia científica.

Ahora resulta que las lógicas de la redundancia y la de la sobrecompensación son la misma, como si la naturaleza tuviera un estilo simple, elegante y uniforme de hacer las cosas. Si, por ejemplo, ingiero 15 miligramos de una sustancia venenosa, mi cuerpo se hará más fuerte, preparándose para recibir 20 o más miligramos. Estresar mis huesos (con la práctica del kárate o acarreando cubos de agua sobre la cabeza) provocará que se preparen para una mayor tensión, haciéndose más densos y fuertes. Un sistema que sobrecompensa está necesariamente funcionando en modo «sobreactuado», creando capacidad y fuerza añadidas en anticipación de la posibilidad de un resultado peor, en respuesta a información sobre la posibilidad de un peligro. Ésta es una manera muy sofisticada de descubrir probabilidades vía elementos estresantes. Y, por supuesto, esta capacidad o fuerza extra se vuelve útil —por ella misma— como oportunidad, puesto que se puede utilizar para algún beneficio hasta en ausencia del peligro. La redundancia es una postura agresiva, no defensiva, ante de vida.

Por desgracia, nuestros métodos institucionales de gestión del riesgo son enormemente diferentes. La práctica habitual actual consiste en mirar al pasado y buscar el peor de los casos, lo que se conoce como «prueba de estrés», y hacer los ajustes correspondientes, sin imaginar nunca que, de igual manera que el pasado experimentó una desviación considerable de la que no se tenían precedentes, tal desviación podría resultar insuficiente. Por ejemplo, los sistemas actuales toman la peor recesión de la historia, la peor guerra, el peor movimiento histórico en tipos de interés, el peor índice de desempleo, etc., como referencia para el peor resultado futuro. Muchos de nosotros nos hemos sentido frustrados —muy frustrados— por este método de poner a prueba el estrés por el que la gente nunca sobrepasa lo que ha ocurrido en el pasado, y hasta nos hemos tenido que enfrentar a la típica expresión de

empirismo ingenuo («¿Tienes alguna prueba?») cuando hemos sugerido que habría que tener en cuenta algo peor.

Y, por supuesto, estos sistemas no hacen mentalmente el ejercicio recursivo de ver lo obvio: que el peor acontecimiento del pasado por sí mismo no tuvo un predecesor de igual magnitud, y que alguien que hubiera empleado como referente el peor caso de la historia europea antes de la Gran Guerra se habría quedado atónito. Es lo que llamo la subestimación de Lucrecio, por el poeta y filósofo romano que decía que el bobo cree que la montaña más alta que hay tiene que ser igual a la más alta que él ha visto. Danny Kahneman escribió, apoyándose en las palabras de Howard Kunreuther, que las «acciones de protección, ya sea por parte de los individuos o por parte de los gobiernos, suelen estar diseñadas para adecuarse al peor desastre experimentado en la realidad [...]. Las imágenes de desastres todavía peores no son fáciles de imaginar».[49] Por ejemplo, en el Egipto faraónico, los escribas trazaban la marca del nivel máximo de las aguas del río y la usaban como peor posibilidad que temer. Ningún economista había probado lo obvio: ¿ocurren los acontecimientos extremos de acuerdo con lo sucedido en el pasado? Por desgracia, los test de refuerzo dicen: «Lo siento, pero no».

La misma falta peligrosa de escrúpulos puede observarse en la metodología usada para el reactor nuclear de Fukushima, construido siguiendo el peor cataclismo del pasado y sin imaginar y extrapolar a algo mucho peor. Pues bueno, la naturaleza, a diferencia de los ingenieros del riesgo, se prepara para lo que no ha ocurrido jamás, asumiendo que un daño peor es posible.

Así, si los humanos libraron la última batalla, la naturaleza librará la próxima. Es evidente que hay un límite biológico a nuestra sobrecompensación.

Esta forma de redundancia sigue siendo mucho más extrapolativa que nuestras mentes, que son intrapolativas.

El gran Benoit Mandelbrot, fallecido hace más de dos años, vio la misma autosimilaridad fractal en la naturaleza y en las probabilidades de los acontecimientos históricos y económicos. Es emocionante ver cómo los dos campos se unen bajo el concepto de redundancia basada en lo fractal.

Posdata: La palabra «adecuación» en el discurso científico común no

parece ser lo bastante precisa. Soy incapaz de saber si lo que se llama «adecuación darwiniana» es meramente una adaptación intrapolativa al entorno actual o si contiene un ingrediente de extrapolación estadística. Dicho de otro modo, hay una diferencia considerable entre la solidez (no perjudicada por factores estresantes) y lo que he llamado antifragilidad (es decir, que se beneficia de los factores estresantes).

**La bonita ley de las
consecuencias no
intencionadas**



ROBERT KURZBAN

Profesor adjunto de psicología evolutiva,
Universidad de Pensilvania; director,
Pennsylvania Laboratory for Experimental
Evolutionary Psychology (PLEEP); autor de
Why Everyone (Else) is a Hypocrite

Según la guía de mi visita turística por el barrio The Rocks de Sídney, Australia, cuando la plaga asoló la ciudad hacia el año 1900, se instituyó una compensa por las ratas para fomentar que la gente las matara, puesto que se sabía que las ratas eran portadoras de las pulgas que transmitían la enfermedad a los humanos. La intención de la recompensa era lo bastante clara: reducir la población de ratas para reducir la extensión de la plaga. No obstante, una consecuencia no intencionada fue que los residentes, tentados por la recompensa de las ratas, empezaron a criarlas.

La ley de las consecuencias no intencionadas se asocia a menudo al sociólogo estadounidense Robert Merton, aunque su espíritu general se presenta bajo formas diversas, siendo una de las más célebres la noción de la «mano invisible» de Adam Smith, y tiene algo de deliciosa por su caos, como si la Naturaleza estuviera continuamente hurgándose las narices ante nuestros intentos por controlarla.

La idea es que cuando las personas intervienen en los sistemas con muchos elementos en movimiento —especialmente los sistemas ecológicos y económicos—, la intervención, debido a las complejas interrelaciones entre las partes del sistema, tendrá efectos más allá de los perseguidos, incluyendo muchos que eran imprevistos e impredecibles.

Los ejemplos abundan. Volviendo a Australia, uno de los ejemplos más conocidos de consecuencia no intencionada es el caso de las liebres,

introducidas por la Primera Flota como alimento, que se dejaron en libertad para cazarlas y se dio la consecuencia no intencionada de que la población de liebres creció hasta proporciones asombrosas, lo que provocó una devastación ecológica inaudita. Esto, a su vez, llevó a la implantación de medidas para controlar a las liebres, incluyendo una verja excepcionalmente larga, que en la década de los treinta provocó la consecuencia no intencionada de guiar a tres niñas hasta su casa, lo que a su vez tuvo la consecuencia no intencionada de inspirar una película premiada llamada *Generación robada* (2002).

Estas cadenas de consecuencias ocurren porque hacer cambios en un fragmento de un sistema con muchas partes que interactúan provoca cambios en otras secciones del sistema. Porque muchos de los sistemas que intentamos influir son complejos y no los entendemos del todo —cuerpos, hábitats, mercados—, por lo que es probable que haya consecuencias que resultan difíciles de predecir.

Esto no equivale a decir que las consecuencias serán siempre indeseables. Hace poco tiempo, ciertas localidades cambiaron las leyes que regulan el consumo de la marihuana, lo que facilitó su obtención para fines médicos. La ley podía haber reducido o no el sufrimiento de las víctimas de glaucoma, pero los datos derivados de los accidentes de tráfico sugieren que el cambio en la legislación redujo efectivamente los accidentes fatales de carretera en aproximadamente un 9 por ciento. (La gente sustituyó el alcohol por la marihuana y, al parecer, conducen mejor fumados que bebidos.) Salvar vidas de conductores no había sido la intención de la ley, pero sí fue el efecto. Otro ejemplo, menor en escala pero que me afecta más de cerca, fue el reciente aumento abrupto en una tercera parte de las tarifas de estacionamiento en University City, Filadelfia, en donde trabajo. La intención de la ley era aumentar la recaudación para ayudar a financiar los centros educativos del municipio; una consecuencia no intencionada —porque los estudiantes se veían desmotivados para pagar el precio más alto— es que ahora puedo confiar en encontrar una plaza de parking cuando voy a la facultad en coche.

La intervención en cualquier sistema complicado tiene tendencia a producir efectos no intencionados. Tratamos a los pacientes con antibióticos, y seleccionamos cepas resistentes de patógenos. Seleccionamos artificialmente

bulldogs de caras arrugadas y nos aparecen rasgos menos deseables, como los problemas respiratorios. Tratamos el mareo matinal de las embarazas con talidomida y provocamos defectos congénitos en los bebés.

En la esfera económica, la mayoría de las políticas tienen varios tipos de efecto llamada, y las prohibiciones e inhabilitaciones son las que ofrecen algunos de los ejemplos más profundos, incluyendo, por supuesto, la Ley Seca, que por sí misma desencadenó varias consecuencias, entre ellas, puede afirmarse, el aumento del crimen organizado. Como los gobiernos suelen prohibir sólo las cosas que a la gente le gustan, cuando llegan las prohibiciones, la gente encuentra maneras de satisfacer estos gustos, ya sea a través de sustitutos o a través del mercado negro; ambas opciones provocan consecuencias variadas. Si prohíbes los refrescos gaseosos, las bebidas isotónicas incrementan las ventas. Si prohíbes la venta de riñones, nace un mercado negro internacional de órganos y cirugías ilegales. Si prohíbes la caza de leones en el campo, pones en peligro a los corredores locales.

Hay algo extrañamente bello en los bucles que traza la causalidad en los sistemas complejos, que tiene el mismo encanto que encontramos en la deliberada falta de elegancia de las máquinas de Rube Goldberg.[\[50\]](#) Y nada de esto significa que las inevitables posibilidades de ser sorprendidos por nuestras intervenciones tengan que hacernos ceder ante el pesimismo. Más bien nos recuerda que debemos practicar la precaución y la humildad. A medida que vamos aumentando gradualmente nuestra comprensión de los sistemas amplios y complicados, iremos desarrollando nuevas formas de contemplar las consecuencias no intencionadas de nuestras acciones. Ya disponemos de algunos parámetros de guía: la gente encontrará sustitutos de los productos prohibidos o muy gravados por los impuestos; eliminar una especie de una pirámide ecológica acostumbra a penalizar a las poblaciones que se alimentan de ella y ayuda a las especies que compiten con ella, etc. Así, aunque probablemente siempre habrá consecuencias no intencionadas, no tienen por qué ser del todo inesperadas.

Somos lo que hacemos



TIMOTHY D. WILSON

Cátedra Sherrell J. Aston de psicología,
Universidad de Virginia; autor de *Redirect:*
The Surprising New Science of Psychological
Chance

La gente se convierte en lo que hace. Esta explicación del cómo la gente adquiere actitudes y rasgos data del difunto filósofo británico Gilbert Ryle, pero fue el psicólogo social Daryl Bem en su teoría de la autopercepción quien la formalizó. La gente hace deducciones sobre quién es, sugiere Bem, observando su propia conducta.

La teoría de la autopercepción pone boca abajo la sabiduría popular. Las personas actúan como lo hacen debido a sus rasgos de personalidad y sus actitudes, ¿no? Devuelven a su dueño la cartera que se han encontrado porque son honestas, reciclan la basura porque se preocupan por el medio ambiente, y pagan cinco dólares por un *caramel brûlé latte* porque disfrutan del café sofisticado. Es evidente que la conducta emana de nuestras disposiciones interiores, pero la aportación de Bem fue sugerir que lo contrario también es cierto. Cuando acabamos de llevar la basura reciclada hasta el contenedor adecuado, deducimos que el medio ambiente nos preocupa realmente. Y cuando nos tomamos el café *latte*, asumimos que somos expertos en café.

Cientos de experimentos han confirmado la teoría y han mostrado cuándo es más probable que este proceso de autoinferencia tenga lugar (por ejemplo, cuando la gente se cree que ha elegido libremente comportarse como lo han hecho, y cuando no estaban convencidos desde el principio de cómo se sentían).

La teoría de la autopercepción es elegante en su simplicidad, pero es también profunda, con importantes implicaciones para la naturaleza de la

mente humana. Otras dos ideas potentes se derivan de ella. La primera es que para nosotros mismos somos desconocidos. Al fin y al cabo, si conociésemos nuestras mentes, ¿por qué deberíamos adivinar cuáles son nuestras preferencias a partir de nuestra conducta? Si nuestra mente fuera un libro abierto, sabríamos exactamente lo honestos que somos y hasta qué punto nos gusta el café *latte*. En cambio, a menudo tenemos que observar nuestra conducta para saber quiénes somos. La teoría de la autopercepción, por tanto, anticipó una revolución en psicología en el estudio de la consciencia humana, una revolución que reveló los límites de la introspección.

Pero resulta que no sólo usamos nuestro comportamiento para revelar nuestras disposiciones, es decir, deducir disposiciones que antes no estaban ahí. A menudo, nuestra conducta está modelada por presiones sutiles de nuestro alrededor, pero no somos capaces de reconocer estas presiones. Así, creemos erróneamente que nuestra conducta ha sido fruto de alguna disposición interna. Tal vez no seamos particularmente dignos de confianza y, en realidad, hubiéramos devuelto la cartera para impresionar a la gente que nos rodea. Pero, cuando no somos capaces de reconocerlo, deducimos que nos guiamos por una honestidad a prueba de bombas. Tal vez reciclemos porque el municipio nos lo pone fácil (regalándonos un cubo y recogiéndonos el material reciclado cada jueves) y porque nuestra pareja y nuestros vecinos nos regañarían si no lo hiciéramos. Pero en vez de reconocer estos motivos, asumimos que podríamos ser nominados para el premio Vecino Verde del Mes. Hay incontables estudios que demuestran que las personas somos muy susceptibles a la influencia social, pero que en raras ocasiones reconocemos todo el abasto de esta susceptibilidad, y por tanto atribuimos erróneamente su cumplimiento a sus deseos reales.

Como todas las buenas explicaciones psicológicas, la teoría de la autopercepción tiene aplicaciones prácticas. Está implícita en varias versiones de la psicoterapia, en la que los clientes son impulsados a cambiar primero su conducta, asumiendo que ello irá acompañado de disposiciones internas. Se ha empleado para evitar embarazos en la adolescencia, consiguiendo que personas menores de veinte años presten servicios a la comunidad. El trabajo voluntario desencadena un cambio en la imagen que tienen de ellas mismas y

las hace sentir más parte de su comunidad y menos inclinadas a embarcarse en conductas de riesgo. En resumen, todos deberíamos hacer caso del consejo de Kurt Vonnegut: «Somos lo que fingimos ser, de modo que debemos tener cuidado con lo que fingimos ser».

**Diferencias de
personalidad: la
importancia del azar**



SAMUEL BARONDES

Cátedra Jeanne and Sanford Robertson de
neurobiología y psiquiatría, Universidad de
California-San Francisco; autor de *Making
Sense of People*

En la edad de oro de la filosofía griega, Teofrasto, el sucesor de Aristóteles, planteó una pregunta por la que se le sigue recordando: «¿Cómo ha llegado a suceder que, a pesar de que toda Grecia posee el mismo clima y de que todos los griegos tenemos una educación parecida, en cambio, no tenemos la misma constitución de carácter [personalidad]?» La pregunta es especialmente notable porque apela a nuestro sentido de quién es cada uno de nosotros, y ahora sabemos lo bastante como para ofrecerle una respuesta: cada personalidad refleja las actividades de circuitos cerebrales que se desarrollan gradualmente bajo la dirección combinada del conjunto singular de genes y de experiencias de la persona. Lo que convierte en tan profundas las implicaciones de esta respuesta es que llevan a la inevitable conclusión de que las diferencias de personalidad están enormemente influidas por el azar.

Hay dos tipos de acontecimientos azarosos que influyen la contribución genética a la personalidad. El primero y más evidente de todos son las circunstancias que llevaron a juntarse al padre y la madre de esa persona. Cada uno de ellos tiene una colección particular de variantes genéticas —una muestra personal de las variantes que se han acumulado en el genoma humano colectivo—, y los dos repertorios genéticos paternos ponen los límites en las posibles variantes que se pueden transmitir a sus descendientes. El segundo acontecimiento azaroso es la unión impredecible del óvulo y el espermatozoide concretos que hacen al retoño, cada uno de los cuales contiene una selección aleatoria de la mitad de las variantes genéticas de cada

progenitor. La interacción de la singular mezcla resultante de las variantes genéticas maternas y paternas es lo que desempeña un papel esencial en el proceso de desarrollo de veinticinco años que tarda en desarrollarse totalmente el cerebro y la personalidad de aquella persona. Así, dos accidentes de nacimiento —los padres que nos conciben y la combinación de óvulo/espermatozoide que nos hace— tienen una influencia decisiva en el tipo de personas en que nos convertimos.

Pero los genes no actúan solos. Aunque hay programas innatos de expresión genética que siguen desplegándose a lo largo de la primera edad adulta para dirigir la construcción de esbozos de circuitos cerebrales, estos programas están diseñados específicamente para incorporar información del mundo físico y social de la persona. Parte de esta adaptación a las circunstancias particulares de la persona tiene que llegar en períodos concretos del desarrollo, llamados períodos críticos. Por ejemplo, los circuitos cerebrales que controlan la entonación característica del idioma nativo de una persona están abiertos a la influencia del entorno sólo durante una ventana limitada del desarrollo.

Y de la misma forma que el azar influye el conjunto particular de genes con el que nacemos, también lo influencia el entorno particular en el que nacemos. De la misma forma que nuestros genes nos inclinan a ser más o menos amables, o seguros, o de fiar, los mundos en los que crecemos nos inclinan a adoptar determinados objetivos, oportunidades y normas de conducta. Los aspectos más obvios de estos mundos son culturales, religiosos, sociales y económicos, cada uno de ellos transmitido por agentes críticos: nuestros padres, hermanos, maestros y compañeros. Y el contenido específico de estas importantes influencias —la época, lugar, cultura concretos en los que hemos nacido— es tanto un juego de dados como el contenido específico del óvulo y el espermatozoide que nos formaron.

Obviamente, el azar no es el destino. Reconocer que acontecimientos azarosos contribuyen a las diferencias individuales de personalidad no significa que cada vida esté predeterminada o que no exista la libre voluntad. La personalidad que es fruto de los accidentes biológicos y socioculturales del nacimiento se puede modificar deliberadamente de muchas maneras, hasta en

la edad madura. No obstante, los acontecimientos azarosos que dirigen el desarrollo cerebral de nuestras primeras décadas dejan residuos duraderos.

Por tanto, cuando pensamos en una personalidad concreta, resulta útil tener presente el potente papel que el azar ha desempeñado en su construcción. Reconocer la importancia del azar en nuestras diferencias individuales no sólo elimina parte de su misterio, sino que también puede tener consecuencias morales, puesto que promueve la comprensión y la compasión hacia la amplia variedad de personas con las que compartimos nuestras vidas.

**Síndrome metabólico:
¿adaptaciones de la
energía celular en un
mundo tóxico?**



BEATRICE GOLOMB

Profesora de medicina, Universidad de
California-San Diego

El síndrome metabólico (MetSyn) ha sido etiquetado de epidemia del siglo XXI. El MetSyn es una acumulación de síntomas que incluye un índice de masa corporal (IMS) alto, de azúcar en sangre alto, hipertensión, triglicéridos, circunferencia de la cintura ancha y/o un colesterol HDL («bueno») bajo. Las epidemias de la obesidad y la diabetes están muy relacionadas y acompañan al incremento meteórico de casos de MetSyn.

La visión predominante es que el MetSyn se debe a una saturación de calorías alimentarias («energía») consumidas y a una escasez de gasto de energía a través del ejercicio, lo que desencadena un aumento de peso —un excedente de energía— con el resto de las características que surgen en consecuencia. Al fin y al cabo, tenemos acceso a las calorías y somos mucho más sedentarios que en tiempos pretéritos. Los factores desencadenantes del MetSyn están todos asociados, en poblaciones por lo demás sanas, a una mayor mortalidad.

Pero esta visión deja muchas preguntas sin respuesta: ¿por qué están correlacionados los elementos del MetSyn? ¿Por qué las personas obesas de hoy tienen más tendencia a sufrir diabetes que antaño? ¿Por qué hay elementos del MetSyn que actualmente aparecen en la infancia? ¿Por qué se está materializando el MetSyn en países pobres y del tercer mundo?

La explicación habitual crea también paradojas. Si el MetSyn es fruto de un exceso de energía, ¿por qué los siguientes factores, que reducen el aporte de energía o aumentan su demanda, promueven el MetSyn, en vez de proteger de él?

- La apnea del sueño (un factor de riesgo mucho más alto que ser obeso; además, el tratamiento de la apnea beneficia a todos los elementos del MetSyn)
- Las dietas hipocalóricas o ultrahipocalóricas
- El ayuno, saltarse comidas
- Dietas que favorecen la hipoglucemia (las dietas altas en carbohidratos, bajas en grasa o bajas en proteína provocan un pico de insulina sin oposición)
- Sueño deficiente (mayor gasto energético en estado de vigilia)
- Enfermedad, lesiones, cirugías (alta exigencia energética)
- Clima frío (que exige un gasto energético para la termogénesis)
- Deficiencia de nutrientes y de antioxidantes (precisa adecuación para producir energía)
- Exposición a estresantes oxidativos (perjudica la función de las mitocondrias, que son los elementos de las células que producen energía)
- Patología mitocondrial

¿Por qué los factores que protegen del déficit de energía (antioxidantes como el cacao y la canela, o la coenzima Q10, que protege las mitocondrias) reducen los factores de riesgo de MetSyn?

¿Por qué hacer ejercicio, que implica un gasto de energía pero impulsa la producción de energía por sus efectos antioxidantes, la biogénesis mitocondrial, la circulación mejorada y la también mejor función cardiopulmonar (lo cual potencia la entrada, la salida y la conversión en energía del oxígeno) reducen los factores de riesgo de MetSyn?

¿Por qué el MetSyn deja de incrementar de la mortalidad (de hecho, a veces potencia la supervivencia) cuando el grupo estudiado es de edad avanzada o sufre de fallo cardiaco o de enfermedades graves del riñón (ambas patologías que dificultan la energía celular)?

Supongamos que la explicación correcta fuera exactamente la contraria de la comúnmente aceptada. ¿Podría ser que los rasgos de MetSyn sean una respuesta adaptativa ante una energía inadecuada? Al fin y al cabo, los depósitos de grasa, la glucosa y los triglicéridos son todos ellos fuentes

acesorias de energía (el oxígeno es una fuente primaria); la presión sanguínea es necesaria para hacer llegar estos elementos a los tejidos, en especial cuando están infraperfusionados. La energía celular, esencial para la supervivencia de las células y el organismo, se necesita continuamente; sin oxígeno sólo podemos sobrevivir unos minutos. El abanico no es tan amplio: las poblaciones en las que generaciones anteriores sufrieron carencia de energía, actualmente han visto incrementados los casos de obesidad/ MetSyn, y se considera que el bajo aporte de energía *in utero* favorece el MetSyn en la edad adulta.

Eso explica directamente, a pesar de que la visión del exceso de energía no lo hace, por qué el MetSyn existe: por qué un nivel alto de glucosa, triglicéridos, de presión sanguínea (que transporta oxígeno, glucosa, nutrientes), y los depósitos de grasa abdominal coinciden estadísticamente. Explica por qué otras adaptaciones que apoyan la energía, como los ácidos grasos libres y la grasa ectópica (metabólicamente activa), como el hígado graso, el páncreas graso, el riñón graso y hasta las manchas grasas en los vasos sanguíneos, acompañan a estos factores del MetSyn; por qué el MetSyn está asociado a la fatiga y a un aumento de la duración del sueño (que conserva la energía). De hecho, un aumento del consumo calórico y una reducción del ejercicio —la habitual explicación del MetSyn— también surgen como adaptaciones energéticas asociadas. Así, se puede decir que este punto de vista no es antitético del punto de vista canónico, pero en un sentido lo incorpora. Explica, como no es capaz de hacerlo la visión del exceso de energía, la población en riesgo de MetSyn, como los ancianos (la función mitocondrial declina exponencialmente con la edad), las personas aquejadas de apnea del sueño, o cualquier causa de impedimento recurrente de producción de energía. Y explica por qué, en estudios centrados en personas con trastornos que deterioran la energía, a los aquejados de rasgos de MetSyn, paradójicamente, no les va peor, ni tampoco mejor.

¿Por qué, entonces, es el MetSyn una epidemia? Numerosos cambios seculares adversos a la energía incluyen pseudoalimentos pobres en nutrientes, bajos en antioxidantes y altos en prooxidantes (los nutrientes son necesarios para la maquinaria productora de energía, y los antioxidantes protegen del

estrés oxidativo, cuyo objetivo principal son las mitocondrias, las partes de las células que producen energía), el declive de la ingesta de comidas equilibradas, y la composición de macronutrientes que promueve la hipoglucemia (los carbohidratos simples sin grasa o proteína provocan picos de insulina, con el consiguiente descenso de la glucosa). Pero un factor elemental es la explosión en nuestro entorno de estresantes oxidativos que entorpecen la función de las mitocondrias y del ADN que contienen. Por ejemplo:

- Metales y metales pesados (mercurio del pescado, jarabe de maíz con alto contenido en fructosa, bombillas rotas; el arsénico que promueve el crecimiento de los pollos; los adyuvantes de aluminio en las vacunas de los niños)
- Plásticos con bisfenol A
- Productos del cuidado personal (ingredientes de las cremas solares, lociones, tintes, cosméticos, detergentes, suavizantes, acondicionadores)
- Productos de limpieza
- Muebles y ropa con formaldehído (contrachapado, algodón que no precisa planchado)
- Petroquímicos, productos de la combustión
- Campos electromagnéticos (electrónica, móviles, etc)
- Retardantes de fuego (en pijamas, ropa de cama)
- Productos de lavado en seco
- Ambientadores
- Pesticidas, herbicidas (potentes estresantes de la oxidación, ahora aplicados regularmente en hogares y edificios de oficinas y en lugares de ocio)
- Instalaciones contra las termitas
- Medicamentos, incluidos los antibióticos (tanto la exposición directa o su consumo a través de alimentos)
- Jabones antimicrobianos con ingredientes activos que no llegan a filtrarse por el suministro de agua
- Contaminantes del agua y del aire

- Ingredientes artificiales en los alimentos (grasas trans, edulcorantes artificiales, tintes, conservantes)

La hipótesis del déficit de energía («célula hambrienta») explica muchos hechos para los cuales la visión dominante no da información. Las observaciones supuestamente paradójicas en la visión estándar se revelan impecables. La hipótesis hace predicciones demostrables, por ejemplo, que muchas otras exposiciones a estrés oxidativo y al entorpecimiento de las mitocondrias que todavía no han sido evaluadas promoverán uno o más elementos del MetSyn. Para factores relacionados en ambos extremos con el MetSyn —por ejemplo, la duración corta y larga del sueño—, el que provoca una alteración de la energía demostrará que causa MetSyn, y el que apoya la producción de energía servirá como consecuencia adaptativa asociada.

Esta reformulación corrige un problema importante. Hay quien piensa que el MetSyn está previsto que se cargue lo que hemos ganado en longevidad. La conclusión tal vez sea sorprendente, y debería precipitar una revisión de nuestra manera de ver, no sólo el MetSyn, sino también sus soluciones.

**Con la muerte saldamos la
cuenta**



EMANUEL DERMAN

Profesor de práctica profesional, Universidad de Columbia; antiguo director administrativo de Goldman Sachs; autor de *Models. Behaving. Badly*

«El sueño es el interés que debemos pagar sobre el capital que se cobra a la muerte; cuanto mayor es el tipo de interés y cuanto más regularmente se pague, más se aleja la fecha de amortización.»

Así escribió Arthur Schopenhauer, comparando la vida con las finanzas en un universo que tiene que mantener el balance de sus libros. Al nacer, recibes un préstamo: consciencia y luz prestados de la nada, dejando un hueco en el vacío. El hueco se hará más grande cada día. Por la noche, al ceder temporalmente a la oscuridad del sueño, restauras parte del vacío y evitas que el hueco crezca ilimitadamente. Al final, debes devolver el capital, completar el hueco, y devolver la vida originariamente prestada.

Centrándose en la naturaleza periódica del sueño y de los pagos de intereses, Schopenhauer extiende la metáfora a tomar prestado de la propia vida. La vida y la consciencia son el capital principal, la muerte es el saldo final, y el sueño es *la petite mort*, la pequeña muerte periódica que renueva.

Infinitudes denumerables y estados mentales



DAVID GELERNTER

Científico informático, Universidad de Yale;
director científico de Mirror Worlds
Technologies; autor de *America-Lite: How
Imperial Academia Dismantled Our Culture
(and Ushered in the Obamacrats)*

Mis favoritas:

1. La explicación del matemático alemán del siglo XIX Georg Cantor de por qué todas las infinitudes denumerables son del mismo tamaño —por qué, por ejemplo, el conjunto de todos los enteros es del mismo tamaño que el conjunto de todos los enteros positivos, o de todos los enteros pares— y por qué algunas infinitudes son mayores que otras. (El conjunto de todos los números racionales es del mismo tamaño que el conjunto de todos los enteros, pero el conjunto de todos los números reales —decimales terminables y periódicos— es mayor.) El conjunto de todos los enteros positivos es del mismo tamaño que el conjunto de todos los enteros positivos pares; para verlo, ponlos todos en fila, uno a uno. 1 se apareja con 2 (el primer par entero positivo), 2 con 4, 3 con 6, 4 con 8, etc. Se pensaría que habría más enteros positivos que pares; pero este emparejamiento muestra que ningún entero positivo quedará nunca sin pareja. (Y, así, todos bailan felizmente y no hay nadie que haga de feo del baile.) Las otras demostraciones son parecidas por su asombrosa simplicidad, pero mucho más fáciles de demostrar en una pizarra que de describir con palabras.
2. Igual de favorita: la demostración del filósofo John Searle de que ningún ordenador digital puede tener estados mentales (un estado mental es, por

ejemplo, tu estado mental cuando te digo «visualiza una rosa roja» y tú lo haces), que no pueden crearse mentes a partir de software. Un ordenador digital sólo puede realizar aritmética trivial y seguir instrucciones lógicas. Tú también puedes; puedes ejecutar cualquier instrucción que puede ejecutar un ordenador. También te puedes imaginar a ti mismo ejecutando miles y miles de instrucciones triviales. Y luego pregúntate: «¿Puedo imaginar una nueva mente emergiendo a base de yo mismo haciendo miles y miles de instrucciones triviales?» No. O imagínate a ti mismo barajando una baraja de cartas. Y ahora barajando una baraja cada vez más y más grande. ¿Puedes ver aparecer la consciencia apareciendo en algún punto, cuando barajas una baraja lo bastante grande? Tampoco. Y la respuesta inevitable a la primera objeción inevitable: pero las neuronas sólo hacen una simple transmisión de señales. ¿Puedes imaginar la consciencia apareciendo de eso? Es una pregunta irrelevante. El hecho de que muchas neuronas formen una mente no tiene ninguna importancia en la pregunta de si mucho de cualquier cosa puede crear una mente. No puedo imaginarme siendo una neurona, pero puedo imaginarme ejecutando instrucciones de máquinas. Ninguna mente aparece, por muchas de estas instrucciones que ejecute.

Leyes inversas de potencias

RUDY RUCKER

Matemático, científico informático; pionero
del ciberpunk; novelista, autor de *Surfing the
Gnarl*

Estoy intrigado por el hecho empírico de que la mayoría de los aspectos de nuestro mundo y nuestra sociedad están distribuidos según las llamadas leyes inversas de potencias. Es decir, muchas curvas de distribución adoptan la forma de una curva que baja en picado desde un pico central para tener una larga cola que abraza el eje horizontal.

Las leyes inversas de potencias son elegantemente sencillas y profundamente misteriosas, pero más molestas que bellas. Las leyes de potencias inversas se autoorganizan y se automantienen. Por motivos que no se entienden del todo, aparecen de manera espontánea en un amplio abanico de computaciones paralelas, tanto de las ciencias sociales como naturales.

Uno de los primeros científicos sociales que identificó una ley de potencias inversas fue el filólogo George Kingsley Zipf, que formuló una observación ahora conocida como ley de Zipf. Se trata del hecho estadístico de que, en la mayoría de los documentos, la frecuencia con la que aparece una palabra concreta es aproximadamente proporcional a la inversa del rango de popularidad de la palabra. Así, la segunda palabra más popular se emplea la mitad de las veces que la palabra más popular, y la décima palabra en popularidad se usa una décima parte de la palabra más popular, y así sucesivamente.

En la sociedad, las gratificaciones están gobernadas por tipos de leyes inversas parecidas. Como autor, me he dado cuenta, por ejemplo, de que el autor más popular número cien vende cien veces menos libros que el autor que encabeza la lista. Si el primero vende un millón de ejemplares, alguien como

yo puede vender diez mil.

Los escribas contrariados a veces fantasean sobre un mercado utópico en el que la distribución que surge naturalmente en forma de ley inversa de la potencia, es decir, un programa de ventas que se guiara por una línea suavemente descendente, en vez de adoptar la forma de la actual curva que empieza por un pico indeciblemente alto y cae en picado para perderse por el eje horizontal.

Pero no hay ninguna manera obvia de que la curva de venta de los autores pudiera cambiarse. Desde luego, no hay esperanza de tener algún grupo gobernante que intente forzar una distribución distinta. Al fin y al cabo, la gente toma sus propias decisiones sobre qué libros quiere leer. La sociedad es un cálculo independiente, y hay aspectos que escapan al control.

Los aspectos de la ley inversa de las potencias de la distribución de la renta son particularmente inquietantes. Así, la segunda persona más rica de una sociedad puede poseer la mitad que la primera, y la décima más rica sólo una décima parte, y —por ahí, por los suburbios— la milésima persona más rica sólo gana una milésima parte de lo que gana la más rica.

Si ilustramos el mismo fenómeno de una manera un poco más cruda, en tanto que el consejero delegado de una empresa puede ganar 100 millones de dólares al año, un ingeniero de software de la misma empresa puede ganar sólo 100.000 dólares al año, y un trabajador de la cadena de montaje deslocalizada de la misma empresa puede ganar sólo 10.000 dólares al año, una diezmilésima parte de lo que gana el ejecutivo de más arriba.

Las distribuciones de la ley de potencias se pueden hallar también en los fines de semana de estrenos de películas, en el número de clics que obtienen las páginas web, y en los *share* de los programas de televisión. ¿Hay algún motivo por el que a los primeros clasificados les vaya tan bien y por el que los últimos se vean tan injustamente penalizados? La respuesta corta es no, no hay ningún motivo. No tiene por qué haber ninguna conspiración que distorsione las gratificaciones. Por muy molesto que parezca, las distribuciones según la ley inversa de potencias son una ley natural fundamental sobre el comportamiento de los sistemas. Son omnipresentes.

Las leyes inversas de potencias no se limitan a las sociedades, sino que

también dominan las estadísticas del mundo natural. El décimo lago más pequeño es probable que sea una décima parte del más grande; el centésimo árbol en tamaño probablemente es una centésima parte más pequeño que el más grande del bosque; la milésima piedra en tamaño será una milésima del tamaño de la roca más grande de la playa.

Nos gusten o no, las leyes inversas de potencias son tan inevitables como la turbulencia, la entropía o la ley de la gravedad. Dicho esto, en nuestro contexto social podemos moderarlo de alguna manera, y resultaría demasiado desesperante decir que no tenemos absolutamente ningún control sobre las disparidades entre los ricos y los pobres de nuestra sociedad.

Pero la estructura básica de las curvas de la ley inversa de potencias nunca desaparecerá. Nos podemos irritar ante una ley inversa de potencias, si queremos... o podemos aceptarla, tal vez con la esperanza de rectificarla hacia una curva que no caiga tanto en picado.

Cómo adquirió los topos el leopardo



SAMUEL ARBESMAN

Matemático aplicado, académico sénior,
Fundación Ewing Marion Kauffman

En una de sus famosas e impecables historias, Rudyard Kipling explicaba cómo adquirió los topes el leopardo. Si llevamos su enfoque a su conclusión lógica, necesitaríamos historias distintas para los patrones del pelaje de cada animal: los topes del leopardo, las manchas de la vaca, el color sólido de la pantera. Y tendríamos que añadir todavía más historias para el complejo dibujo de todo, desde los moluscos hasta los peces tropicales.

Pero lejos de que estos animales distintos requieran explicaciones separadas, hay una sola explicación subyacente que demuestra cómo se pueden adquirir todos estos patrones distintos, con una sola teoría unificada.

En 1952, con la publicación del artículo de Alan Turing titulado «The Chemical Basis of Morphogenesis», los científicos reconocieron que un sistema sencillo de fórmulas matemáticas podía dictar la variedad de maneras que los dibujos y los colores adoptan en los animales. Este modelo se conoce como reacción-difusión y funciona de una forma sencilla: imagina que tienes muchos ingredientes químicos, que se difunden por una superficie a ritmos distintos y que son capaces de interactuar. Mientras que en la mayoría de los casos la difusión, sencillamente, crea una uniformidad de un ingrediente químico concreto —pensemos en cómo la crema que añadimos al café se acabará extendiendo y disolviendo para crear un líquido de tono marrón más claro—, cuando varios ingredientes se difunden e interactúan, pueden provocar una no-uniformidad. Aunque eso tiene algo de contraintuitivo, no sólo ocurre sino que también puede generarse mediante un simple sistema de ecuaciones... lo que explica la exquisita variedad de dibujos que vemos en el mundo animal.

Los biólogos matemáticos llevan explorando las propiedades de las reacciones de reacción-difusión desde el artículo de Turing. Han descubierto que variar los parámetros puede generar los dibujos animales que vemos. Hay matemáticos que han examinado la manera en que el tamaño y la forma de la superficie es capaz de dictar los dibujos que vemos; a medida que se modifica el tamaño del parámetro, podemos pasar fácilmente de dibujos como los de la jirafa a los que vemos en las vacas de la raza Holstein.

Este elegante modelo puede incluso dar predicciones simples. Por ejemplo, en tanto que un animal a topos puede tener la cola a rayas (y ocurre a menudo), según el modelo, un animal a rayas no tendrá nunca la cola a topos. ¡Y es exactamente lo que vemos! Estas ecuaciones pueden generar la interminable variedad que observamos en la naturaleza, pero también mostrar las limitaciones inherentes a la biología. El impecable Kipling puede intercambiarse sin miedo por la elegancia y la generalidad de las ecuaciones de reacción-difusión.

El algoritmo universal de la toma de decisiones



STANISLAS DEHAENE

Neurocientífico, Collège de France; autor de
*Reading the Brain: The New Science of How
We Read*

El objetivo último de la ciencia, como dijo una vez el físico francés Jean Baptiste Perrin, ha de consistir en «sustituir la complejidad visible por una simplicidad invisible». ¿Puede la psicología humana alcanzar esta ambiciosa meta, el descubrimiento de reglas elegantes tras la aparente variabilidad del pensamiento humano? Muchos científicos siguen considerando la psicología como una ciencia «blanda» cuyos métodos y objeto de estudio son demasiado vagos, demasiado complejos y demasiado sumergidos en capas de complejidad cultural como para poder producir jamás generalizaciones matemáticas elegantes. Sin embargo, los científicos saben que este prejuicio es erróneo. La conducta humana obedece a leyes rigurosas de la mayor belleza y hasta necesidad matemática. Nombraré tan sólo una de ellas: la regla matemática por la cual tomamos decisiones.

Todas nuestras decisiones mentales parecen estar capturadas por una simple regla que entreteje algunas de las teorías matemáticas más elegantes de los siglos pasados: el movimiento browniano, la ley de Baye y la máquina de Turing. Empecemos por la más simple de todas las decisiones: ¿cómo decidimos que 4 es menor que 5? Los estudios psicológicos revelan muchas sorpresas detrás de esta simple proeza. La primera, que nuestra actuación es lenta: la decisión nos lleva casi medio segundo, desde el momento en que la cifra 4 aparece en una pantalla hasta el punto en que respondemos tocando un botón. La segunda, que nuestro tiempo de respuesta es altamente variable de una prueba a la otra, desde 300 a 800 milisegundos, aunque estemos respondiendo al mismo símbolo digital «4». La tercera, que cometemos

errores; suena ridículo, pero incluso cuando comparamos 4 con 5, a veces tomamos la decisión equivocada. Cuarta, que nuestra actuación varía con el significado de los objetos: somos mucho más rápidos y cometemos menos errores cuando los números están más alejados entre ellos (como 1 y 5) que cuando están cerca (como 4 y 5).

Todos los hechos anteriores, y muchos más, se pueden explicar con una sola ley: nuestro cerebro toma decisiones acumulando las pruebas estadísticas disponibles y comprometiéndose con una decisión siempre que el total exceda un umbral.

Dejadme desarrollar esta afirmación. El problema al que se enfrenta el cerebro al tomar una decisión es el de separar la señal del ruido. La llegada a cualquiera de nuestras decisiones está siempre llena de ruido: los fotones llegan a nuestra retina en momentos arbitrarios, las neuronas transmiten la información con una fiabilidad parcial, y por todo el cerebro se producen unas descargas neuronales espontáneas (puntas), lo cual añade ruido a cualquier decisión. Hasta cuando la información de entrada es un dígito, las grabaciones neuronales muestran que la cantidad correspondiente se codifica por una población ruidosa de neuronas que se dispara en momentos semialeatorios, con neuronas que dicen «creo que es el 4», otras que señalan «está cerca de 5» o «está cerca de 3», etc. Como el sistema de decisiones del cerebro sólo ve puntas sin etiquetar, en vez de símbolos totalmente definidos, separar el grano de la paja es un auténtico problema para él.

En presencia de ruido, ¿cómo puede uno tomar una decisión acertada? El primero que planteó una solución matemática a este problema fue Alan Turing, cuando estaba descifrando el código del Enigma en Bletchley Park. Turing halló un pequeño fallo técnico en la máquina del Enigma, que significaba que algunos de los mensajes alemanes contenían pequeñas cantidades de información, pero por desgracia demasiado poca para estar seguro del código subyacente. Se dio cuenta de que la ley de Bayes se podía explotar para que combinara todos los elementos independientes de pruebas. Si nos saltamos su parte matemática, la ley de Baye ofrece una manera sencilla de resumir todas las pistas sucesivas, más cualquier conocimiento anterior que tengamos, con el fin de obtener una estadística combinada que nos diga cuál es la suma de todas

las pruebas.

Con las aportaciones ruidosas, esta suma fluctúa arriba y abajo, puesto que hay mensajes entrantes que apoyan la conclusión, mientras que otros meramente le añaden ruido. El resultado es lo que los matemáticos llaman un camino aleatorio, una marcha fluctuante de números en función del tiempo. En cambio, en nuestro caso, los números tienen una actualidad: representan la mayor probabilidad de que una hipótesis sea cierta (por ejemplo, la mayor probabilidad de que el dígito introducido sea menor de 5). Así, lo racional es actuar como un estadístico y esperar hasta que las estadísticas acumuladas excedan un valor de probabilidad umbral. Si lo establecemos en $p=0,999$ significaría que tenemos una probabilidad entre mil de que sea incorrecto.

Observemos que podemos establecer el umbral en un valor arbitrario. Sin embargo, cuanto más alto lo ponemos, más debemos esperar para obtener la decisión. Hay un intercambio entre velocidad y precisión: podemos esperar mucho tiempo y tomar una decisión muy exacta pero conservadora, o podemos aventurar una respuesta antes al precio de cometer más errores. Sea cual sea nuestra elección, siempre cometeremos unos cuantos errores.

Basta decir que el algoritmo de decisión que he esbozado —que simplemente describe lo que debe hacer una criatura racional delante del ruido— está actualmente considerado como un mecanismo general de la toma de decisiones humana. Explica nuestros tiempos de respuesta, su variabilidad y la forma entera de su distribución. Describe por qué cometemos errores, qué relación tienen los errores con el tiempo de respuesta, y cómo establecemos el intercambio velocidad/exactitud. Se puede aplicar a todo tipo de decisiones, desde las sensoriales (¿he visto movimiento o no?) hasta las lingüísticas (¿he oído «tarro» o «carro»?) y a rompecabezas más elevados (¿debo hacer esta tarea antes o después?). Y en casos más complejos, como al resolver un cálculo de varios dígitos o una serie de tareas, el modelo caracteriza nuestra conducta como una secuencia de pasos acumulados y umbral, lo que acaba siendo una descripción excelente de nuestros cálculos en serie y esforzados tipo Turing.

Además, esta descripción conductual de la toma de decisiones está dando grandes progresos en el campo de la neurociencia. En el cerebro del mono, se

pueden registrar neuronas cuyos ritmos de descarga indican una acumulación de señales sensoriales relevantes. La distinción teórica entre acumulación de pruebas y umbral ayuda a diseccionar el cerebro en subsistemas especializados que tienen sentido desde un punto de vista de la teoría de las decisiones.

Como con cualquier ley científica elegante, hay muchas complejidades que esperan ser descubiertas. Probablemente no hay sólo un acumulador, sino varios, a medida que el cerebro va acumulando pruebas en cada uno de los varios niveles sucesivos del procesamiento. De hecho, el cerebro humano cada vez se adapta más a una espléndida máquina bayesiana que hace deducciones paralelas y toma decisiones masivas en cada etapa. Muchos de nosotros pensamos que nuestra sensación de seguridad, estabilidad y hasta de consciencia puede resultar de tales «decisiones» cerebrales de orden superior y, al final, caeremos presa del mismo modelo matemático. La valoración es también un ingrediente clave, uno que me he saltado, aunque es demostrable que desempeña un papel fundamental cuando sopesamos nuestras decisiones. Finalmente, el sistema está maduro de apriorismos, sesgos, presiones temporales y otras evaluaciones máximas que lo alejan de la estricta optimalidad matemática.

No obstante, en una primera aproximación, esta ley se erige como uno de los hallazgos más elegantes y productivos de la psicología del siglo XX: los seres humanos actuamos como estadísticos casi óptimos, y nuestras decisiones corresponden a una acumulación de las pruebas disponibles hasta algún umbral.

La máxima de Lord Acton



MIHALY CSIKSZENTMIHALYI

Profesor distinguido de psicología y
management, Claremont Graduate University;
director fundador del Quality of Life Research
Center de la CGU; autor de *Fluir: Una
psicología de la felicidad*

Espero que no me echen del corpus de las ciencias sociales si confieso que no se me ocurre ninguna explicación de nuestro campo que sea a la vez elegante y bella. Tal vez profunda... Creo que todavía somos demasiado jóvenes para tener explicaciones de este tipo. Pero hay una afirmación elegante y profunda (que, por desgracia, no es realmente una explicación) que se acerca a cumplir los criterios de la Pregunta Edge, y que encuentro muy útil, además de bellamente simple.

Me refiero a las conocidas palabras que escribió lord Acton en una carta desde Nápoles en 1887, en el sentido de que «el poder tiende a corromper, y el poder absoluto corrompe de manera absoluta». Al menos un filósofo de la ciencia ha escrito que, sobre esta frase, se podría levantar toda una ciencia de los seres humanos.

Encuentro que la frase ofrece la base para explicar cómo un pintor fracasado como Adolf Hitler y un seminarista fracasado como Joseph Stalin pudieron acabar con la sangre de millones de personas en sus manos; o cómo los emperadores chinos, los papas de Roma y la aristocracia francesa fueron incapaces de resistirse a los encantos del poder. Cuando una religión o ideología se vuelve dominante, la falta de controles resultará en espirales crecientes de licencia, lo que llevará a la degradación y a la corrupción.

Estaría bien que la máxima de Acton se pudiera desarrollar en una explicación exhaustiva antes de que las hegemonías de nuestra época, basadas

en la fe ciega en la ciencia y en la adoración de la «mano invisible», sigan formas más antiguas de poder hasta los basurales de la Historia.

Hechos, ficción y nuestro mundo probabilista



VICTORIA STODDEN

Académica de computación legal; profesora
adjunta de estadística, Universidad de
Columbia

¿Cómo separamos los hechos de la ficción? A menudo nos sorprendemos ante coincidencias aparentemente inusuales. Imaginemos ver una inscripción que describe un pez en tu lectura matutina, y entonces, a la hora del almuerzo, te sirven pescado y la conversación versa sobre los «April fish» o inocentes de Abril.[\[51\]](#) Esa tarde, un compañero del trabajo te muestra varias fotos de peces, y por la noche te regalan un bordado de monstruos marinos. Al día siguiente, una colega te dice que ha soñado con peces. Tal vez eso ya empiece a parecerle siniestro, pero resulta que no deberíamos encontrarlo sorprendente. El motivo tiene una larga historia, resultante en la información intuitiva de crear aleatoriedad directamente en nuestra comprensión de la naturaleza, a través de la distribución de probabilidad.

El azar como ignorancia

Tolstoi se mostraba escéptico de nuestra comprensión del azar. Puso el ejemplo de un rebaño de ovejas, una de las cuales había sido elegida para sacrificarla. A esta oveja concreta se le daba más comida por separado de las demás, y Tolstói se imaginaba que el rebaño, ignorante de lo que le esperaba, debía de encontrar extraordinaria aquella cura de engorde de la oveja, algo que pensaba que debían de atribuir al azar debido a lo limitado de su punto de vista. La solución de Tolstói fue que el rebaño de ovejas dejara de pensar que las cosas pasan sólo por «la consecución de sus objetivos de oveja» y se dieran cuenta de que hay objetivos ocultos que lo explican todo perfectamente, de modo que no hay necesidad de recurrir al concepto de azar.

El azar como fuerza invisible

Ochenta y tres años más tarde, Carl Jung publicó una idea parecida en su conocido ensayo «Synchronicity: An Acasual Connecting Principle». Postulaba la existencia de una fuerza oculta responsable de la ocurrencia de hechos aparentemente relacionados que, por lo demás, parecen no tener conexión causal. La historia inicial de los seis encuentros con peces es de Jung, extraída de su libro. Encuentra extraordinaria esta cadena de acontecimientos, demasiado inusuales como para atribuirse al azar. Piensa que debe de estar pasando algo más y lo etiqueta de principio de conexión no causal.

Persi Diaconis, profesor de la cátedra Mary V. Sunseri de estadística y matemáticas en la Universidad de Stanford y antiguo profesor mío, tiene un punto de vista crítico sobre el ejemplo de Jung: supongamos que nos encontramos con el concepto de pez una vez al día, de media, de acuerdo con lo que los especialistas en estadística llaman un proceso de Poisson (¡otra referencia piscícola!). El proceso de Poisson es un modelo matemático estándar de contar (por ejemplo, el deterioro radioactivo parece seguir un proceso de Poisson). El modelo presupone cierto ritmo fijo al cual aparecen de media las observaciones, y, en caso contrario, son aleatorias. Así, podemos considerar un proceso de Poisson en el ejemplo de Jung con un ritmo medio a largo plazo de una observación cada veinticuatro horas y calcular la probabilidad de ver seis o más observaciones de peces en una ventana de veinticuatro horas. Diaconis calcula que la probabilidad es de aproximadamente un 22 por ciento. Visto desde este punto de vista, Jung no se habría sorprendido.

La revolución estadística: el azar/la probabilidad en modelos de generación de datos

Sólo unas dos décadas después de que Tolstói escribiera sus líneas sobre ovejas, el matemático inglés Kart Pearson provocó una revolución estadística en el pensamiento científico con una idea nueva sobre cómo surgían las observaciones, la misma idea usada por Diaconis en su cálculo de probabilidades. Pearson sugirió que la naturaleza presenta datos de una distribución desconocida pero con cierta dispersión aleatoria. Su aportación fue que se trata de un concepto distinto del error de medición, que añade error adicional cuando las observaciones se registran realmente.

Antes de Pearson, la ciencia trataba con cosas que eran «reales», como las leyes que describen el movimiento de los planetas o la circulación sanguínea en los caballos (para poner ejemplos de libro de David Salsburg, *The Lady Tasting Tea*). Lo que Pearson hizo posible fue una concepción probabilística del mundo. Los planetas no seguían la ley con precisión exacta, incluso después de tener en cuenta el error de medición. El curso exacto del flujo sanguíneo de los caballos era distinto en los distintos caballos, pero el sistema circulatorio equino no era puramente aleatorio. Al estimar distribuciones más que los fenómenos por sí mismos, somos capaces de abstraer una imagen más exacta del mundo.

El azar descrito según las distribuciones de probabilidad

Que las mediciones por sí mismas tienen una distribución de probabilidad fue un cambio pronunciado desde el confinamiento de la aleatoriedad a los errores de medición. La conceptualización de Pearson es útil porque nos permite estimar si lo que vemos es probable o no, bajo las presuposiciones de la distribución. Este razonamiento es ahora nuestra herramienta principal para juzgar si pensamos que una explicación es probable o no que sea cierta.

Podemos, por ejemplo, cuantificar la probabilidad de la efectividad de un medicamento, o llevar a cabo la detección de partículas en física de alta energía. ¿Está la distribución de la diferencia entre la respuesta media del tratamiento médico y los grupos de control centrada en cero? Si eso parece probable, podemos sentirnos escépticos sobre la efectividad del medicamento. ¿Están las señales candidatas tan alejadas de la distribución de las partículas conocidas que deben ser de una distribución distinta, lo que sugiere una partícula nueva? Detectar el bosón de Higgs requiere una comprensión así de probabilística de los datos, para diferenciar las señales de Higgs de otros hechos. En todos estos casos, la clave está en que queremos saber las características de la distribución subyacente que generó el fenómeno de interés.

La incorporación que hizo Pearson de la aleatoriedad directamente en la distribución de probabilidad nos permite pensar con espíritu crítico sobre las probabilidades y cuantificar nuestra confianza en explicaciones particulares. Podemos evaluar mejor cuándo lo que vemos tiene un significado especial y cuándo no, lo que nos permite alcanzar mejor nuestros «objetivos humanos».

Elegante = Complejo



GEORGE CHURCH

Profesor de genética, Harvard Medical School;
director del Personal Genome Project

Muchos dirían lo opuesto, elegancia = simplicidad. Sufren de la (clásica) envidia de la física, de la suave y lineal física y de palabras de cuatro letras belicosamente describibles, como $F=ma$. Pero la ciencia moderna ha seguido avanzando, abrazando lo complejo. Ockham utiliza ahora una e-navaja fractal activada por la red. Hasta en matemáticas —desprovistas de las extrañas incomodidades de los menos que ideales gases, turbulencias y vacas no-esféricas—, afirmaciones simples sobre los enteros como la ecuación de Fermat $a^n + b^n = c^n$ y mapas descritos con cuatro colores que han estado muchos años y páginas (a veces, ordenadores) de demostrar.

La cuestión no es «¿cuál es tu explicación elegante favorita?», sino «¿cuál debe ser tu explicación elegante favorita?». Somos capaces de cambiar no sólo nuestras mentes, sino el tejido entero de la naturaleza humana. A medida que construimos, ponemos remedio, aproximándonos sucesivamente como una fuerza de la naturaleza cada vez más superable. Siendo así, ¿qué es lo que finalmente admiraremos? Nuestro bagaje evolutivo sirvió muy bien a nuestros antepasados pero podría matar a nuestros descendientes. Frente a los alimentos modernos, nuestros frugales metabolismos alimentan una epidemia de diabetes. Nuestra exagerada facilidad por pasar de la racionalidad a la fe ciega o a la toma de decisiones basada en el miedo se puede manipular políticamente para impulsar un consumo ostentoso. (Pensemos en la Isla de Pascua, 163 km² de devastación, modificada a la escala de la Isla Tierra, de 510 millones de km²). Los «humanos» algún día podrían nacer con correctores de errores de decenas de sesgos cognitivos actuales, además de una comprensión intuitiva y la motivación para manipular las rarezas

cuánticas, las dimensiones mayores de tres, los acontecimientos superraros, la economía global, etc. Los monocultivos agrícolas y culturales están en bancarrota evolutiva. La evolución se centró solo brevemente en sobrevivir en un mundo estéril de física rigurosa, pero desde entonces se ha centrado en la vida que compite consigo misma. Las explicaciones elegantes son aquellas que predicen el futuro mejor y a más largo plazo. Nuestras explicaciones nos ayudarán a esquivar asteroides, destellos rojos solares gigantes, y hasta encuentros muy de cerca con la galaxia Andrómeda. Pero, por encima de todo, diversificaremos para enfrentarnos a nuestra siempre creciente complejidad.

Las preguntas de Tinbergen



IRENE PEPPERBERG

Profesora y adjunta de investigación,
Universidad de Harvard; profesora adjunta
asociada de psicología, Universidad Brandeis;
autora de *Alex & Me*

¿Por qué nos comportamos —nosotros y otras criaturas— de la manera que lo hacemos? No existen realmente respuestas. Elijo las preguntas del etólogo y ornitólogo Nicolás Tinbergen exactamente por este motivo, porque a veces no hay ninguna explicación, profunda, elegante y bella. Más partidario de enseñar a pescar que de dar el pescado, Tinbergen no intentó dar una explicación global, sino que nos dio un andamio con el que pudiéramos construir nuestras propias respuestas para cada patrón individual de conducta que observamos, un andamio que puede servir no sólo para los paradigmas etológicos por los que se hizo famoso, sino también para todas las formas de conducta en cualquier campo. De manera sucinta, Tinbergen preguntó:

- ¿Cuál es el mecanismo? ¿Cómo parece funcionar?
- ¿Cuál es la ontogenia? ¿Cómo la observamos desarrollarse con el tiempo?
- ¿Cuál es su función? ¿Cuáles son todas las razones posibles por las que se hace?
- ¿Cuál es su origen? ¿Cuáles son las varias maneras por las que pudo haberse originado?

Al intentar responder cada una de estas preguntas, nos vemos obligados a pensar, como muy mínimo, sobre la interacción entre genes y entorno, en los procesos subyacentes (neuroanatomía, neurofisiología, hormonas, etc.), de los

detonadores y el ritmo, en qué ventajas y desventajas se ven equilibradas, y en cómo éstas pueden haberse modificado con el tiempo.

Además, a diferencia de mis explicaciones «favoritas», las preguntas de Tinbergen resisten al paso del tiempo. Las respuestas a sus preguntas reflejan a menudo el espíritu del tiempo en la comunidad científica, pero estas respuestas mutan a medida que hay disponible más conocimiento adicional. Sus preguntas nos desafían a replantear nuestras presunciones básicas cada vez que un nuevo conjunto de datos llega a nuestras manos, sea cual sea nuestro campo de estudio. Nuestra fascinación por las respuestas simples y elegantes me recuerda a la búsqueda de Douglas Adams (*La guía del autoestopista galáctico*): podemos encontrar «42», pero a menos que sepamos formular las preguntas adecuadas, la respuesta no siempre tiene mucha importancia.

La máquina universal de Turing

GLORIA ORIGGI

Filósofa, Centre National de la Recherche Scientifique, París; editora de *Text-e: Text in the Age of Internet*

«Hay más cosas en el cielo y en la Tierra, Horacio, de las que se sueña en tu filosofía», le dice Hamlet a su amigo Horacio. Una manera elegante de señalar las preguntas irresolubles e intratables que acechan nuestras vidas. Una de las demostraciones más maravillosas de todos los tiempos acaba con la misma triste conclusión: algunos problemas matemáticos son, simplemente, irresolubles.

En 1936, el matemático británico Alan Turing concibió el ordenador más simple y elegante de todos los tiempos, un aparato (como más tarde lo describió en un ensayo de 1948 titulado «Intelligent Machinery») con

una capacidad de memoria infinita obtenida en forma de una cinta infinita marcado en cuadrados, en cada uno de los cuales se podría imprimir un símbolo. En cualquier momento hay un símbolo en la máquina; se le llama el símbolo escaneado. La máquina puede alterar el símbolo escaneado y su comportamiento está determinado en parte por ese símbolo, pero los símbolos de cualquier otro lugar de la cinta no afectan el comportamiento de la máquina. No obstante, la cinta puede moverse hacia delante y hacia atrás de la máquina, siendo ésta una de las operaciones elementales de la misma.

Una máquina abstracta, concebida por la mente de un genio, para resolver un problema irresoluble: el problema de la decisión. Es decir, por cada fórmula lógica en una teoría, ¿es posible decidir en un número finito de pasos si la fórmula es válida en esa teoría? Bueno, Turing demuestra que no es posible. El problema de la decisión, o *Entscheidungsproblem*, era bien conocido por los matemáticos: era el décimo de una lista de problemas no resueltos que David Hilbert presentó en 1900 a la comunidad matemática, lo que establecía buena parte de la agenda de la investigación matemática para el

siglo XX. Pregunta si existe un proceso mecánico factible en un número finito de pasos que pueda decidir si una fórmula es válida o no, o si una función es computable o no. Turing empezó por preguntarse «¿qué significa un proceso mecánico?» y su respuesta fue que es un proceso que puede realizarlo una máquina. Obvio, ¿no?

Entonces diseñó una máquina para cada fórmula posible en lógica de primer orden y para cada función recursiva posible de los números naturales, teniendo en cuenta la equivalencia lógica demostrada por Gödel, en sus teoremas de incompletitud, entre el conjunto de fórmulas de lógica de primer orden y el conjunto de números naturales. Y, por supuesto, con la simple definición de Turing podemos escribir una retahíla de ceros y unos para cada cinta para describir una función, y luego darle a la máquina una lista de instrucciones sencillas (ve a la derecha, ve a la izquierda, detente) para que anote la demostración de la función y luego se detenga.

Ésta es la «máquina universal de Turing», universal porque puede asumir como introducción cualquier serie posible de símbolos que describan una función y luego dar como resultado su demostración. Pero si le das a la máquina universal de Turing una descripción de sí misma, no se detiene; seguirá generando infinitamente ceros y unos. Es así. La *madre* de todas las computadoras, el alma de la época digital, se diseñó para demostrar que no todo puede reducirse a una máquina de Turing. Hay más cosas en el cielo y en la Tierra de las que se sueñan en nuestra filosofía.

Cuestión de poética



RICHARD FOREMAN

Dramaturgo y director de teatro; fundador del
Ontological-Hysteric Theater

Puesto que toda explicación es contingente, limitada por sus circunstancias y segura de ser sustituida por otra mejor o momentáneamente más devastadora, la explicación favorita es realmente cuestión de poética, antes que de ciencia o filosofía. Dicho esto, como todo el mundo, yo también me «enamoro», una pasión romántica que o bien se supera, o bien se transforma en otra cosa. Pero el arrebató momentáneo y repetido es lo que va formando poco a poco la pasión, porque, en cierto sentido, uno se acostumbra a enamorar del mismo tipo una y otra vez, y esta repetición define y da forma a nuestro carácter mental. Cuando era joven, me quedé muy formado y orientado por lo que ahora calificaré como mis dos explicaciones favoritas:

1. Apenas recuerdo los detalles (no siendo científico, claro), pero recuerdo haber leído sobre la teoría de Paul Dirac del mar de energía negativa del que surgió —por un agujero, una ausencia— el positrón, que construyó el mundo que conocemos. Espero haberlo dicho bien y no quedar como un memo malinterpretándolo. Pero, en cierto sentido, eso no tendría importancia. Porque esta imagen, alimentada por esta explicación, alimentó mi exploración de un nuevo tipo de teatro en el que (evocando una especie de teología negativa) intenté, y sigo intentando, llevar a un público hacia el vacío en vez de nutrir lo que ya siente y desea que le confirmen sobre el mundo «real».
2. Poco después (todo eso fue en la década de los cincuenta), recuerdo encontrar al injustamente desdeñado filósofo Ortega y Gasset y quedarme boquiabierto ante su explicación de que un ser humano es una «persona

entera» (en un mundo en el que el mantra era convertirse en «redondeado») pero, como dijo él en su conocida frase: «Yo soy yo y mis circunstancias», es decir, una criatura dividida.

¿Y qué contexto circunstancial orteguiano me predispuso a sentirme seducido por la explicación diraciana? Tuvo algo que ver con el hecho de crecer en la privilegiada localidad de Scarsdale, odiándola pero ocultando el hecho de que me sentía desplazado e incómodo con mi éxito como estudiante de bachillerato. La (para mí) potente metáfora poética de Dirac me permitió imaginar que la fuente inalcanzable (el mar de energía negativa) era la auténtica base sobre la que todos nos teníamos en pie secretamente, y me dio coraje del hecho de que el mundo que me rodeaba estaba ciego a la realidad más profunda de las cosas y que mi alienación estaba, en algún sentido, justificada.

Los orígenes de la electricidad biológica



JARED DIAMOND

Profesor de geografía, Universidad de California-Los Ángeles; autor de *Colapso: Por qué unas sociedades perduran y otras desaparecen*

Mi teoría profunda, elegante y bella favorita es la solución al problema de la generación biológica de electricidad por parte de los animales y las plantas, ofrecida por los fisiólogos británicos Alan Hodgkin y Andrew Huxley en 1952, por la que recibieron el Premio Nobel de fisiología o medicina en 1963.

Se sabía desde hacía más de un siglo que los nervios, los músculos y algún otro órgano animal y unas pocas plantas generan electricidad. La mayor parte de esta electricidad es de bajo voltaje, de tan sólo una fracción de voltio. No obstante, las angulas eléctricas disponen de 6.000 membranas musculares en serie y así generan 600 voltios, lo que basta para matar a sus presas, para electrocutar a los caballos que cruzan un río y para electrocutarme a mí cuando estaba estudiando la producción de electricidad por parte de estos animales como estudiante de posgrado. Me concentré tanto en sus mecanismos fisiológicos que me olvidé de sus consecuencias.

La electricidad implica movimiento de partículas cargadas. En nuestras bombillas y redes eléctricas, estas partículas cargadas son electrones con carga negativa. ¿Qué son en los sistemas biológicos? Hace ya más de un siglo, el fisiólogo alemán Julius Bernstein especuló que las partículas cargadas cuyo movimiento era responsable de la electricidad biológica no eran electrones, sino iones cargados positivamente.

Hodgkin y Huxley iniciaron sus decisivos experimentos a finales de la década de los treinta. Esperaban descubrir que el voltaje alrededor de una membrana nerviosa en reposo pasaba temporalmente a cero durante un

impulso eléctrico, debido a una pérdida de permeabilidad selectiva al ión de potasio cargado positivamente. Para su sorpresa, hallaron que el voltaje del nervio no sólo se limitaba a llegar a cero, y que la membrana nerviosa no se limitaba a volverse indiscriminadamente permeable: el voltaje, en realidad, cambiaba de signo, lo que requería algo especial. Pero entonces Hitler invadió Polonia, y Hodgking y Huxley se pasaron los seis años siguientes utilizando sus conocimientos de electricidad para construir radares para los militares británicos.

En 1945 retomaron sus experimentos, usando nervios gigantes que se habían descubierto en los lomos de las sepias y que eran lo bastante grandes como para insertarles un electrodo para medir el voltaje por toda la membrana nerviosa. Confirmaron su atractivo descubrimiento de antes de la guerra de que el voltaje nervioso realmente cambiaba de signo, y que esta reversión se transmitía por el nervio para provocar un impulso eléctrico. En una serie de experimentos que definen la palabra «elegancia», sujetaron con pinzas de voltaje la membrana nerviosa en varios niveles, midieron las corrientes eléctricas entrantes y salientes como función de tiempo en cada nivel después de la pinza, tradujeron estas mediciones de voltaje a cambios de permeabilidad al ión de potasio con carga positiva, y luego a los iones de sodio de carga positiva como función de voltaje y tiempo, y finalmente reconstruyeron el trayecto entero del impulso nervioso a partir de esos cambios de permeabilidad dependientes del tiempo y dependientes del voltaje. Hoy, los estudiantes de fisiología hacen los cambios necesarios para reconstruir un potencial de acción en una tarde en su ordenador. En 1952, antes de la era de la informática moderna, Andrew Huxley tuvo que hacer los cálculos de manera mucho más laboriosa, con una calculadora de sobremesa: tardó casi un mes en calcular un impulso nervioso.

Los cuatro artículos que publicaron Hodgking y Huxley en el británico *Journal of Physiology* en 1952 eran tan apabullantes en su aclaración de los movimientos del sodio y el potasio, y en su reconstrucción de los impulsos nerviosos, que el mundo científico quedó convencido casi de inmediato. Estos cambios de permeabilidad a iones positivos (no a electrones negativos) hacen posible que los nervios comuniquen impulsos eléctricos, que los músculos

transmitan impulsos que activan la contracción, que las articulaciones de nervio y músculo transiten impulsos por los que los nervios activan los músculos, para que las conexiones nervio-nervio (llamadas sinapsis) transmitan impulsos por los que un nervio activa otro nervio, para que los órganos sensoriales produzcan impulsos que traducen la luz, el sonido y el tacto en electricidad, y para que los nervios y nuestros cerebros funcionen. Es decir, la operación de la electricidad humana desenmarañada por Hodgging y Huxley es lo que hace posible que podamos leer esta página, pensar en esta página, seleccionar esta página, exclamarnos de sorpresa, reflexionar sobre las preguntas Edge, y hacer todo lo demás que implica movimiento, sensación y pensamiento. El principio subyacente —el movimiento de las partículas cargadas positivamente— fue simple, pero Dios residía en los detalles complejos y en la elegante reconstrucción.

**Por qué los griegos
pintaban a gente roja en
vasijas negras**



TIMOTHY TAYLOR

Arqueólogo, Universidad de Bradford; autor
de *The Artificial Ape*

Explicar algo que parece no necesitar explicación es bueno. Y si encima nos lleva a otras explicaciones de cosas que no parecían necesitar explicación, todavía mejor. Y si provoca un tufo enorme, porque los intereses académicamente establecidos intentan preservar el statu quo frente a las implicaciones atrevidas, es una de las mejores. He elegido la explicación sencilla e inmensamente influyente de Michael Vickers sobre por qué los antiguos griegos pintaban figuritas rojas en sus vasijas.

La «vasija con figura roja» es un icono de la Antigüedad. La frase se ve a menudo en las etiquetas de museos, y la cuestión de por qué las figuras no eran blancas, ni amarillas, ni violeta, ni negras —otros colores que los griegos podían y de hecho producían en las pátinas y barnices de su cerámica— no parece importar. Desde el punto de vista práctico, los compradores de cerámica griega podían mezclar y combinar sin miedo a equivocarse, y el diseño básico permitía a los ceramistas centrarse en su auténtica pasión: la narración de historias. El fondo negro y las siluetas rojas formaban escenas complejas —mitológicas, marciales, industriales, domésticas, deportivas y ambiciosamente sexuales— y gráficamente frescas. Cualquiera puede entender su contenido (motivo por el cual los museos suelen ocultar al público general sus ejemplares alusivos al sexo heterosexual, gay, lésbico, de grupo, bestial y onanista, guardados en colecciones de estudio).

La genialidad de Vickers residió en tomar una idea bien conocida por el estudioso Vitruvio del siglo I a.C. y aplicarla a un contexto nuevo. Vitruvio observó que muchos elementos de los templos griegos que parecían meramente decorativos eran una rémora de anteriores consideraciones prácticas: las

pequeñas hileras de cubos cuidadosamente contruidos y los huecos justo debajo de la línea del techo eran, de hecho, *skeuomorfos*, o ecos formales, de los cabos de biga y travesaños que se habían proyectado en esa época, cuando las estructuras estaban hechas de madera. Michael arguyó que la cerámica griega era también *skeuomórfica*, siendo el sustituto barato del aristocrático metal precioso. Afirmó que las figuras rojas sobre negro imitaban las figuras doradas sobre plata, mientras que las formas de las vasijas, con sus agudas carinaciones y sus asas delgadas y similares a correas, que tan fácilmente se rompen en el barro, eran traducciones directas del arte de los orfebres.

Para muchos, eso sigue pareciendo poco plausible. Pero para aquellos, como yo mismo, que trabajamos sobre el terreno de la arqueología de la Edad del Hierro en Europa oriental, con sus ostentosos montículos funerarios abarrotados de lujos de metales preciosos, resulta totalmente lógico. La plata antigua, al desenterrarla, es totalmente negra, y la figuración dorada es de un oro rojizo muy contrastado. Los museos, típicamente, acostumbraban a «conservar» tales vasijas, sin darse cuenta de que (como ahora sabemos) el lustre sulfurizado del oro era deliberado y que nunca se habría visto a ningún griego muerto con plata brillante (un estilo del gusto de sus odiados persas, que alardeaban del acceso a los exóticos limones, con los que la pulían).

Para mí, entusiasta desde el principio, el momento clave fue cuando Vickers fotografió un conjunto de *lekytoi*, pequeños y elegantes tarros cilíndricos de aceite o perfume, colocados de punta a punta por orden decreciente formando una gracil curva. Demostró así que ningún *lekytos* (el único tipo de cerámica mayor con fondo blanco, y negro sólo en la base y la tapa) tenía un diámetro mayor que el del cilindro laminado más grande que puede obtenerse de un colmillo de elefante. Estas vasijas, explicó, eran *skeuomorfos* de originales de marfil montados en plata.

Las implicaciones todavía no están determinadas, pero la reputación de la antigua Grecia como orientada a la filosofía y como una cultura del arte por el arte puede ahora contrastarse con la imagen de un mundo en el que todos querían desesperadamente emular a los ricos propietarios de minas de plata explotadas por esclavos, con sus flotas de galeras comerciales. En mi opinión, la escala de la economía antigua en todas sus dimensiones —esclavitud,

comercio, niveles de población, estratificación social— ha sido sistemáticamente subestimada, y con ello el impacto del colonialismo y de la emergente complejidad social en la Eurasia prehistórica.

La ironía del mundo del arte moderno es que las vasijas de figuras rojas que actualmente cambian de manos a cambio de enormes sumas de dinero no son lo que los propios griegos realmente valoraban. De hecho, hoy está claro que la ilusión de que estas antigüedades baratas fueran lo más auténtico fue deliberadamente potenciada, a través de la difusión de textos griegos muy bien seleccionados por las casas de subastas del siglo XIX que querían crear un mercado.

El lenguaje como sistema adaptativo



ANDY CLARK

Filósofo, profesor de lógica y metafísica,
Universidad de Edimburgo; autor de *La mente
extendida*

La explicación de aprendizaje iterativo del lenguaje estructurado es una de estas bonitas explicaciones que pone las cosas boca abajo, exponiendo su funcionamiento y sus orígenes de una manera totalmente nueva. Sugiere potentes alternativas a los enfoques que retratan el cerebro humano como muy adaptado al aprendizaje de los lenguajes humanos. En cambio, retrata los lenguajes humanos como fuertemente adaptados a la forma de los dispositivos de aprendizaje albergados en el cerebro humano.

La idea básica es que el lenguaje es, por sí mismo, una especie de sistema adaptativo que altera sus formas y estructuras para volverse cada vez más fácil de aprender por los agentes anfitriones (nosotros). Esta idea general aparece por primera vez (que yo sepa) en el libro de Terry Deacon de 1997 *The Symbolic Species*. Ha sido investigada en profundidad por lingüistas orientados a la computación, como Simon Kirby, Morten Christiansen y otros. Buena parte de esta obra implicaba simulaciones informáticas, pero en 2008, Kirby y otros publicaron un artículo en la revista *Proceedings of the National Academy of Sciences* aumentando estas pruebas en principio con una demostración de laboratorio hecha con sujetos humanos.

En estos experimentos, a los participantes se les enseñó un sencillo lenguaje artificial hecho de pares de cadenas de significado, y luego se les hacía una prueba de ese lenguaje. Algunos de estos elementos eran significados que se habían utilizado en el entrenamiento, mientras que otros eran nuevos. Ahí viene el truco. Luego se entrena a una «nueva generación» de participantes, que ya no usa los elementos originales sino los datos de la

generación anterior. El lenguaje es, así, forzado a través de una especie de cuello de botella generacional, es decir, que las opciones de una generación (incluyendo los errores y las alteraciones) establecen los datos para la siguiente generación. Lo que los estudiosos descubrieron netamente (haciendo eco de los anteriores resultados de la simulación) fue que los lenguajes sujetos a este tipo de evolución cultural acumulativa se vuelven cada vez más fáciles de aprender, exhibiendo cada vez más regularidades de construcción e inflexión. Esto se debe a que los lenguajes se alteran y metamorfosean de maneras que cada vez se adaptan mejor con los sesgos básicos de los sujetos (los anfitriones). Dicho de otro modo, los lenguajes se adaptan para hacerse más fáciles de aprender por los tipos de agentes que están ahí para aprenderlos. Lo hacen porque las expectativas y los sesgos de los aprendices afectan tanto lo bien que recuerdan los elementos reales de aprendizaje, como su manera de comportarse cuando se les presentan elementos nuevos.

El lenguaje, por tanto, se comporta un poco como un organismo que se adapta a un nicho medioambiental. Ese nicho somos nosotros.

El mecanismo de la mediocridad



NICHOLAS G. CARR

Periodista; autor de *The Shallows: What the Internet Is Doing to Our Brains*

En 1969, un educador nacido en Canadá llamado Laurence J. Peter sacudió la inocencia del capitalismo estadounidense: «En una jerarquía —afirmó—, todo empleado tiende a ascender hasta su nivel de incompetencia». Lo llamó el principio de Peter, y apareció en un libro con este mismo título. El breve volumen, que no llegaba a las 180 páginas, acabó convirtiéndose en el libro más vendido de aquel año, con unos 200.000 ejemplares en ventas. No es difícil adivinar por qué. El principio de Peter no sólo confirmó lo que todos sospechaban —los jefes son bobos—, sino que explicaba por qué era así. Cuando una persona brilla en un puesto, la ascienden. Y la siguen ascendiendo hasta que alcanza un puesto en la que no es tan buena. Entonces, la ascensión se detiene. Ha encontrado su nivel de incompetencia, y ahí se queda, interminablemente.

El principio de Peter era un gancho con muchos pinchos. No sólo delataba al borrico del despacho de la esquina: tomaba la pieza central del sueño americano —el deseo de trepar por la escalera del éxito— y demostraba que era una receta para extender la mediocridad. La empresa era una trampa elaborada, un vector a través del cual los incompetentes universalizaban su aflicción. Pero había más. El principio tenía, como dijo un crítico de *The New York Times*, «implicaciones cósmicas». No pasó mucho tiempo hasta que los científicos desarrollaron el «principio de Peter generalizado», que rezaba así: «En la evolución, los sistemas tienden a desarrollarse hasta el límite de su competencia adaptativa». Todo progresa hasta el punto en que se hunde. La forma de la existencia es la forma del fracaso.

Las explicaciones más memorables nos sorprenden por lo alarmantemente

obvias que son. Toman observaciones comunes —cosas que nos han pasado a todos— y sonsacan su verdad oculta. La mayoría de nosotros nos pasamos la vida chocando contra los árboles. Nos hace falta un genio de la explicación como Laurence J. Peter que nos cuente que estamos en un bosque.

**El principio del
empirismo, o
compruébalo tú mismo**



MICHAEL SHERMER

Editor de la revista *Skeptic*; columnista mensual de *Scientific American*; autor de *Por qué creemos en cosas raras*

El empirismo es el principio más profundo y amplio para explicar la mayoría de los fenómenos del mundo natural y social. El empirismo es el principio que dice que debemos ver con nuestros propios ojos en vez de confiar en la autoridad de los demás. El empirismo es la base de la ciencia, como dice la divisa de la Royal Society of London, la primera institución científica: *nullius in verba*. En palabra de nadie.

Galileo no se fío de la palabra de nadie. Según la cosmología aristotélica, la autoridad final e indiscutible de la Iglesia católica en materia celestial, todos los objetos del espacio han de ser perfectamente redondos y perfectamente lisos, y girar alrededor de la Tierra en órbitas perfectamente circulares. No obstante, cuando Galileo miró con sus propios ojos a través de su pequeño tubo con una lente dióptica en un extremo y una lupa en el otro, vio montañas en la luna, manchas en el sol, fases de Venus, lunas orbitando alrededor de Júpiter y un objeto extraño alrededor de Saturno. El eminente colega astrónomo de Galileo de la Universidad de Padua, Cesare Cremonini, estaba tan comprometido con la cosmología aristotélica que hasta se negó a mirar por el tubo, mientras proclamaba: «Ni siquiera me creo que nadie lo haya visto; y, además, mirar por las lentes me provocaría mareo». Aquellos que sí miraron por el telescopio de Galileo no pudieron creer lo que veían... literalmente. Uno de los colegas de Galileo dijo que el telescopio funcionaba para visionados terrestres pero no celestiales, porque «he probado ese instrumento de Galileo de mil maneras, tanto para las cosas de aquí abajo como para las de allá arriba. Abajo, funciona maravillosamente; en el cielo, te

engaña».[52] Un profesor de matemáticas en el Collegio Romano estaba convencido de que Galileo había puesto las cuatro lunas de Júpiter dentro del tubo. Galileo se puso furioso: «Cuando intenté mostrar los satélites de Júpiter a los profesores de Florencia, ni siquiera los quisieron ver, ni ver el telescopio. Esta gente cree que no hay verdad que buscar en la naturaleza, sino sólo en la comparación de textos».[53]

Mirando con sus propios ojos, Galileo, Kepler, Newton y otros iniciaron la revolución científica, con la que la Ilustración llevó a los académicos a aplicar el principio del empirismo tanto al mundo de las ciencias sociales como de las naturales. El gran filósofo político Thomas Hobbes, por ejemplo, se consideraba a sí mismo como el Galileo y el William Harvey de la sociedad:

Galileo [...] fue el primero en abrirnos la puerta de la filosofía natural universal, que es el conocimiento de la naturaleza en movimiento [...]. La ciencia del cuerpo humano, la parte más ventajosa de las ciencias naturales, fue descubierta por primera vez con admirable sagacidad por nuestro paisano, el doctor Harvey [...]. La filosofía natural es, por tanto, una ciencia joven; pero la filosofía civil es todavía mucho más joven, puesto que no es más vieja [...] que mi propio *de Cive*. [54]

Desde la revolución científica hasta la Ilustración, el principio del empirismo fue sustituyendo, lenta pero inexorablemente, la superstición, el dogmatismo y la autoridad religiosa. En vez de adivinar la verdad a través de la autoridad de un libro sagrado o de un tratado filosófico antiguos, la humanidad empezó a explorar el libro de la naturaleza por sí misma.

En vez de contemplar las ilustraciones de libros botánicos iluminados, los académicos salieron a la naturaleza a ver lo que crecía realmente del suelo.

En vez de fiarse de los grabados de cuerpos diseccionados en los viejos textos médicos, los médicos se pusieron a abrir cuerpos para ver ellos mismos lo que había dentro.

En vez de quemar brujas después de considerar las pruebas espectrales descritas en el *Malleus Maleficarum* —el prestigioso libro de caza de brujas—, los juristas empezaron a tener en cuenta otras formas de demostración más fiables antes de condenar a alguien por un crimen.

En vez de que un pequeño grupo de élite detentara la mayor parte del

poder político a base de mantener a sus ciudadanos analfabetos, incultos y desinformados, la gente empezó a ver con sus propios ojos, a través de la ciencia, la alfabetización y la formación, el poder y la corrupción que los mantenían subyugados, y empezaron a deshacerse de sus cadenas y a exigir sus derechos.

En vez del derecho divino de los monarcas, el pueblo empezó a exigir el derecho natural de la democracia. Las elecciones democráticas, en este sentido, son experimentos científicos. Cada equis años, se alteran cuidadosamente las variables con unas elecciones y se observan los resultados. Muchos de nuestros padres fundadores fueron científicos que adaptaron deliberadamente el método de recogida de datos, comprobación de hipótesis y formación de teorías para su creación nacional. Su comprensión de la naturaleza provisional de los descubrimientos los llevó a fundar un sistema social en el que el empirismo era la pieza central de una política funcional. El nuevo gobierno fue como un laboratorio científico, donde se realizaban una serie de experimentos año a año, estado a estado. El objetivo no era promover uno u otro sistema político, sino establecer uno por el que la gente pudiera experimentar y ver lo que funciona. Es el principio del empirismo aplicado al mundo social.

Como Thomas Jefferson le escribió a John Tyler en 1804: «Ningún experimento puede ser tan interesante como el que ahora estamos ensayando, y que confiamos acabará con el establecimiento del hecho de que el hombre puede ser gobernado por la razón y la verdad».

Somos polvo de estrellas



KEVIN NELLY

Editor general de *Wired*; autor de *What
Technology Wants*

¿De dónde venimos? Pienso que la explicación de que somos originarios de las estrellas es profunda, elegante y bella. Esta explicación dice que la mayoría de los átomos en cada uno de nuestros cuerpos se creó a partir de partículas más pequeñas producidas en hornos de estrellas desaparecidas mucho tiempo atrás. Sólo nuestras partes primordiales de hidrógeno se produjeron antes que las estrellas. En un cálculo cósmico, somos restos de estrellas en un 90 por ciento. En nuestra esencia, los humanos somos esencialmente derivados de la fusión nuclear. Las intensas presiones y temperaturas de esos hornos gigantes espesaron las nubes que caían de diminutas partículas elementales en partículas mayores que, una vez fusionadas, se diseminaron por el espacio mientras el horno se apagaba. Los átomos más pesados de nuestros huesos tal vez requirieron más de un ciclo en los hornos de las estrellas para engrosarse. Incontables cantidades de átomos reforzados se solidificaron para formar un planeta, y un extraño desequilibrio llamado vida barrió un subconjunto de estos átomos y formó nuestros *yos* mortales. Todos somos polvo de estrellas recogido. Y a través de una transformación de lo más elegante y notable, nuestra materia de estrella es capaz de mirar al cielo nocturno para percibir otras estrellas que brillan. Parecen remotas y lejanas, pero en realidad estamos muy cerca de ellas, por muchos años luz que nos separen. Todo lo que vemos los unos de los otros nació en las estrellas. ¿No es eso muy bello?

Agradecimientos



Deseo agradecer a Peter Hubbard de Harper Collins los ánimos que me ha dado. También estoy en deuda con mi agente, Max Brockman, que vio el potencial de este libro, y a Sara Lippincott, por su corrección delicada y rigurosa.

Notas



[1] La Algonquin Round Table fue un conocido grupo de escritores, críticos, actores y sabios de Nueva York. Los miembros del «Vicious Circle», como se caricaturizaban ellos mismos, que al principio se congregaban a modo de broma, se reunían a almorzar cada día en el hotel Algonquin, desde 1919 hasta más o menos 1929. En estos almuerzos acuñaban chistes, juegos de palabras y astucias varias que, a través de las columnas publicadas por los miembros de la Round Table, se divulgaban por todo el país. (*N. de la t.*)

[2] Los Apóstoles de Cambridge, también conocidos como la Cambridge Conversation Society, son una sociedad secreta de la élite intelectual de la Universidad de Cambridge fundada en 1820 por George Tomlinson, un estudiante de Cambridge que llegó a ser obispo de Gibraltar. (*N. de la t.*)

[3] Conjunto de intelectuales británicos que durante el primer tercio del siglo XX destacaron en el terreno literario, artístico o social. Se designó así tomando el nombre del barrio londinense que rodea el British Museum y en el que habitaba la mayor parte de sus integrantes, que comenzaron a reunirse en torno a 1907 en casa de la escritora Virginia Woolf y de su hermana Vanessa, casada con el crítico de arte Clive Bell. Estos intelectuales eran en su mayor parte miembros de la sociedad secreta conocida como Apóstoles de Cambridge. (*N. de la t.*)

[4] Alfred Russell Wallace, *Darwinism*, MacMillan, Nueva York, 1889, pp. 474-475.

[5] Charles Darwin a A. R. Wallace el 27 de marzo de 1869. J. Marchant (ed.), *Alfred Russell Wallace: Letters and Reminiscences*, Harper, Nueva York, 1916, p. 197.

[6] *A Theory of Justice*, Belknap Press, Cambridge (Massachusetts), 1971.

[7] D. Shechtman *et al.*, «Metallic Phase with Long-Range Orientational Order and No Translational Symmetry», *Phys. Rev. Lett.* 53, 1951-1953 (1984).

[8] Charlotte Faurie y Michel Raymond, «Handedness, homicide and negative frequency-dependent selection», *Proc. Roy. Soc. B*-272 (2005), pp. 25-28.

[9] Sara M. Schaafsma *et al.*, «Handedness in a nonindustrial society challenges the fighting hypothesis as an evolutionary explanation for left-handedness», *Evol. & Hum. Behavior* 33:2 (2012) pp. 94-99.

[10] V. Llaurens, M. Raymond y C. Faurie, «Why Are Some People Left-Handed? An Evolutionary Perspective», *Philosophical Transactions Royal Society B* 364.1519 (2009), pp. 881-894.

[11] Bill Bishop y Robert G. Cushing, *The Big Sort: Why the Clustering of Like-Minded America is Tearing Us Apart*, Houghton Mifflin, Nueva York, 2008.

[12] «Selection and covariance», *Nature* 227 (1970), pp. 520-521.

[13] «Extension on covariance selection mathematics», *Ann. Hum. Genetics* 35:4 (1972), pp. 485-490.

[14] «Cosmology: Myth or Science?», *Jour. Astrophys. & Astron.* 5 (1984), pp. 79-98.

[15] «TIT FOR TAT in sticklebacks end the evolution of cooperation», *Nature* 325 (1987), pp. 433-435.

[16] Versión actualizada de «matar dos pájaros de un tiro», puesta de moda por el popular videojuego Angry Birds. (*N. de la t.*)

[17] «Intuitive and reflective beliefs», *Mind and Language*, 12:1 (1997), pp. 67-83.

[18] «On the Secular Cooling of Earth», *Trans. Roy. Soc. Edinburgh* XXIII (1864), pp. 167-169. (Leído en abril de 1862).

[19] *Enquiry Concerning Human Understanding*, Sección 7: The Idea of Necessary Connection.

[20] Darwin a Henry Fawcett, 18 de septiembre de 1861, Darwin correspondence database, www.darwinproject.ac.uk/entry-3257.

[21] *Objective Knowledge: An Evolutionary Approach*, Oxford University Press, Oxford, 1972, p. 261.

[22] Darwin a Fawcett, 18 de septiembre de 1861.

[23] Y. Idaghdour, J. D. Storey, S. J. Jadallah y G. Gibson, «A Genome-Wide Gene Expression Signature of Environmental Geography in Leukocytes of Moroccan Amazighs», *PLoS Genetics* 4(4):e1000052 (2008).

[24] I. C. G. Weaver *et al.*, «Epigenetic programming by maternal behavior», *Nature Neuroscience* 7 (2004), pp. 847-854.

[25] «Early Family Experience Can Reverse the Effects of Genes, UCLA Psychologists Report», *Science Daily* (2006). www.sciencedaily.com/releases/2006/10/061021290132.htm.

[26] C. W. Reynolds, «Flocks, Herds and Schools: A Distributed Behavioral Model», *Computer Graphics* 21:4 (SIGGRAPH'87 *Conference Proceeding*) (1987), pp. 25-34.

[27] *Remarks on Frazer's Golden Bough*, trad. por Rush Rhees, Blackwell, Oxford (Reino Unido), 1967.

[28] *What is Life?* (Introducción), 1944.

[29] S. E. DeVoe y J. Pfeffer, «Time is tight: How higher economic value of time increases feelings of time pressure», *Journal of Applied Psychology*, 96 (2011), pp. 665-676.

[30] *Treatise on Natural Philosophy*, Cambridge University Press, 1879, p. 54.

[31] En julio de 2012 se anunció el descubrimiento. Ahora que se ha hallado un bosón de Higgs, se pueden medir sus propiedades para verificar si se adapta a las expectativas más simples o a una implementación más elaborada del mecanismo de Higgs. (*N. del autor.*)

[32] «Failing to take the moral high ground: Psychopathy and the vertical representation of morality», *Personality & Individual differences* 43 (2007), pp. 757-767.

[33] «Your Highness: Vertical positions as perceptual symbols of power», *J. Personality & Social Psychology* 89 (2005), pp. 1-21.

[34] «Rising up to higher virtues: experiencing elevated physical height uplifts prosocial actions», *J. Exp. Soc. Psychol.*, 47:2 (2011), pp. 472-476.

[35] «Organizing Action of Prenatally Administered Testosterone Propionate on the Tissues Mediating Mating Behavior in the Female Guinea Pig», *Endocrinology* 65:3 (1959), pp. 369-382.

[36] Michael V. Lombardo *et al.*, «Fetal Testosterone Influences Sexually Dimorphic Gray Matter in the Human Brain», *J. Neuroscience*, 32:2 (2002), pp. 674-680.

[37] S. Lutchmaya *et al.*, «Foetal Testosterone and vocabulary size in 18- and 24- month-old infants», *Infant Behavior and Development*, 24:4 (2002), pp. 418-424.

[38] Zhenghui Zheng y Martin J. Cohn, «Development basis of sexually dimorphic digit ratios», *PNAS* 108:39 (2011), pp. 16289-16294.

[39] Yong-Yeol Ahn *et al.*, «Flavor network and the principles of food pairing», *Scientific Reports* 1, artículo 196 (2011). doi: 10.1038/srep00196.

[40] B. Latané y John M. Darley, «Group Inhibition of Bystander Intervention in Emergencies», *J. Pers and Social Psychology*, 10:3 (1968), pp. 215-221.

[41] *Trans. Roy. Soc. Edinburgh*, V, Pt. III, 1805.

[42] Siglas inglesas de percepción extrasensorial. (*N. de la t.*)

[43] Referencia a la capacidad mental telepática de los personajes de la serie *Star Trek* llamados vulcanos. (*N. de la t.*)

[44] John Scott Haldane, *Organism and Environment as Illustrated by the Physiology of Breathing*, Yale University Press, New Haven (CT), 1917, p. 91.

[45] Haldane, *Organization and Environment*, p. 99

[46] Charles Darwin, *On the Origin of Species*, Jonh Murray, Londres, 1872. Versión castellana de Antonio de Zulueta, *El origen de las especies*, Austral, Barcelona, 1998.

[47] «Synthesis of the Elements in Stars», *Rev. Mod. Phys.*, 29:4 (1957), pp. 547-650.

[48] Shinji Nishimoto *et al.*, «Reconstructing Visual Experiences from Brain Activity Evoked by Natural Movies», *Curr. Biol.*, 21:19 (2011), pp. 1641-1646.

[49] Daniel Kahneman, *Thinking, Fast and Slow*, Farrar, Strauss & Giroux, Nueva York, 2011, p. 137.

[50] Sería el equivalente estadounidense a «Los inventos del TBO» y las máquinas del Profesor Franz de Copenhage. (*N. de la t.*)

[51] Referencia al día 1 de abril, fecha en la que en Estados Unidos se celebra el día de los inocentes, o bobos. (*N. de la t.*)

[52] Daniel J. Boorstin, *The Discoverers*, Random House, Nueva York, 1983, pp. 3154-3116.

[53] W. T. Sedgwick & H. W Tyler, *A Short History of Science*, McMillan, Nueva York, 1921, p. 222n.

[54] Hobbes, *De Corpore*, prefacio al vol. 1, 1655.

Eso lo explica todo

John Brockman

No se permite 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 éste 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 reproducir algún fragmento de esta obra.

Puede contactar con CEDRO a través de la web www.conlicencia.com o por teléfono en el 91 702 19 70 / 93 272 04 47

© del diseño de la portada, Sylvia Sans Bassat

© Edge Foundation, 2013

© de la traducción: Mar Vidal, 2019

© de esta edición: Centro de Libros PAF, SLU.

Deusto es un sello editorial de Centro de Libros PAF, SLU.

Av. Diagonal, 662-664

08034 Barcelona

www.planetadelibros.com

Primera edición en libro electrónico (epub): junio de 2019

ISBN: 978-84-234-3070-3 (epub)

Conversión a libro electrónico: El Taller del Llibre, S. L.
www.eltallerdelllibre.com

¡Encuentra aquí tu próxima
lectura!

EMPRESA



ECONOMÍA



¡Síguenos en redes sociales!

