

INVESTIGACION *y* CIENCIA

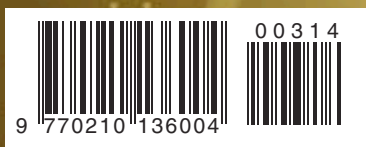
NOVIEMBRE 2002
5 EURO

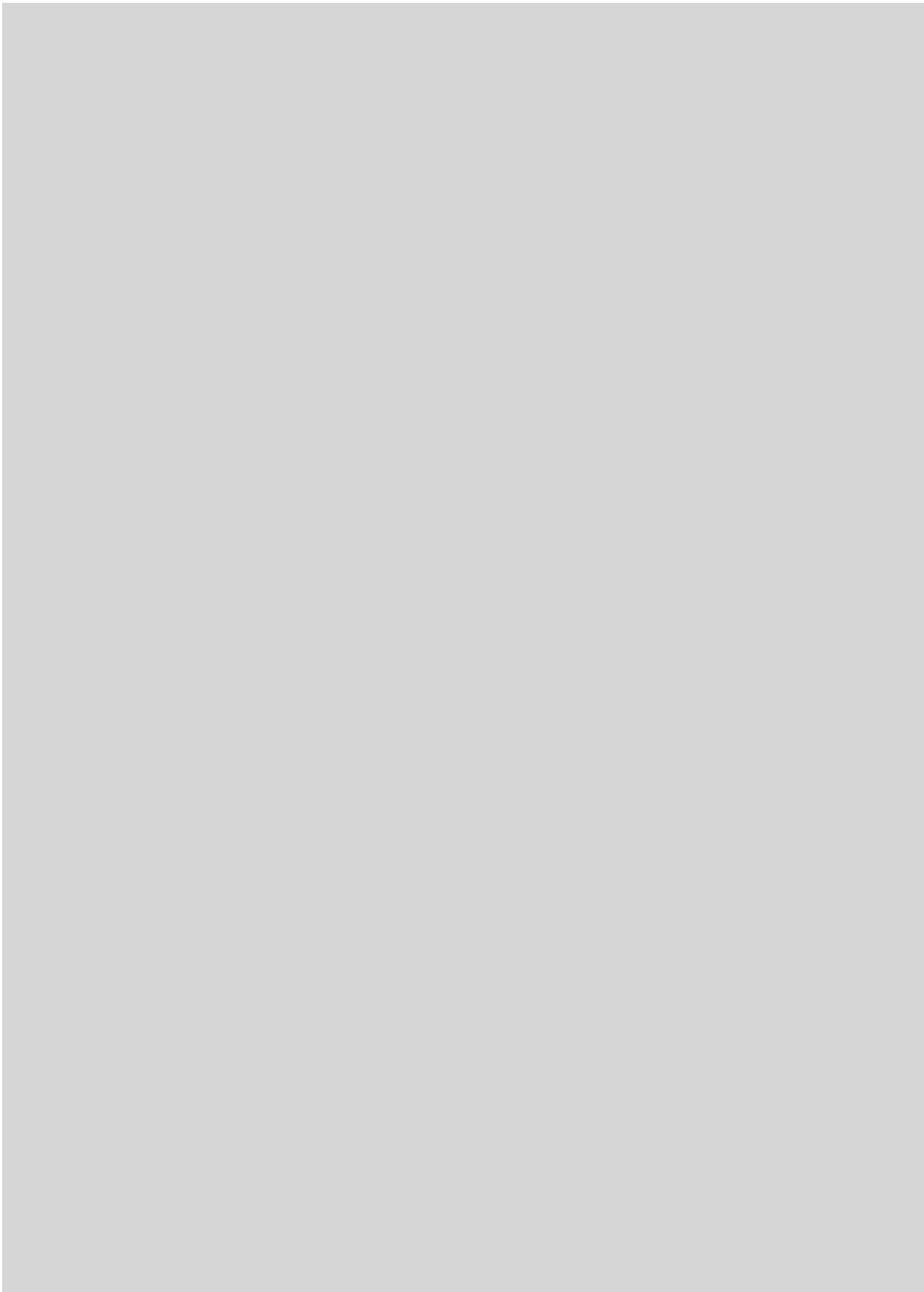
Edición española de
**SCIENTIFIC
AMERICAN**

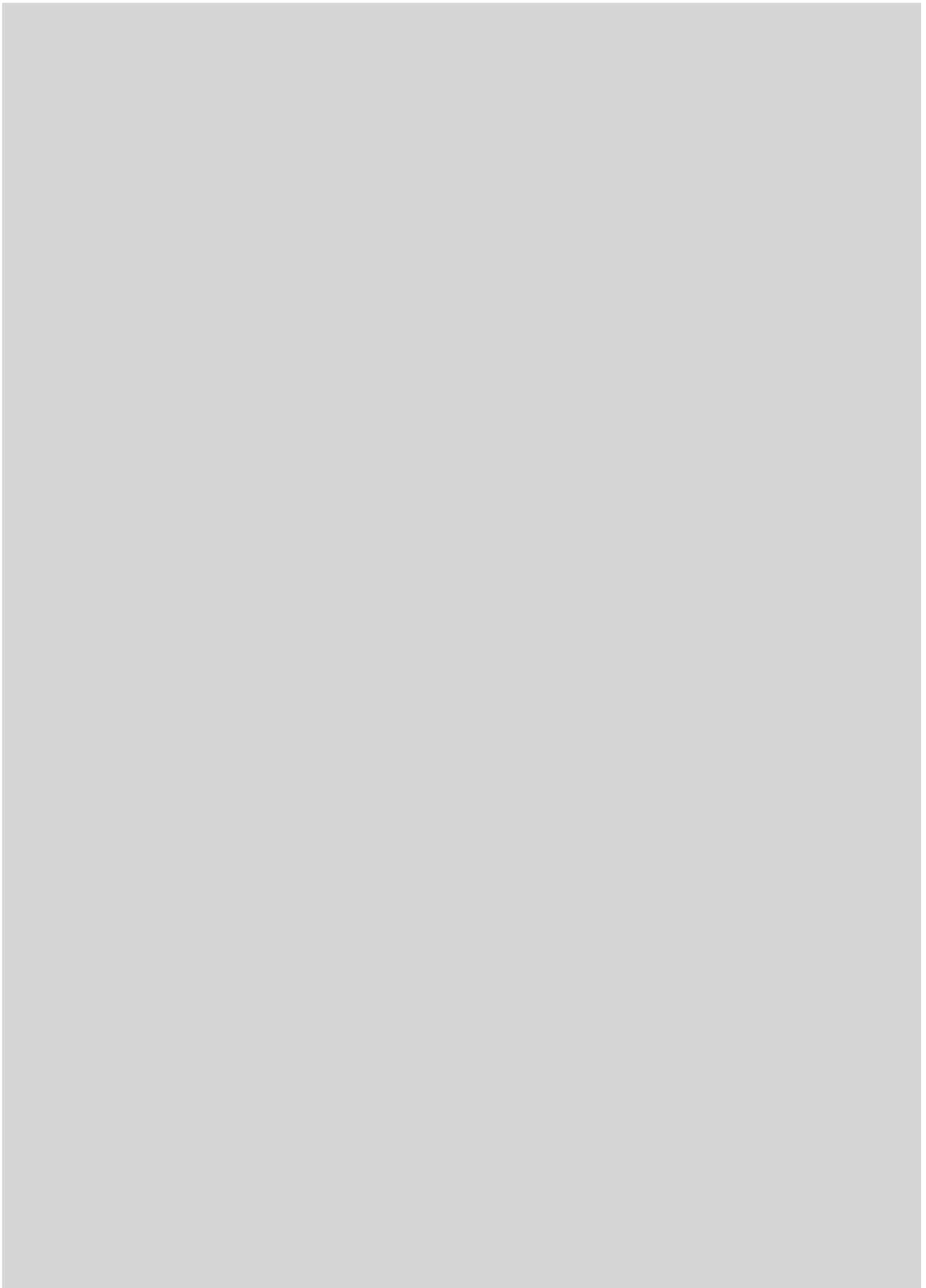
EL TIEMPO

LA FLECHA DEL TIEMPO
MEDICION DEL TIEMPO
TIEMPO Y ETERNIDAD
EL TIEMPO MENTAL

UNA MAQUINA DEL TIEMPO
FILOSOFIA DEL TIEMPO
EL TIEMPO BIOLOGICO
Y MAS ...







SECCIONES

5

HACE...

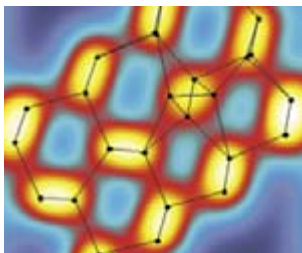
50, 100 y 150 años.



6

APUNTES

Ecología, Cosmología, Computación y relatividad general, Astrofísica, Óptica, Informática y música.



24

DE CERCA

Plancton gelatinoso.



EL TIEMPO

8 La flecha del tiempo

Paul Davies

Todo parece indicar que el tiempo corre inexorablemente, del pasado inmutable hacia el incierto futuro, pasando por el presente tangible. Pero eso es mera ilusión.

14 Filosofía del tiempo

George Musser

El tiempo, que se les escapa a los físicos, ¿podrían ayudar a explicarlo los filósofos?

16 La máquina del tiempo

Paul Davies

Difícil sería construir una, pero quizá no imposible.

22 De lo instantáneo a lo eterno

David Labrador

Las unidades de tiempo cubren desde los episodios más efímeros hasta duraciones interminables. Las descripciones que aquí ofrecemos tratan de dar idea de este vasto abanico cronológico.

26 El tiempo biológico

Karen Wright

Con su cómputo en minutos, meses o años, los relojes biológicos mantienen en punto el funcionamiento del cerebro y del organismo entero.

34 El tiempo mental

Antonio R. Damasio

En su cómputo intervienen diversas estructuras cerebrales, que organizan cronológicamente nuestros recuerdos.

SECCIONES

92

CURIOSIDADES DE LA FÍSICA

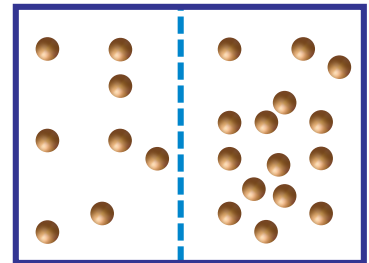
El aceite de Flandes,
por J.-M. Courty y E. Kierlik



94

JUEGOS MATEMÁTICOS

Ruletas, monedas y entropía,
por Juan M. R. Parrondo



96

AVENTURAS PROBLEMÁTICAS

Jugar a invertir,
por Dennis E. Shasha



42 El tiempo cultural

Carol Ezzell

¿Qué es el tiempo? Las respuestas varían de una sociedad a otra.

44 Tiempo y eternidad

Günther Oestmann

Los relojes astronómicos de la Edad Media y del Renacimiento son obras maestras de la técnica y del arte al servicio de la edificación y del entretenimiento, humanos.

52 Crónica de la medición del tiempo

William J. H. Andrewes

Nuestra concepción del tiempo depende de la manera en que lo midamos.

62 Medición actual del tiempo

W. Wayt Gibbs

Los relojes atómicos, en su búsqueda de espacio, se están reduciendo al tamaño de microchips, al tiempo que se acercan a los límites de precisión útil.

70 Tiempo y envejecimiento de los materiales

Manuel Elices Calafat

El tiempo deja su huella en los materiales que, como los seres vivos, envejecen. Unos se dejan llevar hacia un reposo equilibrado mientras que otros, los materiales biológicos, luchan por mantener su juventud.

82 ¿Varían las constantes?

Jean-Philippe Uzan

Dos constantes fundamentales de la física parecen haber variado en el transcurso de la historia del universo. Estas observaciones reabren un viejo debate sobre la naturaleza de las leyes físicas.

INVESTIGACION CIENCIA

DIRECTOR GENERAL José M.^a Valderas Gallardo
DIRECTORA FINANCIERA Pilar Bronchal Garfella
EDICIONES Juan Pedro Campos Gómez
PRODUCCIÓN M.^a Cruz Iglesias Capón
Bernat Peso Infante
SECRETARÍA Purificación Mayoral Martínez
ADMINISTRACIÓN Victoria Andrés Laiglesia
SUSCRIPCIONES Concepción Orenes Delgado
Olga Blanco Romero
EDITA Prensa Científica, S. A. Muntaner, 339 pral. 1.^a
08021 Barcelona (España)
Teléfono 934 143 344 Telefax 934 145 413
www.investigacionyciencia.es

SCIENTIFIC AMERICAN

EDITOR IN CHIEF John Rennie
EXECUTIVE EDITOR Mariette DiChristina
MANAGING EDITOR Michelle Press
ASSISTANT MANAGING EDITOR Ricki L. Rusting
NEWS EDITOR Philip M. Yam
SPECIAL PROJECTS EDITOR Gary Stix
SENIOR WRITER W. Wayt Gibbs
EDITORS Mark Alpert, Steven Ashley,
Graham P. Collins, Carol Ezzell,
Steve Mirsky y George Musser
PRODUCTION EDITOR Richard Hunt
VICE PRESIDENT AND MANAGING DIRECTOR, INTERNACIONAL
Charles McCullagh
PRESIDENT AND CHIEF EXECUTIVE OFFICER
Gretchen G. Teichgraber
CHAIRMAN Rolf Grisebach

DISTRIBUCION

para España:

LOGISTA, S. A.

Aragoneses, 18
(Pol. Ind. Alcobendas)
28108 Alcobendas (Madrid)
Tel. 914 843 900

para los restantes países:

Prensa Científica, S. A.

Muntaner, 339 pral. 1.^a
08021 Barcelona
Teléfono 934 143 344

PUBLICIDAD

GM Publicidad
Menorca, 8, semisót., centro, izda.
28009 Madrid
Tel. 914 097 045
Fax 914 097 046

Cataluña:
QUERALTO COMUNICACION
Julián Queraltó
Sant Antoni M.^a Claret, 281 4.º 3.^a
08041 Barcelona
Tel. y fax 933 524 532
Móvil 629 555 703

COLABORADORES DE ESTE NUMERO

Asesoramiento y traducción:

Angel Garcimartín: *La flecha del tiempo, Filosofía del tiempo y La máquina del tiempo*; Luis Bou: *De lo instantáneo a lo eterno, El tiempo cultural, Medición actual del tiempo y Aventuras problemáticas*; Esteban Santiago: *El tiempo biológico*; Ignacio Morgado: *El tiempo mental*; Francesc Castelló: *Tiempo y eternidad*; J. Vilardell: *¿Varían las constantes?, Hace..., Apuntes y Curiosidades de la física*



Portada: Tom Draper Design

SUSCRIPCIONES

Prensa Científica S. A.
Muntaner, 339 pral. 1.^a
08021 Barcelona (España)
Teléfono 934 143 344
Fax 934 145 413

Precios de suscripción:

	Un año	Dos años
España	55,00 euro	100,00 euro
Extranjero	80,00 euro	150,00 euro

Ejemplares sueltos:

Ordinario: 5,00 euro
Extraordinario: 6,00 euro

—El precio de los ejemplares atrasados es el mismo que el de los actuales.

Difusión controlada

Copyright © 2002 Scientific American Inc., 415 Madison Av., New York N. Y. 10017.

Copyright © 2002 Prensa Científica S. A. Muntaner, 339 pral. 1.^a 08021 Barcelona (España)

Reservados todos los derechos. Prohibida la reproducción en todo o en parte por ningún medio mecánico, fotográfico o electrónico, así como cualquier clase de copia, reproducción, registro o transmisión para uso público o privado, sin la previa autorización escrita del editor de la revista. El nombre y la marca comercial SCIENTIFIC AMERICAN, así como el logotipo correspondiente, son propiedad exclusiva de Scientific American, Inc., con cuya licencia se utilizan aquí.

ISSN 0210136X

Dep. legal: B. 38.999 – 76

Imprime Rotocayfo-Quebecor, S. A. Ctra. de Caldes, km 3 - 08130 Santa Perpètua de Mogoda (Barcelona)

Printed in Spain - Impreso en España

HACE...

...cincuenta años

LA POLIO EN LA DIANA. «El descubrimiento de un modo de cultivar el virus de la poliomielitis en un tejido orgánico —logrado hace tres años por John F. Enders, Thomas H. Weller y Frederick C. Robbins, del Hospital Infantil de Boston— ha dado un notable impulso al estudio de la enfermedad. Supone el fin de la ‘época de los palos de ciego’ en la investigación de la poliomielitis y abre caminos para atacar el problema con mucha mayor amplitud. Los métodos de cultivo en tejidos han brindado a los virólogos un sencillo procedimiento *in vitro* para ensayar una multitud de agentes químicos y antibióticos.»

SUEÑO. «El experimento de la Caverna del Mamut permitió al autor y un colega suyo cambiar a voluntad sus ciclos de sueño en ambientes de temperatura y oscuridad constantes, libres de perturbaciones del ciclo normal de vida (*véase la ilustración*). La corteza cerebral puede prolongar el estado de vigilia, pero no sin límites. Dieciséis horas despiertos de cada 24 debe de ser casi el límite de tolerancia psicológica a largo plazo, para la mayoría de nosotros. Pero lo que cuenta es la proporción, no la duración, del tiempo de sueño. Una persona puede adaptarse a una rutina de permanecer levantado 18 horas y dormir nueve, o estar despierto 12 y dormir seis.»

...cien años

VUELO PROPULSADO. «La popularmente conocida como ‘máquina voladora’ es en verdad una máquina, sin gas que la sostenga, en nada parecida a un globo. Su inventor, Samuel Pierpoint Langley, ha llamado aeródromo (que significa ‘mensajero aéreo’). La máquina es centenares de veces más pesada que el aire y se sostiene gracias a otro principio, a saber, la *rapidez* con que surca

el aire, como un patinador sobre hielo fino. Los modelos actuales pesan menos de 15 kilogramos, un cuarto de ellos correspondientes al motor y los mecanismos. Este y otros modelos han volado repetidamente distancias del orden un kilómetro a velocidades de unos 30 a 45 kilómetros por hora.»

PREDICCIONES. «En la inauguración de la Exposición de Copenhague se leyó una carta de Thomas A. Edison. Decía: ‘Es mi opinión que dentro de treinta años casi en toda línea férrea se habrán descartado las locomotoras de vapor y adoptado motores eléctricos, y que el automóvil eléctrico habrá desplazado casi por completo al caballo. En el estado actual de la ciencia, no hay hechos conocidos que permitan predecirle un futuro comercial a la navegación aérea.’»

EL HABLA DE LOS PECES. «De los peces que emiten sonidos, uno de los más notables que yo haya tenido la suerte de oír fue un ejemplar



La vida en una caverna: En los experimentos sobre los ciclos del sueño, unos se adaptan bien, otros no (1952)

del género *Haemulon* del Golfo de México —uno de esos pomadásidos de tanto colorido y ancha boca, muy corrientes en los arrecifes—. En cuanto saqué uno del agua empezó a gruñir. ‘Oink-oink-oink’ profería, y luego un prolongado ‘o-i-n-k’, sin dejar de mover sus grandes ojos hacia mí con una mirada simpática. Daba la impresión de que aquello representaba un muy primitivo intento de comunicación vocal entre peces.»

...ciento cincuenta años

CONTRA NATURA. «Afirma lo siguiente el profesor Agassiz, el eminente naturalista: ‘Imaginan algunos filósofos que los animales extintos hallados en los estratos geológicos más bajos fueron los primeros en ser creados, pero la ciencia moderna invalida esa suposición al revelar que los *estratos más profundos* contienen *radiata, molusca, articulata y vertebrata*. El plan que impera hoy en el reino animal es el mismo que se exhibía ya cuando aparecieron los animales sobre la Tierra. El pensamiento que planeó la organización de los animales ahora vivientes es el mismo que los dispuso así desde *el principio*’.»

LOS ANILLOS DE SATURNO.

«¿De qué sustancia se componen los anillos de Saturno? Quienes defienden a capa y espada la hipótesis nebular se aferrarían a esta teoría y sostendrían que el planeta y sus anillos estuvieron una vez en estado fluido y que el planeta se enfrió y contrajo desde los anillos. Al menos el anillo más interno es, con toda probabilidad, acuoso. El teniente Matthew F. Maury dice que ‘el cinturón de lluvias tropicales circunda la Tierra. Si las nubes suspendidas sobre ese cinturón fueran luminosas y alguien las pudiera observar desde uno de los planetas, presentarían un aspecto no muy distinto al de los anillos de Saturno’.»

APUNTES

ECOLOGIA

Con los ricos

Los pájaros de Phoenix prefieren los parques de las zonas residenciales ricas a los de barriadas más modestas, según Ann P. Kinzig y Paige S. Warren, de la Universidad de Arizona. Aquéllos albergan a lo largo del año una media de 28,2 especies; los de los barrios pobres, en cambio, sólo 17,5; los de clase media se quedan en 23,2. Kinzig y Warren pensaban que la abundancia y variedad del arbolado tenía que ser la causa de esa disparidad.

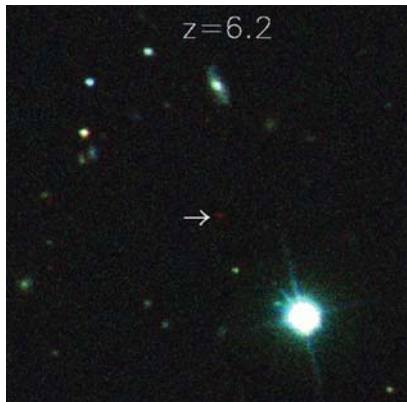
Para su sorpresa, los factores relativos a la vegetación no guardan correlación con los datos que se refieren a las aves: los barrios pobres tenían una mayor diversidad arbórea. La explicación ha de estar en otras variables, ligadas al factor aparente —la categoría socioeconómica—, que puedan influir en las preferencias de los pájaros, así el diseño del entorno o la actividad económica.

—Philip Yam

COSMOLOGIA

Los primeros cuásares

En los últimos años se ha revolucionado la observación de las galaxias remotas, hasta el punto de que ahora se está muy cerca de su origen mismo. Una criba de las imágenes del Estudio Digital de los Cielos Sloan descubrió en 2001 el primer cuásar —una galaxia remota y brillantísima— con un desplazamiento z al rojo, debido a la expansión del universo, mayor que seis (6,28, en concreto). Este número indica que, en el momento en que se emitió esa luz, el universo tenía unos mil millones de años. Hacía, pues, sólo unos cientos que se habían formado las primeras estrellas y galaxias. Se calcula que el agujero negro que alimentó la emisión de energía de ese cuásar, así como los de los otros tres que se conocen con z mayor de 5,7, debía de tener una masa de más de dos o tres mil millones de soles (mil veces mayor que el del centro de la Vía Láctea). Habida cuenta de la juventud por entonces del universo, se contó con poco margen de tiempo para la formación de agujeros de semejante tamaño. Varias magnitudes físicas debieron cumplir unas condiciones verosímiles, pero no triviales. Eso sí, puede que parte de la inmensa lumi-



nosidad de al menos alguno de tales cuásares sea sólo aparente, en cuyo caso la masa de su agujero sería menor. El flujo de radiación de alrededor de un tercio de los cuásares con z del orden de 6 estaría, como poco, duplicado a causa de la acción de lente gravitatoria ejercida por galaxias interpuestas entre ellos y nosotros, arguyen Wyithe y Loeb. (Tendría mucho sesgo la distribución estadística de esa magnificación: según el valor de otros parámetros, la mediana caería entre 1,1 y 1,3, la media entre 5 y 50.) Según Haiman y Cen, el cuásar con $z = 6,28$

La debilísima imagen óptica en que se identificó el cuásar más lejano conocido hasta ahora. Se seleccionaron los candidatos a cuásar con filtros de color e intensidad, más un análisis de la distribución de energía por píxeles para descartar rayos cósmicos. Luego se confirmó la existencia del cuásar espectroscópicamente

no estaría magnificado más de cinco veces (a ese límite corresponde un agujero negro de cientos de millones de masas solares). En el espectro de ese remoto objeto se ha visto además, por primera vez, la depresión de Gunn-Peterson: la supresión casi completa de un intervalo de frecuencias contiguo a la principal línea de emisión del hidrógeno del cuásar. ¿Qué interpretación dar a ello? El medio intergaláctico, neutro mientras nacían las galaxias, se reionizó poco después de que el universo alcanzara la edad correspondiente a un z de 6,28 (es el hidrógeno neutro de ese medio el que absorbe los fotones). La edad a la que ocurrió la reionización es un parámetro cosmológico clave.

NASA/CXC/PSU/N. BRANDT et al.

COMPUTACION Y RELATIVIDAD GENERAL

El ordenador que viaja por el tiempo

La posibilidad de curvas cerradas en el tiempo que transmitan información es más que dudosa. Pero Todd A. Brun ha imaginado un ordenador que utilizaría una curva así para resolver, como por arte de magia, problemas inasequibles, por ejemplo factorizar un número N muy grande. Para encontrar un divisor de N el programa probaría con todos los enteros, uno a uno. Supongamos que en el instante t el ordenador está probando con el número p . Si no es divisor de N , se le suma 1, y así sucesivamente hasta alcanzar un valor p^* que sí lo sea. El proceso llevará su tiempo, quizás una inmensidad

de tiempo, pero ahí interviene la curva cerrada: transfiere el valor p^* al pasado, al instante t , y lo carga entonces en el registro por cuyo valor se va dividiendo N . Claro está, p^* será divisor de N , ahora en el instante t , pero partimos de que el número que en ese momento se probaba era p , que no lo era! No cabe tal incoherencia; por tanto, $p = p^*$ en t . ¡El algoritmo habrá resuelto el problema sin que haya que ejecutarlo! Brun concluye que esta es una razón para considerar aún más improbable la existencia de curvas cerradas en el tiempo que transmitan información.

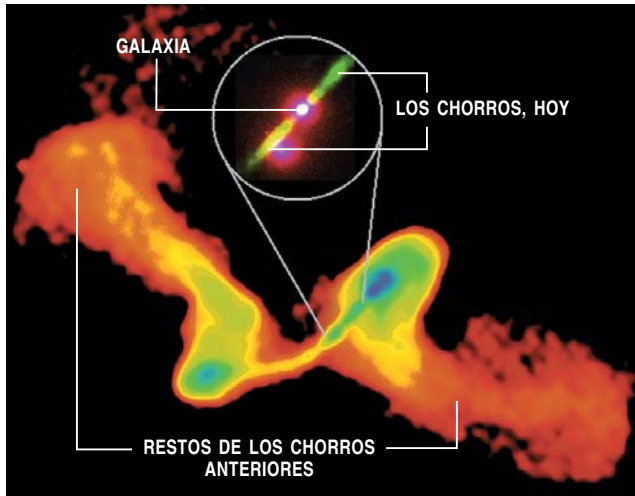
ASTROFISICA

Cuando dos agujeros negros se juntan

Aunque se ha estado dando por sentado que, cuando dos galaxias chocan, los agujeros negros de sus núcleos se unen, no se había encontrado prueba alguna de que así fuera. Ahora, David R. Merritt y Ronald D. Ekers sostienen en *Science* que las extrañas configuraciones de los chorros, potentes radiofuentes, que emanan de las galaxias activas llevan la impronta de tales fusiones celestes.

Se cree que los chorros, emitidos al caer en espiral la materia en un agujero negro, corren paralelos al eje de rotación de éste. Infieren esos dos astrofísicos que hasta un agujero negro pequeño haría que su compañero mayor rotase al ir los dos a unirse, con lo cual los chorros pasarían de presentar forma de I a tenerla de X distorsionada. Dado el número de galaxias que exhiben esas características y los cien millones de años de vida de los chorros, calculan que se produce una fusión de agujeros al año, información de utilidad para quienes abogan por los detectores de ondas gravitatorias.

—JR Minkel



OBSERVATORIO NACIONAL DE RADIOASTRONOMIA/AUI/
SPACE TELESCOPE SCIENCE INSTITUTE

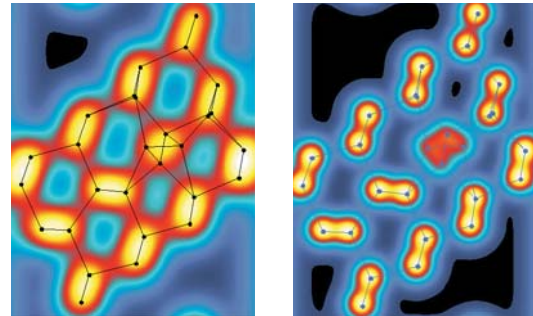
La fusión de dos agujeros negros quizá haya desplazado los chorros de la radiogalaxia NGC 326. En un principio debían de apuntar a las 10 y a las 4; ahora lo hacen a las 8 y a las 2

OPTICA

Sin aberración

Como las lentes ópticas, las lentes magnéticas de los microscopios electrónicos sufren imperfecciones que enturbian las imágenes. Ahora, como se informa en *Nature*, sendos equipos del centro de investigación Watson de IBM de Yorktown Heights (Nueva York) y de Nion R&D, en Kirkland (Washington), han empleado lentes múltiples y unos refinados programas para contrarrestar el más grave de esos defectos: la aberración esférica. El haz electrónico resultante es menos ancho que un átomo de hidrógeno; facilita la formación directa de imágenes de estructuras menores que un angstrom (un nanómetro). Conforme menguan las dimensiones de los microcircuitos de ordenador, los científicos necesitan de esa resolución para observar y localizar defectos de los materiales a nivel atómico, como, por ejemplo, la ausencia o el exceso de átomos en su estructura. Estudios precedentes habían ofrecido sólo vislumbres borrosos de dichos defectos.

—JR Minkel



IBM: ILUSTRACIONES DE MATT COLLINS

Resolución: Una vez corregida la aberración esférica, los átomos de silicio aparecen con mayor nitidez (izquierda) que sin la corrección (derecha)

INFORMATICA Y MUSICA

Sin cuerdas

Los instrumentos musicales computarizados suelen recurrir a un MIDI (acrónimo en inglés de interfaz digital para instrumentos musicales) a fin de transformar las vibraciones mecánicas en información, que un programa convertirá en sonido. Sorprende cuán insensibles se mues-



El arco virtual de violín ofrece las mismas sensaciones que su pariente real

tran esos instrumentos a los movimientos sutiles de la mano del músico; además, pocos ofrecen una reacción háptica (táctil), crucial para una interpretación precisa y expresiva. Charles Nichols, antes en la Universidad de Stanford y ahora profesor de composición y técnica musical en la Universidad de Montana, ha desarrollado un arco de violín computarizado que ofrece una sensación comparable a la de los arcos tradicionales. El vBow, como lo llama Nichols, es una varilla de fibra de vidrio que corre por una ranura conectada a un chasis en forma de violín. Servomotores y cables imitan fielmente la reacción háptica habitual de los violines; sensores de alta resolución captan los detalles finos de la interpretación. Pero Nichols, antes de que pueda crear una música de ordenador más expresiva, tendrá que desarrollar las cuerdas y la caja correspondientes; espera completar un violín virtual en pocos años.

—Steven Ashley

CHARLES NICHOLS

La flecha del tiempo

Todo parece indicar que el tiempo corre inexorablemente, del pasado inmutable hacia el incierto futuro, pasando por el presente tangible. Pero eso es mera ilusión

Paul Davies

“**R**ecoge tus rosas mientras puedas,/pasa el tiempo y nada queda”, escribía Robert Herrick, poeta inglés del siglo XVII, plasmando ese sentimiento general de que el tiempo vuela. ¿Y quién dudaría de ello? El paso del tiempo expresa, probablemente, la sensación más honda de la percepción humana, pues vivimos su transcurso fugaz con una intensidad mayor que la que experimentamos con las percepciones del espacio o masa. Se ha comparado el discurrir del tiempo al vuelo de una flecha y al flujo sin retorno de un río, que nos lleva inexorablemente del pasado al futuro. Shakespeare hablaba del “molinillo del tiempo”; su paisano Andrew Marvell, del “alado carruaje del tiempo que se mueve con presteza”.

Por evocativas que resulten estas imágenes, celan una demoledora y profunda paradoja. Nada hay en la física conocida que corresponda al paso del tiempo; en su marco conceptual, el tiempo no transcurre, sino que simplemente es. Algunos filósofos sostienen que la misma noción del paso del tiempo carece de sentido y que la metáfora del río o del flujo del tiempo deriva de una idea errónea. Pero, ¿cómo puede ocurrir que algo tan enraizado en nuestra experiencia del mundo resulte ser falso? ¿Esconde acaso el tiempo una cualidad fundamental que se le ha escapado a la ciencia?

Tiempo tripartito

En nuestro desenvolvimiento diario dividimos el tiempo en tres partes: pasado, presente y futuro. Esta distinción básica constituye el quicio de la estructura gramatical del lenguaje. Asociamos la realidad con el momento presente. Pensamos que lo

El autor

PAUL DAVIES es físico teórico del Centro Australiano de Astrobiología de la Universidad de Macquarie en Sydney. Muy conocido por su obra divulgadora de la ciencia, centra su interés investigador en los agujeros negros, teoría cuántica de campos y origen del universo.

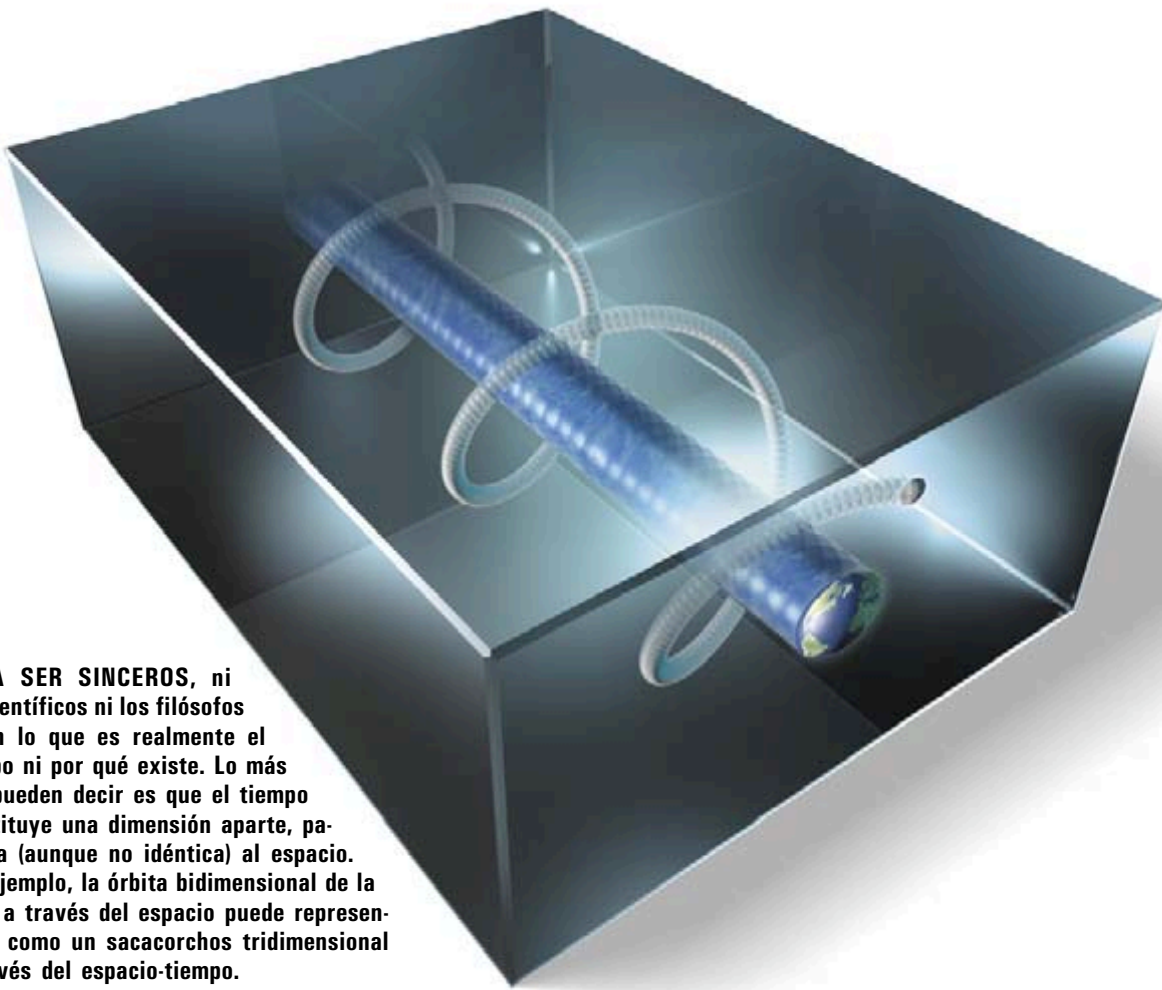
pasado abandonó el mundo de lo existente, mientras que el futuro se adivina en sombra. En este cuadro tan simple, el “ahora” de nuestra cognición consciente se desliza sin cesar hacia delante, transformando los sucesos de un futuro informe en la realidad, tangible aunque efímera, del presente, y de aquí los relega al pasado inmutable.

Por evidente que parezca esta exposición de sentido común, se opone, de plano, a los pronunciamientos de la física. Lo expresaba en famoso aforismo Albert Einstein: “Pasado, presente y futuro son sólo ilusiones, aunque sean ilusiones pertinaces”. La sorprendente conclusión que comunicaba así a un amigo se colegía directamente de su teoría especial de la relatividad, que despoja al momento presente de cualquier significado absoluto o universal. En el marco de esa teoría, la simultaneidad es relativa. Dos sucesos que tengan lugar en el mismo momento si se observan desde un sistema de referencia, pueden ocurrir en momentos distintos si se contemplan desde otro.

Una cuestión banal, como “¿qué está ocurriendo ahora en Marte?”, carece de respuesta concluyente. En la nuez de esa pregunta se halla la separación de la Tierra y Marte, que distan unos 20 minutos luz. Puesto que la información no puede viajar más rápido que la luz, un observador instalado en nuestro planeta es incapaz de conocer la situación ese mismo instante en Marte. Debe inferir la respuesta tras el suceso, una vez que la luz haya podido viajar de uno a otro planeta. La inferencia sobre dicho evento dependerá de la velocidad del observador.

Así, en una posible expedición tripulada a Marte, los controladores en la Tierra podrían preguntarse: “A saber qué estará haciendo ahora el comandante Jones en la Base Alfa”. Tras consultar el reloj y ver que son las 12 del mediodía en Marte, podrían concluir: “Estará comiendo”. Pero un astronauta que viajara cerca de la Tierra a una velocidad cercana a la de la luz en el mismo instante podría afirmar —mirando su reloj— que la hora en Marte pasaba de las 12 o aún no llegaba, dependiendo del sentido de su movimiento. La respuesta de ese astronauta a la cuestión de lo que estaba haciendo Jones sería

PARA SER SINCEROS, ni los científicos ni los filósofos saben lo que es realmente el tiempo ni por qué existe. Lo más que pueden decir es que el tiempo constituye una dimensión aparte, parecida (aunque no idéntica) al espacio. Por ejemplo, la órbita bidimensional de la Luna a través del espacio puede representarse como un sacacorchos tridimensional a través del espacio-tiempo.



“preparando la comida” o “lavando los platos”. Tales discrepancias ponen en ridículo cualquier intento de conferir una preeminencia especial al momento presente, pues ¿a qué “ahora” se refiere ese momento? Si usted y yo nos encontráramos en movimiento relativo, un suceso que yo dictaminara que pertenece al todavía incierto futuro podría existir ya para usted en el pasado inmutable.

La conclusión más llana es que tanto pasado como futuro están fijados. Por esta razón, los físicos prefieren asumir que el tiempo está desplegado ya en su completitud —una suerte de paisaje temporal, análogo al espacial— con los sucesos del pasado y del futuro colocados allí todos juntos. Concepto que se suele denominar entramado del tiempo. Esta descripción carece por completo de un momento especial privilegiado, tal que el presente, o de cualquier proceso que convierta sistemáticamente los sucesos futuros en presentes y luego en pasados. En suma, el tiempo de los físicos ni transcurre ni fluye.

Irrealidad del flujo, realidad del tiempo

A lo largo de los años, ciertos filósofos han llegado a la misma conclusión considerando lo que habitualmente queremos decir con la expresión transcurso del tiempo. Afirman que la noción carece de coherencia interna. El concepto de flujo, después de todo, se refiere al movimiento. Tiene sentido hablar

del movimiento de un objeto físico, como el de una flecha por el aire, midiendo su cambio de posición con el tiempo. Pero, ¿qué significado puede conferirse al movimiento mismo del tiempo? ¿Respecto a qué se mueve? Mientras que otros tipos de movimiento relacionan un proceso físico con otro, el supuesto flujo del tiempo relaciona el tiempo consigo mismo. Plantearse la simple cuestión de cuán rápido pasa el tiempo pone al descubierto el absurdo de la idea en sí. La respuesta trivial de “un segundo por segundo” no nos dice absolutamente nada.

Aunque nos resulta conveniente referirnos al transcurso del tiempo en los asuntos cotidianos, la noción no aporta ninguna información que no pudiera ser expresada sin ella. Considérese la siguiente situación: *Alicia ansiaba unas navidades blancas, pero cuando llegó el día quedó desilusionada porque sólo llovía; sin embargo, se alegró de que nevara al día siguiente.* Pese a que esta descripción aparece repleta de tiempos verbales y de referencias al transcurrir del tiempo, la misma información se expresa simplemente correlacionando los estados mentales de Alicia con fechas, omitiendo toda referencia al paso del tiempo o a los cambios del mundo. Así, el siguiente catálogo de los hechos, aunque rudo y seco, basta:

- 24 de diciembre: *Alicia ansía unas navidades blancas.*
- 25 de diciembre: *Llueve. Alicia está desilusionada.*
- 26 de diciembre: *Nieva. Alicia está contenta.*

En esta descripción nada cambia, nada transcurre. Simplemente se dan estados del mundo en diferentes fechas y, asociados, estados mentales de Alicia.

Datan de los filósofos griegos Parménides y Zenón argumentos similares. Hace un siglo, John McTaggart intentó trazar una clara distinción entre la descripción del mundo en términos de sucesos que ocurren, a lo que el filósofo británico denominó serie A, y la descripción en términos de fechas correlacionadas con estados del mundo, la serie B. Cada una de ellas da la impresión de describir correctamente la realidad; sin embargo, ambos relatos parecen contradictorios. Por ejemplo, el suceso “Alicia está desilusionada” formó parte del futuro, luego del presente y, por último, del pasado. Pero pasado, presente y futuro son categorías exclusivas, así que ¿cómo podría un suceso singular tener la característica de pertenecer a las tres? McTaggart aprovechó la disparidad entre las series A y B para rebatir la misma realidad del tiempo, una conclusión quizá demasiado radical. La mayoría de los físicos lo plantearía de manera menos drástica: el flujo del tiempo es irreal, pero el tiempo mismo es tan real como el espacio.

Flecha del tiempo

Una fuente de confusión al estudiar el paso del tiempo proviene de su conexión con la llamada flecha del tiempo. Negar el flujo del tiempo no es lo mismo que afirmar que las designaciones “pasado” y “futuro” carezcan de fundamento físico. Los sucesos del mundo forman innegablemente una secuencia unidireccional. Un

huevo que caiga al suelo se romperá en pedazos, pero no veremos nunca el proceso inverso: que el huevo roto se recomponga espontáneamente en un huevo entero. Este es un ejemplo de la segunda ley de la termodinámica, según la cual la entropía de un sistema cerrado —lo que define aproximadamente su grado de desorden— tiende a aumentar con el tiempo. El huevo intacto tiene menos entropía que el cascado o roto.

En la naturaleza abundan los procesos físicos irreversibles. Por eso, la segunda ley de la termodinámica cumple una función principal: impone al mundo una asimetría tajante entre las direcciones del eje del tiempo hacia el pasado y hacia el futuro. Por convención, la flecha del tiempo apunta hacia el futuro. Eso no implica, sin embargo, que la flecha se mueva hacia el futuro, de la misma manera que la aguja de la brújula señalando el norte no indica tampoco que la brújula se mueva hacia el norte. Ambas flechas simbolizan una asimetría, no un movimiento. La flecha del tiempo denota una asimetría del mundo *en el tiempo*, no una asimetría o flujo *del tiempo*. Los epítetos “pasado” y “futuro” pueden aplicarse legítimamente a las direcciones temporales, de igual modo que “arriba” y “abajo” pueden aplicarse a unas direcciones espaciales, pero puntualizar *el pasado* o *el futuro* es tan carente de significado como especificar el arriba o el abajo.

La distinción entre “estar en pasado” o “estar en futuro” y “el” pasado o “el” futuro queda ilustrada si nos imaginamos una película, en la cual —supongamos— un huevo se estrella contra el suelo y se rompe. Si la filmación se proyectara hacia atrás, todos juzgarían que la secuencia es irreal. Imaginemos que el carrete de película se cortara en fotogramas que luego se barajaran. Sería una tarea sencilla para cualquiera volverlas a colocar en orden en un montón, con el huevo roto encima del todo y el huevo intacto abajo. Este apilamiento vertical retiene la asimetría implícita en la flecha del tiempo porque forma una secuencia ordenada en el espacio vertical, lo que prueba que la asimetría del tiempo es realmente una propiedad de los estados del mundo, no una propiedad del tiempo en cuanto tal. No es necesario pasar la película para discernir la flecha del tiempo.

Dado que la mayoría de los análisis físicos y filosóficos del tiempo no son capaces de poner de manifiesto signo alguno de flujo temporal, nos quedamos envueltos en un halo de misterio. ¿A qué deberíamos atribuir la profunda y universal impresión de que el mundo se halla en un continuo estado de flujo? Algunos investigadores, entre los que sobresale el químico Ilya Prigogine, ganador del premio Nobel y actualmente en la Universidad de Texas, han sugerido que la sutil física de los procesos irreversibles convierte el flujo del tiempo en un aspecto objetivo del mundo. Pero yo y otros más pensamos que se trata de algún tipo de ilusión.

Después de todo, no observamos realmente el transcurso del tiempo. Lo que de hecho observamos es que los estados más recientes del mundo difieren de los estados previos que todavía recordamos. El hecho de que recordemos el pasado, y no el futuro, es una observación no del transcurso del tiempo sino de la asimetría temporal. Sólo el observador consciente re-

NADIE SABE REALMENTE...

¿Qué viene a ser el tiempo?

SAN AGUSTÍN DE HIPONA, teólogo famoso del siglo V, señalaba que sabía qué era el tiempo, hasta que alguien se lo preguntaba. Entonces le faltaban palabras para explicarlo. Como tenemos una sensación del tiempo psicológica, las definiciones del tiempo basadas en la física nos parecen áridas e inadecuadas. Para los físicos, el tiempo es simplemente lo que —con exactitud— miden los relojes. Para los matemáticos, un espacio unidimensional, por lo general supuesto continuo, aunque podría estar cuantizado en “cronones” discretos, al modo de los fotogramas de una película.

El hecho de que el tiempo pueda tratarse como una cuarta dimensión no significa que sea idéntico a las tres dimensiones del espacio. El tiempo y el espacio entran en nuestra experiencia cotidiana y en la teoría física de distinta manera. Así, la fórmula para calcular las distancias espaciotemporales no es la misma que la empleada para calcular distancias espaciales. La distinción entre espacio y tiempo subyace bajo la noción capital de causalidad, impidiendo que causa y efecto se entremezclen sin remedio. Por otra parte, muchos físicos creen que, en la escala más ínfima de tamaño y duración, podrían el espacio y el tiempo perder sus identidades diferenciadas.