

INVESTIGACIÓN Y CIENCIA

Marzo 2011 InvestigacionyCiencia.es

Edición española de SCIENTIFIC AMERICAN

COSMOLOGÍA
Limitaciones
del modelo
cosmológico
estándar

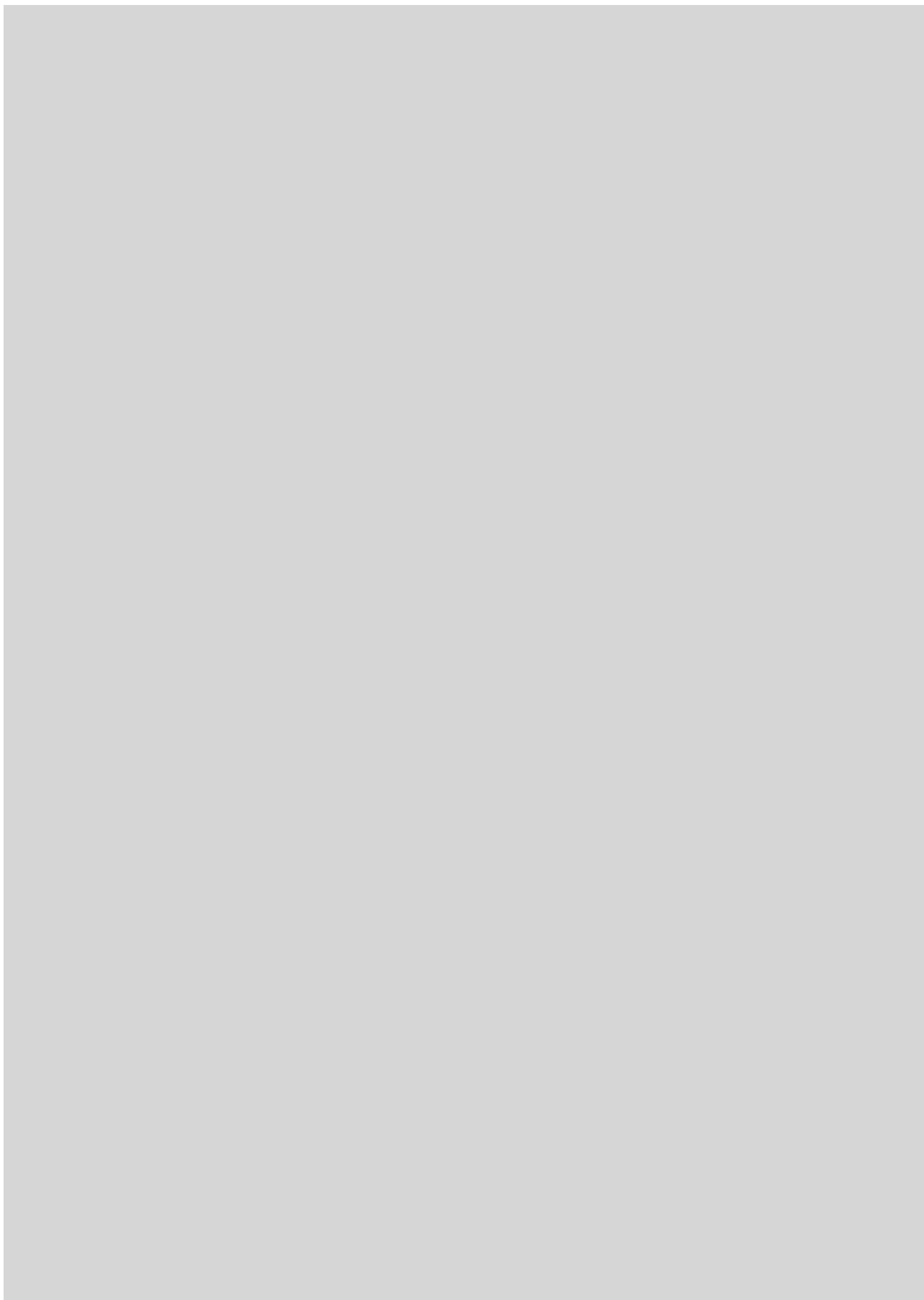
CAMBIO CLIMÁTICO
Migraciones
forzadas por
inundaciones
y sequías

NEUROCIENCIA
La complejidad
de las redes
neuronales

Cuando
la fecundación
interna cambió
el curso de la
evolución

La auténtica revolución sexual





ARTÍCULOS

EVOLUCIÓN

16 Origen de la copulación

El hallazgo de ciertos peces fósiles hace retroceder en el tiempo el origen de la cópula en los vertebrados. *Por John A. Long*

SALUD PÚBLICA

22 Fábricas de gripe

El siguiente virus pandémico podría estar circulando por las granjas porcinas de EE.UU., pero la vigilancia de esa amenaza resulta deficiente. *Por Helen Branswell*

NEUROCIENCIA

28 Cien billones de conexiones

Tras el ruido de millones de neuronas que se comunican entre sí puede esconderse la pista que nos lleve a entender la mente. *Por Carl Zimmer*

COSMOLOGÍA

40 Galaxias enanas y materia oscura

Observaciones recientes de las galaxias satélite de la Vía Láctea parecen contradecir las predicciones del modelo cosmológico estándar. *Por P. Kroupa y M. Pawlowski*

ECONOFÍSICA

50 Modelos matemáticos de la riqueza

La física de los gases arroja luz sobre la distribución de la riqueza en las sociedades capitalistas modernas. *Por R. López Ruiz y C. Pellicer Lostao*

MEDIOAMBIENTE

56 Víctimas del cambio climático

Los trastornos en las pautas pluviales y los desplazamientos del litoral provocarán migraciones sin precedentes. *Por A. de Sherbinin, K. Warner y C. Ehrhart*

MATERIALES

64 ¿Aislante o metal?

La interacción entre electrones puede hacer que compuestos en principio metálicos se conviertan en aislantes. El comportamiento de estos materiales, los aislantes de Mott, guarda relación con el de los superconductores de alta temperatura. *Por A. Mascaraque y A. Tejada*

COMPUTACIÓN

72 Robots científicos

Conciben hipótesis, realizan experimentos para verificarlas y evalúan los resultados. Todo ello sin intervención humana. *Por Ross D. King*

BIOLOGÍA MARINA

78 Vida en los abismos

Los fondos marinos profundos constituyen un ecosistema complejo cuya suerte depende de la vida en las capas superficiales. *Por Craig McClain*

TABAQUISMO

86 Humo radiactivo

La industria tabaquera lleva décadas sin hacer nada para eliminar un isótopo peligroso de los cigarrillos. *Por Brianna Rego*

INVESTIGACIÓN Y CIENCIA

SECCIONES

3 Cartas de los lectores

4 Apuntes

Perspicacia animal. Grafito en rocas lunares. Lucha mundial contra las enfermedades crónicas. Orden a partir del caos. La increíble espuma comestible. Gérmenes altruistas. El diamante, ¿joya o mineral?

6 Agenda

8 Panorama

Genética de la simbiosis micorrícica. *Por Minna J. Kemppainen y Alejandro G. Pardo*

La luz ultravioleta de las galaxias Seyfert. *Por Víctor Manuel Muñoz Marín*

Chasquidos de la lengua. *Por Lisa Song*

La importancia ecológica de la trashumancia. *Por Pedro P. Olea y Patricia Mateo Tomás*

Asexualidad, la vía más rápida para proliferar. *Por María José Carmona*

34 De cerca

Semillas de la Amazonia. *Por Anna Kuchment*

36 Filosofía de la ciencia

El conocimiento situado. *Por Eulalia Pérez Sedeño*

38 Foro científico

¿Se aprende mejor con las TIC? *Por Manuel Area Moreira*

39 Ciencia y gastronomía

La crema perfecta. *Por Pere Castells*

89 Curiosidades de la física

De una nota desafinada al principio de incertidumbre. *Por Norbert Treitz*

92 Juegos matemáticos

Los límites del conocimiento. *Por Gabriel Uzquiano*

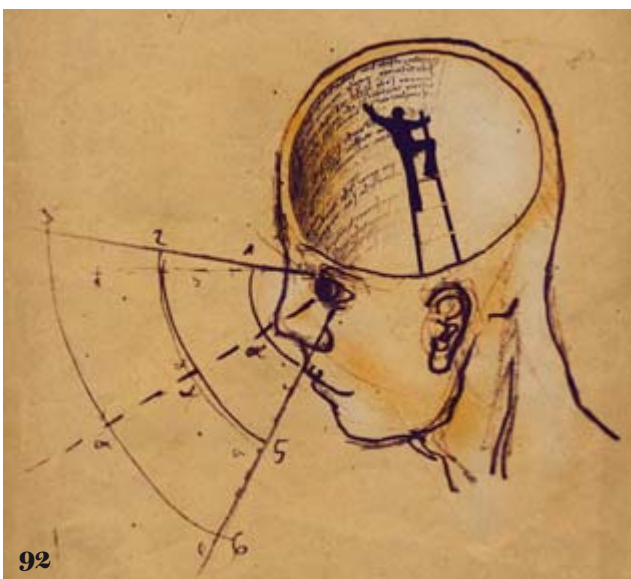
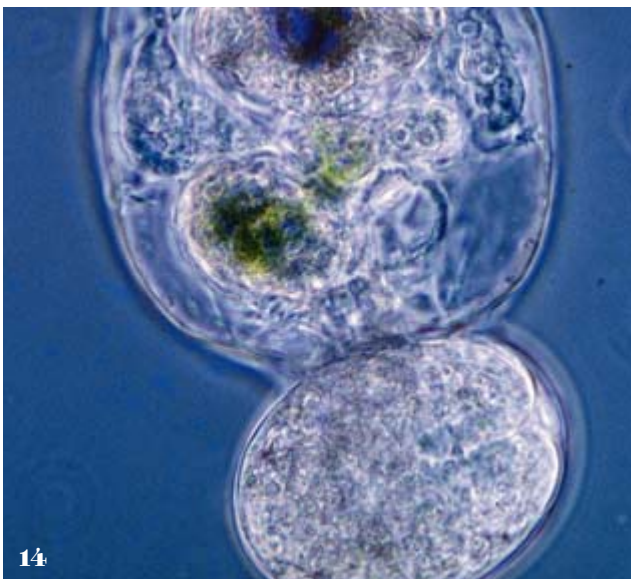
94 Libros

Filosofía. *Por Josep Pla i Carrera*

De branas y cuerdas. *Por José Ignacio Latorre*

96 Hace...

50, 100 y 150 años.



EN PORTADA

Ciertos fósiles de peces indican que la copulación en los vertebrados se originó 25 millones de años antes de lo que se pensaba y podría haber sido una fuerza impulsora en nuestra evolución. Habría establecido las bases para el desarrollo de las piernas, los órganos sexuales y tal vez las mandíbulas en el linaje de animales que dio lugar a los humanos. Ilustración de Owen Gildersleeve.





Diciembre 2010

ENERGÍA Y AGUA

En el artículo «Hojas artificiales», de Antonio Regalado [INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, diciembre de 2010], se trata principalmente la propuesta de Nathan S. Lewis, del Instituto de Tecnología de California, para aprovechar la energía solar. A pesar de que el combustible principal es el agua, no se hace mención alguna a los recursos hídricos necesarios. ¿Debe el agua estar depurada? ¿Sería aplicable la técnica en países sin grandes recursos hídricos? Si fuese imprescindible un proceso previo de desalinización, ¿sería el proyecto aún rentable?

Dov RHODES
Haifa, Israel

RESPONDE LEWIS: *Si bien necesita estar depurada, en absoluto se requiere una gran cantidad de agua. Esta no se emplea como refrigerante, sino como precursor para almacenar la energía en forma de hidrógeno y oxígeno disociados. Basta muy poco hidrógeno para almacenar grandes cantidades de energía (se puede acumular más de 100 veces la energía que almacenaría una batería de litio del mismo peso). Además, el agua se reciclaría y podría obtenerse de la lluvia o, en muchos casos, incluso de vapor de agua.*

No es el agua lo que representa el principal problema. Lo más urgente en este momento es solucionar todos las dificultades técnicas para llevar la idea a la práctica.

OSCURA Y FRÍA

En «Mundos oscuros» [INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, enero de 2011], Jonathan Feng y

Mark Trodden explican que las candidatas a partículas de materia oscura denominadas super-WIMP solo experimentarían los efectos de la interacción gravitatoria. Según esto, no podrían participar de las colisiones que normalmente permiten a las partículas ordinarias disipar energía: a saber, choques en los que la energía cinética se convierte en energía electromagnética, la cual es radiada en forma de fotones.

«Al producirse, la velocidad de las super-WIMP debió ser cercana a la de la luz», escriben los autores, a lo que añaden: «El tiempo que tardaron en frenarse y agruparse en halos habría retrasado la formación de galaxias». El único mecanismo mediante el que las super-WIMP podrían haber perdido energía cinética habría sido la conversión de una minúscula fracción de dicha energía en radiación gravitatoria. Si apenas interactúan, ¿cómo pueden frenarse las super-WIMP?

VAN SNYDER

La Crescenta, California

RESPONDEN FENG Y TRODDEN: *Si el universo no se expandiese, es cierto que las super-WIMP no podrían frenarse. Sin embargo, en un universo en expansión cualquier tipo de materia acaba por detenerse; ello quiere decir que, en última instancia, su movimiento se debe a la expansión cósmica (o, en términos técnicos, que se halla en reposo en el sistema de referencia comóvil, aquel que se expande junto con el universo). Es en este sentido en el que las super-WIMP acaban por detenerse y enfriarse. Por su parte, las interacciones débiles que experimentarían las WIMP (y a las que las super-WIMP serían insensibles) tampoco afectarían de manera apreciable al tiempo que tardarían en frenarse ni a su capacidad para ligar materia y comenzar a nuclear galaxias.*

¿DÓNDE ESTÁ EL GALLEGO?

Llegó a mis manos el número de enero de INVESTIGACIÓN Y CIENCIA por el interés que me suscitó el artículo sobre lenguas indoeuropeas [«¿Cómo llegaron a Europa las lenguas indoeuropeas?», por Ruth Berger]. Me gustaría destacar dos aspectos.

Soy filóloga. El tema me interesa y leí el artículo con atención. Sin embargo, hubiera agradecido encontrar en él mejores aclaraciones sobre la terminología relacionada con la genética. Soy consciente de que sois una publicación científica, pero también divulgativa. En algunos momentos, el artículo me resultó difícil de seguir.

Por otro lado, en el árbol genealógico de lenguas latinas [los resultados publicados en 2003 en *Nature* por Russel Gray y Quentin Atkinson en 2003, que el artículo de Berger analiza en detalle]... ¡falta el gallego! Entiendo que quizá no puedan aparecer todas y cada una de las lenguas y dialectos. Pero me sorprende ver que se ha omitido una de las lenguas peninsulares cuando, por otro lado, sí se han incluido distinciones dialectales mucho más sutiles, como la existente entre el brasileño y el portugués.

ARIADNA BABEL

Barcelona

RESPONDE ATKINSON: *En nuestros resultados no aparecía el gallego debido a que los datos que introdujimos en nuestra simulación no incluían ese idioma. La base de datos de vocabulario comparado que empleamos fue recopilada por Isidore Dyen y sus colaboradores a principios de los noventa. Si alguien estuviera dispuesto a incorporar el gallego a la base de datos de Dyen, lo incluiríamos en nuestros análisis futuros.*



Enero 2011

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.

Apuntes

MATEMÁTICAS

Perspiciacia animal

En tiempo reciente, los medios se han hecho eco de varias noticias que comparten un mensaje similar: los animales entienden de manera instintiva mejor que los humanos ciertas operaciones matemáticas. ¿Cuánta verdad esconden?

En el tristemente célebre problema de Monty Hall, así llamado en honor al presentador del concurso televisivo estadounidense *Let's make a deal*, las personas parecen quedar muy mal en comparación con las palomas. Un participante ha de elegir entre tres puertas, una de las cuales esconde un premio. Cuando ha escogido una de ellas, el presentador abre otra de las puertas, asegurándose de que sea una de las dos que no esconde ningún premio. Después, se le da al concursante la posibilidad de cambiar su elección. ¿Debería elegir la otra puerta?

La mayoría de la gente se mantiene firme en su primera opción. Se trata de la decisión equivocada, puesto que retractarse aumenta de 1/3 a 2/3 la probabilidad de ganar. (Si nos empeñamos en la primera puerta, habremos ganado solo si habíamos acertado desde el principio, un suceso que tiene una probabilidad de 1/3; pero, si cambiamos a la segunda, habremos ganado siempre que nuestra primera elección hubiese sido equivocada, lo que ocurrirá en 2/3 de las



ocasiones.) Según un estudio reciente, incluso después de participar un gran número de veces y observar que cambiar de puerta duplica las probabilidades de ganar, las personas solo nos retractamos en 2/3 de las ocasiones. Las palomas lo hacen mucho mejor: después de varios intentos, acaban por decantarse siempre por la segunda posibilidad.

Las palomas aprenden. Pero ¿calculan o entienden algo? En absoluto. Como buenas empiristas, no hacen más que rendirse ante la evidencia. La gente, en cambio, da demasiadas vueltas al asunto y termina por confundirse.

Las abejas, que parecen encontrar el camino más corto que conecta las flores de un prado, constituyen otro ejemplo de aparente perspiciacia animal. Incluso si el camino que siguen fuera en verdad el óptimo (y la única forma de comprobarlo sería medir todos los caminos posibles), no se podría afirmar que han dado con un algoritmo general, una tarea tan complicada que pertenece a un tipo de problemas denominados NP-complejos, insolubles en la gran mayoría de los casos. El itinerario de las abejas quizá sea una buena aproximación del camino más corto, pero no hay motivo para pensar que siempre logran dicha aproximación, ni mucho menos que obtienen la solución óptima para todas las situaciones posibles con un número indefinido de flores.

—John Allen Paulos

SELENOLOGÍA

Grafito en rocas lunares

Aunque el hombre no ha vuelto a pisar la Luna desde que el *Apolo 17* la visitase en 1972, parece que aquellas misiones aún deparan sorpresas. El análisis de una de las rocas recogidas entonces ha arrojado la primera prueba de la existencia de grafito en una muestra lunar.

El verano pasado, Andrew Steele, astrobiólogo en la Institución Carnegie de Washington, y sus colaboradores publicaron en *Science* el hallazgo de docenas de partículas y siete filamentos de grafito extraídos de una pequeña mancha oscura (de apenas 0,1 milímetros cuadrados) de una de las rocas que trajo el *Apolo 17*. En el pasado ya se habían aislado trazas de carbono procedentes del viento solar o en forma de otros compuestos, como algunos carburos. Pero el descubrimiento de cantidades de grafito de un tamaño notable supone un descubrimiento único.

Se estima que su origen podría hallarse en una gran lluvia de meteoritos acontecida hace unos cuatro mil millones de años, un episodio



Harrison Schmitt, tripulante del *Apolo 17* y último hombre en poner pie en la Luna, trajo muestras en 1972 que aún hoy siguen sorprendiendo.

que ha dado en llamarse bombardeo intenso tardío. Según Steele, los fragmentos aislados ahora quizá constituyan el remanente del polvo liberado durante el impacto de un meteorito rico en carbono, aunque también podrían haber condensado a partir del gas producido en uno de esos impactos. De confir-

marse la primera hipótesis, los cristales de grafito quizá sean restos intactos del meteorito que excavó la cuenca Serenitatis, cercana al lugar donde alunizó el *Apolo 17*.

Paul D. Spudis, del Instituto Lunar y Planetario de Houston, coincide en que es probable que se trate de los restos de algún impacto, pero puntualiza que podría ser uno distinto al que excavó la cuenca Serenitatis. Junto a otro colaborador, Spudis postuló en 1981 que las muestras recogidas por el *Apolo 17* quizá tuviesen su origen no en un único impacto, sino en varios.

Sea como fuere, los recursos científicos cosechados durante las misiones Apolo no se encuentran agotados en absoluto.

—John Matson

MARKUS ROTZEK, CORBIS (paloma); GETTY IMAGES (paisaje lunar)

Lucha mundial contra las enfermedades crónicas

La comunidad sanitaria mundial ha cosechado numerosas victorias en su lucha contra las enfermedades infecciosas en las zonas más pobres del mundo. Erradicó la viruela en el decenio de los setenta y ha reducido al mínimo los casos de polio. En la actualidad la atención se centra en el cáncer y las enfermedades cardíacas. El Instituto de Medicina de Washington D.C. publicó hace poco un informe donde advertía que el aumento de las enfermedades cardiovasculares en los países con rentas medias y bajas está amenazando el bienestar económico de esas naciones. Y un grupo de médicos y personalidades públicas ha hecho un llamamiento en la revista *The Lancet* para extender el control y los cuidados contra el cáncer en los países pobres.

El nuevo interés responde a los cambios en las tendencias mundiales de las enfermedades. El cáncer y las cardiopatías no se limitan a los países desarrollados. Según la Agencia Internacional de Investigación contra el Cáncer, situada en Lyon, más de la mitad de los diagnósticos de cáncer en 2008 se produjeron en países en vías de desarrollo como Nigeria, Egipto y Brasil, en comparación con solo el 15 por ciento en 1970. El estudio de 2010 del Instituto de Medicina indicó que el 80 por ciento de los fallecimientos

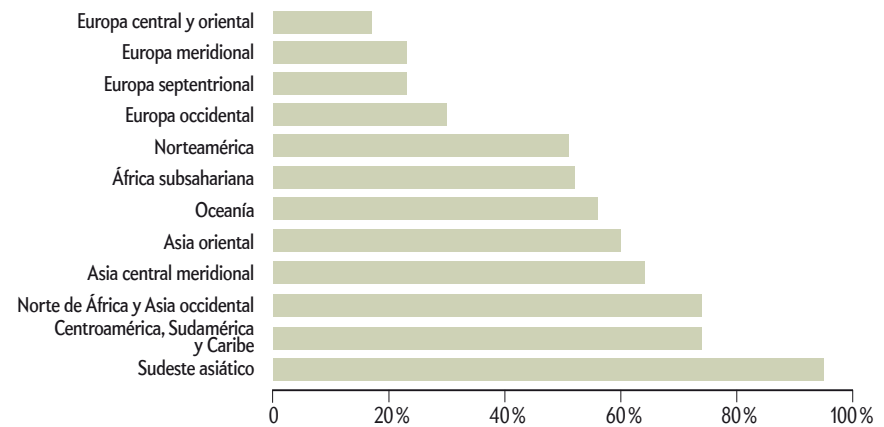
causados por ataques cardíacos, ictus y otras enfermedades cardiovasculares en todo el mundo se producen en los países subdesarrollados.

En cierto sentido, la creciente proporción de casos de cáncer está asociada a la prosperidad. Las personas viven más tiempo (el cáncer es más frecuente cuanto más se va envejeciendo) y fallecen menos por enfermedades infecciosas. De forma similar, el aumento de las afecciones cardiovasculares está vinculado al envejecimiento de la población, así como a la adopción de una dieta de estilo occi-

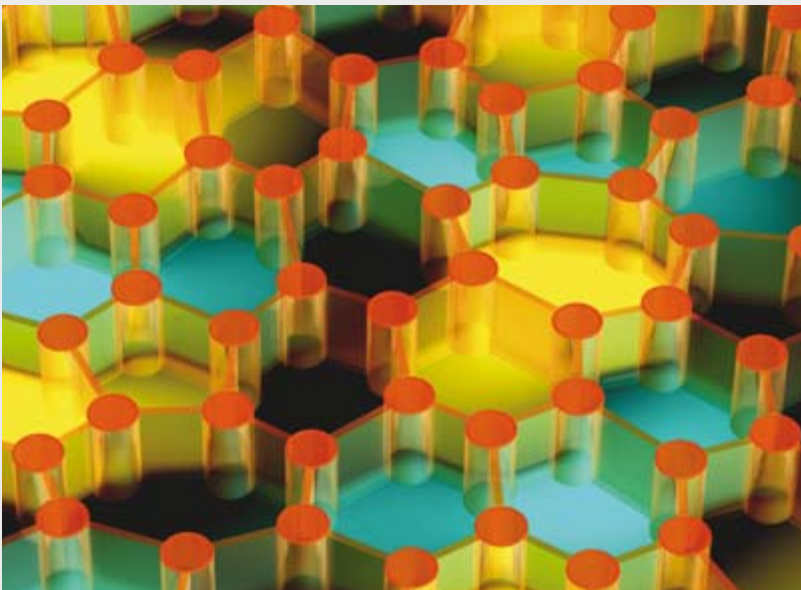
dental y a la reducción del ejercicio físico. El tratamiento del cáncer en las zonas pobres no supone por fuerza un elevado coste, ya que muchos remedios antiguos, sustituidos por otros más caros en el mundo occidental, demuestran una gran eficacia. Lo mismo sucede con el tratamiento de las enfermedades cardiovasculares. Por desgracia, a menudo resulta difícil acceder a esos medicamentos antiguos en los países pobres que, además, sufren escasez de médicos, enfermeras y otros profesionales sanitarios.

—Christine Gorman

Previsión del aumento porcentual de muertes causadas por el cáncer (2002-2020)



¿QUÉ ES ESTO?



Orden a partir del caos. En la última edición de la exposición *El Arte de la Ciencia*, organizada por la Universidad de Princeton, se presentó un diseño novedoso de un material que ayudará a desarrollar circuitos más reducidos para dispositivos fotónicos compactos, que utilizan luz en lugar de electrones para transmitir información. Para desviar y guiar la luz en estos dispositivos, los ingenieros suelen crear cristales fotónicos, es decir, patrones regulares de orificios de escala nanométrica. Sin embargo, estos desvían la luz de forma diferente según el ángulo, mientras que los nuevos materiales, gracias a su estructura aleatoria, permitirían desviarla con cualquier ángulo sin perder información. Esta imagen generada por ordenador por el grupo de Paul J. Steinhardt, de la Universidad de Princeton, muestra redes de cilindros y paredes (*naranja*), que se fabricarían a partir de una capa de silicio.

—Ann Chin

AGENDA

CONFERENCIAS

10 de marzo

La sinfonía inacabada de Einstein

José Antonio Font Roda,
 Universidad de Valencia
 Fundación Valenciana de Estudios
 Avanzados
 Valencia
 www.fvea.es

17 de marzo

Why the Nobel Prize in 2005?

Richard R. Schrock, Instituto
 de Tecnología de Massachusetts
 Premio Nobel de Química 2005
 Fundación Ramón Areces
 Madrid
 www.fundacionareces.es

24 de marzo - Coloquio

Maths is everywhere

John D. Barrow, Universidad
 de Cambridge
 Universidad de Zaragoza
 Zaragoza
 www.rsme.es/centenario

EXPOSICIONES

Anfibios y reptiles de España

Museo Nacional de Ciencias Naturales
 Madrid
 www.mnen.csic.es

**Una autopista detrás del enchufe**

Casa de las Ciencias
 Logroño
 www.logro-o.org/casadelasciencias

OTROS

6 de marzo - Visita teatralizada

Museo de Arqueología de Cataluña

Puig de Sant Andreu (poblado ibérico)
 Ullastret
 www.mac.cat/cat/Seus/Ullastret

19 y 20 marzo - Varias actividades

Fiesta de la meteorología

Cosmocaixa
 Barcelona
 www.obrasocial.lacaixa.es

QUÍMICA

La increíble espuma comestible

Si usted comienza la mañana con un cappuchino y termina la tarde con una cerveza, su día empieza y acaba con uno de los aspectos más intrigantes de la química culinaria: la espuma. Convertidas en una de las áreas más fértiles de la innovación gastronómica, sus burbujas esconden propiedades que los matemáticos aún no comprenden del todo.

Ferran Adrià comenzó a experimentar con ellas a mediados de los noventa. Para crear espumas a partir de alimentos tan variados como el bacalao, el *foie gras*, las setas o las patatas, Adrià empleó agentes espumosos poco tradicionales, como la gelatina o la lecitina, así como sifones de óxido nítrico presurizado. Más tarde, otros chefs de renombre como Heston Blumenthal, Wylie Dufresne o Grant Achatz también se sumaron a la revolución de las espumas culinarias.

Sus platos gozan un aura mística. Y no solo por su textura. Aunque una espuma parezca un revoltijo aleatorio, sus burbujas se autoorganizan según ciertas leyes que Joseph Plateau, físico belga, observó por primera vez en 1873. En primer lugar, cuando las películas del material que compone la espuma coinciden a lo largo de una línea, lo hacen siempre en grupos de tres. No cuatro ni cinco; siempre tres. Además, en esas uniones, el ángulo que forman dos películas cualesquiera es siempre de 120 grados. Por último, cuando varias de esas líneas de intersección se unen a su vez en un punto, lo hacen siempre en grupos de cuatro, y el ángulo que forman dos a dos en dicho punto toma siempre el valor $\arccos(-1/3)$, unos 109,5 grados.

Sólo un siglo más tarde, en 1976, Jean Taylor, matemático de la Universidad de Rutgers, demostró que las reglas de Plateau se derivaban del hecho de que la geometría que adoptan las burbujas tiende a minimizar la superficie total que ocupan. Pero si bien ello explica la geometría local en las intersecciones, no predice la forma global que ha de adoptar cada burbuja. Desde entonces, los matemáticos siguen preguntándose qué geometría han de exhibir las burbujas de una espuma para llenar un recipiente con la mínima cantidad de sustancia. En 1887, Lord Kelvin conjeturó que la espuma óptima era aquella en la que todas sus burbujas tomaban la forma de octaedros truncados (un poliedro de 14 caras: 6 cuadrados y 8 hexágonos equiláteros). Sin embargo, en 1994, Dennis Weaire y Robert Phelan, del Trinity College de Dublín, hallaron una solución mejor: una espuma cuyas burbujas adoptaban alternativamente la forma de dos poliedros irregulares y que llenaba el espacio con menor cantidad de material que la espuma de Kelvin. A día de hoy, nadie sabe si existe una solución mejor [véase «Espumas óptimas», por N. Treitz; INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, mayo de 2010].

En los alimentos espumosos, las burbujas que no satisfacen las leyes de Plateau explotan con rapidez. Lo mismo sucede con las burbujas demasiado pequeñas: la tensión superficial aumenta la presión interior más allá del punto de ruptura. Es por ello por lo que las espumas líquidas pierden sus finos detalles a medida que pasa el tiempo... y por lo que es mejor beberse el cappuchino recién hecho.

—W. Wayt Gibbs y Nathan Myhrvold



Errata corrige

En el artículo «El conjunto de Mandelbrot en tres dimensiones» [INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, febrero de 2011], la autoría de la doble imagen de las páginas 50 y 51 se atribuye erróneamente en el epígrafe a David White. El verdadero nombre del autor es Daniel White.

En el mismo artículo, en página 54, segunda columna, undécima línea, se han omitido las últimas palabras de la frase: «[...] como seres tridimensionales que somos, no poseemos la capacidad para visualizar un espacio de cuatro dimensiones».

Gérmenes altruistas

El mundo está lleno de buenos samaritanos; podemos hallarlos hasta en nuestro propio cuerpo. James J. Collins, de la Universidad de Boston, ha descubierto que un pequeño número de bacterias resistentes a los medicamentos ayudan a sus congéneres más vulnerables a tolerar la acción de los antibióticos, aunque ese gesto tiene un precio.

El grupo de Collins introdujo cantidades crecientes de un antibiótico en un cultivo de *Escherichia coli*, algunas de cuyas cepas colonizan el aparato digestivo de humanos y animales, y causan enfermedades. El análisis periódico del grado de resistencia al medicamento reveló un efecto inesperado: aunque toda la población prosperaba en presencia del medicamento, solo algunas de las bacterias eran realmente resistentes al mismo. «Verificamos con sorpresa que la resistencia individual de las bacterias era muy inferior a la de la población en su conjunto», señala Collins, quien publicó hace poco los resultados en *Nature*. Nuevos análisis indicaron que los mutantes resistentes segregaban indol, una molécula que inhibe su propio crecimiento pero ayuda al resto de la población a sobrevivir al activar en ella los sistemas de bombeo de las membranas celulares que eliminan el medicamento.



Algunos individuos de *E. coli* (en la foto) protegen a sus congéneres. Este hallazgo tal vez ayude a desarrollar medicamentos más eficaces e «inteligentes».

Los hallazgos podrían contribuir al desarrollo de antibióticos más eficientes. Si el indol favorece la resistencia a los antibióticos, esta se podría evitar bloqueando la señalización del indol con pequeñas moléculas. Por otro lado, tras comprobar su seguridad, cabría la posibilidad de utilizar algún día el indol, o un tratamiento basado en el mismo, para que las bacterias beneficiosas desplazaran a las patógenas en los aparatos digestivo o urinario, opina Mark Anderson, director científico de NovaBay Pharmaceuticals, en Emeryville, California, empresa que desarrolla medicamentos contra las infecciones resistentes a los antibióticos.

Los resultados podrían también cambiar la forma en que los médicos estudian las infecciones. Una población de bacterias puede adquirir resistencia a los antibióticos, aunque solo un número reducido de ellas posean las mutaciones que la confieran. De ahí que al obtener y analizar pequeñas muestras bacterianas de los pacientes podría infravalorarse la resistencia de la infección en su conjunto. Según Collins, estos organismos unicelulares funcionan en cierto modo como un organismo pluricelular, por lo que las muestras aisladas podrían no ser representativas del conjunto. —Melinda Wenner Moyer

MINERALOGÍA

El diamante, ¿joya o mineral?

Un diamante es para toda la vida. Igual como el zafiro, la sílice y el poliestireno extruido. Representa la sustancia más dura conocida de la naturaleza, lo que hace de ella un excelente material para herramientas de corte pero no explica su valor como símbolo amoroso. Aunque los diamantes se hayan formado bajo el calor y la presión del manto terrestre hace miles de millones de años, su incidencia en el mundo actual tiene un origen mucho más reciente.

En 1870 las prospecciones mineras británicas en Sudáfrica descubrieron enormes yacimientos de diamantes. Hasta entonces, el mineral se consideraba un artículo de lujo, extraordinariamente raro; los nuevos hallazgos amenazaban con inundar de gemas el mercado y hundir su precio. Los que invertían en las minas decidieron consolidar sus intereses mediante el control del flujo de diamantes en el mercado libre. Para ello crearon en 1888 el consorcio De Beers Consolidated Mines Ltd. Al retener en depósito sus mercancías para mantener elevados los precios, De Beers consiguió controlar el suministro mundial de diamantes durante el siglo siguiente.

Otra de las artimañas consistió en atizar la demanda. En 1938, De Beers encargó a la empresa estadounidense N. W. Ayer la primera campaña publicitaria no orientada a vender un artículo concreto, ni a atraer clientes a un determinado centro comercial,

sino a vender una idea: el diamante como único símbolo de amor imperecedero, y cuyo tamaño mediría la intensidad del amor. La compañía insertaba en periódicos y revistas noticias que resaltaban el tamaño de los diamantes que se regalaban entre sí las estrellas de cine, así como anuncios a todo color de famosos que hacían resplandecer sus gemas para cimentar esa asociación. El eslogan «un diamante es para siempre» se introdujo en 1949, y dado que entonces la generación de posguerra ya tenía edad de casarse, el anillo de compromiso con diamantes se convirtió en signo insustituible de alianza amorosa y de prestigio.

A principios del pasado decenio, la legislación antimonopolio recortó el poder de De Beers en el mercado de diamantes y le obligó a terminar con su práctica de retención de los minerales. Pero su función ha sido reemplazada por Alrosa, empresa que pertenece al Gobierno ruso en un 90 por ciento y que en 2009 se convirtió en el mayor productor mundial de diamantes. Alrosa, preocupada por la caída de los precios en la recesión global, no ha vendido ni una gema en el mercado libre desde diciembre de 2008. Andrei V. Polyakov, portavoz de la empresa, lo explicaba así al *New York Times*: «si no puedes mantener su precio, el diamante se convierte en una simple piedra de carbono».

—Michael Moyer



Genética de la simbiosis micorrízica

Estudio de *Laccaria bicolor* mediante silenciamiento por ARN

La simbiosis micorrízica corresponde a una asociación mutualista antigua entre hongos y raíces de la mayoría de las plantas terrestres. En los ecosistemas naturales, la adquisición de los nutrientes por la planta desde el suelo se produce a través del micelio extrarradical de los hongos simbióticos, los cuales obtienen de la planta hidratos de carbono derivados de la fotosíntesis. Dicha asociación también incrementa la eficacia biológica de la planta al aumentar la disponibilidad de agua, la tolerancia a metales pesados y la resistencia a patógenos.

La mayoría de plantas herbáceas y árboles tropicales se hallan asociados en interacciones endomicorrízicas, es decir, mediante hifas fúngicas que penetran en las paredes celulares de la planta huésped. Los árboles de las zonas boreales y templadas, en cambio, suelen formar ectomicorrizas (ECM), simbiosis en las que las hifas crecen sólo a nivel intercelular, sin penetrar en las paredes celulares del huésped. En este último grupo se incluyen la mayoría de árboles de importancia económica: pinos, píceas, abedules, álamos

y robles, entre otros. Por su parte, los hongos ectomicorrízicos pertenecen sobre todo a los basidiomicetes filamentosos. A pesar de su gran importancia ecológica y económica, la comprensión actual sobre el reconocimiento entre el huésped y el micosimbionte, y sobre la formación y funcionamiento de los órganos simbióticos, es limitada.

Dificultades técnicas

Durante el último decenio, el uso de técnicas moleculares avanzadas ha permitido ahondar en la genética de la interacción ectomicorrízica. En 2004, el Instituto de genómica del Departamento de energía estadounidense (JGI, de Joint Genome Institute) decidió secuenciar el genoma de los micobiontes de álamo, el primer árbol con su genoma resuelto. La investigación micorrízica entraba así en la era genómica. Fruto de la colaboración entre el JGI y el Consorcio para el Genoma de *Laccaria* (*Laccaria* Genome Consortium), se determinó el genoma del hongo basidiomicete ectomicorrízico *Laccaria bicolor*, en concreto la cepa S238N-H82.

El de *Laccaria* es el primer genoma simbiótico fúngico secuenciado. El mismo ha facilitado el estudio de los perfiles de expresión génica durante los estadios de desarrollo de la simbiosis ECM, trabajos que han arrojado nueva luz sobre la interacción entre la planta y el hongo. Sin embargo, la investigación actual sobre la interacción ectomicorrízica topa con un obstáculo técnico importante. Para conocer la relevancia biológica de los genes fúngicos regulados en la simbiosis (para la mayoría de los cuales se desconoce su función) se requieren métodos de genética inversa. Dichas herramientas deben permitir, por un lado, una transformación genética reproducible y de alta eficiencia; por otro, alterar el nivel de expresión de los genes de una forma dirigida en el micelio dicariótico, la fase simbiótica del ciclo biológico del hongo.

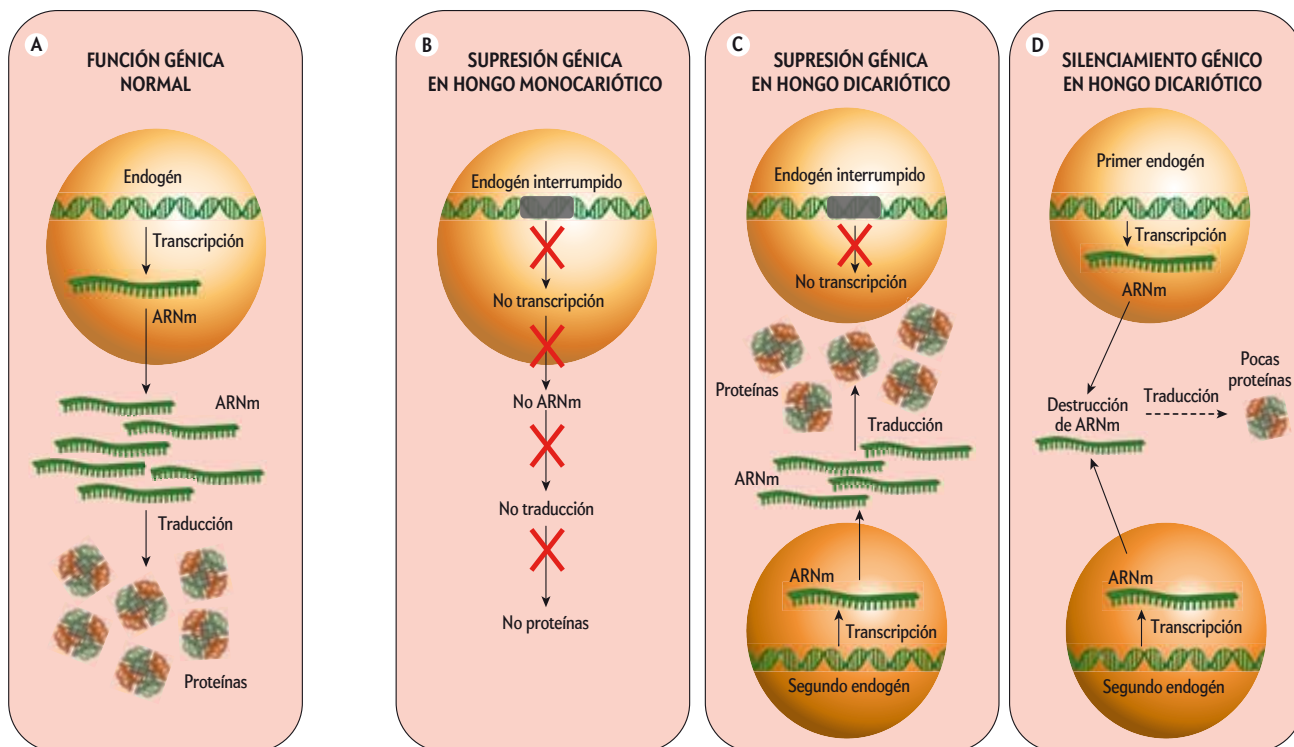
La modificación genética de los basidiomicetes filamentosos no es tarea fácil. Ello se debe, por una parte, a que los métodos tradicionales utilizados para transformar hongos se basan en la obtención y regeneración de protoplastos (células cuyas paredes han sido eliminadas), la cual es sumamente engorrosa en hongos de este grupo. Por otra parte, la manipulación dirigida de los genes es difícil de llevar a cabo debido a la baja tasa de recombinación homóloga que presentan estos organismos. Asimismo, la naturaleza dicariótica del micelio simbiótico dificulta la generación de mutantes nulos en hongos basidiomicetes ectomicorrízicos, dado que deben inactivarse, por recombinación homóloga, dos copias del gen en cuestión.

En nuestro laboratorio hemos desarrollado una técnica de transformación genética de alto rendimiento para *Laccaria*. Esta técnica, denominada TMA (transformación mediada por *Agrobacterium*), explota la capacidad de la bacteria *Agrobacterium tumefaciens* de transferir genes a otros organismos, un hongo en este caso, para la obtención de organismos transgénicos; se basa en la introducción de resistencia al antibiótico higromicina B.

Esa transferencia de genes permite la manipulación directa de micelio vegetativo intacto, evitando la necesidad de la preparación de protoplastos. La integración del transgén mediante TMA presenta un patrón sencillo; genera sobre todo integraciones simples. Los genes introducidos suelen integrarse sin preferencias



Laccaria bicolor



En la función génica normal (A) existe un flujo de información entre el gen y su producto final, una proteína. Este flujo implica primero la transcripción génica en moléculas de ARN mensajero (ARNm) dentro del núcleo de la célula eucariótica (*naranja*) y la posterior traducción de éstas en el citoplasma celular (*rosa*). Para interrumpir dicho flujo, podemos recurrir a la supresión génica (*knock-out*) o al silenciamiento génico (*knock-down*). En la supresión génica (B) se produce una

recombinación homóloga del endógen con un transgén no funcional; ello impide la transcripción en ARN y, por tanto, la obtención de proteínas. En los organismos dicarióticos (C), esta técnica no basta para impedir la expresión de un gen, puesto que éstos cuentan con dos núcleos en cada célula (*naranja*). Se recurre entonces al silenciamiento por ARN (D), que interfiere en la síntesis proteica mediante la destrucción específica de las moléculas de ARNm.

hacia ninguna secuencia nucleotídica. Sin embargo, las cepas transgénicas dicarióticas recuperadas bajo la presión selectiva muestran un desvío notable hacia la integración en secuencias génicas.

Silenciar, mejor que suprimir

Debido a que la tasa de recombinación homóloga de *Laccaria* es extremadamente baja, se descartó el uso de la técnica de supresión génica (*knock-out*). Para la modificación dirigida del nivel de expresión génica en el micelio dicariótico se evaluó un método alternativo: el silenciamiento por ARN.

El silenciamiento por ARN consiste en la degradación de ARN mensajero (ARNm) de una forma dependiente de secuencias homólogas. Se basa en un mecanismo celular antiguo de las células eucariotas, que habría sido seleccionado evolutivamente como un mecanismo de protección contra la invasión de ácidos nucleicos víricos. En distintos organismos eucarióticos, incluidos los hongos, la vía

de silenciamiento por ARN puede activarse de forma artificial, mediante la introducción de ARN de doble cadena en forma de horquilla (ARNh) con homología de secuencia a un ARNm blanco, lo que causa la degradación específica de este último (*knock-down*).

El silenciamiento por ARN puede actuar también a nivel del citosol celular, degradando ARNm originados incluso a partir de varias copias génicas presentes en un mismo o en distintos núcleos. Nos referimos al silenciamiento génico post-transcripcional. Ofrece una manera rápida y eficiente de alterar la expresión génica en organismos multicelulares poliploides, diploides y dicarióticos.

Se usó el gen de la nitrato reductasa (*Lbnr*) a modo de gen de prueba. Se silenció con éxito mediante la expresión transgénica de ARNh vía TMA. El silenciamiento por ARN causó modificaciones epigenéticas, lo que sugiere una conexión entre el silenciamiento por ARN y la metilación de ADN en *Laccaria*. La variación

en la fuerza de silenciamiento génico mostró correlación con los sitios genómicos de integración, pero no con el número de transgenes integrados: las integraciones en las secuencias de los genes altamente activos generó la respuesta de silenciamiento más intensa. Por tanto, el desvío en la integración de los transgenes hacia regiones codificantes producido por la metodología de transformación utilizada sugiere que TMA es altamente compatible con el uso del silenciamiento por ARN en *Laccaria*.

El silenciamiento de *Lbnr* también produjo un fenotipo fúngico no micorrizante con álamo utilizando nitrato como fuente de nitrógeno. Sin embargo, la capacidad simbiótica del hongo fue restaurada por amonio o una fuente de nitrógeno orgánico.

Nuestros resultados constituyen la primera prueba genética de que la eficacia del metabolismo del nitrógeno del hongo desempeña una función crucial en el establecimiento de la simbiosis ectomicorríci-

educación
ciencia filosofía
 universidad opinión
 comunicación historia
 ética cuestionar conocimiento
 reflexión observar blog 2.0
 experimento diálogo
 investigación

SciLogs 

Ciencia en primera persona

 **IGNACIO UGARTE**
A una unidad astronómica

 **YVONNE BUCHHOLZ**
Psicología y neurociencia al día

 **ÁNGEL GARCIMARTÍN MONTERO**
Física y sociedad

 **JOSÉ MARÍA VALDERAS**
De la sinapsis a la conciencia

 **MARC FURIÓ BRUNO**
Los fósiles hablan

 **CRISTINA MANUEL HIDALGO**
Física exótica

 **CLAUDI MANS TEIXIDÓ**
Ciencia de la vida cotidiana

 **JOSÉ IGNACIO LATORRE**
Partículas elementales

Y MÁS...

www.investigacionyciencia.es/blogs

ca. Además, sugieren que es la planta quien controla la interacción, de modo que no permite al hongo consumir fotosintatos sin ofrecer cierta cantidad de compuestos nitrogenados al huésped (evita el parasitismo). Asimismo, la investigación demuestra que el silenciamiento de genes por ARN en *Laccaria* constituye una

herramienta poderosa para el estudio de la interacción ectomicorrícica.

—Minna J. Kemppainen
 y Alejandro G. Pardo

Laboratorio de micología molecular
 Departamento de ciencia y tecnología
 CONICET-Universidad Nacional de
 Quilmes, Argentina

ASTROFÍSICA

La luz ultravioleta de las galaxias Seyfert

El agujero negro supermasivo del centro galáctico es fuente de fenómenos de muy alta energía. Su observación permite ahondar en los procesos de evolución de las galaxias

Hoy en día sabemos que la mayoría de las galaxias que superan cierto tamaño poseen un agujero negro supermasivo en su centro. Dichos agujeros negros, con masas de entre un millón y mil millones de veces la masa del Sol, son objetos extremadamente compactos y cuya gravedad afecta solo al centro galáctico de una forma local.

Por su parte, el bulbo galáctico que los rodea (formado por un conjunto de estrellas de órbitas desordenadas y que adopta una geometría elipsoide) se extiende varios miles de años luz más allá del núcleo. Sabemos que ha de existir un vínculo entre la formación y crecimiento del bulbo galáctico y la del agujero negro central, pero no conocemos sus características con exacti-



El centro de la galaxia NGC 5135 es rico en zonas de formación estelar y cúmulos estelares jóvenes, cercanos al núcleo activo Seyfert y muy brillantes en el ultravioleta. La imagen muestra una composición en colores artificiales en función de las bandas: ultravioleta cercano (*azul*), luz visible (*verde*) e infrarrojo cercano (*rojo*).

TELESCOPIO ESPACIAL HUBBLE (NGC 5135)