

INVESTIGACIÓN Y CIENCIA

Enero 2012 InvestigacionyCiencia.es

Edición española de SCIENTIFIC AMERICAN

BIOLOGÍA
Evolución
de los virus
gigantes

ASTRONOMÍA
La búsqueda
de vida
en Marte

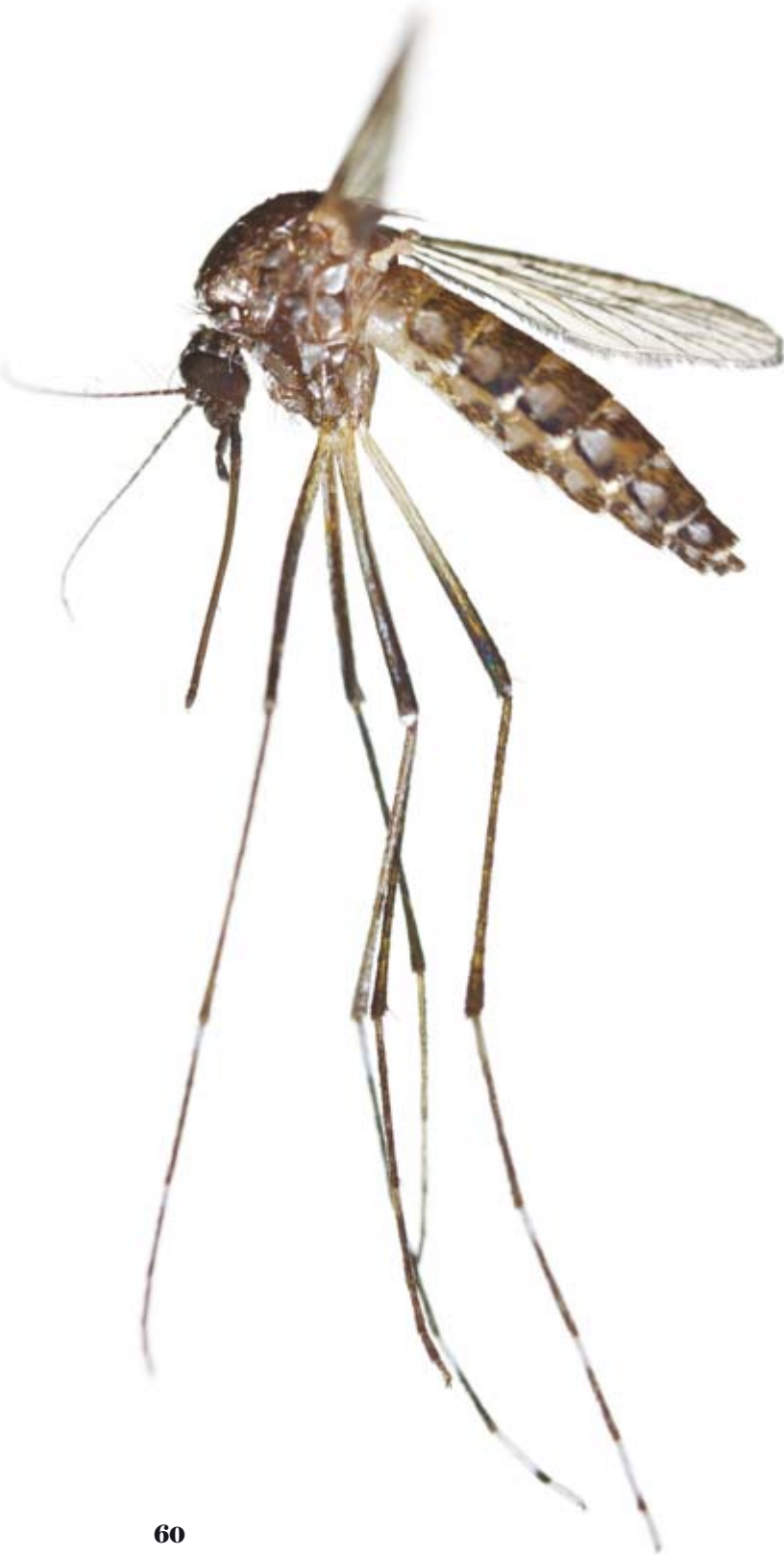
MATEMÁTICAS
De la percolación
a la física
estadística

Agricultura sostenible

Cómo alimentar
a la humanidad
sin degradar
el planeta



6,00 EUROS



ARQUEOLOGÍA

18 **Los primeros americanos**

Se ha descubierto que los humanos colonizaron el Nuevo Mundo mucho antes de lo que se pensaba. *Por Heather Pringle*

PLANETAS

26 **Buscando vida en Marte**

La misión Mars Phoenix reavivó las esperanzas sobre la habitabilidad del planeta rojo. El Laboratorio Científico para Marte podría zanjar la cuestión. *Por Peter H. Smith*

34 **Los astronautas más pequeños**

Por David Warmflash

ECOLOGÍA

36 **Hongos patógenos en la selva**

La transformación que están sufriendo los bosques tropicales conlleva la proliferación de enfermedades fúngicas en las plantas. *Por Julieta Benítez Malvido*

MODELOS MATEMÁTICOS

50 **Una fórmula para desencadenar una crisis**

A pesar de las lecciones de 2008, las sociedades de inversión siguen empleando modelos poco fiables para evaluar los riesgos. *Por David H. Freedman*

MEDIOAMBIENTE

54 **Alimentación sostenible**

Un plan global en torno a cinco ejes podría duplicar la producción de alimentos y aliviar las agresiones al medio. *Por Jonathan A. Foley*

BIOTECNOLOGÍA

60 **El gen destructor**

Una nueva variedad de mosquitos transgénicos porta un gen que deja incapacitada su propia descendencia. Podría impedir la propagación de enfermedades. *Por Bijal P. Trivedi*

MICROBIOLOGÍA

68 **Virus gigantes**

El descubrimiento de virus de gran tamaño está cambiando el modo de entender la naturaleza de estos microorganismos y la historia de la vida. *Por James L. Van Etten*

MATEMÁTICAS

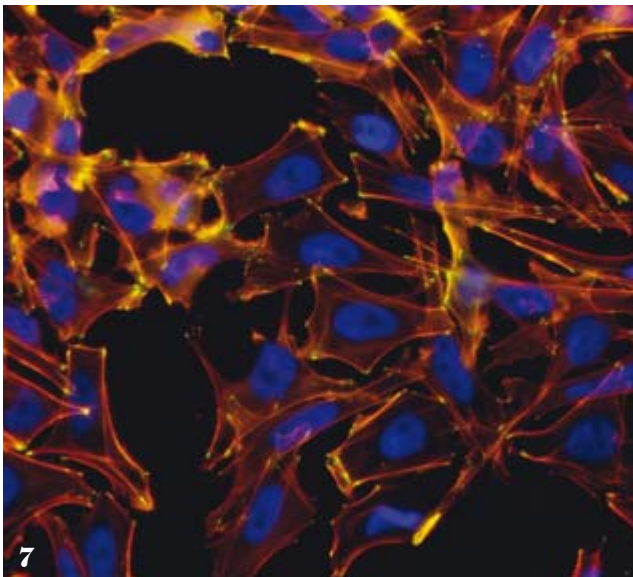
75 **La percolación, un juego de mosaicos aleatorios**

Los modelos de percolación guardan una estrecha relación con la teoría cuántica de campos y la física estadística. *Por Hugo Duminil-Copin*

ENERGÍA

82 **Los inconvenientes de la fracturación hidráulica**

Fracturar repetidamente el terreno para extraer gas natural podría comportar problemas. *Por Chris Mooney*



7



44



90

INVESTIGACIÓN Y CIENCIA

SECCIONES

4 Cartas de los lectores

6 Apuntes

El precursor de la fotocopia. Imágenes en 3D sin gafas.
Arena lunar. ¿Embrión o partenote?
Redes sociales de médicos y pacientes. Atletas del cielo.
Cuanto mayor es el plato, más comida... ¿o al revés?

9 Agenda

10 Panorama

La certeza del azar cuántico. *Por Antonio Acín, Serge Massar y Stefano Pironio*
El problema de la fiesta de cóctel. *Por Graham P. Collins*
El dengue en Latinoamérica. *Por Jorge R. Rey y L. Philip Lounibos*
Tiranosaurios diminutos. *Por Kate Wong*
Reconstrucción de sequías. *Por Fernando Domínguez Castro*

44 De cerca

El gigante durmiente. *Por Sid Perkins*

46 Filosofía de la ciencia

Matemática con estilo.
Por Javier de Lorenzo

48 Foro científico

Decrecimiento energético.
Por Carles Riba Romeva

88 Curiosidades de la física

Limaduras que trazan círculos.
Por Jean-Michel Courty y Édouard Kierlik

90 Juegos matemáticos

El problema del censor.
Por Gabriel Uzquiano

92 Libros

Biogeografía palpable. *Por Marc Furió*
Nano. *Por Luis Alonso*
Francis Crick. *Por Mauro Capocci*
Un nuevo modelo de análisis histórico. *Por Julio Mangas*

96 Hace...

50, 100 y 150 años.

EN PORTADA

Satisfacer la demanda mundial de alimentos, al tiempo que se mitigan las agresiones al ambiente, representa uno de los grandes retos al que se enfrenta la humanidad hoy y en los próximos decenios, en los que se prevé un enorme crecimiento de la población. Un plan que incluya la mejora de las prácticas agrícolas y la distribución de alimentos, así como cambios en los hábitos de consumo, permitirían lograr esas importantes metas. Fotografía de Kevin Van Aelst.





Septiembre 2011

¿DEFECTO O PRIMOR?

En el artículo «La evolución del ojo» [INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, septiembre de 2011], Trevor Lamb logra articular, a partir de múltiples indicios, un relato muy convincente sobre la evolución del ojo de los vertebrados. Pero ¿es correcto calificar como «defectos» algunas de las consecuencias de ese desarrollo evolutivo, como el hecho de que los fotorreceptores se encuentren al final de la retina, tras la sombra de vasos sanguíneos y somas celulares? ¿Se ha descartado cualquier posible ventaja de esta disposición?

DONALD ROBINSON
Vancouver, Columbia Británica

RESPONDE LAMB: *Sin duda, debieron darse claros beneficios para que, en el transcurso de la evolución, la vesícula ocular se plegase hacia el interior. Ese proceso acabó situando los fotorreceptores en estrecha vecindad con el epitelio pigmentario de la retina, lo que permite el reciclaje bioquímico de los retinoides tras la absorción de la luz, la atenuación de la luz que atraviesa los fotorreceptores sin ser absorbida, y*

la entrega de oxígeno y nutrientes desde la coroides. Sin embargo, otras consecuencias de este repliegue no pueden interpretarse sino como «cicatrices» de la evolución.

NUESTRA IMAGEN DE LOS AGUJEROS NEGROS

En la entrevista de Peter Byrne a Leonard Susskind [«Los límites del conocimiento», INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, septiembre de 2011], Leonard Susskind insiste en que la realidad quizá rebase siempre los límites de nuestra capacidad de comprensión. En parte, lo atribuye al principio de complementariedad de los agujeros negros, según el cual existe una ambigüedad inherente en el destino de los objetos que se precipitan en un agujero negro. Desde el punto de vista del objeto, este atraviesa el horizonte y queda destruido al llegar a la singularidad central. Para un observador externo, en cambio, el objeto que cae desaparece en el horizonte de sucesos. Parece claro que esta aparente ambigüedad se debe a que, según la teoría general de la relatividad, el tiempo transcurre de diferente manera para el objeto y para el observador.

En realidad, lo que sucede es que, desde el punto de vista del observador, el objeto se «congela en el tiempo» una vez se halla muy próximo al horizonte de sucesos (y desaparece para siempre de nuestra vista cuando el horizonte se expande). No por ello debemos concluir que el destino del objeto sea ambiguo, sino que el suceso se percibe de una forma u otra según cuál sea del sistema de referencia del observador.

ANTHONY TARALLO
La Haya, Países Bajos

RESPONDE SUSSKIND: *Tarallo resume la manera en que la teoría de la relatividad clásica interpretaba, con anterioridad a los años setenta, la caída de un cuerpo en un agujero negro. El problema con dicha interpretación se remonta a los hallazgos de*

Stephen Hawking, quien demostró que, al combinar los efectos de la mecánica cuántica con los de la relatividad general, los agujeros negros emiten radiación y acaban «evaporándose». Tal y como el mismo Hawking subrayó en su momento, si fuese cierto que existen bits de materia que «desaparecen para siempre de nuestra vista», el proceso de evaporación implicaría una contradicción con los principios de la mecánica cuántica. Para resolver el problema, Hawking propuso abandonar dichos principios. Hoy, tras dos decenios de discusiones al respecto, la gran mayoría de los físicos ha llegado a la conclusión de que Hawking se hallaba equivocado. En la actualidad, y por más que resulten contrarios a la intuición, el principio holográfico y el de complementariedad de los agujeros negros constituyen dos pilares esenciales en lo que a nuestra comprensión de la gravedad cuántica se refiere.

Por supuesto que el suceso se observa de manera diferente según el sistema de referencia del observador. Ese es el motivo por el que dos fenómenos aparentemente contradictorios pueden ocurrir a la vez.

Desearía matizar que la afirmación de que «la realidad quizá rebase siempre los límites de nuestra capacidad de comprensión» constituye una aseveración más rotunda de lo que intentaba transmitir. Mi propósito no era sino puntualizar que la manera en que la evolución ha moldeado nuestro cerebro no se presta a visualizar el extraño comportamiento del mundo cuántico, tan ajeno a nuestra intuición, y mucho menos el de la gravitación cuántica. Pese a todo, los físicos han demostrado una gran habilidad para reestructurar su arquitectura neuronal por medio de la matemática abstracta, un proceso que permite reemplazar nuestras antiguas concepciones del mundo por otras más aptas cuando nos debatimos por entender un fenómeno radicalmente nuevo.



CARTAS DE LOS LECTORES

INVESTIGACIÓN Y CIENCIA agradece la opinión de sus lectores. Le animamos a enviar sus comentarios a:

PRENSA CIENTÍFICA, S.A.
Muntaner 339, Pral. 1º, 08021 BARCELONA
o a la dirección de correo electrónico:
redaccion@investigacionyciencia.es

La longitud de las cartas no deberá exceder los 2000 caracteres, espacios incluidos. INVESTIGACIÓN Y CIENCIA se reserva el derecho a resumirlas por cuestiones de espacio o claridad. No se garantiza la respuesta a todas las cartas publicadas.

MENTE y CEREBRO

Revista de psicología y neurociencias

El n.º 52 a la venta en enero

CLAVES DE LA MOTIVACIÓN

- Las dos caras del estrés
- Epilepsia resistente a los fármacos
- La zona gris de la violencia
- La empatía
- Interpretación errónea de las estadísticas
- Entrevista a Philip Zimbardo

Y más...

Para suscribirse:

www.investigacionyciencia.es

Teléfono: 934 143 344

administracion@investigacionyciencia.es



El precursor de la fotocopia

«Este papel resultará valioso», escribió John Herschel en una memoria científica el 23 de abril de 1842, tras observar el efecto de la luz sobre una muestra que había tratado con «ferrocianato de potasa». Este compuesto se tornaba azul por efecto de la luz, lo que hizo pensar a Herschel que había descubierto el principio de la fotografía en color. No ocurrió así, ni Herschel viviría tampoco lo suficiente como para presenciar la auténtica utilidad de su descubrimiento.

En 1839, Herschel, químico y astrónomo británico, ya había efectuado un hallazgo clave para la impresión salina en blanco y negro (el primer negativo fotográfico) al descubrir una manera de fijar la imagen con tiosulfato de sodio. Su obsesiva búsqueda de otras sustancias fotosensibles le llevó a ensayar con extractos vegetales, orina de perro, y hasta con cierto fármaco, por entonces recién descubierto y hoy denominado ferrocianuro potásico. Este producía imágenes con buen contraste, sobre todo si se combinaba con otro medicamento (citrato de amonio férrico). Además, la imagen era resistente al lavado. Herschel llamó *cianotipo* a su invento, pero este no le satisfizo en absoluto ya a que jamás logró que produjese una imagen positiva estable, sino tan solo negativos. La mayoría de los fotógrafos compartían su opinión, por lo que prescindieron del extraño matiz azulado en favor de las imágenes convencionales en blanco y negro.



El cianotipo no resucitaría hasta un año después del fallecimiento de Herschel. En 1872, la compañía Marion and Company, con sede en París, lo rebautizó como *papel ferroprusiato* y comenzó a comercializarlo para la reproducción de planos arquitectónicos (con anterioridad se copiaba a mano, una técnica costosa y propensa a errores). En la Exposición del Centenario, celebrada en Filadelfia en 1876, el proceso llegó a las costas estadounidenses, donde finalmente triunfó con el nombre de *blueprint* («impresión azul») como el primer procedimiento económico de duplicación de documentos. Todo cuanto se requería era un dibujo sobre papel translúcido. Este se ponía en contacto con una segunda hoja recubierta con el compuesto de Herschel, situada bajo un cristal plano y expuesta a luz solar. Al final, la copia se lavaba con agua. El cianotipo reproducía el original en negativo: con líneas blancas sobre un fondo azul.

Los talleres de cianotipia prosperaron durante casi un siglo, instalados en lo alto de edificios bien iluminados por el sol. Entre los años cincuenta y sesenta del siglo pasado fueron cediendo el paso a procesos que requerían menos trabajo, como la diazocopia y la fotocopia. Hoy, cuando casi todos los planos arquitectónicos se obtienen por medios digitales, Herschel se habría maravillado ante la gama de colores de una impresora láser moderna. Y también se habría quedado perplejo al comprobar que, a pesar de sus intentos fallidos por fotografiar en color, los hablantes de lengua inglesa continúan llamando *blueprint* a cualquier proyecto innovador... y lo presentan sobre un fondo azul.

—Jonathon Keats

DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS

Imágenes en 3D sin gafas

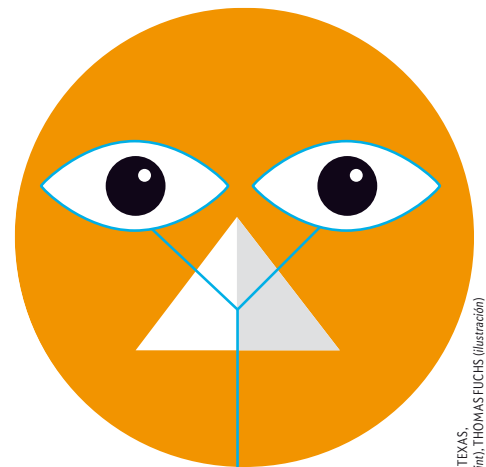
La televisión en tres dimensiones saltó a la fama hace unos dos años. Sin embargo, la técnica adolece de una limitación importante: requiere emplear gafas especiales. Según los expertos en mercadotecnia, el visionado en 3D no se popularizará hasta que los espectadores puedan disfrutarlo con el ojo desnudo.

Aunque la técnica de 3D sin gafas ya existe para teléfonos inteligentes y algunas consolas de videojuegos portátiles, dichos artilugios utilizan pantallas de cristal líquido (LCD), las cuales agotan las baterías con rapidez y limitan la miniaturización de los dispositivos. Por ello, los expertos investigan ahora las posibilidades de los diodos emisores de luz (LED). Debido a que los LED se basan en compuestos orgánicos que brillan en respuesta a señales eléctricas, los dispositivos resultan más finos, ligeros y flexibles

que las pantallas LCD. La técnica fue descrita en detalle en un artículo publicado el pasado mes de agosto en la revista *Nature Communications*.

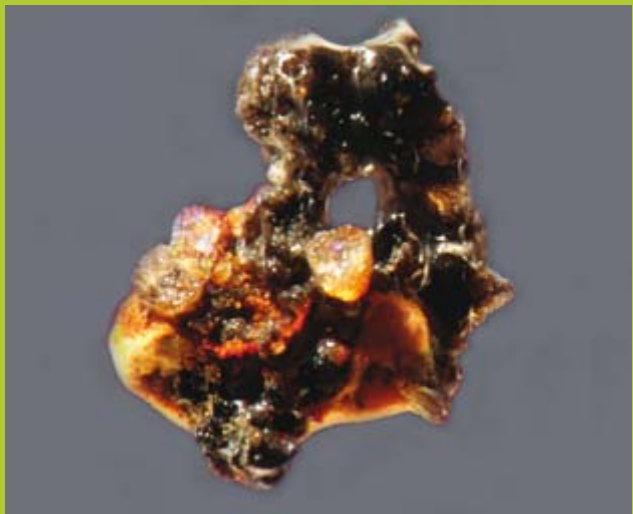
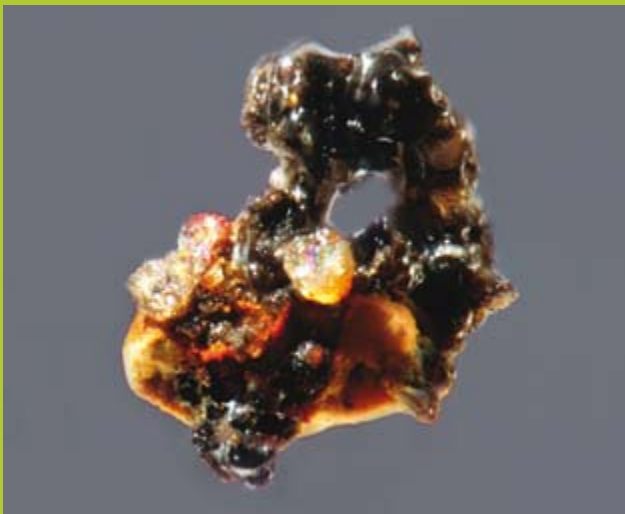
Los investigadores, procedentes de la Universidad Nacional de Seúl, Act Company y Minuta Technology, colocaron una matriz de prismas microscópicos en la pantalla para crear un filtro que guíase la luz en una u otra dirección. El dispositivo, que los expertos bautizaron como *prisma Lucius* (del latín para «brillante y luminoso»), hacía aparecer un objeto que solo podía verse desde cierto ángulo. Al manipular la intensidad de la luz, resultaba posible generar dos imágenes, una para el ojo izquierdo y otra para el derecho. Dicha combinación produce una sensación de profundidad que el cerebro interpreta como tridimensional.

Existen otras técnicas que recrean imágenes en tres dimensiones sin necesidad de gafas. Los teléfonos inteligentes HTC EVO 3D y LG Optimus poseen pan-



tallas con rendijas de precisión que permiten que cada ojo vea un conjunto distinto de píxeles. Sin embargo, exigen que el espectador mire hacia la pantalla desde un ángulo determinado; un inconveniente que la nueva técnica quizá sea capaz de resolver.

—Larry Greenemeier



¿QUÉ ES ESTO?

Arena lunar: Algunos investigadores están utilizando los avances más recientes en el campo de la microscopía para examinar de nuevo las muestras lunares que trajo consigo el *Apolo 11*. Gary Greenberg, del Instituto de Astronomía de la Universidad de Hawái, tomó esta imagen estereográfica (*bizquee ligeramente hasta que observe tres imágenes y, después, fije la vista en el centro*) de un grano de arena lunar, aumentado aquí unas 300 veces. La imagen revela el pequeño ojo de buey provocado por un micrometeorito que chocó contra el grano de arena. El impacto hizo que esa zona se derritiera y, al enfriarse con gran rapidez, se creó una estructura de vidrio. Greenberg y sus colaboradores esperan que otros estudios de esta clase permitan profundizar en los detalles de la evolución de nuestro satélite.

—Ann Chin

CORTESÍA DE GARY GREENBERG (arena lunar); DE: «DERIVATION OF HIGH-PURITY DEFINITIVE ENDODERM FROM HUMAN PARTHENOGENETIC STEM CELLS USING AN IN VITRO ANALOG OF THE PRIMITIVE STREAKS», POR NIKOLAY TUROVETS ET AL. EN CELL TRANSPLANTATION, VOL. 20, N.º 6, JUNIO DE 2011 (células madre)

CÉLULAS MADRE

¿Embrión o partenote?

Muchos investigadores estadounidenses suspiraron de alivio el pasado mes de julio, cuando una resolución judicial aprobó la legalidad de ciertas prácticas con células madre embrionarias. El fallo dictaminaba que los trabajos sobre líneas celulares embrionarias ya existentes y que hubiesen sido derivadas en laboratorios privados no violaban la prohibición de financiar con fondos públicos la destrucción de embriones. Con todo, muchos continúan frustrados al ver cómo un nuevo método para obtener células madre sigue privado de canales de financiación.

Hasta hace poco, crear células madre embrionarias humanas requería comenzar con un óvulo fecundado. En 2007, sin embargo, la compañía International Stem Cell anunció que podía obtener líneas celulares a partir de óvulos sin fecundar. El logro fue posible gracias a la partenogénesis, una técnica que induce la división del óvulo mediante el empleo de sustancias químicas. Aunque, durante las primeras etapas del desarrollo, el conjunto evolucionará tal y como lo haría un embrión, el óvulo —en estos casos denominado parte-

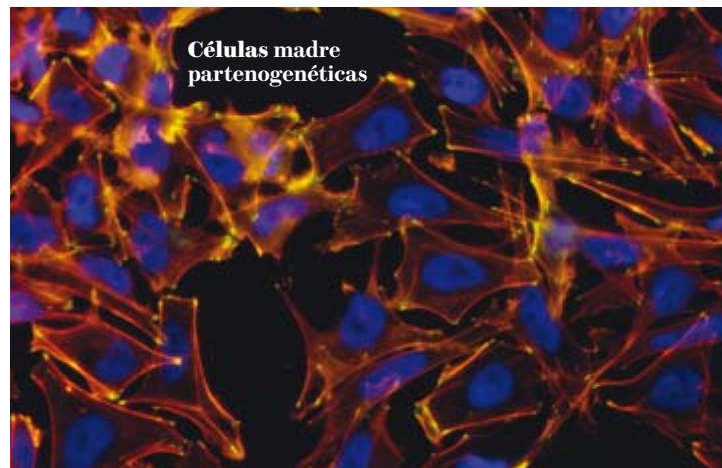
note— carece de material genético paterno, por lo que jamás podrá convertirse en un feto.

Al igual que las células madre embrionarias, las células madre partenogénéticas pueden convertirse en distintas clases de tejidos, los cuales pueden luego trasplantarse a zonas dañadas del cuerpo. Por el momento, International Stem Cell ha conseguido derivar células hepáticas; ahora, investigan la obtención de neuronas para tratar la enfermedad de Parkinson y la de células pancreáticas para la diabetes. Mientras tanto, la Fundación Bedford para la Investigación con Células Madre intenta mejorar la eficiencia de la obtención de células madre a partir de partenotes.

Alan Trounson, presidente del Instituto de Medicina Regenerativa de California, afirma que todavía está por ver si los óvulos sin fecundar producirán tejidos estables. «Es necesario que otros laboratorios lo logren», señala. Pero dicha tarea no se antoja fácil. La

línea de investigación se enfrenta a las directrices de los Institutos Nacionales de la Salud y las leyes federales, para quienes los partenotes son embriones, por lo que derivar nuevas líneas celulares partenogénéticas queda prohibido para todos los laboratorios que reciban financiación pública; es decir, la gran mayoría de ellos. Si la situación no cambia, en EE.UU. habrán de ser los pocos centros privados quienes realicen avances en este nuevo campo.

—Julia Galef



Células madre partenogénéticas

MEDICINA

Redes sociales de médicos y pacientes

A pesar de los adelantos médicos, el tratamiento de muchas enfermedades crónicas sigue siendo bastante aleatorio e incoherente. Por ejemplo, los jóvenes con la enfermedad de Crohn, un doloroso trastorno digestivo que suele diagnosticarse en la adolescencia, a veces reciben información contradictoria sobre medicamentos, modificaciones de la dieta y terapias alternativas. Para ayudar a mejorar la atención de estos pacientes, un equipo de pediatras y expertos en informática está desarrollando un nuevo tipo de red social que convierte a médicos y pacientes en colaboradores de estudios científicos.

Así es como funciona: con cada modificación del tratamiento, el médico y el paciente participan en un miniensayo clínico. El enfermo anota sus síntomas en informes diarios, que comunica mediante mensajes de texto o a través de Internet. El médico utiliza esa información para tomar decisiones inmediatas. ¿Debería cambiarse la dosis del medicamento? ¿Ayuda la nueva dieta a aliviar los síntomas? Después, los resultados de los expe-

rimientos individuales se introducen en un banco de datos en la Red, donde se unen a los de otros pacientes que participan en experimentos similares, con lo que se consigue una mayor comprensión de la dolencia en cuestión. En los primeros ensayos de este proceso, los médicos lograron aumentar la remisión de la enfermedad entre un 55 y un 78 por ciento, sin necesidad de añadir ningún medicamento nuevo a su arsenal. «La idea consiste en realizar una atención continuada y recopilar datos en tiempo real, lo que nos ayuda a mejorar el conocimiento y tratamiento de la dolencia», afirma Peter Margolis, del Centro Médico del Hospital Infantil de Cincinnati y cofundador del nuevo portal, la Red de Colaboración de Cuidados Crónicos (*Collaborative Chronic Care Network*, o *C3N*).

El lanzamiento de C3N tuvo lugar en 2011, en unas 30 instituciones de Estados Unidos. Por ahora, se centra en la enfermedad de Crohn en niños, pero podría ampliarse para incluir otras dolencias, como la diabetes, enfermedades cardíacas,



psoriasis y algunos tipos de cáncer. Los fundadores consideran que C3N supondrá también una nueva plataforma para la investigación clínica, menos centrada en los beneficios que las habituales. «Debido al alto coste de los ensayos clínicos a gran escala, solo suelen estudiarse los tratamientos que puedan proporcionar un alto rendimiento económico», afirma Ian Eslick, doctorando del Laboratorio Multimedia del Instituto Tecnológico de Massachusetts y principal arquitecto de la web de C3N. «A través de C3N, podemos realizar análisis científicos sobre otras estrategias que las personas prueban en sus casas y parecen prometedoras, como los probióticos, las dietas sin gluten o modificaciones en la ingesta de hierro, aunque no vayan a ser rentables».

—Jeneen Interlandi

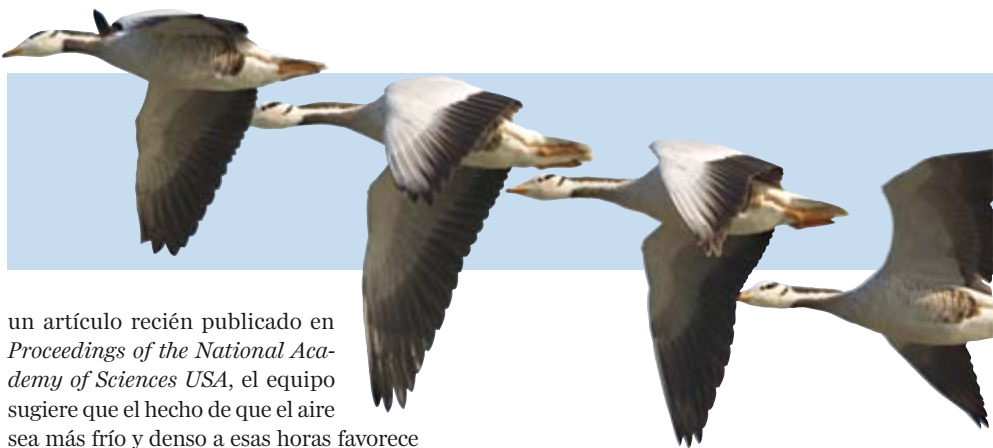
FISIOLOGÍA

Atletas del cielo

Los alpinistas que se esfuerzan por subir los últimos metros de la cumbre del monte Makalu, en el Himalaya, se asombran a menudo al ver a los ánsares indios volando sobre ellos hacia la India, donde pasan el invierno. Atraviesan el cielo a una altura de 8300 metros, casi tan alto como los aviones comerciales.

Durante años, se creía que los fuertes vientos de cola y las corrientes ascendentes ayudaban a los ánsares en su travesía. El equipo de Charles Bishop, de la Universidad de Bangor, en el norte de Gales, comprobó esta teoría mediante el seguimiento de los movimientos de más de una docena de ejemplares. Para establecer su situación, velocidad y altitud, las aves llevaban pequeños paquetes que contenían transmisores vía satélite.

Para su sorpresa, se descubrió que, en lugar de volar a primera hora de la tarde, cuando el calor del terreno crea corrientes que ascienden a veinte kilómetros por hora, los ánsares volaban por la noche o a primera hora de la mañana, cuando de hecho se forma una ligera corriente descendente. En



un artículo recién publicado en *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, el equipo sugiere que el hecho de que el aire sea más frío y denso a esas horas favorece el empuje ascensional de los ánsares. El aire más frío también los ayuda a regular el calor corporal y, además, contiene más oxígeno, lo que les permite volar en el aire enrarecido de las alturas.

El grupo de Bishop se asombró al descubrir que los ánsares cruzaban el Himalaya en un solo día y ascendían unos 6000 metros en siete u ocho horas. Para volar esa distancia a tanta altura, la especie necesita un consumo de oxígeno entre diez y veinte veces mayor de lo normal. En comparación, las aves que vuelan a altitudes inferiores, como el ganso del Canadá, no pueden mantener niveles de metabolismo

en reposo a nueve kilómetros de altura. Unas alas más grandes, una mayor capacidad pulmonar, una densa red de capilares alrededor de los músculos del vuelo y una hemoglobina que retiene con mayor fuerza el oxígeno en los pulmones contribuyen al flujo de oxígeno a través del sistema circulatorio de los ánsares indios y, en concreto, hacia los músculos del vuelo. Comprender mejor por qué los tejidos de esas aves resultan tan eficientes en la absorción de oxígeno podría ayudarnos a explicar la respiración humana.

—David Godkin

THOMAS FUCHS (ilustración); JOHN HOLMES, MINDEN PICTURES (ánsares)

Cuanto mayor es el plato, más comida... ¿o al revés?

Un estudio reciente realizado por la Universidad de Utah sugería que la cantidad de comida consumida en un restaurante dependía del tamaño de los tenedores. Investigaciones como esta nos recuerdan que, en ocasiones, resulta posible extraer conclusiones opuestas a partir de un mismo conjunto de datos. Por desgracia, tales contradicciones no representan ni mucho menos casos aislados. Cuando se trabaja con datos débilmente correlacionados, a menudo pueden inferirse tendencias falsas sin más que redefinir algunas de las categorías empleadas para clasificar los datos. La práctica no es ajena a algunos es-

tudios sobre criminalidad, donde se ha empleado para «demostrar» que ciertas clases de delitos evolucionaban de acuerdo con las pautas deseadas.

Consideremos un ejemplo sencillo, inspirado en el estudio sobre los tenedores. Supongamos que en un bufé almuerzan diez comensales. Nuestro objetivo consistirá en determinar la influencia del tamaño de los platos en la cantidad de comida que se sirve cada uno.

Tres personas recibieron platos de menos de 20 centímetros de diámetro, clasificados como «pequeños». Estas dieron cuenta de 270, 300 y 330 gramos de comida; es decir, una media de 300 gramos. Los cuatro invitados a quienes se les asignaron platos «medianos», de entre 20 y 28 centímetros, consumieron 540, 210, 450 y 120 gramos de comida, lo que supone una media de 330 gramos. Por último, los tres comensales que tomaron platos de más de 28 centímetros de diámetro, considerados «grandes», se sirvieron 390, 330 y 360 gramos: unos 360 gramos de media. ¿Ve la tendencia? Al dar a los comensales platos cada vez mayores, aumenta el tamaño medio del almuerzo. ¡Un resultado estupendo!

Sin embargo, ¿qué habría pasado si hubiésemos decidido que los platos medianos eran aquellos de entre 21 y 27 centímetros, con las correspondientes redefiniciones de los platos pequeños y grandes? Supongamos, además, que el comensal que tomó 540 gramos de comida lo hizo en un plato de 20,5 centímetros. Antes, ese plato era considerado mediano, pero ahora pertenece a la categoría de los pequeños. E imaginemos también que el invitado que se limitó a un parco almuerzo de 120 gramos lo degustó en un plato de 27,5 centímetros, ahora clasificado como grande.

Haga usted mismo los cálculos. A tenor de las nuevas definiciones, quienes ahora almorzaron en platos pequeños, medianos y grandes consumieron, respectivamente, 360, 330 y 300 gramos. ¿Ve la tendencia? A medida que aumenta el tamaño del plato, disminuye la cantidad de comida. ¡Un resultado estupendo!

El problema no reside en el pequeño tamaño de la muestra. Un gran número de datos puede incluso facilitar esta clase de prestidigitaciones, ya que ofrece más oportunidades para jugar con las categorías. ¿Alguien se anima a hacer lo mismo con la intensidad de las manchas solares o con los resultados de la liga de fútbol?

—John Allen Paulos



RYAN MCWAY, GETTY IMAGES (tenedor); AMERICAN DOCUMENTARY FILMS (The City)

CONFERENCIAS

11 de enero - Ciclo

Paleogenómica neandertal; posibilidades y futuro

Carles Lalueza-Fox, Instituto de Biología Evolutiva CSIC-UPF
Museo de la Evolución Humana
Burgos
www.museoevolucionhumana.com

18 de enero - Ciclo sobre demografía

Inmigración y clase social en España

Miguel Requena, UNED
Centro de Ciencias Humanas y Sociales, CSIC
Madrid
www.cchs.csic.es/es/node/277623

EXPOSICIONES

Energía. Por un futuro sostenible

Cosmocaixa
Madrid
www.obrasocial.lacaixa.es

A través del espejo. Lecturas de la obesidad: medicina, arte y sociedad

Instituto de Historia de la Medicina y de la Ciencia López Piñero
Valencia
www.ihmc.uv-csic.es

OTROS

11 de enero - Taller matemático

¡Echen un vistazo a estas partituras!

Ana María Pereira,
Universidad de Minho (Braga)
Universidad de Cantabria
www.unican.es/Aulas/ciencia

12 de enero - Ciclo «Cine y ciencia»

Luces y sombras de la tecnología: las tecnocracias de los años 30 a la luz del documental *The City* de Lewis Mumford

Proyección de la película *The City* (1939)
Presenta Jaume Sastre, CEHIC
Instituto de Estudios Catalanes
Barcelona
blocs.iec.cat/arban/category/cine



11, 18 y 25 de enero - Curso para profesores

Las nuevas «Bio», del laboratorio al aula

Centro de Regulación Genómica
Barcelona
www.crg.eu/formacio

La certeza del azar cuántico

Por vez primera se logra distinguir entre la aleatoriedad intrínseca a un proceso cuántico y el azar ficticio debido al ruido experimental. La clave: el comportamiento no local de las partículas entrelazadas

Nos encontramos en la final del Mundial de Fútbol de 2010. Antes de que comience el partido, el árbitro lanza una moneda al aire para determinar qué portería defenderá cada equipo. Los capitanes de España y Holanda saben que la probabilidad de obtener cara o cruz es la misma: en otras palabras, que la aleatoriedad del resultado garantiza la justicia del sorteo. Pero ¿estamos seguros de que se trata de un proceso realmente aleatorio?

El azar constituye un concepto fascinante que ha atraído el interés de comunidades muy diversas, desde físicos y

matemáticos hasta filósofos. No obstante, en nuestro mundo macroscópico, gobernado por la física newtoniana, el azar no existe en sentido estricto. Dado un sistema de partículas, un observador que disponga de un conocimiento perfecto de sus posiciones, velocidades e interacciones podrá predecir de manera determinista el estado del sistema en todo momento futuro —y pasado—. Todo azar es aparente; en realidad, no supone más que un reflejo de nuestra ignorancia o de nuestra falta de control sobre las variables del sistema.

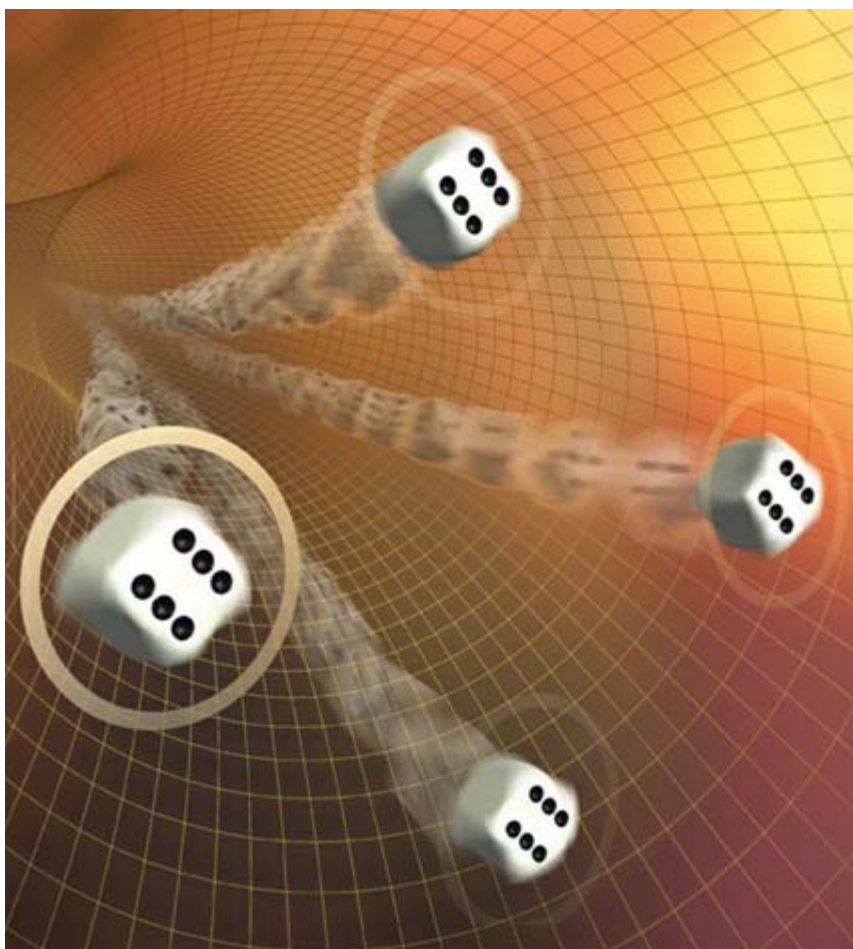
A escala microscópica, sin embargo, nuestro mundo no se halla gobernado por la física de Newton, sino por la física cuántica, una teoría que desafía nuestro sentido común. Según esta existen pares de partículas, denominadas partículas entrelazadas, que se comportan como un objeto único e indivisible aun cuando cada una de ellas se encuentre separada de su compañera por una distancia enorme. El fenómeno, conocido como no-localidad cuántica, fue puesto de manifiesto por John Bell en 1964. Bell dedujo un criterio —la violación de ciertas desigualdades matemáticas— que permitía demostrar el carácter no local de los sistemas cuánticos. La violación de las desigualdades de Bell fue observada experimentalmente por Alain Aspect y sus colaboradores en 1982 [véase «La realidad de los cuantos», por Anton Zeilinger; INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, junio de 2009].

¿Puede esa conexión no local entre partículas entrelazadas utilizarse para enviar mensajes de manera instantánea entre dos sitios lejanos? La respuesta sería afirmativa si fuese posible controlar el comportamiento de cada partícula. La física cuántica, sin embargo, predice que los resultados de las medidas experimentales son *genuinamente* aleatorios. Por tanto, la no-localidad cuántica implica la existencia de una nueva forma de azar en el mundo microscópico: sin él, sería posible enviar información de manera instantánea, lo que contradiría el principio de causalidad relativista, uno de los pilares de la física moderna.

Azar verdadero

Vayamos ahora un poquito más allá en el estudio de la relación entre no-localidad y azar, y preguntémosnos: ¿cuánto azar cuántico se genera en un experimento de no-localidad? ¿Es posible estimarlo y separarlo del azar «ficticio», aquel de naturaleza clásica que solo se debe al ruido y a la falta de control sobre el sistema?

Además de su importancia desde un punto de vista fundamental, tales cuestiones revisten gran interés práctico, ya que el azar supone un recurso con aplicaciones en múltiples y muy diversas áreas, desde



Las partículas cuánticas entrelazadas exhiben una conexión no local que se manifiesta aunque se encuentren separadas grandes distancias. La física cuántica garantiza que los resultados de las medidas sobre las partículas han de ser realmente aleatorios, ya que, en caso contrario, sería posible enviar información de manera instantánea.

la criptografía hasta la simulación de sistemas de física y biología. Por ello, hoy en día se dedican grandes esfuerzos a lograr dos objetivos: por un lado, desarrollar buenos generadores de números aleatorios; por otro, diseñar controles fiables que permitan certificar la naturaleza aleatoria de los números generados por tales dispositivos. Si bien se han concebido distintas propuestas para la generación de números aleatorios —tanto clásicas como cuánticas—, todas ellas adolecen de tres problemas fundamentales.

El primero de ellos es el relativo a la *certificación*: como criterio de la calidad de la aleatoriedad de las secuencias generadas suelen emplearse una serie de controles estadísticos diseñados para detectar patrones en dichas secuencias. Pero, si bien la ausencia de pautas es deseable, no queda claro qué significa que una secuencia supere dichas pruebas. En el caso de los generadores cuánticos existentes hoy en día, el problema de la certificación se antoja aún más crítico, pues resulta contradictorio certificar la presencia de un azar de origen cuántico a partir de controles que son satisfechos por generadores clásicos.

El segundo problema reside en la *privacidad*: numerosas aplicaciones relacionadas con la generación de secuencias aleatorias, en especial aquellas destinadas a criptografía, requieren que los números

resulten difíciles de predecir no solo por el experimentador, sino también por cualquier observador externo (por ejemplo, un adversario que intente descifrar la información que haya sido codificada a partir de esos números).

Por último, se requiere la *independencia con respecto al dispositivo*: en todos los generadores existentes, las propiedades de las secuencias aleatorias dependen en gran medida de los detalles del dispositivo experimental. Se trata de algo que debería evitarse, a fin de lograr una generación más robusta frente a las imperfecciones.

En un trabajo reciente introdujimos una serie de técnicas que, por vez primera, lograban medir el azar cuántico generado en un experimento de no-localidad. Además, nuestros resultados permitieron diseñar un nuevo tipo de generadores cuánticos de números aleatorios que satisfacen todos los requisitos anteriores: la aleatoriedad queda certificada por la violación de las desigualdades de Bell, lo que garantiza la privacidad e independencia con respecto al dispositivo de las secuencias generadas.

En colaboración con el grupo de Chris Monroe, de la Universidad de Maryland, llevamos a cabo una prueba experimental de dichos resultados teóricos, cuyos resultados se publicaron en *Nature* en abril de 2010. El montaje constaba de dos trampas separadas un metro. En cada una de ellas

se atrapaba un ion y, a través de pulsos de luz que se enviaban a cada uno, se efectuaba un experimento de violación de las desigualdades de Bell.

Dicha violación y nuestras técnicas teóricas nos permitieron certificar la generación de 42 bits aleatorios intrínsecamente cuánticos. Por supuesto, la tasa de generación es ridícula: para generar esos 42 bits, fue necesario tomar datos durante semanas. No obstante, el experimento demostró la posibilidad de generar números genuinamente aleatorios sin necesidad de efectuar ninguna suposición acerca del funcionamiento de los dispositivos.

Nuestros resultados abren nuevas perspectivas para el estudio del azar, tanto desde un punto de vista fundamental como aplicado. En particular, demuestran que el azar puede ser certificado, un objetivo difícil —si no imposible— con herramientas de la teoría de la información clásica. La clave radica en que, al contrario de lo que se ha venido realizando hasta el momento, la certificación no se efectúa a partir de técnicas matemáticas, sino a través de las leyes de la física cuántica.

—Antonio Acín
ICREA

*Instituto de Ciencias Fotónicas,
Castelldefels*

*Serge Massar y Stefano Pironio
Laboratorio de Información Cuántica
Universidad Libre de Bruselas*

INTELIGENCIA ARTIFICIAL

El problema de la fiesta de cóctel

Puede que en breve los ordenadores consigan descifrar las voces de varias personas que hablan al mismo tiempo

Imagine que se encuentra en una fiesta multitudinaria y que Álex le está contando una historia soporífera. Al mismo tiempo, oye cómo Daniel le refiere a Gloria un chismorreo que a usted le interesa mucho más, por lo que decide ignorar a Álex y concentrarse en el relato de Daniel. ¡Enhorabuena! Acaba de demostrar la capacidad humana para resolver el *problema de la fiesta de cóctel*: cómo separar un discurso de entre varios que tienen lugar al mismo tiempo.

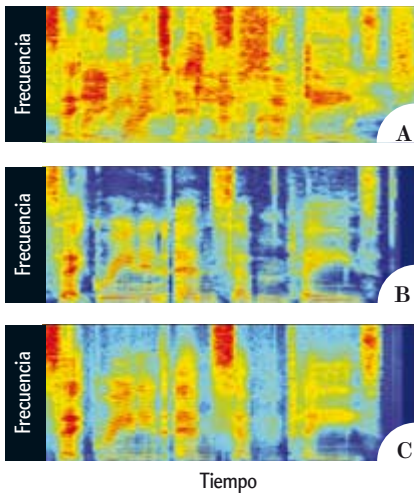
Hoy en día los ordenadores carecen de tal facultad. Aunque el reconocimiento informático del habla constituye una técnica cada vez más asentada, todavía

falla cuando dos personas hablan a la vez. Lograr que un ordenador distinga entre varias voces no solo mejoraría los sistemas de reconocimiento del habla, sino que supondría un gran avance en otros campos en los que también es necesario separar señales, como la interpretación de los escáneres cerebrales, por ejemplo.

El problema reviste una dificultad enorme. Distinguir entre dos flujos verbales plantea un reto mucho mayor que comprender el habla de una sola persona, pues siempre existe una cantidad astronómica de combinaciones de voces que pueden engendrar un mismo sonido. Analizar to-

das esas posibilidades mediante un método de fuerza bruta resulta inviable. Para resolver con eficiencia el problema de la fiesta de cóctel, debe existir algún atajo que explote los rasgos característicos de la voz y el habla.

Tanto si solo habla una persona como si lo hacen varias, el sonido resultante se compone de un espectro de frecuencias. La intensidad de cada una de ellas varía en escalas de tiempo del orden del milisegundo, modulaciones que pueden registrarse en un espectrograma. Las técnicas habituales de reconocimiento del habla analizan los datos fonema a fonema. Cada uno de los fonemas que se pronuncian



Huellas acústicas: Los espectrogramas representan las variaciones temporales del sonido en una gama de frecuencias. Los que mostramos aquí reproducen dos segundos de una conversación. La escala de colores indica un volumen alto (*rojo*) o bajo (*azul*). Cuando cuatro personas hablan a la vez (A), el flujo sonoro de uno de los hablantes (B) resulta difícil de desentrañar. Un nuevo algoritmo de separación logró distinguir el habla de esa persona (C) con una precisión suficiente como para que un ordenador reconociera lo que decía.

genera un patrón variable, aunque reconocible, en el espectrograma.

Los modelos estadísticos desempeñan un papel fundamental en todo sistema de reconocimiento del habla, ya que sirven para especificar la probabilidad de que a un sonido como /o/ le siga otro como /n/. El algoritmo de reconocimiento busca las

secuencias de fonemas más probables e intenta construir con ellas palabras enteras y locuciones plausibles.

Sin embargo, cuando dos personas hablan a la vez, el número de posibilidades se dispara. En cada momento, el espectro de frecuencias podría provenir de dos fonemas cualesquiera, cada uno de ellos articulado en cualquiera de las maneras en que una persona puede emplearlo en una palabra. La dificultad crece exponencialmente con cada hablante que se suma a la conversación.

Ideas prometedoras

Por fortuna, los sonidos en el habla tienden a «dispersarse»: el espectrograma de dos personas que hablan a la vez suele presentar numerosas zonas pequeñas en las que uno de los interlocutores habla mucho más alto que el otro. Es de prever que, en tales regiones, las técnicas ordinarias de reconocimiento del habla logren identificar fonemas característicos en la voz predominante, lo cual ayudaría a desenredar los discursos. Explotar este tipo de características ha permitido hallar atajos en la intrincada combinatoria que requiere la separación automática de conversaciones. Al respecto, existen hoy en día dos líneas principales de investigación.

La primera de ellas intenta extraer un patrón genérico a partir de los detalles particulares. Para ello, se examinan las características básicas de un espectrograma a fin de aislar las regiones que proceden de un mismo hablante. Por ejemplo, dos frecuencias diferentes que comienzan justo en el mismo instante probablemente hayan sido emitidas por una sola persona.

A menudo también se buscan zonas del espectrograma en las que no predomina ninguno de los hablantes. Los algoritmos apartan entonces esas zonas «corruptas» e intentan encontrar secuencias de fonemas que se ajusten a las zonas «limpias». Un grupo de la Universidad de Sheffield obtuvo buenos resultados gracias a esta técnica: en un informe publicado en 2010 que comparaba la eficacia de diez algoritmos, el equipo de Sheffield quedó en tercera posición.

La mayoría de los investigadores, sin embargo, se decanta por el enfoque opuesto: se buscan secuencias de fonemas plausibles de manera individual y cuya combinación produzca el sonido resultante. Desde luego, considerar todas las combinaciones resulta prohibitivo; el truco consiste en simplificar o aproximar el proceso sin sacrificar en demasía la precisión.

Tuomas Virtanen, de la Universidad de Tecnología de Tampere, abrevió la búsqueda al concentrarse alternativamente en cada uno de los dos hablantes: en esencia, dada la mejor estimación del discurso del hablante A, se busca el discurso de B que mejor reproduce el conjunto; después, el proceso se repite intercambiando los papeles de uno y otro. El algoritmo de Tampere superó al del grupo de Sheffield y obtuvo la segunda mejor marca en el mismo informe, si bien aún se situaba un diez por ciento por debajo de los oyentes humanos.

El primer sistema de separación automática del habla que ha logrado superar a los humanos ha sido diseñado por un grupo del Centro de Investigación Thomas J. Watson de IBM. Su último algoritmo ha mostrado ser eficaz incluso con cuatro voces superpuestas. Por un lado, realiza el análisis habitual en el que se evalúan secuencias tentativas de fonemas para cada uno de los hablantes. Después, al iterar el proceso, el programa emplea las mejores estimaciones del discurso para buscar las regiones del espectrograma en las que una persona habla tan alto que enmascara las voces del resto. Resulta interesante mencionar que atender a este efecto de máscara permite refinar de manera simultánea la estimación de todas las voces.

Aún queda un largo camino por recorrer hasta que la separación automatizada del habla permita escuchas furtivas en ambientes ruidosos. Sin embargo, los resultados recientes sugieren que el objetivo se logrará antes o después.

—Graham P. Collins

