

INVESTIGACION *y* CIENCIA

JULIO 2004
5,50 EURO

Edición española de
**SCIENTIFIC
AMERICAN**

EL TIEMPO ANTES DE LA GRAN EXPLOSION

**EN TORNO A UNA ECONOMIA
DEL HIDROGENO**

**EL TORIO,
COMBUSTIBLE NUCLEAR**

VUELVE FREUD

MicroARN



9 770210 136004

3

HACE...

50, 100 y 150 años.

4

APUNTES

Diabetes...
Extinciones...
Arqueología...
Medio ambiente...
Climatología...
Cosmología.

30

CIENCIA Y SOCIEDAD

Sida felino, vacuna...
Neurociencias...
Sondeo ionosférico y GPS...
Calamares gigantes varados.



38

DE CERCA

Diversidad morfológica.



Procesos de formación en la Vía Láctea actual

Bart P. Wakker y Philipp Richter

La Vía Láctea, a la que se suponía una reliquia de un pasado lejano, constituye un objeto vivo y dinámico.

16

La prueba del nueve

Michel Ballieu

Los pitagóricos y los alumnos de primaria, los matemáticos árabes y los algebristas del Renacimiento han aplicado la prueba del nueve. ¿Se trata de una receta mágica?

22



En torno a una economía del hidrógeno

Matthew L. Wald

Es muy grande el interés que suscitan las pilas de combustible. Sin embargo, no resulta tarea fácil desarrollar una economía que dependa del hidrógeno.

40

La reestructuración del GPS

Per Enge

El sistema de localización global ya presta servicio a más de 30 millones de usuarios, sean excursionistas o pilotos que deben aterrizar con visibilidad nula. Una mirada a lo que va a venir.

50

Vuelve Freud

Mark Solms

Los neurólogos están cayendo en la cuenta de que las descripciones biológicas del cerebro resultan más coherentes si se las integra en las teorías psicológicas que Freud enunció hace un siglo.

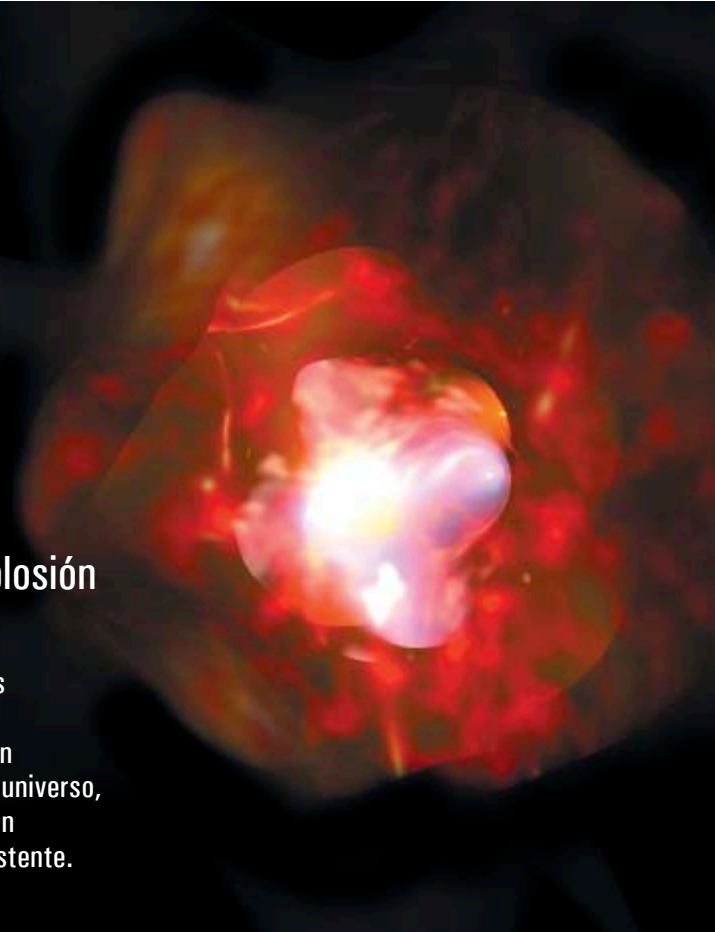


58

El universo antes de la gran explosión

Gabriele Veneziano

La teoría de cuerdas da a entender que la gran explosión no fue el origen del universo, sino sólo la evolución de un estado preexistente.

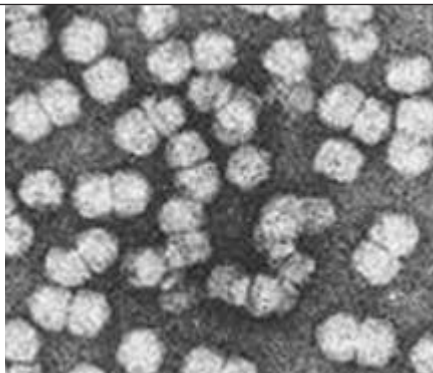


68

MicroARN

César Llave

El descubrimiento de unas moléculas de ARN diminutas en las células eucariotas ha modificado de raíz nuestro conocimiento sobre los mecanismos de regulación de la expresión génica.



76



El torio, combustible nuclear

Mujid S. Kazimi

Un método poco explorado podría un día evitar que se fabricaran bombas con el combustible gastado.

84

CURIOSIDADES DE LA FÍSICA

Sujeción perfecta,
por Jean-Michel Courty
y Edouard Kierlik



86

JUEGOS MATEMÁTICOS

Matemáticas sostenibles,
por Juan M.R. Parrondo

88

IDEAS APLICADAS

Inyección de combustible,
por Mark Fischetti



90

LIBROS

Explicación científica...
Cultura transversal...
Filosofar.



96

AVENTURAS PROBLEMÁTICAS

Salto-Raptor,
por Dennis E. Shasha

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
Bernat Peso Infante

SECRETARÍA Purificación Mayoral Martínez
ADMINISTRACIÓN Victoria Andrés Laiglesia
SUSCRIPCIONES Concepción Orenes Delgado
Olga Blanco Romero

EDITA Prensa Científica, S. A. Muntaner, 339 pral. 1.^a
08021 Barcelona (España)
Teléfono 934 143 344 Telefax 934 145 413
www.investigacionyciencia.es

SCIENTIFIC AMERICAN

EDITOR IN CHIEF John Rennie
EXECUTIVE EDITOR Mariette DiChristina
MANAGING EDITOR 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 John Sargent

DISTRIBUCION

para España:

LOGISTA, S. A.

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

para los restantes países:

Prensa Científica, S. A.

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

PUBLICIDAD

GM Publicidad
Edificio Eurobuilding
Juan Ramón Jiménez, 8, 1.^a planta
28036 Madrid
Tel. 912 776 400
Fax 914 097 046

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

COLABORADORES DE ESTE NUMERO

Asesoramiento y traducción:

M.^a Rosa Zapatero Osorio: *Procesos de formación en la Vía Láctea actual*; Luis Bou: *La prueba del nueve, La reestructuración del GPS y Aventuras problemáticas*; José Manuel García de la Mora: *Vuelve Freud*; Ramón Pascual: *El universo antes de la gran explosión y El torio, combustible nuclear*; J. Vilardell: *Hace..., Curiosidades de la física, Apuntes e Ideas aplicadas*



Portada: Tom Draper Design
MSX/IPAC/NASA (fondo)

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	60,00 euro	110,00 euro
Extranjero	85,00 euro	160,00 euro

Ejemplares sueltos:

Ordinario: 5,50 euro
Extraordinario: 6,00 euro

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

Difusión controlada

Copyright © 2004 Scientific American Inc., 415 Madison Av., New York N. Y. 10017.

Copyright © 2004 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

QUÍMICA DE LAS PROTEÍNAS. «En el estudio de la química de las proteínas se plantean dos interrogantes. ¿Cuál es la secuencia de aminoácidos en la cadena peptídica? ¿De qué modo se pliega y repliega esa cadena en el espacio ocupado por la molécula? En este artículo consideramos sólo la segunda cuestión. Para abordar el problema, la técnica más fructífera es la brindada por la difracción de rayos X. —Linus Pauling [y otros]» [Nota de la Redacción: Pauling recibió el premio Nobel de Química a los pocos meses de la publicación de este artículo.]

DESERTIZACIÓN. «En 1954 tenemos no una región desertizada por las tormentas de polvo, como el *Dust Bowl* hace veinte años, sino dos. Los terrenos menos propicios de las llanuras suroccidentales, sometidos a la acción del arado durante el auge agrícola de la época de la guerra, ya están en camino de la degradación total. Es fácil culpar de tan angustiosa situación a la sequía, pero la sequía es un rasgo climatológico normal de la Grandes Llanuras del sur. No hay que echar la culpa a los elementos, sino a nuestra renuencia a adaptarnos a ellos. Las tormentas de polvo se han ajustado ceñidamente al patrón de las del decenio de 1930. Durante dos o tres años no se consiguieron cosechas en tierras de fertilidad escasa. En los campos desprotegidos, el suelo fértil expuesto fue arrastrado con cada viento animado de la velocidad suficiente para causar erosión. Esas zonas se ensancharon y se fueron uniendo para formar las dos nuevas extensiones de tierra desertizada por la erosión del viento.»

...cien años

FUTURO. «Los que nos hallamos a comienzos del siglo XX, y más aún la creciente mayoría de los que nacimos tras la publicación de *El origen de las especies*, percibimos que el hombre, y todo su mundo, no es más que el presente estadio de un desarrollo tan grandioso y espléndido que, ante su visión, todas las hazañas de la humanidad menguan hasta las proporciones de castillos en la arena. Al mirar hacia los incontables millones de años a nuestra espalda, comprendemos la firme voluntad de vivir pugnando en el légame entre marea y marea. Al volvernos de nuevo hacia el futuro, de nuestras mentes se ha desvanecido toda idea de finali-



Sir William Ramsay en su laboratorio, 1904.

dad, toda tendencia al milenarismo. El interrogante de lo que ha de venir tras el hombre es el más fascinante en su persistencia y el más insoluble en cualquier lugar del mundo.

—Herbert G. Wells»

UN QUÍMICO Y UN ELEMENTO. «A sus cincuenta y dos años de edad, sir William Ramsay, cuyo nombre va asociado al nuevo elemento radio, es uno de los más jóvenes científicos del mundo. Puede decirse que su notoriedad pública empezó con sus brillantes descubrimientos de los componentes desconocidos, e insospechados, de la atmósfera (argón, helio, neón, criptón y xenón), descubrimientos efectuados en parte con la colaboración de Lord Rayleigh. La fotografía de Sir William Ramsay fue tomada en su laboratorio especialmente para *Scientific American*.» [Nota de la Redacción: Ramsay recibió el premio Nobel de Química a los pocos meses de la publicación de este artículo.]

ESTABILIZADOR DE BUQUES. «El cabeceo de un barco en un mar agitado es ciertamente un grave inconveniente para el bienestar físico de pasajeros y tripulación y para la ejecución de las tareas de a bordo. Ahora, Otto Schlick, conocido ingeniero naval de Hamburgo (Alemania), ha presentado un ingenioso mecanismo ideado para reducir la amplitud de la oscilación. Se basa el aparato en el efecto giroscópico de un volante de inercia, que se monta a bordo del vapor y gira merced a un motor eléctrico.»

...ciento cincuenta años

¿UNA INVENCION INÚTIL? «Escribe el corresponsal en París del 'New York Times': 'Un inventor, que ya se veía acariaciando el éxito, acaba de caer víctima de su propia máquina. Esta era un vehículo de vapor que recorría los caminos de posta de Francia. Al descender de una loma, el vehículo del señor Leroy chocó con un obstáculo, volcó y vertió sobre él el contenido de la caldera. Se abrasó. Había invertido diez años y todo su dinero en perfeccionar el invento.' Fue realmente insensato despilfarrar su dinero en semejante ingenio. Crear ahora carruajes de vapor para los caminos ordinarios, con los ferrocarriles y las locomotoras ya inventados, es como ir a moler con un saco con una piedra en un extremo para equilibrar el saco con el grano en el otro.»

DIABETES

De beta a beta

En la diabetes de tipo 1, la que se declara en la juventud, el sistema inmunitario destruye las células beta, productoras de insulina, y causa una dependencia de por vida de la terapia insulínica. Parecía posible reemplazar esas células y, por tanto, curar la diabetes: estudios anteriores daban a entender que el cuerpo posee células madre en el páncreas que las originan. Unos investigadores de la Universidad de Harvard apuntan ahora que las células beta se duplican por sí mismas. Prepararon ratones para que sus células beta estuviesen dotadas de un marcador genético que podían activar mediante el fármaco tamoxifen. Al administrárselo a los ratones, todas las célu-



las beta nuevas poseían genes con el marcador activado; significaba que procedían de células beta preexistentes. Cabe todavía que haya células madre pancreáticas, pero quizá generen sólo una fracción pequeña de las células beta. Si las células beta humanas se originan como las de los ratones, podría conseguirse un tratamiento de la diabetes reforzando el crecimiento de las células beta que sobrevivan.

—Charles Choi

Podría prescindirse de la insulina inyectada si fuera posible reponerse las células beta.

EXTINCIONES

Percusión pérmica

Puede que las huellas del impacto que quizá desencadenó la mayor extinción de la historia de la Tierra se encuentren en Australia. La extinción masiva de finales del Pérmico, hace 250 millones de años, aniquiló siete de cada diez especies terrestres y nueve de cada diez marinas; fue mucho peor que la extinción del paso del Cretáceo al Terciario que extinguió los dinosaurios hace 65 millones de años. Parece que un cráter enterrado de unos 200 kilómetros de ancho, a la altura de la costa noroccidental australiana, es el resultado de la colisión con un meteorito del tamaño del monte Everest y no del volcanismo como hasta ahora se creía. Especímenes de roca del suelo marino que se remontan a finales del Pérmico contienen vidrio en el seno de cristal, característica que se debería a la fusión inducida por las ondas de choque generadas en el impacto. Se ha descubierto también cuarzo fracturado en múltiples direcciones, posible indicio de una colisión cósmica, pues la actividad volcánica fractura el cuarzo en una única dirección. Los supuestos impactos pérmico y cretáceo-terciario podrían ambos haber iniciado un volcanismo a gran escala.

—Charles Choi



El lugar del impacto del meteorito se muestra en rojo, entre los continentes, tal como éstos se disponían hace 250 millones de años.

ARQUEOLOGIA

Cival

En Cival, en la jungla de Guatemala, se va descubriendo poco a poco una ciudad maya. Francisco Estrada-Belli, de la Universidad Vanderbilt, tras una campaña preliminar en 2002, acaba de sacar a la luz dos máscaras de estuco, de 4,5 metros por 3, talladas seguramente hará cerca de 2200 años. Una representa un rostro con la boca adornada de dientes de serpiente. Ha hallado también más de 120 objetos de jade pulido e inscripciones grabadas en una placa de piedra. La ciudad de Cival estuvo



habitada desde el siglo sexto antes de nuestra era. Debieron de vivir allí quizá diez mil personas. Siete siglos después la abandonarían. La importancia de estos descubrimientos estriba en que testimonian el esplendor de la civilización maya antes incluso de su época clásica, que empezó en el siglo III después de Cristo.

Máscaras halladas en una ciudad abandonada hace casi dos mil años.

CONEXL JAY Science Photo Library (arriba); LUCY READING, A PARTIR DE UN MAPA DE CHRISTOPHER R. SCOTSE (centro)

MEDIO AMBIENTE

Mutaciones del aire



La contaminación del aire afecta a los genes.

La contaminación atmosférica provoca cambios hereditarios, según estudios efectuados en aves y roedores. Para averiguar qué componentes del aire contaminado son mutágenos, se han expuesto dos grupos de ratones de laboratorio al aire de un lugar cercano a dos acerías y una gran autopista. Uno de los grupos, sin embargo, respiró aire pasado por un filtro HEPA (un filtro de las partículas del aire). El experimento se repitió en una zona rural con otros dos grupos de ratones. A las diez semanas de exposición se hizo que criaran. Las crías de los ratones que habían respirado aire contaminado sin filtrar heredaron de sus progenitores mutaciones con una frecuencia doble que las crías de cualquiera de los otros tres grupos. La culpa podría ser de las partículas microscópicas de carbonilla y polvo suspendidas en el aire; suelen llevar adheridas hidrocarburos aromáticos policíclicos tóxicos.

—Charles Choi

CLIMATOLOGIA

Se solventa una polémica

Uno de los debates relativos al calentamiento global se refiere a discrepancias entre datos. Las lecturas de los satélites en la troposfera (la capa atmosférica más cercana a la Tierra) mostraban una tendencia al calentamiento menor que un 0,1 grados Celsius por década, muy inferior al indicado por las temperaturas tomadas en tierra. Los datos de los satélites necesitaban una corrección: la estratosfera, situada sobre la troposfera, disfraza la tendencia al calentamiento. Un grupo de la Universidad de Washington ha analizado las mediciones de 1979 a 2001 de los satélites de la Adminis-

tración Nacional de EE.UU. para la Atmósfera y los Océanos. Esas sondas medían las microondas emitidas por el oxígeno atmosférico para determinar su temperatura. Aproximadamente un quinto de las señales de la troposfera procedía en realidad de la estratosfera, que se enfría unas cinco veces más rápido que se calienta la troposfera. Compensado ese efecto estratosférico, las lecturas de los satélites se asemejan mucho a las mediciones de las temperaturas en tierra: ambas establecen un calentamiento global general de unos 0,17 grados Celsius por década.

—Charles Choi

COSMOLOGIA

e^{60}

Los antípodas del universo visible distan entre sí actualmente cerca de cien mil millones de años luz. La radiación de microondas que nos llega desde esos puntos diametralmente opuestos se emitió cuando estaban unas mil veces más próximos entre sí que ahora. El universo tenía entonces poco menos de cuatrocientos mil años. No había habido tiempo, pues, para que interaccionasen entre sí. Sin embargo, hoy tienen la misma temperatura. El cielo entero de las microondas cósmicas presenta la misma temperatura, salvo fluctuaciones de menor orden de magnitud. Ese equilibrio térmico da a entender que en algún momento esas partes opuestas del cielo debieron de estar mucho más cerca de lo que la extrapolación de la expansión del universo hasta las inmediaciones de la gran explosión indica. Tuvieron que estar, en concreto, comparando con esa extrapolación, alrededor de 10^{26} veces más cerca. La solución que se ha encontrado es suponer que, muy temprano, el universo se expandió durante un breve período a un ritmo exponencial, es decir, como el número e elevado a la constante de Hubble de entonces —el parámetro que mide la velocidad a la que se expande el universo— y el tiempo. Por eso resulta natural calibrar el crecimiento exponencial



del que hoy es nuestro universo visible mediante el número de veces que su tamaño se multiplicó por e . 10^{26} es igual a e^{60} . Pero, en principio, aquella fase de inflación podría haber multiplicado por e un número de veces mucho mayor que 60, cifra que, al fin y al cabo, es sólo una cota inferior dictada por el tamaño del universo visible en un momento de la historia cósmica. Sin embargo, se está argumentando que, si la expansión del universo sigue acelerándose, como está haciendo ahora, en la fase de inflación no pudo haber más que unas 60 multiplicaciones por e , o, al menos, que nunca podrá observarse más que el efecto de las últimas sesenta y tantas multiplicaciones por e en el fondo de microondas, cuyas fluctuaciones son de una escala tanto mayor cuanto más antiguos fueran sus precursores cuánticos y mayor fuera, por tanto, el número de veces e que se amplificaran durante la inflación. Además, dentro de un billón de años se habrían borrado incluso las fluctuaciones visibles hoy. De ser eso cierto, el mismo número que explica la actual homogeneidad general de los cielos marca que lo que hoy vemos en la radiación de fondo es todo lo que se podrá ver alguna vez. ¿Qué tendría de especial nuestro presente, resumido en un 60?

ROBERT LANDAU Corbis (arriba)

Procesos de formación en la Vía Láctea actual

La Vía Láctea, a la que se suponía una reliquia de un pasado lejano, constituye un objeto vivo y dinámico

Bart P. Wakker y Philipp Richter

Cuando observamos otras galaxias, apreciamos su aspecto global, pero no el detalle. Lo contrario ocurre cuando miramos la nuestra. Inmersos en ella, su estructura general sólo se nos manifiesta indirectamente.

Por eso hemos avanzado muy despacio en el estudio de su configuración e historia. No se tuvo completa seguridad de que fuera un objeto celeste más, uno entre muchos miles de millones, hasta el decenio de 1920. Para mediados de los años cincuenta, ya contábamos, tras muchos esfuerzos, con la imagen que hoy le atribuimos: la de una majestuosa espiral de estrellas y gas. En la década siguiente, se concluyó que se formó en una fase temprana de la historia del cosmos —la estimación más reciente le atribuye 13.000 millones de años— y ha permanecido sin cambios importantes desde entonces.

Sin embargo, poco a poco va quedando patente que la Vía Láctea no es una obra acabada, sino un cuerpo que sigue construyéndose. Como ocurriera con descubrimientos anteriores, lo sabemos en gran medida gracias a la observación de otras galaxias y a la aplicación de lo así aprendido a la nuestra. Se piensa que la mayoría de las galaxias han nacido de la mezcla de precursoras menores. La Vía Láctea exhibe hoy los pasos finales de este proceso: está desmantelando dos galaxias satélites de pequeño tamaño y se apodera de sus estrellas. Mientras tanto, le llegan sin cesar nubes de gas procedentes del espacio intergaláctico. No cabe ya hablar de la formación galáctica en pasado.



LA VIA LACTEA ENGULLE GAS y devora a sus vecinas de menor tamaño. Sigue, pues, formándose. Para entender esta imagen, véase el recuadro "Nuestra galaxia y sus alrededores".

Las nubes de alta velocidad constituyen la prueba de que la Vía Láctea se agrega gas de manera continua. Estas misteriosas acumulaciones de hidrógeno de hasta 10 millones de veces la masa del Sol y un diámetro de 10.000 años-luz se mueven deprisa en las inmediaciones de la galaxia. Se las descubrió hace 41 años; pero sólo en los últimos cinco, nuevos datos e ideas han enseñado que consisten en gas que se precipita sobre la galaxia. Las nubes demuestran también que la Vía Láctea respira: expulsa gas para atraerlo de nuevo, como si espirara e inspirara. Además, sus propiedades apuntan a que una esfera gigante de plasma tenue y caliente circunda la galaxia. Se sospechaba la existencia de esta esfera, aunque muy pocos pensaban que pudiera ser tan grande.

Ha costado interpretar las nubes de alta velocidad. Como estamos sumergidos en la galaxia, no tenemos una forma directa de saber dónde se encuentran. Podemos apreciar su posición bidimensional en el cielo, pero carecemos de una visión de profundidad. Durante los últimos cuarenta años, esta ambigüedad ha propiciado una diversidad de hipótesis; unas situaban las nubes de alta velocidad cerca del sistema solar, otras en el espacio intergaláctico profundo. Les debemos los descubrimientos más recientes a los telescopios terrestres y espaciales, que han conseguido por fin la localización tridimensional de las nubes.

¿Original o reciclado?

Nuestra galaxia contiene alrededor de 100.000 millones de estrellas, la mayoría concentrada en un disco fino de unos 100.000 años-luz de diámetro y unos 3.000 años-luz de espesor. Describen alrededor del centro galáctico órbitas casi circulares. El Sol gira a una velocidad de casi 200 kilómetros por segundo. Otros 10.000 millones de estrellas forman el esférico “halo” galáctico en torno al disco. Entre las estrellas hay gas y polvo; la mayor parte de este medio interestelar traza también órbitas circulares alrededor del centro galáctico y se concentra en un disco más fino aún que el de las estrellas. Al igual que la atmósfera de un planeta, el gas del medio interestelar es más denso “en el fondo” (el plano galáctico) y se enrarece con la altura. Pero hasta un 10 por ciento del medio interestelar se encuentra fuera del plano y se desplaza unos 400 kilómetros por segundo más rápido de lo que le correspondería por la pura rotación. Ese es el gas de las nubes de alta velocidad.

Empezamos a saber de las nubes de alta velocidad a mediados de los años cincuenta, cuando Guido Münch, del Instituto Tecnológico de California (Caltech), descubrió unas bolsas densas de gas fuera del plano, una clara excepción a la regla de que la densidad del gas disminuye con la altura. Abandonadas a su propia suerte, habrían debido disiparse rápidamente. En 1956, Lyman Spitzer, Jr., de la Universidad de

Princeton, presentó una explicación: las estabilizaba una corona gaseosa y caliente que rodearía a la Vía Láctea, una versión a escala galáctica de la corona solar [véase “Las coronas de las galaxias”, por Klaas S. de Boer y Blair D. Savage; INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, octubre de 1982].

Inspirado por la propuesta de Spitzer, Jan Oort, de la Universidad holandesa de Leiden, conjeturó que el halo contenía también gas frío muy lejos del plano de la galaxia. Gracias a sus radioemisiones, se dio con esas nubes frías en 1963. Al contrario que el gas encontrado por Münch, no siguen la rotación global de la galaxia. Parecen estar cayendo hacia el disco galáctico a gran velocidad; se las llamó por eso “nubes de alta velocidad”. Ese mismo año se descubrió también un tipo de nube que, aunque se mueve más despacio, no deja de ser anómalo: las “nubes de velocidad intermedia”.

Oort elaboró más tarde su idea: constituida ya la Vía Láctea, debió de sobrar gas cerca del borde de la esfera donde la atracción gravitatoria de aquélla se deja sentir; ese gas alcanzaría el disco pasados unos 10.000 millones de años o más, y se presentaría como nube de alta velocidad. Esta hipótesis se ajusta bastante bien a los modelos que explican la composición química de la galaxia. Las estrellas producen elementos pesados y, al morir, los expulsan al medio interestelar. Las estrellas nuevas se los incorporan y producen aún más. Por tanto, si la galaxia evolucionara de manera aislada, cada generación de estrellas debería contener más elementos pesados que las generaciones predecesoras.

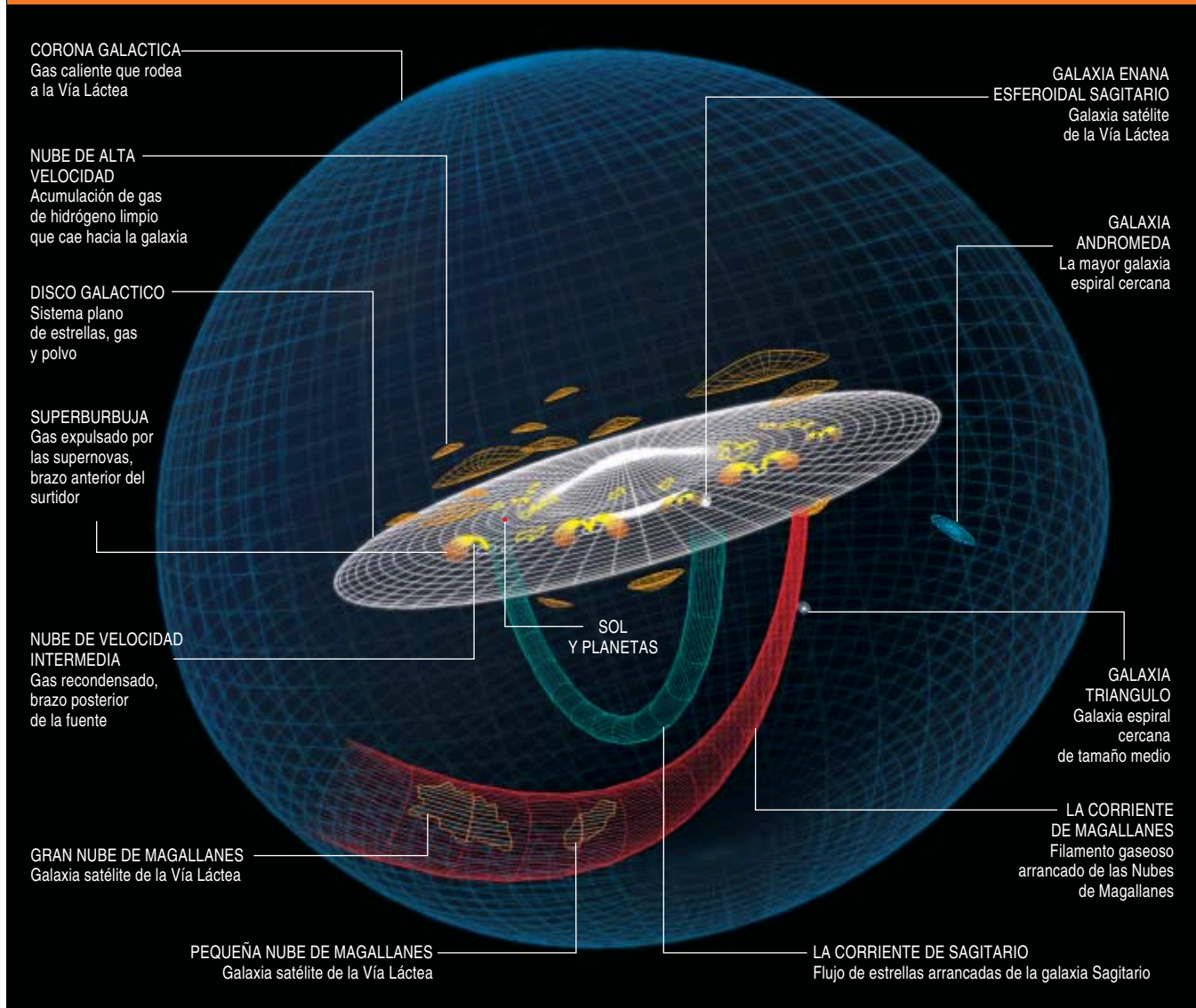
Sin embargo, la mayoría de las estrellas de la vecindad solar, sea cual sea su edad, tienen casi las mismas proporciones de elementos pesados. La razón más probable: que la galaxia no está sola y el gas interestelar se renueva sin cesar con gas sin enriquecer. Se sospechaba que algunas o todas las nubes de alta velocidad aportaban ese gas “limpio”, pero se carecía de una observación directa que lo confirmase.

Según otra hipótesis, las nubes de alta velocidad no tienen nada que

Resumen/Nubes de alta velocidad

- Desde principios del decenio de 1960, se pensaba que la Vía Láctea y las demás galaxias se habían formado en una fase temprana de la historia del cosmos y habían sufrido luego una lenta evolución. Hoy día, sin embargo, se cuenta con pruebas de que continúan creciendo. Devoran a sus hermanas menores y absorben gas límpido del espacio intergaláctico.
- En nuestra Vía Láctea, asistimos de cerca a ese proceso. El gas que entra adopta la forma de nubes de alta velocidad. Fueron descubiertas hace unas décadas. En fecha reciente, se ha demostrado que algunas llevan materia primigenia; en las observaciones se confunden con el gas circulante.
- Esas nubes tienen apariencias variadas: entre ellas hay acumulaciones de hidrógeno neutro que recuerdan al gas intergaláctico, una corriente de gas arrancada de las pequeñas galaxias cercanas, y gas muy caliente y ionizado que quizá esté disperso por el entorno intergaláctico.

NUESTRA GALAXIA Y SUS ALREDEDORES



ver con el flujo de gas hacia el interior, sino que serían parte de un “surtidor galáctico”. Esta idea fue propuesta a mediados de los años setenta por Paul Shapiro, ahora en la Universidad de Texas en Austin, y por George B. Field, del Centro Smithsonian de Astrofísica de Harvard. El gas calentado y ionizado por las estrellas de gran masa asciende desde el disco hacia la corona y crea una especie de atmósfera. Algunas regiones se enfrían y regresan de nuevo, eléctricamente neutras, al disco. Se cerraría así un ciclo de gas entre el disco y la corona. En 1980, Joel Bregman, ahora en la Universidad de Michigan en Ann Arbor, sugirió que las nubes de alta velocidad son ese gas que

regresa. Durante algún tiempo, fue la idea más aceptada.

Mareas galácticas

No obstante, ni la hipótesis de Oort ni el modelo del surtidor explicaban todas las propiedades de las nubes de alta velocidad. La situación se complicó aún más a principio de los años setenta con el descubrimiento de la corriente de Magallanes, un filamento de gas que se extiende alrededor de la galaxia. Sigue la órbita de las Nubes de Magallanes, dos pequeñas galaxias compañeras de la nuestra, a la que rodean como las lunas a su planeta. Aunque la palabra “nube” suele referirse a los conglomerados de gas y polvo, estas galaxias repletas de

miles de millones de estrellas se llaman así porque en el cielo nocturno aparecen como nubes. Están situadas a unos 150.000 años-luz de nuestra galaxia. En sus muy oblongas trayectorias, ésa es casi la mínima distancia a que pueden hallarse.

La corriente se comporta en muchos aspectos como una sarta de nubes de alta velocidad. Gran parte de ella se desplaza a velocidades incompatibles con una rotación galáctica normal. No cabe explicarlo con ninguna de las dos hipótesis anteriores. De acuerdo con los modelos más detallados de su estructura, los publicados en 1996 por Lance T. Gardiner, de la Universidad Sun Moon de Corea del Sur, y por

Masafumi Noguchi, de la Universidad Tohoku de Japón, el filamento equivale en nuestra galaxia a las corrientes de marea que se han observado alrededor de muchas otras galaxias. Cuando las Nubes de Magallanes se aproximaron por última vez tanto a la Vía Láctea, hace unos 2200 millones de años, la fuerza combinada de nuestra galaxia y de la Gran Nube de Magallanes arrancó parte del gas de las regiones exteriores de la Pequeña Nube de Magallanes. Más o menos la mitad del gas se desaceleró y se rezagó con respecto a las Nubes de Magallanes, en su misma órbita. La otra mitad se aceleró, adelantó a las galaxias y formó el “brazo anterior”. Un proceso similar podría estar desgarrando las demás galaxias satélites de la Vía Láctea (véase el recuadro “Corrientes”).

Otro modelo atribuye la generación de la corriente a las fuerzas de fricción. Si la corona de la Vía Láctea fuese muy extensa, mucho más de lo que supuso Spitzer, le arrancaría gas a las Nubes de Magallanes. En cualquier caso, ambos modelos dictaminan que las Nubes de Magallanes han perdido una gran cantidad de gas; con él se habrían formado muchas de las nubes de alta velocidad.

En 1999 se produjo otro giro importante en la historia de las nubes de alta velocidad. Leo Blitz, de la Universidad de California en Berkeley, y sus colaboradores plantearon que podrían estar mucho más lejos de lo que se había estado creyendo. No surcarían los alrededores de la Vía Láctea, sino las soledades intergalácticas del Grupo Local de galaxias, constituido por la Vía Láctea, Andrómeda y otras 40 galaxias de menor tamaño. El Grupo tiene un diámetro de casi 4 millones de años-luz. En tal caso, las nubes serían restos de la formación del Grupo Local, no de la formación de nuestra galaxia.

Se habían ido proponiendo ideas similares a lo largo de estos últimos 30 años y se las había ido descartando porque las nubes de gas, a tales distancias, carecerían de estabilidad. Pero Blitz conjeturó que las nubes de alta velocidad no son, en realidad, nubes, sino agrupaciones de materia oscura mezclada con

una pequeña cantidad de gas. Entonces pesarían diez veces más de lo que se había supuesto y podrían mantenerse unidas por sí mismas. Esta hipótesis despejaría uno de los grandes misterios de la astronomía: los modelos de formación de galaxias predicen bastante más materia oscura residual de la que se ha encontrado [véase “El ciclo vital de las galaxias”, por Guinevere Kauffmann y Frank van den Bosch; INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, agosto de 2002]. Esa materia oscura que falta se hallaría en las nubes de alta velocidad.

Gas caliente

Por tanto, el nuevo milenio empezó con cuatro hipótesis para explicar las nubes de alta velocidad: la del gas primigenio sobrante de la formación de las galaxias, la del gas que circula en un surtidor galáctico, la de los despojos de las Nubes de Magallanes y la de la amalgama intergaláctica de materia oscura y gas. Cada una disponía de algunas pruebas a su favor; se necesitaban datos nuevos para salir del punto muerto. En eso, se ha progresado mucho desde mediados del decenio pasado.

Primero, se completó el mapa del cielo tal y como se lo observa en la emisión de radio del hidrógeno neutro, que revela la distribución del gas con temperaturas en torno a los 100 kelvin. Aad Hulsbosch, de la Universidad de Nimega, y uno de nosotros (Wakker), con el radiotelescopio de Dwingeloo, en Holanda, terminamos la mitad norte de esta exploración en 1988. Ricardo Morras y sus colaboradores cubrieron el cielo sur en 2000 con el radiotelescopio argentino de Villa Elisa (véase el recuadro “El cielo de las nubes”). En 1997, Dap Hartmann y Butler Burton, del Observatorio de Leiden, cartografiaron todo el hidrógeno neutro de la Vía Láctea, incluidas las nubes de alta velocidad y velocidad intermedia.

Una contribución más vino por parte de las observaciones en luz visible del “Cartógrafo Wisconsin del Hidrógeno Alfa” [véase “El gas entre las estrellas”, por Ronald J. Reynolds; INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, marzo de 2002]. El hidrógeno neutro no despidió luz con longitudes

de onda de la zona visible del espectro. El gas ionizado, sí. Las capas exteriores de las nubes de alta velocidad están ionizadas por la luz ultravioleta procedente de la Vía Láctea y otros objetos celestes; las calienta hasta los 8000 kelvin. La cantidad de luz visible es una medida de la intensidad del campo de radiación que rodea a la nube de alta velocidad, que a su vez depende de la distancia al disco galáctico. Por tanto, estas observaciones ofrecen una determinación aproximada de dónde se encuentran las nubes de alta velocidad.

El progreso más espectacular se ha debido a la observación de las líneas de absorción espectrales de las nubes. En lugar de analizar la luz emitida por el gas, estudia la que bloquea (los átomos filtran ciertas longitudes de onda). Los tres observatorios que más han contribuido ahí son: el observatorio del Roque de los Muchachos, en la isla de La Palma, el Telescopio Espacial Hubble y el Explorador Espectroscópico del Ultravioleta Lejano (FUSE son sus siglas en inglés), lanzado en 1999.

Con estos datos, Laura Danly, ahora en la Universidad de Denver, y sus colaboradores pusieron hace 11 años límites a la distancia de una nube de velocidad intermedia. Más recientemente, el equipo de Hugo van Woerden, de la Universidad de Groninga, en Holanda, han medido la distancia a una nube de alta velocidad (véase el recuadro “Tras las nubes”). Mientras tanto, nosotros establecimos la composición química de las nubes, completando la información necesaria para discriminar entre las cuatro hipótesis.

Los datos de FUSE muestran una componente muy caliente de las nubes de alta velocidad. Detectó absorción debida a oxígeno altamente ionizado; en concreto, a átomos de oxígeno que han perdido cinco de sus ocho electrones, lo que implica temperaturas del orden de 300.000 kelvin. Estas temperaturas se alcanzan cuando el hidrógeno neutro frío (100 kelvin) entra en contacto con gas muy caliente (un millón de kelvin). Dicho de otra forma, la presencia de gas a 300.000 kelvin sugiere que el gas caliente se está en-