

INVESTIGACION *y* CIENCIA

30
aniversario

Edición española de
**SCIENTIFIC
AMERICAN**

PREDICCION DE ENFERMEDADES

**MODELIZACION
A DIVERSAS ESCALAS
EN BIOLOGIA**

**EFFECTO TUNEL
EN SUPERCONDUCTORES**

COLORES ILUSORIOS

EL GENOMA DEL CANCER



MAYO 2007
6,00 EUROS

3

HACE...

50, 100 y 150 años.

4

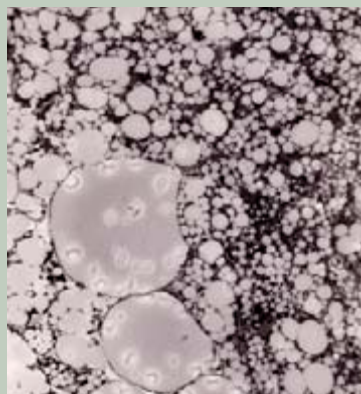
APUNTES

Meteorología...

Fisiología...

Cosmología...

Materiales.



31

CIENCIA Y SOCIEDAD

Estomas...

Nanotubos de carbono...

Aneuploidía variegada.

36

DE CERCA

Espojas y microorganismos.



6

La reacción de los agujeros negros

*Wallace H. Tucker, Harvey Tananbaum
y Andrew Fabian*

Un solo agujero negro, más pequeño que el sistema solar, controla el destino de un cúmulo entero de galaxias.

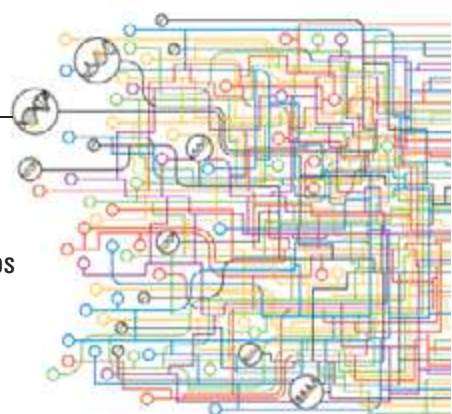


14

El genoma del cáncer

Francis S. Collins y Anna D. Barker

La elaboración de un mapa de los genes implicados en el cáncer ayudará a explorar una nueva senda a través del complejo paisaje de los tumores.



22

Una vida digital

Gordon Bell y Jim Gemmell

Nuevos sistemas registrarán todo cuanto vemos y oímos, incluso mucho que no percibimos, y lo conservarán en archivos digitales personales.



38

Las presas se dismantelan

Jane C. Marks

Se dismantelan ahora numerosas presas, con lo que se recuperan ríos y los ecosistemas que sustentan. Pero también supone riesgos ecológicos, que tal vez podrían prevenirse.

54

Colores ilusorios

*John S. Werner, Baingio Pinna
y Lothar Spillmann*

Ilusiones cromáticas de reciente ideación sugieren que el cerebro no separa la percepción del color de la percepción de la forma y la profundidad.



44

Predicción de enfermedades

Abner Louis Notkins

Existen autoanticuerpos pronósticos que aparecen en la sangre años antes de que se manifiesten los síntomas de la enfermedad. La detección de esas moléculas alertaría de la necesidad de adoptar medidas preventivas.

60

Modelización en biología a través de escalas múltiples

Santiago Schnell, Ramón Grima y Philip K. Maini

Están surgiendo nuevas formas de investigar el cáncer que ilustran la utilidad del armamentario matemático para desentrañar los mecanismos biológicos, en toda su gama de escalas.

70

Los diésel se purifican

Steven Ashley

El uso de motores más perfectos y de filtros para los escapes, junto con un nuevo combustible, logrará coches diésel de alto rendimiento que apenas si contaminarán más que los híbridos.

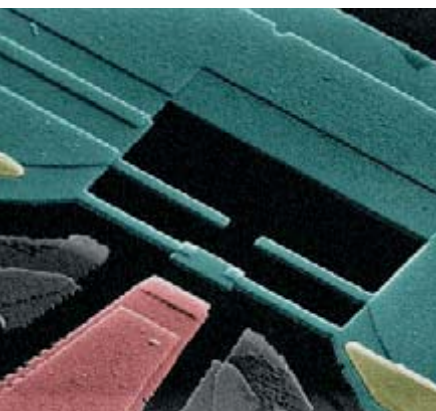


78

Efecto túnel en superconductores

Roberto Escudero

La técnica espectroscópica por excelencia para estudiar el estado superconductor se basa en el efecto túnel. Toda la información relevante sobre las interacciones elementales que dan lugar al condensado superconductor, así como los aspectos termodinámicos del estado normal, se obtienen mediante esta herramienta experimental.



85

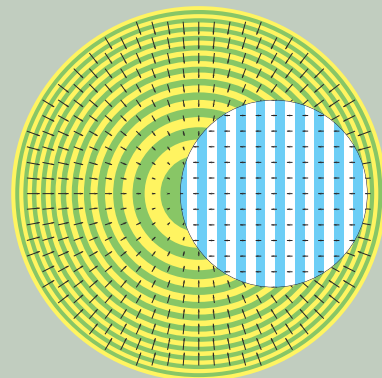
DESARROLLO SOSTENIBLE

Amenazas de guerra, oportunidades para la paz, por Jeffrey D. Sachs

86

CURIOSIDADES DE LA FÍSICA

Más sobre el tránsito pendular a través de la Tierra, por Norbert Treitz



90

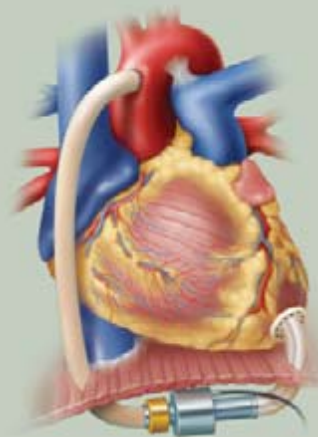
JUEGOS MATEMÁTICOS

La asombrosa fórmula de Tupper, por Juan M.R. Parrondo

92

IDEAS APLICADAS

Dispositivos de asistencia al ventrículo izquierdo, por Mark Fischetti



94

LIBROS

Ciencia clásica
Soyuz.

INVESTIGACION CIENCIA

DIRECTOR GENERAL José M.^a Valderas Gallardo
DIRECTORA FINANCIERA Pilar Bronchal Garfella
EDICIONES Juan Pedro Campos Gómez
Laia Torres Casas

PRODUCCIÓN M.^a Cruz Iglesias Capón
Albert Marín Garau

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 Ricki L. Rusting
NEWS EDITOR Philip M. Yam
SPECIAL PROJECTS EDITOR Gary Stix
SENIOR EDITOR Michelle Press
SENIOR WRITER W. Wayt Gibbs
EDITORS Mark Alpert, Steven Ashley,
Graham P. Collins, Steve Mirsky,
George Musser y Christine Soares

PRODUCTION EDITOR Richard Hunt
GENERAL MANAGER Michael Florek
VICE PRESIDENT AND MANAGING DIRECTOR, INTERNATIONAL
Dean Sanderson
PRESIDENT AND CHIEF EXECUTIVE OFFICER
Gretchen G. Teichgraber

CHAIRMAN Brian Napack

DISTRIBUCION

para España:

LOGISTA, S. A.

Pol. Ind. Polvoranca
Trigo, 39, Edif. 2
28914 Leganés (Madrid)
Teléfono 914 819 800

para los restantes países:

Prensa Científica, S. A.

Muntaner, 339 pral. 1.^a
08021 Barcelona

PUBLICIDAD

Madrid:

VdS Comunicación
Julia Domínguez
Dr. Fleming, 56 - 3.º dcha.
28036 Madrid
Tel. y fax 913 591 965
Móvil 649 879 433

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:

M.^a Rosa Zapatero Osorio: *La reacción de los agujeros negros*; Felipe Cortés: *El genoma del cáncer*; Luis Bou: *Una vida digital, Colores ilusorios, Modelización en biología a través de escalas múltiples*; Juan Manuel González Mañas: *Predicción de enfermedades*; J. Vilardell: *Apuntes, Hace..., e Ideas aplicadas*; Marián Beltrán: *Desarrollo sostenible*; Jürgen Goicoechea: *Curiosidades de la física*



Portada: Cary Wolinsky (fotografía),
Jen Christiansen (fotoilustración)

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	65,00 euro	120,00 euro
Resto del mundo	90,00 euro	170,00 euro

Ejemplares sueltos:

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

Difusión
controlada

Copyright © 2007 Scientific American Inc., 415 Madison Av., New York N. Y. 10017.

Copyright © 2007 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

...cincuenta años

MUSCULATURA INDUSTRIAL. «Según el conde de Halsbury, experto inglés en técnica industrial, la palabra *automatización*, una acuñación periodística, se ha convertido, sin merecerlo, en un foco de temores. En la revista británica *Impact* trata de corregir la impresión, creada por los periodistas, de que los procesos automáticos traerán la pérdida de puestos de trabajo. Las máquinas requieren personal preparado para mantenerlas. Los despidos afectan sobre todo a las personas sin cualificación, donde siempre se registra una tasa elevada de altas y bajas. Lord Halsbury se preocupa por quienes no experimentarán los beneficios de la automatización: mineros del carbón, estibadores y cuantos realizan los trabajos onerosos para una sociedad que no sabe cómo aliviarles su tarea.»

...cien años

CAMBIO A PEOR. «En *SCIENTIFIC AMERICAN* tratamos hace poco del efecto giroscópico de las turbinas de vapor sobre el aumento de las tensiones que deben soportar las frágiles estructuras de los cascos de las torpederas. Un ingeniero naval inglés ha demostrado que, en el caso de la torpedera británica que se rompió por popa cuando cabeceaba violentamente en un mar de proa, la resistencia giroscópica al cambio de plano de las piezas giratorias de la turbina podría haber ascendido a varias toneladas. Esas tensiones, que no se tuvieron en cuenta cuando se proyectó la embarcación, podrían haber llevado la flexión y las tensiones de torsión totales más allá del límite de resistencia del casco.»

LUCTUOSIDADES. «En fecha reciente ha hecho su aparición en las calles de París una lúgubre novedad en forma de coche fúnebre motorizado. Un país que se regocija en los sombríos placeres de los funerales en tranvía difícilmente podrá justificar su negativa a esta novísima aplicación del vehículo eléctrico. En nuestros tiempos de motorización frenética, no puede ofrecerse razón alguna para que un hombre no pueda ser inhumado en una ceremoniosa y sombría carroza motorizada.»

NAOSAURIO. «El profesor Henry F. Osborn, conservador del departamento de paleontología de vertebrados del Museo de Historia Natural de Nueva York, ha hecho una notable contribución a la ciencia. Acaba de presentar el primer y único esqueleto ensamblado de Naosaurio, una extraordinaria maravilla fósil de un reptil carnívoro del Pérmico texano. Reclamamos del lector una atención especial para el espléndido y perfecto dibujo del señor Charles R. Knight. —Walter L. Beasley» [Nota de la redacción: el modelo era una composición errónea de fósiles de Edafosaurio y Dimetrodon.]

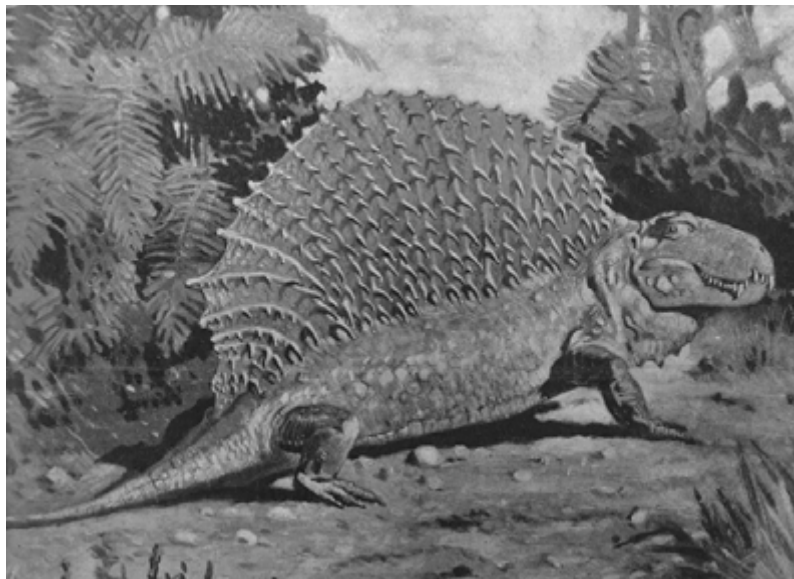
...ciento cincuenta años

UN COMBUSTIBLE HEDIONDO. «Creemos que al fluido petróleo, procedente de las fuentes de brea de California, no se ha dado un uso concreto, salvo como loción para las contusiones y afecciones reumáticas. Produce un hedor acre y, aunque arde con una buena lumbre, despiden un olor repugnante. Tal vez pudiera el mal olor eliminarse por destilación con algún ácido; no lo creemos imposible en esta época de progreso de la química. Si se lograra desechar, su aplicación a la fabricación de fluidos para alumbrar podría resultar útil y rentable.»

MÁS LIMPIA Y MÁS VERDE. «Según los *India Annals of Medical Science* en la India los depósitos de agua están cubiertos de alga verde, la cual, además de conferir al agua un tinte verdoso, posee un gran poder filtrante y sanitario, pues allá donde hay alga verde hallamos también pececillos e infusorios, que también conservan el agua. Sir Charles Napier, en una inspección por los distritos montañosos del Punjab, al observar a los aguadores sacando agua de uno de aquellos depósitos, ordenó que éste se limpiara de inmediato. El agua se tornó pronto repugnante y no apta para el uso hasta que el alga verde fue replantada y volvió a cubrir los estanques.»

Erratum corrige

En la revista de marzo 2007, núm. 366, en la página 3, sección "Hace", donde dice "maíz" debería decir "cereales".



Naosaurio, en una exposición de 1907

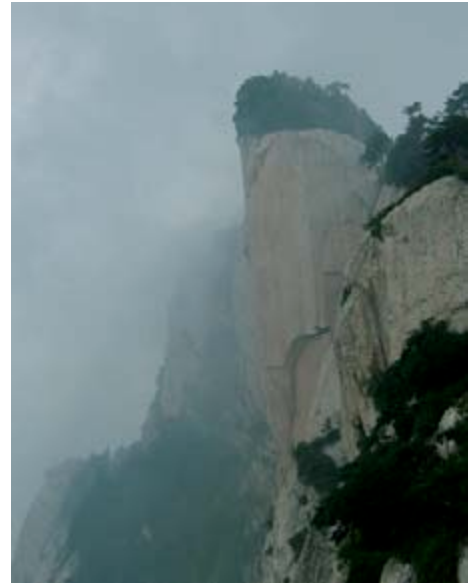
METEOROLOGIA

Contaminantes inductores de sequía

Hay partículas derivadas de la quema de combustibles que parecen obstruir la formación de lluvia, nieve y hielo en una montaña china. A medida que en la atmósfera aumentan los aerosoles, son menos las gotículas que colisionan para formar gotas de lluvia. Un equipo de físicos del aire estudió los registros de los últimos 50 años del observatorio meteorológico situado en la cima del Hua, monte sagrado de los chinos. Según descubrieron, había disminuido la visibilidad desde la cumbre de dos mil metros; por término medio, bajó de 30 kilómetros a 10. Además, las precipitaciones se han reducido hasta en un 17 por ciento, en comparación con las zonas circundantes. Estos hallazgos explican una tendencia general, observada de Canadá a Sudáfrica e Israel: asistimos a una disminución de las precipitaciones en las zonas montañosas, en comparación con las de las tierras bajas contiguas. La contaminación no sólo reduce la panorámica; está también agotando los arroyos de montaña.

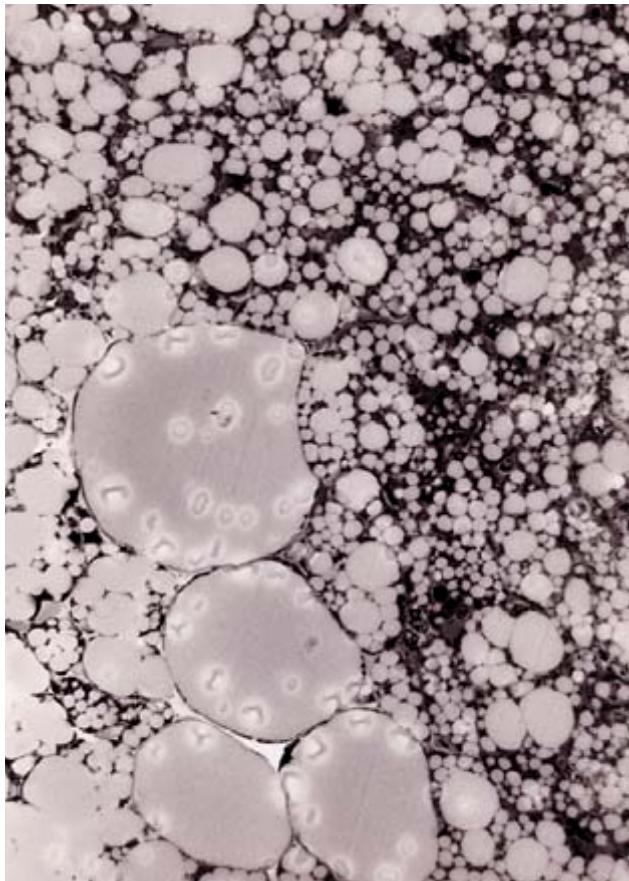
—David Biello

La neblina contaminada empeora la visión desde el monte Hua e impide la formación de lluvia



FISIOLOGIA

¿Adónde va a parar el peso que perdemos?



Cuando perdemos peso, la grasa que desaparece se descompone en combustible para las actividades corporales. La grasa está presente en forma de triglicéridos, macromoléculas parecidas a una E, con una molécula de glicerol unida a tres cadenas grasas ácidas. Cuando recortamos las calorías, aumentamos el ejercicio o ambas cosas, la lipasa sensible a las hormonas, una enzima contenida en las células grasas, reacciona ante los mensajes hormonales y descompone los triglicéridos, cuyos elementos, pasan entonces al torrente sanguíneo. El hígado absorbe preferentemente el glicerol y algunos de los ácidos grasos; los músculos se encargan del resto. Dentro de las células hepáticas y musculares prosigue la descomposición de los triglicéridos, que termina generando grandes cantidades de acetil-CoA. En las mitocondrias —las centrales energéticas de las células—, la acetil-CoA se combina con oxaloacetato para formar ácido cítrico. Esa síntesis inicia el ciclo del ácido cítrico, o ciclo de Krebs, un conjunto de reacciones químicas que genera energía útil a partir de lípidos, proteínas y carbohidratos. Esas actividades mitocondriales crean numerosos productos y subproductos: dióxido de carbono, que los pulmones descargan al exhalar; agua, que se expulsa con la orina y el sudor; calor, lo que permite mantener una temperatura corporal aceptable; y el trifosfato de adenosina (ATP), portador de energía. El ATP es el combustible con el que los músculos se mueven, el corazón late más de 100.000 veces al día, se digieren los alimentos y se transforman los nutrientes en tejidos corporales.

—Lora A. Sporny
Universidad de Columbia

Adipocitos pardos con múltiples gotas de grasa en el citoplasma, y adipocitos blancos, de mayor tamaño y con una sola gota lipídica, que ocupa todo el citoplasma

KAI LIU (arriba)

COSMOLOGIA

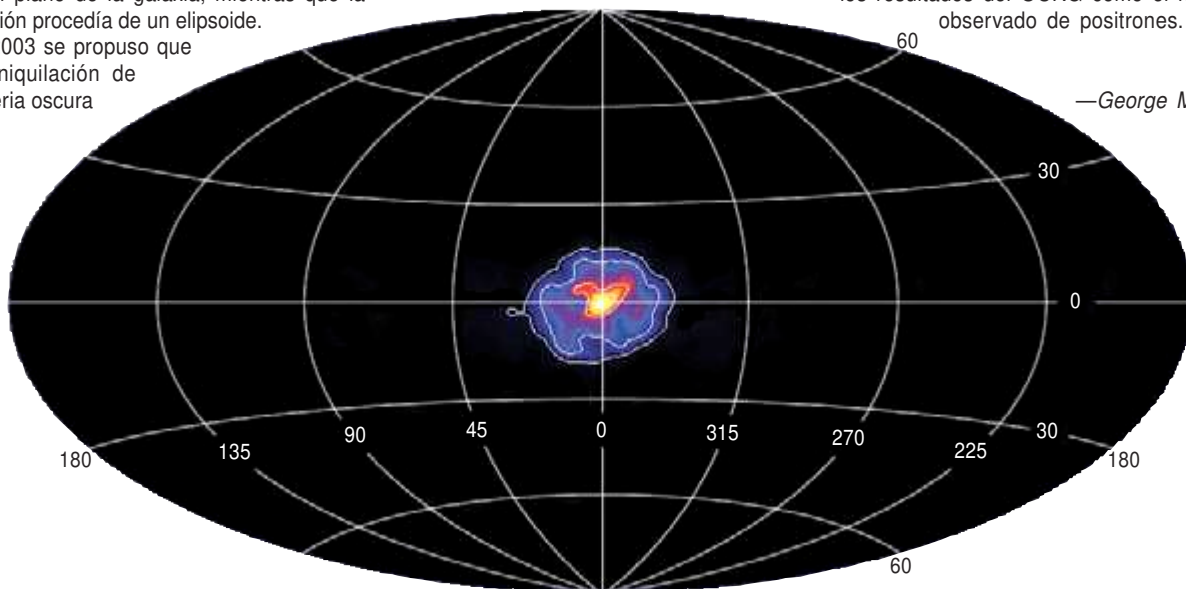
Una materia no tan oscura

Hace años que se conjetura que la materia oscura podría alimentar ciertas fuentes luminosas del cosmos que escapan a toda explicación. La materia oscura produciría luz si se chocara contra antimateria oscura. Al aniquilarse ambas, se produciría un estallido de rayos gamma. Hace diez años, el Observatorio Compton de Rayos Gamma (OCRG) detectó una radiación gamma doble de la que deberían producir los procesos habituales. La aniquilación de materia oscura daría cuenta de la discrepancia en cuestión, en la hipótesis de que la masa de las partículas oscuras fuese unas 100 veces la del protón.

Por otra parte, a principios de los años setenta se detectaron inmensas cantidades de electrones que se aniquilaban en su choque con positrones. Hay muchos procesos y objetos que producen positrones, desde las supernovas hasta las estrellas de neutrones, pero no con tal profusión. Ese tipo de fuentes tiende a residir en el plano de la galaxia, mientras que la emisión procedía de un elipsoide. En 2003 se propuso que la aniquilación de materia oscura

generaba los positrones. El problema es que los positrones son muy ligeros; lo que exigiría que lo fueran también las partículas de materia oscura. Aparte de la incongruencia con los resultados del OCRG, tales partículas tendrían que haber escapado también a la detección en los laboratorios de altas energías.

Douglas Finkbeiner, del Smithsonian de Harvard, y Neil Weiner, de la Universidad de Nueva York, explican ambos conjuntos de observaciones con una misma partícula pesada. La energía cinética de las partículas oscuras del interior de la galaxia es la necesaria para crear una pareja electrón-positrón. Para extraerla, las partículas deberían interactuar bajo la influencia de una fuerza desconocida de la naturaleza, que intervendría cuando se acercaran a menos de 10^{-14} metros uno de otro. Este acercamiento es 10.000 veces más probable que el impacto directo necesario para la aniquilación. Esa probabilidad relativa explicaría tanto los resultados del OCRG como el número observado de positrones.



Señales observadas cerca del centro de la galaxia podrían haberse producido por materia oscura

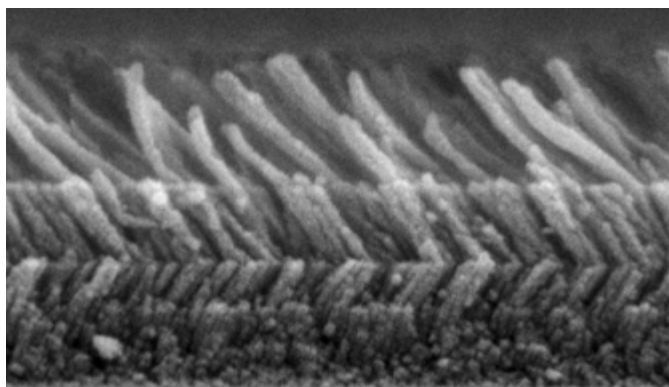
MATERIALES

Sin reflejos

En el Instituto Politécnico Rensselaer se ha creado un revestimiento que, gracias a un índice de refracción muy próximo al del aire, apenas si refleja la luz. El índice de refracción de una sustancia es una medida de la velocidad de la luz en su seno, que a su vez determina cuánto se desvía la luz cuando penetra en ella. El nuevo material se compone de una capa de nanovarillas acodadas dispuestas sobre una oblea transparente semiconductora. Apilando cinco capas de nanovarillas, de porosidad decreciente de abajo arriba, el índice de refracción del revestimiento varía a saltos, desde 2,03 en el fondo (valor muy próximo al de la oblea) hasta 1,05 en la cara superior (compárese con 1,0 para el aire). La reflexión total se redujo hasta sólo un 0,1 por ciento. Este revestimiento podría aumentar el rendimiento de los diodos luminosos y las células solares.

—J. R. Minkel

Nanovarillas dispuestas en capas, cada una con un índice de refracción diferente, eliminan casi por completo los reflejos para varias longitudes de onda



ESAJ, KNÖDLSIEDER, CESR AND INTEGRAL/SPI TEAM (arriba); E. FRED SCHUBERT, Rensselaer Polytechnic Institute (abajo)

1. RECREACION ARTISTICA del cañón del chorro de un agujero negro supermasivo. El chorro almacena poder suficiente para crear burbujas de gas caliente con una energía equivalente a miles de millones de explosiones supernova.

La reacción de los agujeros negros

Un solo agujero negro,
más pequeño que el sistema solar,
controla el destino de un cúmulo entero de galaxias

Wallace H. Tucker, Harvey Tananbaum, y Andrew Fabian



La cartografía a gran escala del universo semeja un mapa de carreteras. Se alinean galaxias a lo largo de filamentos que cruzan el espacio intergaláctico: las autopistas. En el intervalo entre una ruta y otra, hay regiones de menor densidad: el campo cósmico. Y en los cruces, donde convergen múltiples filamentos, hallamos cúmulos de galaxias: las capitales cósmicas.

El tamaño de estos cúmulos llama la atención. La luz necesita poco más de un segundo para ir de la Luna a la Tierra, y ocho minutos en llegar desde el Sol. La luz procedente del centro de la Vía Láctea tarda 25.000 años. Muy poco, comparado con el que tarda en cruzar un cúmulo de galaxias: unos 10 millones de años. Los cúmulos son los cuerpos más voluminosos ligados gravitatoriamente del universo. Los filamentos que recuerdan a las carreteras adquieren un tamaño mayor, pero no son cuerpos coherentes y trabados por la gravedad.

Por la ligadura gravitatoria, las galaxias se atienen a un equilibrio dinámico global y, lo mismo que ellas, cualquier materia extragaláctica que haya en un cúmulo maduro. Las galaxias se mueven por el cúmulo; que no se alejen unas de otras se debe al influjo de la materia oscura, forma misteriosa de materia que sólo se detecta por sus efectos gravitatorios. Las interacciones entre las componentes de un cúmulo crean un conjunto de fenómenos muy rico que apenas empezamos vislumbrar.

Al igual que las grandes metrópolis de la Tierra, los cúmulos son más que la suma de sus habitantes. Los procesos que suceden a escala de los cúmulos determinan el curso de los acontecimientos a escalas mucho menores; así, afecta al crecimiento de las galaxias y al aprovisionamiento de los agujeros negros supermasivos en los centros de esas galaxias. A su vez, los agujeros negros consumen cantidades ingentes de materia muy veloz que dirige la evolución del cúmulo entero. A primera vista, resultan enigmáticas tales interconexiones entre escalas grandes y pequeñas. Los diámetros de los agujeros negros en cuestión son menores que el del sistema solar. Que un agujero negro influya en un cúmulo de galaxias sería parecido a que un arándano afectara a la Tierra entera.

El gas que desaparece

Estas interacciones explican algunas de las viejas paradojas de la “vida urbana” en el cosmos. Una de ellas, el problema del flujo frío. El espacio entre las galaxias de un cúmulo está ocupado por un gas cuya temperatura alcanza millones de grados. Si las galaxias del cúmulo representaran los centros de la megápolis, el gas simbolizaría la expansión suburbana descontrolada. Al igual que las urbanizaciones que rodean la mayoría de los centros de las urbes, el gas es la región más poblada: contiene más masa que todas las estrellas de las galaxias del cúmulo.

El gas, que se calienta sobre todo por el lento colapso gravitatorio del cúmulo, libera rayos X. Los telescopios ópticos no pueden ver este gas, ni los rayos X pueden penetrar en la atmósfera terrestre. Su descubrimiento y posterior estudio ha de agradecerse a los observatorios orbitales. Hace una veintena de años, el Observatorio Einstein de rayos X de la NASA y otros instrumentos nos mostraron que la radiación X liberaba tanta energía, que el gas del centro del cúmulo tenía que estar perdiendo temperatura a ritmo constante, de ahí la expresión “flujo frío”. Uno de los autores (Fabian) abrió el camino a la investigación de dichos flujos con el Einstein y, más tarde, con el satélite ROSAT de rayos X. Calculó, con sus colaboradores, que los flujos ejercían un efecto drástico. De persistir mil millones de años, el gas depositado en las regiones centrales del cúmulo engendraría billones de nuevas estrellas.

Pero las estrellas de marras no aparecían por ningún lado. Se buscaron en vano grandes cantidades de gas frío y estrellas recién formadas. Si un agujero negro se las hubiera tragado, pesaría tanto como el billón de estrellas, y ni el mayor agujero negro pesa tanto. Otro de los autores (Tucker) sostuvo que no existen flujos fríos a gran escala duraderos. Entre otras explicaciones, se aduce que largas erupciones de energía procedentes de la galaxia central del cúmulo calientan el gas en una medida que bastaba para compensar el enfriamiento radiativo. Los radioastrónomos han venido, durante años, acumulando registros de este tipo de actividad. Pero ni siquiera se cuestionaba que las erupciones repartiesen por un volumen suficiente tanta energía como para impedir los flujos fríos. La paradoja no se resolvía: aunque el gas caliente del cúmulo se debía enfriar, el producto final del enfriamiento escapaba a su detección.

A la resolución de la paradoja se destinaron dos poderosos telescopios lanzados en 1999: el Observatorio Chandra de rayos X, de la NASA, y el XMM-Newton, de la Agencia Espacial Europea. Puesto que el gas de los cúmulos radia su energía tan lentamente, preserva un historial de la actividad de los últimos mil millones de años. Retiene, por ejemplo, los elementos y la energía depositados por las explosiones de supernova de las galaxias que integran el cúmulo. Al igual que los arqueólogos desenterran el pasado, los astrónomos han excavado con los nuevos telescopios las reliquias presentes en los cúmulos galácticos para conocer su historia.

Burbujas

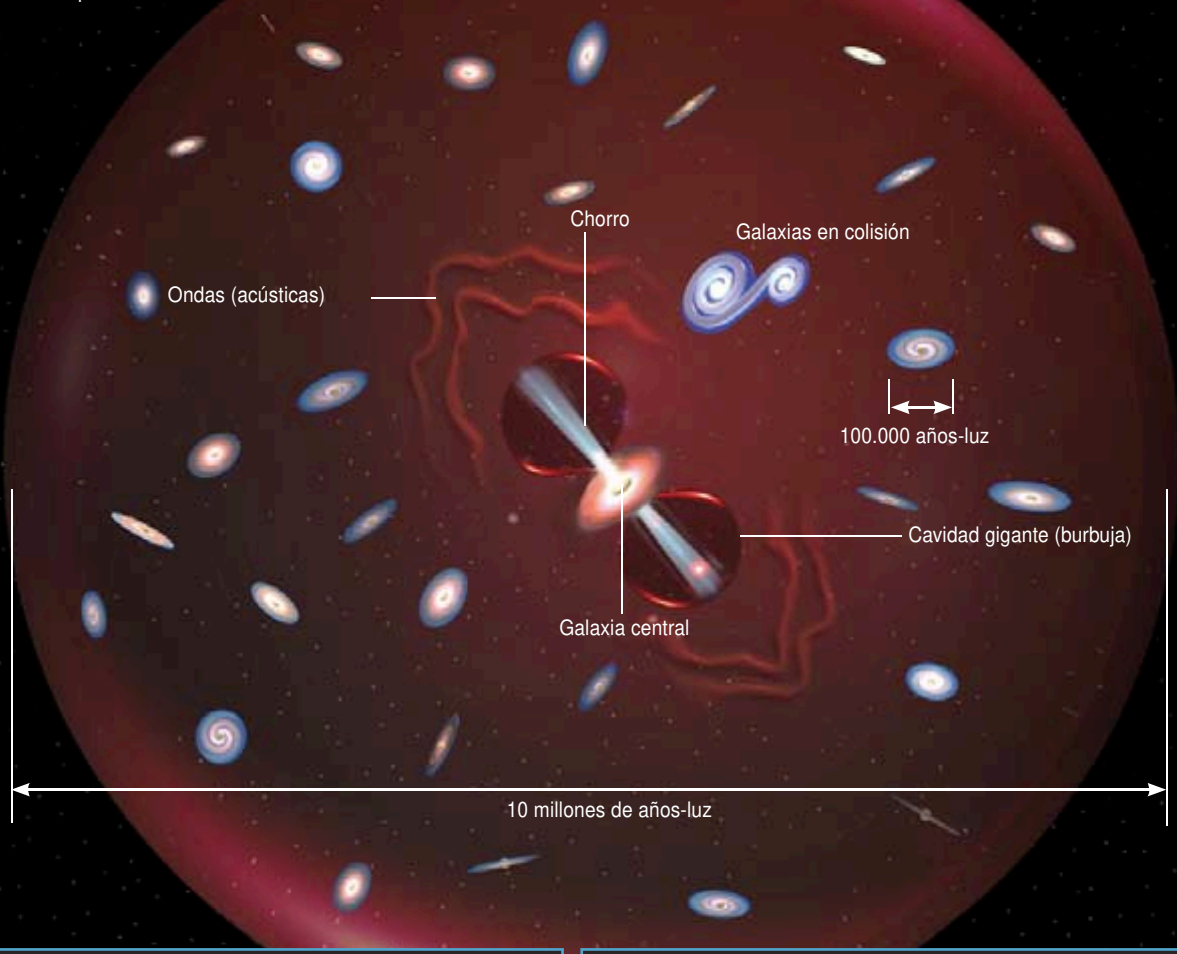
El cúmulo más brillante observado con instrumentos de rayos X es el de Perseo, por su alta luminosidad intrínseca y por su proximidad cósmica a la Tierra (unos 300 millones de años-luz). En los años noventa, el ROSAT descubrió dos vastos agujeros en el gas emisor de rayos X, en los 50.000 años-luz centrales del cúmulo. Inducían a en un reloj de arena centrado en la galaxia gigante NGC 1275. Gracias al Chandra, Fabian y sus colaboradores perfilaron las cavidades con minuciosidad. Se descubrió así que se alineaban con dos chorros, vistos previamente en radio, que emanan del centro de la galaxia gigante. Las cavidades de rayos X no están vacías; las rellenan campos magnéticos y partículas energéticas (protones y electrones). Estas burbujas, de baja densidad

Resumen/*Burbujas monstruosas*

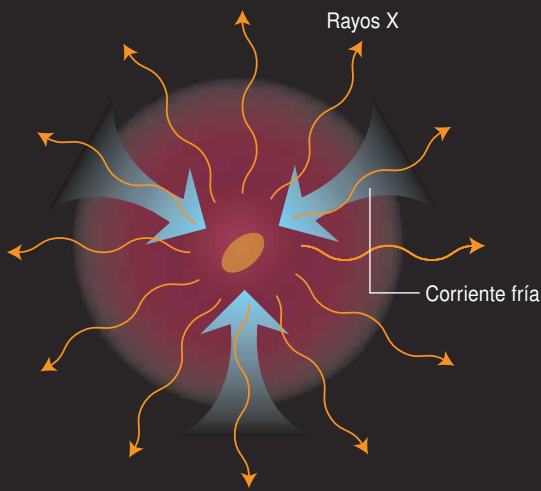
- Con una combinación de radiotelescopios y telescopios de rayos X, se han descubierto, en el gas de los cúmulos de galaxias, inmensas burbujas llenas de partículas muy energéticas. Miden cientos de miles de años-luz. La energía necesaria para crear estas estructuras roza lo increíble: equivale a la que se desprendería si 100 millones de estrellas se convirtieran en supernovas a un tiempo.
- Sólo un agujero negro puede crear burbujas de ese tenor. No toda la materia que se aproxima a un agujero negro se pierde en su seno. Mientras el gas caliente y magnetizado gira en un disco de acrecimiento hacia el agujero, aparecen unas intensas fuerzas electromagnéticas que expulsan parte del gas en un chorro estrecho.
- Los chorros no sólo crean burbujas, sino que añaden también calor y magnetismo al gas intergaláctico presente en un cúmulo de galaxias, fenómeno que explica algunas de las paradojas persistentes de la astronomía. El proceso parece integrarse en un ciclo de muchos millones de años, que regula el crecimiento de las galaxias supergigantes en el centro de los cúmulos.

ANATOMIA DE UN CUMULO

Los mayores objetos del universo merecedores de que se los tenga por "objetos" son los cúmulos de galaxias. Están formados por mil o más galaxias que se mueven por una bola de gas caliente (*rojo*) y que están ligadas unas a otras por la gravedad. En el centro de un cúmulo se encuentra una galaxia especialmente grande; allí suceden los procesos más violentos del universo moderno.



Mientras los rayos X se llevan energía, el gas del cúmulo debería enfriarse y fluir hacia el interior. Al cabo de miles de millones de años, habría de formar un billón de nuevas estrellas. Sin embargo, se observan muy pocas.



Los ciclos de calentamiento y enfriamiento explican que no se vean nuevas estrellas. Los chorros de un agujero negro devuelven energía al gas y ponen fin al flujo interior.



y muy energéticas, ascienden por el gas caliente emisor de rayos X y lo van apartando.

Otros cúmulos presentan también burbujas. Las observaciones del Chandra han descubierto cavidades de rayos X asociadas a emisiones de radio en los cúmulos Hydra A, Hércules A y Abell 2597. Se han hallado, además, burbujas débiles lo mismo en ondas de radio que en rayos X, señal de que las partículas energéticas que contienen han disipado una fracción importante de su energía. Estas “cavidades fantasma” se han separado de la galaxia central y podrían ser reliquias de burbujas anteriores.

La actividad más espectacular observada por Chandra hasta la fecha es la encontrada en el cúmulo MS 0735.6+7421 (MS 0735 para abreviar) por Brian R. McNamara y su grupo. Aunque la imagen de este cúmulo no es tan detallada como la de Perseo, reviste máximo interés. Cada cavidad de rayos X del cúmulo mide 600.000 años-luz de diámetro, más de seis veces el disco de nuestra Vía Láctea. El tamaño de las cavidades y la densidad y temperatura del gas que las rodea apuntan a una edad de 100 millones de años. Contienen la energía cinética de 10.000 millones de supernovas. Hasta los astrónomos, acostumbrados a tratar con miles de millones y billones, quedan sobrecogidos ante la inmensidad de las burbujas y la cantidad titánica de energía que engloban.

Esta energía basta para resolver la paradoja de los flujos fríos. John R. Peterson y otros se han valido de espectros tomados con el telescopio XMM para mostrar que no hay flujos fríos en los cúmulos con burbujas, poderoso indicio de que las burbujas impiden el enfriamiento del gas. Pero falta un nexo en este argumento: ¿cómo se transfiere la energía de la burbuja al gas?

Bajo profundo

Hay una respuesta que parece obvia: las burbujas generan intensas ondas de choque, de manera parecida a lo que ocurre en la Tierra en las explosiones atmosféricas. Cuando el material, dotado de elevada energía, de una explosión se desplaza a velocidades supersónicas por la atmósfera, concentra el aire circundante en una fina corteza. Los choques entre las partículas del interior de esa capa convierten en calor la energía cinética de la explosión. Estas ondas de choque intensas se observan en una amplia variedad de fenómenos cósmicos; así, en los remanentes de las explosiones supernova.

“Para cada problema complejo existe, decía H. L. Mencken, una respuesta clara, simple y equivocada.” Por desgracia, parece que el calentamiento del gas de un cúmulo mediante ondas de choque no lo desmiente. Los telescopios no ven esas finas cortezas calientes que deberían generarse. Además, parece probable que el calentamiento por ondas de choque intensas se concentraría en las regiones centrales del cúmulo y no podría compensar un enfriamiento extendido a todo el gas del cúmulo.

Resulta más verosímil que la transferencia de energía se deba al calentamiento por ondas acústicas. El gas intergaláctico del interior de los cúmulos se halla muy enrarecido, para una vara de medir humana (sólo contiene unos miles de átomos de hidrógeno por metro

cúbico); pese a ello, las ondas de sonido pueden propagarse a través del mismo. Estas ondas evolucionan hasta convertirse en ondas de choque casi supersónicas que calientan el gas.

Gracias a un procesamiento especial de las imágenes del cúmulo de Perseo, el equipo de Fabian dio con la prueba clave que ratificaba esa idea: una serie de ondas casi concéntricas. La densidad y presión del gas, no la temperatura, cambian de repente en la onda interior, según corresponde a una onda de choque débil. En las ondas exteriores, la densidad y la presión varían poco, algo connatural a las ondas acústicas. El espaciado entre las ondas (35.000 años-luz) y la velocidad del sonido medida en el gas (1170 kilómetros por segundo) apuntan a que han transcurrido 10 millones de años entre los sucesos generadores de las ondas. El tono de las ondas acústicas se traduce a la nota Si bemol 57 octavas por debajo del Do medio. Suplen su carencia de musicalidad con pura potencia.

Se observan otros rasgos similares en el cúmulo de Virgo, el cúmulo más cercano a nosotros, a unos 50 millones de años-luz. William Forman y su grupo, del Centro Smithsonian de Harvard para Astrofísica, analizaron con Chandra a M87, su galaxia central y dominante. Encontraron una red de estructuras filamentosas, cada una de 1000 años-luz de ancho y 50.000 de largo. Los filamentos, al igual que las ondas del cúmulo de Perseo, quizá fueran creados por ondas acústicas generadas por una serie de burbujas flotantes, creadas a su vez por explosiones espaciadas unos seis millones de años. Por tanto, las ondas acústicas de Virgo son una octava más altas que las de Perseo. El equipo de Forman detectó un anillo de emisión más caliente, con un radio de unos 40.000 años-luz —el frente débil de una onda de choque, tal vez— y una gran cavidad de rayos X a unos 70.000 años-luz del centro de la galaxia.

Llegados a este punto cabe preguntarse de qué modo la energía de las ondas acústicas calienta el gas. Podría hallarse la clave en la temperatura de las ondas interiores de Perseo, que no aumente a lo largo del frente de choque. A lo mejor la conducción de calor quizá disipa con presteza la energía de las partículas gaseosas calentadas por las ondas de choque, o quizá los electrones de alta energía que escapan de las burbujas o de detrás de las ondas se aceleran y calienten el gas. Uno u otro de estos procesos mantendría baja la temperatura del propio frente de choque.

Tornados electromagnéticos

No obstante, la pregunta fundamental es otra: ¿por qué se crean las burbujas? Sólo se conoce un tipo de objeto que pueda generar tanta energía: los agujeros negros supermasivos. Sumideros por antonomasia, proyectan también lejos de sí, a grandes velocidades, la materia que los rodea. En los últimos años se viene estudiando el mecanismo de acción.

Las simulaciones prueban que un agujero negro actúa a la manera de un motor gigante. El gas que cae en su seno aumenta sus revoluciones. Los campos magnéticos convierten entonces la energía de rotación en movimiento lineal y catapultan parte del gas hacia el exterior. Formularon este proceso, a finales de los años setenta, Roger