

¿SE PUEDE CURAR LA RABIA? • GENETICA DEL ALCOHOLISMO

INVESTIGACION *y* CIENCIA

30
aniversario

Edición española de
**SCIENTIFIC
AMERICAN**

PLASMONICA

— LA HUELLA DE GALAXIAS DESTRUIDAS

— LA INTELIGENCIA DE LOS CUERVOS

— PROCESAMIENTO VISUAL DE LA INFORMACION

— LA FRAGANCIA DE LAS FLORES



JUNIO 2007
6,00 EUROS

3

HACE...

50, 100 y 150 años.

4

APUNTES

Geometría...

Epidemias...

Física...

Visión...

Paleontología.



28

CIENCIA Y SOCIEDAD

Filamento de miosina...

Diferencias sexuales

en el envejecimiento.

32

DE CERCA

Corales fríos,

por Covadonga Orejas,

Andrea Gori y Josep-Maria Gili



6

La huella de galaxias destruidas

Rodrigo Ibata y Brad Gibson

Las estrellas con movimiento anómalo podrían ser los restos de antiguas galaxias devoradas por la Vía Láctea.

12

Genética del alcoholismo

John I. Nurnberger, Jr. y Laura Jean Bierut

La identificación de las bases genéticas de la sensibilidad al alcoholismo encauza los tratamientos y ayuda a quienes están expuestos a la adicción.



34

La inteligencia de los cuervos

Bernd Heinrich y Thomas Bugnyar

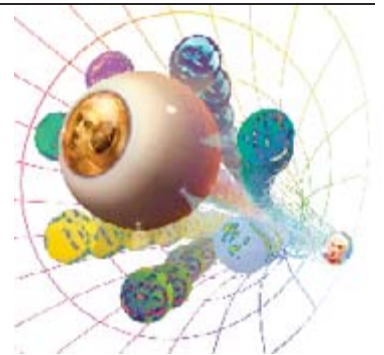
Experimentos recientes demuestran que estas aves utilizan la lógica para resolver problemas. Revelan también que algunas de sus capacidades se acercan a las de los grandes simios, si no las superan.

42

Procesamiento visual de la información

Frank Werblin y Botond Roska

La retina procesa mucha más información de la que habíamos imaginado. Elabora una docena de vídeos que envía luego al cerebro.



50

Vórtices en superconductores

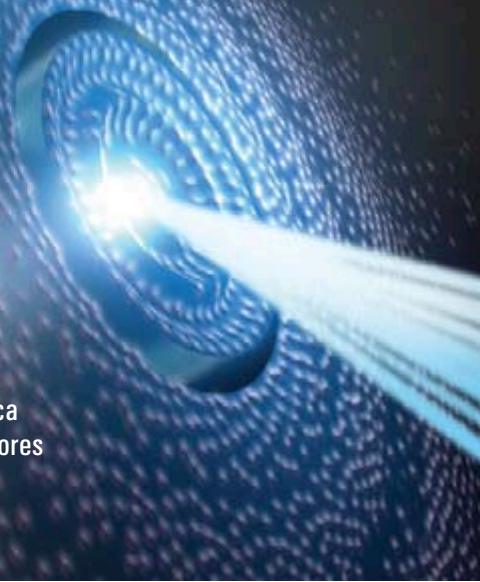
María Pilar González, Javier Villegas, Elvira María González y José Luis Vicent

En la mayoría de los superconductores, la aplicación de un campo magnético produce remolinos de supercorrientes. Al moverse por el material, los vórtices en cuestión generan nuevos efectos de interés, tanto para la ciencia básica como para la aplicada.

20 Plasmónica

Harry A. Atwater

Al comprimir ondas electromagnéticas en estructuras minúsculas, la nueva técnica quizá propicie chips ultrarrápidos y detectores moleculares ultrasensibles.



58 ¿Se puede curar la rabia?

Rodney E. Willoughby Jr.

La supervivencia de una adolescente que contrajo la rabia podría indicar el camino hacia un tratamiento eficaz.



66 La fragancia de las plantas

Eran Pichersky

Lo que percibimos como un olor fragante constituye en realidad una refinada herramienta que utilizan las plantas para atraer polinizadores, disuadir a microorganismos y ahuyentar a los depredadores.

76 A todo gas con hidrógeno

Sunita Satyapal, John Petrovic
y George Thomas

Se estudian procedimientos para almacenar en vehículos de pilas de combustible el gas hidrógeno necesario para cubrir largas distancias.



84 TALLER Y LABORATORIO

Péndulo caótico,
por Marc Boada

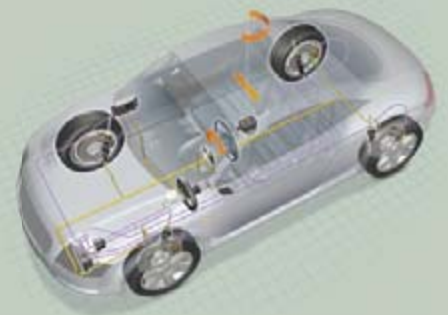


88 JUEGOS MATEMÁTICOS

Pensamiento formal
y pensamiento concreto,
por Juan M.R. Parrondo

90 IDEAS APLICADAS

Control electrónico de estabilidad,
por Mark Fischetti



92 LIBROS

Desarrollo
Máquinas medievales.



96 DESARROLLO SOSTENIBLE

Vencer a la extrema pobreza
no requiere mucho tiempo,
por Jeffrey D. Sachs

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: *La huella de galaxias destruidas*; Luis Bou: *Plasmónica, Procesamiento visual de la información*; Joandomènec Ros: *La inteligencia de los cuervos*; Juan Manuel González Mañas: *¿Se puede curar la rabia?*; Ana Ferran: *La fragancia de las plantas*; J. Vilardell: *Hace..., Apuntes e Ideas aplicadas*; Marián Beltrán: *Desarrollo sostenible*; Ramón Muñoz Tapia: *Taller y laboratorio*



Portada: Phil Saunders, Space Channel Ltd.

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	100,00 euro	190,00 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

POLVO LUNAR. «La posibilidad real de traer material de la Luna constituye un filón científico tan atractivo, que para lograrlo ya se han trazado algunos planes ingeniosos, incluso sin necesidad de posarse en la Luna. Por ejemplo, podrían enviarse dos cohetes, uno que remolcara al otro muy de cerca mediante un dispositivo de radioguiado. El primer cohete dejaría caer sobre la Luna una pequeña bomba atómica. Como allí no hay atmósfera y la gravedad es bastante pequeña, la nube de la explosión subiría muy alto. El segundo cohete picaría al interior de la nube, recogería parte del polvo y emergería del picado mediante un propulsor a chorro auxiliar. Desde luego, una tal maniobra requeriría un guiado electrónico milagroso. —Krafft A. Ehricke y George Gamow»

TIBURÓN. «El hecho sin más es que la ferocidad del tiburón está tan bien documentada por años de experiencia, que no puede descartarse como si se tratara de una leyenda. Jacques-Yves Cousteau, el mayor de los expertos en inmersión a gran profundidad, ha informado de terribles encuentros con tiburones. Frente a las costas de las islas Cabo Verde, él y su colega buceador Frédéric Dumas se vieron acosados por un tiburón gris de dos metros y medio; se le sumaron luego otros dos de metro y medio y varios tiburones azules. La bandada se resistía a todos los intentos de repulsión; si cejaban era sólo para regresar casi al instante. Ambos emplearon todos los procedimientos de manual. Ninguno de esos trucos ahuyentaba a los animales; tampoco las bandas con 'repelente' de tiburones (acetato de cobre) que llevaban en las piernas ni el golpe que Cousteau propinó a uno de ellos en el morro con su cámara submarina cuando se acercó demasiado. Ambos buceadores lograron escapar en el último instante.»

...cien años

¿LECHE EMBOTELLADA? «La leche, el artículo alimenticio más expuesto a la contaminación, se sirve en botellas reutilizables. Una práctica nada recomendable. La solución consiste en sustituir las botellas por envases de papel de uso único. Estos ya empiezan a estar disponibles. Una de las primeras botellas que aparecerá en el

mercado será un cilindro hecho con papel liso de madera de picea con un revestimiento higiénico. Después de colocar el fondo, la botella se sumerge en parafina, la misma parafina que el ama de casa vierte sobre las mermeladas para preservarlas del aire, la humedad y el polvo.»

ENSEÑAR A LOS SORDOS. «La pérdida del sentido del oído no debe suponer necesariamente la privación de la facultad del habla. De ello no nos hemos dado cuenta hasta los últimos años. En las instituciones más modernas, el anticuado alfabeto digital es ya un desconocido. A los niños se les enseña a hablar del modo natural mediante los órganos vocales. Los cuatro o cinco años de la enseñanza primaria se dedican casi en exclusiva al aprendizaje de la lengua y los números (véase la ilustración).»

...ciento cincuenta años

MOTOR ELÉCTRICO. «Admitimos que en las baterías del motor electromagnético del profesor Vergnes no pueden tener lugar explosiones como en una caldera de vapor; pero su motor no es tan sencillo ni compacto como uno de vapor, contando todas las partes de éste. El enorme motor electromagnético del Crystal Palace, del que se afirma que no llega a los 10 caballos de potencia —y del que nosotros creemos, por simple observación de su funcionamiento, que no llega a los cinco—, con una batería eléctrica de 128 vasos, ocupa más espacio (entre motor y batería) que muchos motores de vapor que rinden hasta 20 caballos de potencia.»



Enseñando a contar a un alumno sordo, 1907

GAS QUE SE ESCAPA. «Los globos de juguete en miniatura (hechos de intestino de vaca) que con tanto éxito se presentaron en París durante las vacaciones del invierno pasado podrían convertirse en unos bellos y agradables juguetes para las delicias de la joven América. Hace muy poco que se han puesto en circulación; ya pueden verse en los escaparates de las tiendas de nuestra ciudad. A los niños que los han adquirido les ha sorprendido ver que a diario reducían su tamaño, les salían arrugas prematuras, para finalmente dejar de flotar en el aire. La causa es la fuga del gas de relleno (hidrógeno) a través de los poros del globo.»

GEOMETRIA

Cuasicristales medievales

Los artistas islámicos medievales llegaron a diseñar cuasicristales casi perfectos, un complejo patrón geométrico que descubrió —o más bien redescubrió, según lo que se cuenta a continuación— el físico y matemático Roger Penrose en el decenio de 1970. Peter J. Lu, físico, estudiante de doctorado en Harvard, vio en Uzbekistán teselados con características que parecían propias de cuasicristales. Un examen de numerosas fotografías de Irán, Irak, Turquía y Afganistán le condujo, con la colaboración del cosmólogo y experto en cuasicristales Paul. J. Steinhardt, de Princeton, a descubrir que a partir de 1200 se construyeron en esa zona mosaicos arquitectónicos —*girih*— mediante la combinación de cinco tipos de tesela: pajarita, pentágono, diamante, hexágono alargado y decágono. El nuevo método permitió concebir patrones periódicos más complicados. En el santuario Darb-i-Imam, o santuario de los imanes, del siglo xv, en la ciudad iraní de Isfahán, el teselado es traslacionalmente cuasiperiódico: las frecuencias con que aparecen los distintos tipos de teselas no forman entre sí cocientes de números enteros. Esta ordenación permite simetrías rotacionales prohibidas cristalográficamente. Y estas son, precisamente, las características que definen a un cuasicristal.

—J. R. Minkel

En Oriente Medio se crearon a finales de la Edad Media mosaicos con singulares propiedades geométricas



EPIDEMIAS

Los niños, primero



Cuando amenaza una epidemia de gripe, la recomendación tradicional es que se vacune antes a los de más edad, pues son quienes más riesgo corren de morir si se infectan. Nuevas pruebas sugieren que debe darse prioridad a los más jóvenes. Investigaciones de las universidades de Yale y Rutgers subrayan que los niños son el grupo que más contribuye a la propagación de la gripe: transportan el virus a los hogares e infectan a los adultos, quienes luego lo trasladan a los sitios de trabajo. Vacunando a la mayoría de la población infantil se eliminaría prácticamente la gripe, reduciéndose así la mortalidad entre los ancianos, los niños y la población en general.

—Charles Q. Choi

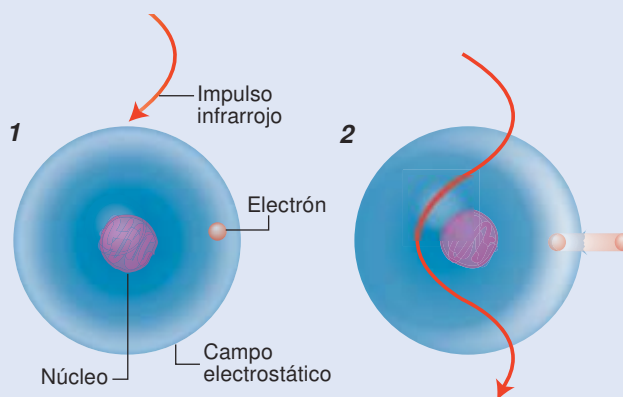
Los niños son los vectores principales de la gripe

CORTESÍA DE W. B. DENNY (mosaico); GETTY IMAGES (niños); LUCY READING-IKKANDA (átomos)

FISICA

Ionización por efecto túnel

Para liberarse del átomo, el electrón, dotado de carga negativa, tiene que absorber un fotón de alta energía; por un ejemplo, un fotón de la región ultravioleta (UV) o de rayos X del espectro. De ese modo, el electrón adquiere un estado excitado, suficiente para vencer la atracción electrostática que lo sujeta al núcleo, dotado de carga positiva, y escapa. Se trata de un proceso de ionización. Un equipo germano-holandés ha aportado la primera prueba directa de la existencia de un mecanismo alternativo del mismo proceso. Se recurre a poderosos campos eléctricos procedentes de un intenso pulso de láser, que, de forma transitoria, debilita los enlaces electrostáticos y permite que el electrón escape gracias a un efecto túnel mecánico. Leonid Keldysh, ahora en el Instituto Lebedev de Física de Moscú, predijo el efecto en cuestión en 1964. Los experimentos habían demostrado la realidad de esa ionización insólita. Pero hasta el advenimiento de los pulsos de láser que perduran escasos centenares de attosegundos los físicos no pudieron observar el fenómeno. (Un attosegundo es 10^{-18}



Túnel hacia la libertad: Cuando un fotón infrarrojo golpea un átomo (1), su campo eléctrico distorsiona y debilita el campo electrostático del átomo por un lado. Con ello, permite que el electrón escape por efecto túnel (2)

VISION

Arco iris para roedores

Los ratones, como la mayoría de los mamíferos, ven el mundo sólo en amarillos, azules y grises. Lo mismo que las personas que padecen de discromatopsia del rojo-verde. Introduciendo un gen humano en ratones, se ha dotado a esos múridos de una visión completa del color. Los hombre y los primates que con ellos guardan mayor parentesco poseen un pigmento extrasensible a la luz que les permite ver el rojo. (Los mamíferos cromosensibles presentan dos pigmentos por lo menos, para el azul y para el verde.) En un trabajo realizado por investigadores de la Universidad de California en Santa Bárbara, se insertó el gen de ese pigmento extra en el cromosoma X del ratón. Aun cuando los cerebros de los roedores no habían evolucionado hasta el punto de emplear tales señales, sí se mostraron capaces de reordenar sus las conexiones nerviosas que precisaban para discriminar correctamente entre distintas luces de colores, que les suponía una recompensa en leche y soja. Este descubrimiento podría ayudar a explicar de qué modo evolucionó la visión del color en el hombre.

—Charles Q. Choi

PALEONTOLOGIA

Colágeno de un *T. rex*

Se ha extraído colágeno de un fémur de *Tyrannosaurus rex* de hace 68 millones de años. En 2005 se descubrió la existencia de tejido blando en el mismo. El análisis químico de la proteína reveló siete secuencias de una longitud de unos 10 a 20 aminoácidos. De esas secuencias, tres coincidían con segmentos peptídicos de colágeno de pollo, una con el de una rana y otra con el de una salamandra; las otras dos encajaban con las de múltiples organismos, pollos y salamandras entre ellos. Los resultados refuerzan la conexión entre los dinosaurios y las aves y descartan la tesis de que los fósiles no pueden aportar muestras de proteínas para su estudio. El material genético, no obstante, se degradó hace mucho. Entre las lecciones a extraer, una crucial: ese tipo de trabajos nos revelan pautas sobre cambio, dirección y velocidad de la evolución molecular.

—Nikhil Swaminathan



Erratum corrige

En la revista de abril 2007, núm. 367, en la sección "Ciencia y gastronomía", donde dice "legumbres" léase "hortalizas".

segundos.) Los pulsos de láser de esa duración habían posibilitado sondear el movimiento de los electrones en átomos y moléculas. Se espera que, con el refinamiento de la técnica se consiga seguir la huella del movimiento de los electrones desarrollado durante las reacciones químicas.

Ferenc Krausz y su grupo, del Instituto Max Planck de Optica Cuántica en Garching, acaban de hacer públicos los resultados de sus experimentos sobre ionización. El equipo disparó, contra una nube de átomos de gas neón, un pulso de láser ultravioleta de 250 attosegundos para alejar del núcleo un electrón. Casi a la vez lanzaron un pulso infrarrojo de 5000 attosegundos de duración, cuyo campo eléctrico oscila sólo unos pocos ciclos. El campo debilitó la fuerza electrostática y permitió que el electrón relajado escapara por efecto túnel, como hacen las partículas cuánticas ante una barrera sutil. Aumentando de forma paulatina y discreta el intervalo entre los pulsos UV y pulsos infrarrojos, se descubrió que la formación de iones de neón crecía a su vez, señal clara de que siempre que el campo eléctrico del pulso de un láser infrarrojo alcanzaba un máximo, aumentaba en paralelo la tasa de creación de iones.

La teoría de Keldysh sobre la ionización del campo fuerte ha sido incardinada a muchas otras teorías, un resultado que no debe sorprendernos. El equipo de Krausz ha demostrado una forma nueva de medir la dinámica del electrón. Merced a dicha técnica podríamos bucear en otros procesos mal conocidos en los que los electrones intercambian energía en el seno del átomo.

A este respecto, Krausz apela a lo que acontece cuando en los átomos un fotón de rayos X desaloja un electrón de la vecindad del núcleo. Mientras escapa, ese electrón podría comunicar parte de su energía a otro electrón, que entonces adquiere el estado excitado y se aleja todavía más del núcleo. Por ello, entre la absorción del fotón X por el electrón expulsado y el cambio de estado del segundo electrón podría existir un pequeño retraso, quizá de unos 50 attosegundos. No importa tanto la duración exacta, cuanto la realidad de la propia demora. Un retraso significaría que el segundo electrón ganó energía del primero. Ya se han conseguido pulsos UV de 100 attosegundos, por lo que podría no tardarse en hallar la respuesta.

—Alexander Hellemans

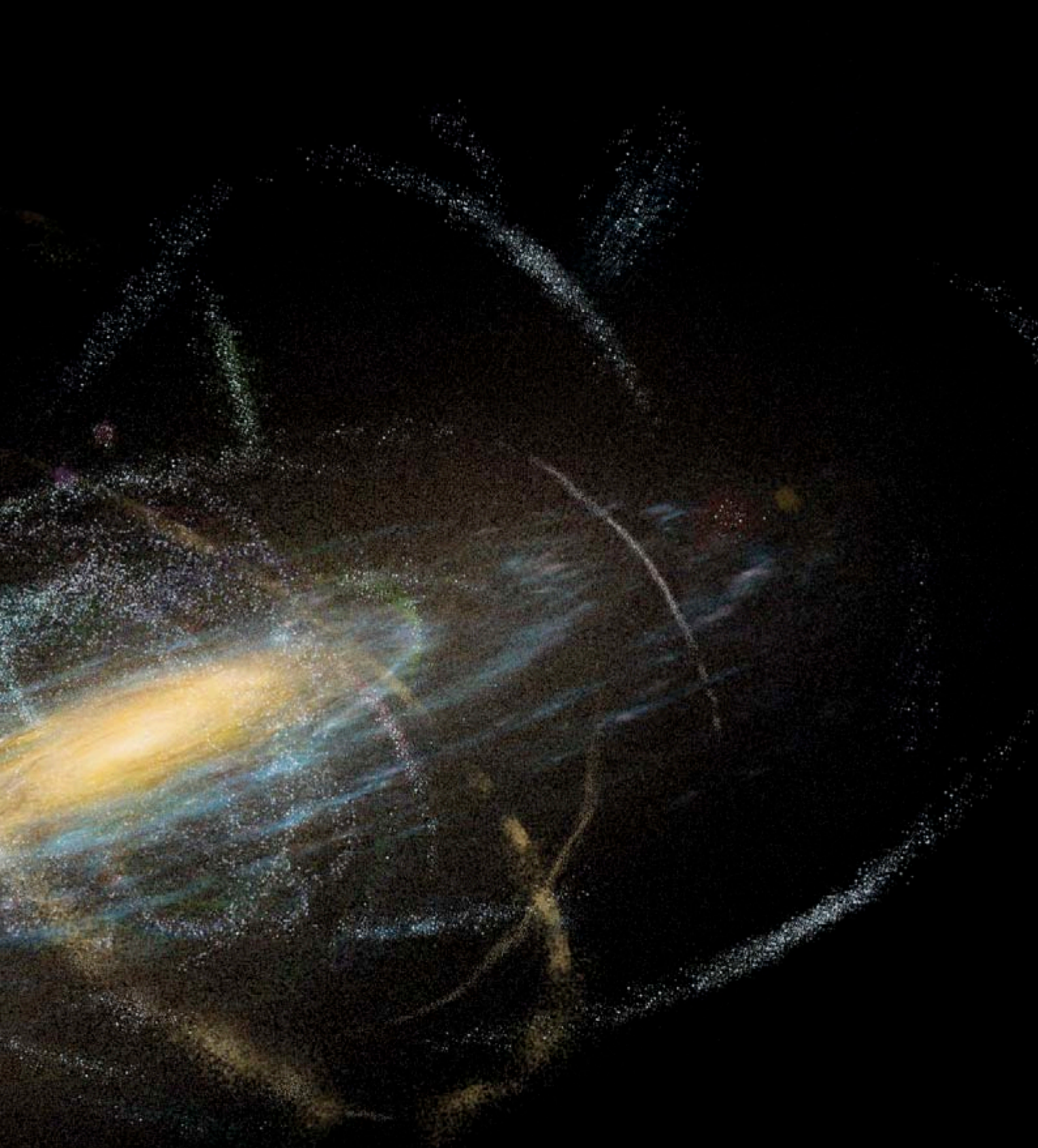
La huella de galaxias destruidas

Las estrellas con movimiento anómalo podrían ser los restos de antiguas galaxias devoradas por la Vía Láctea

Rodrigo Ibata y Brad Gibson

Las estrellas que percibimos en el cielo nocturno pertenecen a nuestra propia galaxia, la Vía Láctea. La galaxia grande más próxima, Andrómeda, está a más de dos millones de años-luz de distancia, unas 20 veces el diámetro del disco principal de la Vía Láctea. A simple vista resulta imposible distinguir sus estrellas; se confunden en una vaga nebulosidad. Por lo que respecta a la Vía Láctea, es como si existiesen en un universo aparte. En cambio, las estrellas visibles del firmamento se nos presentan como soles de nuestro mundo, nacidos y criados dentro de los confines de la galaxia.

Pero entonces, ¿qué pensaremos de Arturo, la segunda estrella más brillante del cielo boreal? Se mueve de manera diferente de la mayoría de las estrellas de la Vía Láctea y tampoco coincide en composición química con ellas; comparte, sin embargo, características singulares con algunas estrellas peculiares, dispersas por la galaxia. Se debate acerca del origen de estos y otros astros atípicos desde hace cuarenta años. ¿Los llevó la gravedad de los brazos espirales de la galaxia a sus extrañas órbitas? ¿Se trata de inmigrantes nacidos más allá de la Vía Láctea, hechos, pues, de materiales que no formaban parte de nuestra galaxia?



MUEREN POR CONSTRUIR LA VIA LACTEA. Nuestra galaxia ha disgregado cientos de galaxias pequeñas. Las convierte primero en tenues corrientes de estrellas, que poco a poco se mezclan con la población indígena de la Vía Láctea. La Vía Láctea está ahora desmembrando la galaxia enana Sagitario. La corriente (*color dorado*) que se ha creado rodea el disco central de la Galaxia.

DON DIXON

Con la aplicación de refinadas técnicas para el descubrimiento de pruebas ocultas, similares a las empleadas en otras ramas de la ciencia, se ha comprobado hace poco que la segunda hipótesis es la cierta. Algunas estrellas nacidas en la Vía Láctea han tenido desde un principio, o han acabado por adquirir, órbitas peculiares. Pero un número muy alto de estrellas anómalas, Arturo entre ellas, son inmigrantes. “Secuestradas” o “subyugadas” serían quizá metáforas mejores que “inmigrantes”: se cree que se trata de estrellas nacidas en galaxias más pequeñas que la Vía Láctea, que ésta apresó, esquilmo y absorbió.

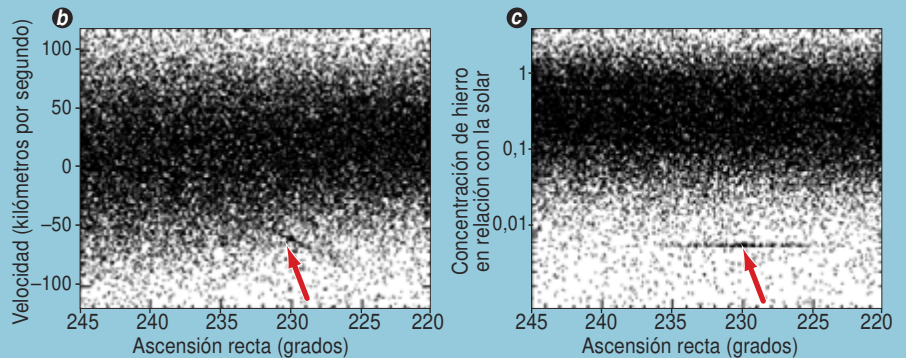
En el transcurso del tiempo, nuestra galaxia ha venido sometiendo a cientos de galaxias vecinas. Las estrellas que las componían sobreviven todavía, entremezcladas con las nativas de la Vía Láctea, aunque apenas conservan una memoria borrosa de su origen. Dar con esas estrellas nos ayuda a reconstruir la violenta historia de nuestra propia galaxia y a desenterrar su secreto más oculto: la naturaleza de la invisible materia oscura que gobierna su existencia.

Invasores espaciales

Reconocer a una inmigrante estelar requiere buena vista. En principio, se hacen notar por su alineación en largas corrientes, una suerte de conga en una multitudinaria sala de baile. Muchas de esas corrientes trazan caminos de estrellas desde un cúmulo globular o una de las galaxias satélite de la Vía Láctea. Tal punto de

Perdidas entre la muchedumbre

Una corriente estelar puede confundirse por completo con el fondo constituido por las estrellas originarias de la Vía Láctea (a). Pero por su velocidad (b) y composición (c), la corriente se hace, sin embargo, visible. Esta figura es un modelo de la región del cielo alrededor de la corriente Palomar 5. (La ascensión recta y la declinación son coordenadas celestes.)



partida, o lo que queda de él, sería el presumible hogar original de las estrellas de la corriente. En la práctica, sin embargo, cuesta encontrar tales corrientes: apenas destacan con respecto a las homogéneas poblaciones estelares nativas. Muchos de los descubrimientos recientes solventaron este problema con técnicas de filtrado creadas en la Segunda Guerra Mundial para tomar imágenes más nítidas de los aviones. La técnica filtra las estrellas nativas, dada una idea aproximada de los patrones que ellas y las inmigrantes forman.

Posiblemente, la más impresionante de las corrientes estelares conocidas sea la de Sagitario, descubierta por uno de los autores (Ibata) y sus colaboradores en 1994, un inmenso collar de estrellas que rodea a nuestra galaxia. Abarca un millón de años-luz, contiene unos 100 millones de estrellas y conecta con la galaxia elíptica enana Sagitario, una de las entre 15 y 20 minigalaxias que orbitan alrededor de la Vía Láctea, a la manera en que los satélites giran alrededor de los planetas. El tamaño de las galaxias indicadas varía de una a otra: la mayor, la Gran Nube de Magallanes, tiene una décima parte de la masa de la Vía Láctea, la galaxia enana Sagitario una centésima parte, y las menores, una millonésima escasa.

No es acogedora la vida cerca de una galaxia gigante. Las galaxias pequeñas se deforman y, con el tiempo, se destruyen. Hace miles de millones de años que Sagitario agoniza; ahora, en las últimas etapas de su disolución, apenas parece un objeto definido. Sus estrellas se dispersarán por nuestra galaxia; su actual conformación de corriente se perderá y a los astrónomos del futuro les costará mucho distinguir sus estrellas de las nativas de la Vía Láctea. Otras galaxias pequeñas experimentan proce-

Resumen/Corrientes de estrellas

- La Vía Láctea se ha ensamblado a partir de cientos de galaxias menores, y el proceso continúa. Siempre que una galaxia pequeña o un cúmulo estelar se le acerca demasiado, la gravedad de nuestra galaxia los rompe, arranca sus estrellas, las extiende en largas corrientes y termina por absorberlas.
- Ni siquiera las corrientes de reciente formación se distinguen bien contra el fondo del resto de la galaxia; además, a medida que una corriente se dispersa, se desvanece su estructura espacial. No obstante, ciertos rasgos sutiles del movimiento y la composición estelares revelarán su origen. Con un censo minucioso de las estrellas, se podrá identificar a los inmigrantes galácticos y se sabrá cómo creció la Vía Láctea hasta su tamaño actual.
- Las corrientes proporcionan un nuevo modo de medir la materia oscura que envuelve a nuestra galaxia. La morfología de las corrientes es sensible a la cantidad y distribución de ese material invisible.

esos de desmembramiento; de algunas, sólo queda la corriente. Las hay que no pierden estrellas, sino gas; es el caso de la Gran Nube de Magallanes [véase “Procesos de formación en la Vía Láctea actual”, por Bart P. Wakker y Philipp Richter; INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, julio de 2004].

El método de demolición nos resulta muy conocido: las mareas gravitatorias, el mismo proceso que causa el flujo y reflujo de los océanos en la Tierra. Las fuerzas de marea aparecen cuando las diferentes partes de un cuerpo experimentan atracciones gravitatorias distintas. La Luna ejerce una fuerza mayor en la cara terrestre que tiene más cerca y menor en la opuesta; la diferencia no da para romper nuestro planeta, pero sí para que el agua del mar suba y baje suavemente. Los movimientos de los dos cuerpos hacen que las mareas recorran el globo y el nivel del mar ascienda y descienda en ciclos regulares.

De manera similar, la Vía Láctea deforma una galaxia satélite o un cúmulo estelar cuando atrae con más fuerza uno de sus lados. Llega hasta a arrancarles estrellas. El satélite

perderá más y más estrellas, que dibujarán un rastro desde su lugar de origen.

Teorías en construcción

La enana Sagitario, y los demás satélites galácticos, contribuyen a edificar nuestra propia galaxia. Estos hallazgos de la observación han revolucionado nuestras teorías de la formación de galaxias. Se pensaba que las galaxias, engendradas en adensamientos apenas perceptibles de un universo primordial bastante homogéneo, experimentaron en una época temprana un crecimiento rápido que les dio su forma presente. Hoy, debido en parte a las observaciones de las corrientes de estrellas, se cree que sólo las galaxias enanas (con masas de hasta mil millones de soles) pasaron por ese período abrupto de formación. Las grandes galaxias, como la Vía Láctea, con su billón de soles, se crearon después, mediante la acreción o coalescencia progresiva de enanas, proceso que continúa hoy día, aunque a un ritmo más lento que en el pasado.

Habiendo observado la absorción por la Vía Láctea de galaxias veci-

nas, la astronomía plantea cuestiones de otro nivel: ¿Cuál es el contenido químico de esas galaxias? ¿Cuál es la razón de estrellas inmigrantes a estrellas autóctonas en las galaxias gigantes de hoy? ¿Cómo alteraron la historia primitiva de la Vía Láctea los elementos químicos que las galaxias absorbidas inyectaron? Además de su interés inmediato por ser fósiles de los procesos de ensamblaje galáctico, las corrientes de estrellas resultan útiles a la hora de trazar la distribución de la materia oscura.

Para llegar a las respuestas, hay que empezar por conocer qué estrellas atraviesan un proceso actual de migración hacia la galaxia y cuáles migraron en el pasado. Pero una vez que las estrellas inmigrantes y el gas se mezclan con la Vía Láctea, dejan de aparecer como elementos espaciales reconocibles. Se deben buscar trazas más sutiles de los orígenes de tales estrellas: su movimiento y composición química, difíciles de borrar.

Tendemos siempre a caracterizar el movimiento de los cuerpos por su posición y velocidad. Pero el movimiento también tiene otras propiedades: la energía y el momento angular.

ASI SE DESMORONA UNA GALAXIA

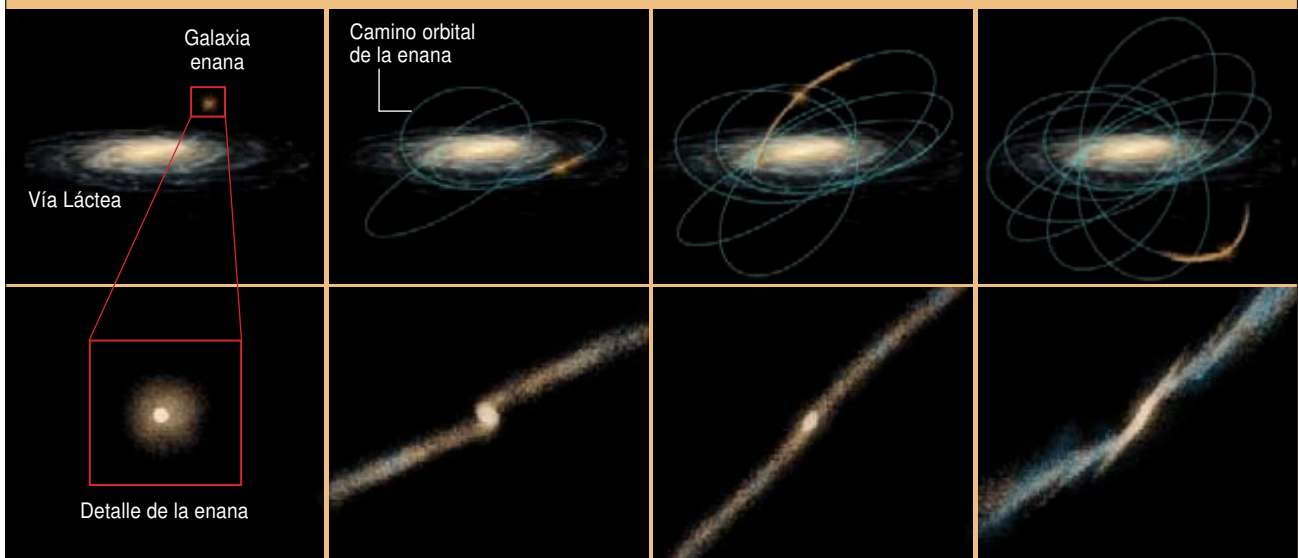
Una simulación por ordenador muestra que las fuerzas de marea ejercidas por la Vía Láctea distorsionan y, con el tiempo, desmenuzan una galaxia enana.

▼ HACE 3 MIL MILLONES DE AÑOS. Tras crecer en relativo aislamiento, la galaxia enana se aproxima por primera vez a la Vía Láctea.

▼ HACE 2 MIL MILLONES DE AÑOS. Tras cuatro aproximaciones al disco de nuestra galaxia, la galaxia enana se ha alargado. Unas estrellas se frenan y rezagan con respecto a la enana, otras se aceleran y la adelantan.

▼ HACE MIL MILLONES DE AÑOS. La enana corre peligro. Casi todas sus estrellas forman ahora una corriente de decenas de miles de años-luz a lo largo de la órbita galáctica.

▼ HOY DÍA. La enana se ha roto por completo. La corriente de marea se ha ido disolviendo y sus estrellas se mezclan con las estrellas naturales de la Vía Láctea.



DON DIXON

VIENDO LO QUE NO PUEDE SER VISTO

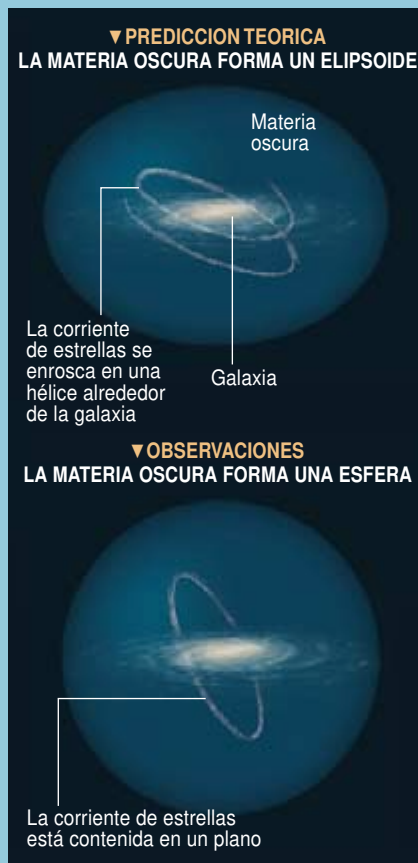
Para reconstruir la historia de la Vía Láctea, hay que partir de lo que se ve: las estrellas. Ahora bien, las estrellas representan una fracción pequeña de las galaxias, que en su mayor parte se componen de materia oscura, cuya naturaleza se desconoce. Lo que sabemos de ella —que no es mucho— proviene de sus efectos gravitatorios en las estrellas y gas, que sí vemos. Mas rastrear lo que no se ve es difícilísimo.

El mayor anhelo de los observadores sería seguir el movimiento de una estrella a medida que describe una órbita alrededor del centro de la galaxia. La estrella se frenará o acelerará dependiendo del campo gravitatorio; reflejará así el modo en que la masa se distribuye por nuestra galaxia. Por desgracia, las carreras científicas de los astrónomos son demasiado cortas para llevar a cabo observaciones de esa clase, ya que una estrella necesita cientos de millones de años para recorrer una órbita completa.

Con las corrientes estelares se puede superar este contratiempo. Las estrellas de una corriente siguen órbitas similares; la única diferencia es que cada una comenzó su andadura en un momento diferente. Por tanto, la corriente traza el camino que una estrella seguirá durante cientos de millones de años. Nuestro equipo ha medido la estructura de la corriente de Sagitario, para llegar a la conclusión de que la materia oscura no se reparte alrededor de la Vía Láctea en un elipsoide, como predecían las simulaciones numéricas, sino en una esfera. Aún más interesante es el hallazgo de que el comportamiento de la corriente se ajusta a ciertas predicciones de teorías gravitatorias no ordinarias, como la dinámica newtoniana modificada (MOND).

Este resultado ha sido corroborado recientemente por Michael Fellhauer, de la Universidad de Cambridge, y sus colaboradores. Hay que hacer la salvedad de que con la corriente de Sagitario sólo se examina una pequeña parte de la distribución de la materia oscura. Se deben medir muchas corrientes estelares para determinar si realmente la distribución es esférica.

Falta por dirimir si la materia oscura se reparte homogénea o si crea grumos; según sea su naturaleza, cabría esperar lo uno o lo otro. Si la materia oscura está formada por partículas que interactúan sólo mediante fuerzas gravitatorias, no hay nada que impida su agrupamiento. Pero si se compone de partículas que interactúan también de otras maneras (si se hallan sujetas a la acción de las fuerzas nucleares, por ejemplo), podría resistirse a la atracción gravitatoria y extenderse homogéneamente. Las corrientes de estrellas constituyen una de las escasas posibilidades de estudiar los agrupamientos gravitatorios. Al explorar en detalle las posiciones y velocidades de las estrellas en las corrientes delgadas, el satélite Gaia deberá confirmar o descartar la existencia de grumos de materia oscura con diámetros de apenas 100 años-luz. De esta manera, corrientes estelares más extensas que una galaxia entera pondrían de manifiesto las propiedades de partículas más pequeñas que los átomos.



Así como la posición se especifica en un espacio tridimensional, la posición más el momento se definen en un espacio abstracto de seis dimensiones, el “espacio de fases”. La ventaja del espacio de fases es que la disposición de las estrellas en él aguanta más que en el real. Aunque el proceso de asimilación destruya la coherencia espacial de la corriente, no eliminará su coherencia en el espacio de fases; la razón es un principio clave de la mecánica estadística, el teorema de Liouville.

Por tanto, al medir la energía, el momento angular y la densidad en el espacio de fases de muestras aleatorias de estrellas se reconocerán agrupamientos estelares que no se perciben directamente, “fantasmas” de galaxias satélite hace tiempo disueltas. Varios grupos —entre ellos los dirigidos por Amina Helmi, del Instituto Astronómico Kapteyn en Groningen, y por Chris B. Brook, de la Universidad de Washington— han empleado este método para identificar los fósiles de la acreción de satélites. Todos se localizan en la vecindad del sistema solar, ya que los instrumentos no tienen todavía la precisión suficiente para medir el movimiento tridimensional de estrellas más alejadas.

¿Cuáles no son como las otras?

Otro método muy interesante que se empieza ahora a probar es el de la huella química. La mayoría de las estrellas no nacen aisladas, sino en grupos de miles o decenas de miles, creadas en una misma nube de gas. Cada nube tiene una mezcla única y homogénea de elementos químicos e isótopos. Su progenie estelar la hereda. Incluso cuando las estrellas se dispersan conservan esa etiqueta química, y gracias a ella cabe identificar su lugar de nacimiento. Kim A. Venn, de la Universidad de Victoria en la Columbia Británica, y sus colaboradores han demostrado que las estrellas formadas en las galaxias enanas tienen una composición química que no coincide con la de las estrellas originarias de la Vía Láctea.

La duda es si será posible encontrar la cuna de las estrellas tomadas de una en una. Gayandhi De Silva, del Observatorio Europeo del Sur, y su equipo han realizado un pormenorizado estudio químico de las Híades, uno de los cúmulos estelares mejor