

LA HERENCIA NEANDERTAL • CONSTANTES VITALES DE LA TIERRA

# INVESTIGACION *y* CIENCIA

JUNIO 2000  
800 PTA. 4,81 EURO

Edición española de  
**SCIENTIFIC  
AMERICAN**

## COMPUTACION Y TRANSPORTE CUANTICOS

Ensayos clínicos

Enanas marrones

Manipulación del cerebro



## SECCIONES

**4**  
**HACE...**  
50, 100 y 150 años.

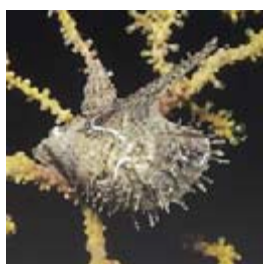
**32**  
**PERFILES**  
Brian Greene:  
Las cuerdas  
del universo.



**34**  
**CIENCIA Y SOCIEDAD**  
El gen caudal...  
Construcción medieval...  
Cutícula vegetal...  
Encefalopatías  
espongiformes animales...  
La alcachofa.



**42**  
**DE CERCA**  
Cohabitación.



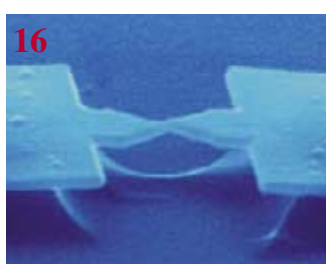
**58**  
**Teletransporte cuántico**  
*Anton Zeilinger*

La “fantasmagórica acción a distancia” de la mecánica cuántica hace posible el sueño de la fantasía científica del teletransporte (una forma de que un objeto desaparezca de un sitio y reaparezca en otro). Ya se ha llevado a cabo con fotones. Sin embargo, puede que sea en la computación donde encuentre su aplicación más fecunda.

## El descubrimiento de las enanas marrones

*Gibor Basri*

De menor masa que las estrellas y mayor que los planetas, las enanas marrones se consideraron antaño cuerpos celestes muy escasos. Las nuevas búsquedas realizadas en el cielo muestran, sin embargo, que su abundancia no desmerece de la estelar.



## Cadenas unidimensionales de átomos

*Gabino Rubio Bollinger, Nicolás Agraït  
y Sebastián Vieira*

Podemos estudiar y fabricar el menor de los dispositivos electrónicos imaginables, un átomo colocado entre dos electrodos metálicos.



24



### El kayak de las islas Aleutianas

*George B. Dyson*

Los aleutianos construyeron, para cazar en mar abierto, embarcaciones pequeñas siguiendo un proyecto muy refinado, cuyos pormenores no acaban de estar resueltos.

44

### Ratones expertos

*Joe Z. Tsien*

Para obtener un ratón más avisado mediante ingeniería genética, se han reunido algunos de los componentes moleculares del aprendizaje y la memoria.



51



### Naturaleza y alcance de los ensayos clínicos

*Justin A. Zivin*

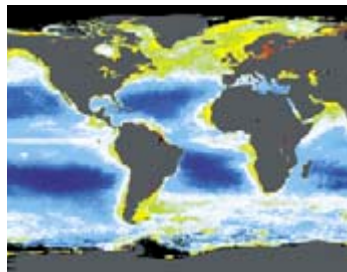
El trayecto desde la investigación médica inicial hasta el fracaso de la farmacia es complejo, caro y lento. ¿Podemos agilizar el proceso de la experimentación clínica?

68

### Vigilancia de los signos vitales de la Tierra

*Michael D. King y David D. Herring*

Un nuevo satélite de la NASA —incluido en el llamado Sistema de Observación de la Tierra— vigila desde el cielo la salud de nuestro planeta mediante cinco sensores de la técnica más avanzada.



### ¿Quiénes fueron los neandertales?

*Kate Wong*

Aproximación al debate sobre semejanzas y diferencias, en morfología y comportamiento, entre neandertales y nuestra especie.

Con la contribución de *Erik Trinkaus, Cidália Duarte, João Zilhão, Francesco d'Errico y Fred H. Smith*

## SECCIONES

84

### TALLER Y LABORATORIO

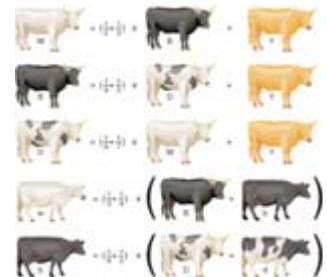
Calor extremo, por Shawn Carlson



86

### JUEGOS MATEMÁTICOS

Ciertos problemas son demasiado grandes para intentar resolverlos por tanteos por Ian Stewart



88

### IDEAS APLICADAS

Agentes limpiadores, por Louis A. Bloomfield

90

### NEXOS

Música acuática, por James Burke

92

### LIBROS

Ciencia renacentista... Medicina española.





Portada: Chip Simons

## PROCEDENCIA DE LAS ILUSTRACIONES

Página	Fuente
6	Pat Rawlings
7	T. Nakajima y S. Durrance ( <i>izquierda</i> ); S. Kulkarni, D. Golimowski y NASA ( <i>derecha</i> )
8	T. Nakajima y S. Durrance ( <i>izquierda</i> ); Space Telescope Science Institute ( <i>arriba, centro</i> ); John Stauffer ( <i>abajo, centro</i> ); Observatorio Meridional Europeo ( <i>derecha</i> )
9	Bryan Christie ( <i>izquierda</i> ); Laurie Grace ( <i>derecha</i> )
10	Laurie Grace
11-13	Bryan Christie
16-22	Gabino Rubio Bollinger, Nicolás Agrait y Sebastián Vieira
24-25	Cortesía de la Biblioteca Beinecke, Universidad de Yale
26	George B. Dyson ( <i>arriba</i> ); Cortesía de Peabody Museum, Universidad de Harvard ( <i>abajo</i> )
27	Roberto Osti
28	Cortesía de Special Collections, Univ. de Washington ( <i>arriba</i> ); cortesía de Baidarka Historical Society, Bellingham, Wash. ( <i>centro</i> ); George B. Dyson ( <i>abajo</i> )
29	Cortesía de la Biblioteca Beinecke
30-31	Ann E. Yow ( <i>arriba</i> ); Roberto Osti ( <i>dibujos</i> ), según E. Y. Arima ( <i>izquierda y centro</i> ), E. T. Adney y H. I. Chapelle ( <i>derecha</i> ); Heritage Kayaks ( <i>fotografía</i> )
44-45	Jana Brenning ( <i>ilustración digital</i> ); Photodisc ( <i>láberrinto</i> ); Corbis ( <i>lámpara</i> ); Peter Murphy ( <i>ratón</i> )
46-47	Peter Murphy
48	Terese Winslow
49	Terese Winslow ( <i>arriba</i> ); Peter Murphy ( <i>abajo</i> )
51	Dusan Petricic
52-53	Del Brown ( <i>arriba</i> ); Dusan Petricic ( <i>dibujos</i> ), Heidi Noland ( <i>abajo</i> )
54-55	Corbis
56-57	Universidad de Vermont ( <i>arriba</i> ); Heidi Noland ( <i>abajo</i> )
59	Space Channel/Philip Saunders
60	Laurie Grace ( <i>arriba</i> ); David Fierstein ( <i>abajo</i> )
61	Laurie Grace ( <i>arriba, izquierda</i> ); P. G. Kwiat y M. Reck ( <i>derecha</i> )
62-63	L. Grace ( <i>arriba</i> ); David Fierstein ( <i>abajo</i> )
64	Laurie Grace
65-66	Dusan Petricic
67	Laurie Grace
69	R. B. Husar
70	George Retseck ( <i>ilustraciones de sensores Terra</i> ); Laurie Grace ( <i>iconos</i> )
71	Cortesía de Michael Abrams ( <i>arriba</i> ); Takmeng Wong NASA ( <i>abajo</i> )
72	NCAR/Mopitt Team, Canadian Space Agency ( <i>arriba</i> ); cortesía de Shigeru Suzuki y Eric M. de Jong ( <i>abajo</i> )
73	SeaWiFS Project, NASA
74	Museo de Historia Natural de Croacia
76	Erik Trinkaus ( <i>arriba</i> ); Archeologický Ústav AV ČR ( <i>abajo</i> )
77	Michael Rothman
79	José Paulo B. Ruas
80-81	Cortesía de Dominique Baffier ( <i>izquierda y derecha</i> ), según "Les derniers Néandertaliens". La maison des Roches, 1999; Francesco D'Errico ( <i>centro</i> )
82-83	Susan Carlson

## COLABORADORES DE ESTE NUMERO

### Asesoramiento y traducción:

María Rosa Zapatero: *El descubrimiento de las enanas marrones*; Laureano Carbonell: *El kayak de las islas Aleutianas*; Esteban Santiago: *Ratones expertos*; M.ª José Báguena: *Naturaleza y alcance de los ensayos clínicos*; Juan Pedro Campos: *Teletransporte cuántico*; Carlos Lorenzo: *¿Quiénes fueron los neandertales?*; Angel Garcimartín: *Perfiles*; Luis Bou: *Juegos matemáticos*; José M.ª Valderas Martínez: *Nexos*; J. Vilardell: *Hace...*, *Taller y laboratorio e Ideas aplicadas*

## INVESTIGACION Y CIENCIA

DIRECTOR GENERAL Francisco Gracia Guillén

EDICIONES José María Valderas, *director*

ADMINISTRACIÓN Pilar Bronchal, *directora*

PRODUCCIÓN M.ª Cruz Iglesias Capón

Bernat Peso Infante

SECRETARÍA Purificación Mayoral Martínez

EDITA Prensa Científica, S. A. Muntaner, 339 pral. 1.ª – 08021 Barcelona (España)

Teléfono 93 414 33 44 Telefax 93 414 54 13

## SCIENTIFIC AMERICAN

EDITOR IN CHIEF John Rennie

MANAGING EDITOR Michelle Press

ASSISTANT MANAGING EDITOR Ricki L. Rusting

NEWS EDITOR Philip M. Yam

ASSOCIATE EDITORS Timothy M. Beardsley y Gary Stix

ON-LINE EDITOR Kristin Leutwyler

SENIOR WRITER W. Wayt Gibbs

EDITORS Mark Alpert, Carol Ezzell, Alden M. Hayashi, Steve Mirsky,

Madhusree Mukerjee, George Musser, Sasha Nemecek, Sarah Simpson y Glenn Zorpette

CONTRIBUTING EDITORS Graham P. Collins; Marguerite Holloway y Paul Wallich

PRODUCTION William Sherman

CHAIRMAN Rolf Grisebach

PRESIDENT AND CHIEF EXECUTIVE OFFICER Joachim P. Rosler

## SUSCRIPCIONES

Prensa Científica S. A.

Muntaner, 339 pral. 1.ª

08021 Barcelona (España)

Teléfono 93 414 33 44

Fax 93 414 54 13

### Precios de suscripción:

	Un año	Dos años
España	8.800 pta. 52,89 euro	16.000 pta. 96,16 euro
Extranjero	11.500 pta. 69,12 euro	21.500 pta. 129,22 euro

### Ejemplares sueltos:

Ordinario: 800 pta. 4,81 euro

Extraordinario: 1.000 pta. 6,01 euro

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

## DISTRIBUCION

### para España:

LOGISTA, S. A.

Aragoneses, 18 (Pol. Ind. Alcobendas)

28108 Alcobendas (Madrid)

Tel. 91 484 39 00

### para los restantes países:

Prensa Científica, S. A.

Muntaner, 339 pral. 1.ª – 08021 Barcelona

Teléfono 93 414 33 44

## PUBLICIDAD

GM Publicidad

Francisca Martínez Soriano

Menorca, 8, semisótano, centro, izquierda.

28009 Madrid

Tel. 91 409 70 45 – Fax 91 409 70 46

Cataluña y Baleares:

Miguel Munill

Muntaner, 339 pral. 1.ª

08021 Barcelona

Tel. 93 321 21 14

Fax 93 414 54 13

Difusión controlada 

Copyright © 2000 Scientific American Inc., 415 Madison Av., New York N. Y. 10017.

Copyright © 2000 Prensa Científica S. A. Muntaner, 339 pral. 1.ª 08021 Barcelona (España)

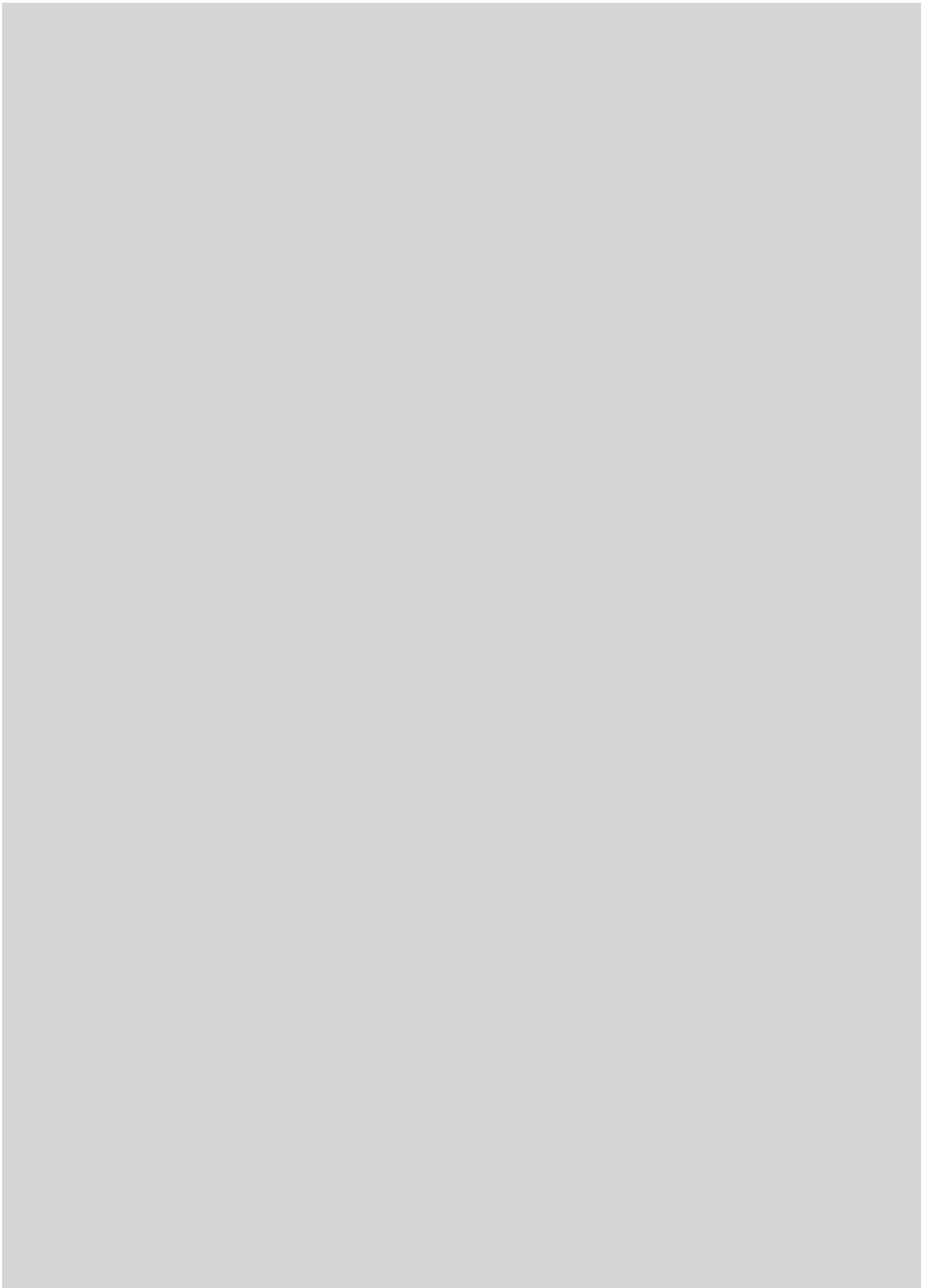
Reservados todos los derechos. Prohibida la reproducción en todo o en parte por ningún medio mecánico, fotográfico o electrónico, así como cualquier clase de copia, reproducción, registro o transmisión para uso público o privado, sin la previa autorización escrita del editor de la revista. El nombre 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

Filmación y fotogramas reproducidos por Dos Digital, Zamora, 46-48, 6ª planta, 3ª puerta - 08005 Barcelona

Imprime Rotocayfo-Quebecor, S. A. Ctra. de Caldes, km 3 - 08130 Santa Perpètua de Mogoda (Barcelona)

Printed in Spain - Impreso en España



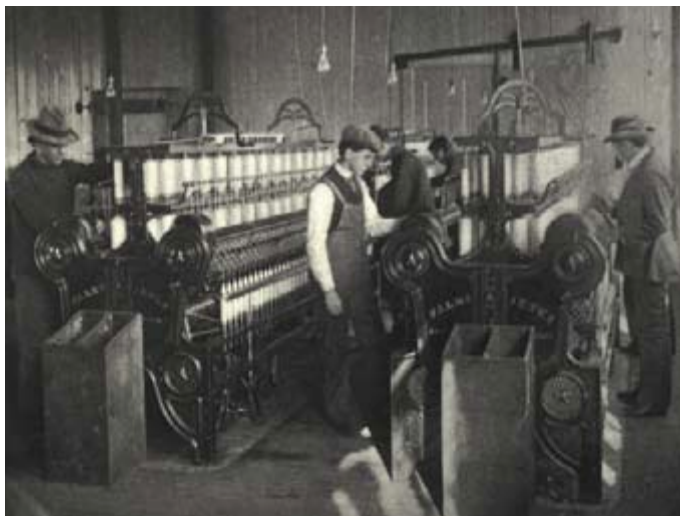
# HACE...

## ...cincuenta años

**BOMBA DE HIDRÓGENO: DEFENSA CIVIL.** «Las ciudades norteamericanas, con sus ingentes masas de población y sus expuestas plantas industriales, se ofrecen como blancos muy atractivos y muy vulnerables a este tipo de arma. Es evidente que si nuestras ciudades más extensas pudieran disgregarse en comunidades menores, el país adquiriría una posición mucho menos vulnerable. La cuestión inmediata a plantear es la del costo astronómico que ello supondría. Pero los urbanistas de hoy deben contemplar la dispersión a largo plazo. Las ciudades podrían construirse en forma lineal con una distancia de kilómetros entre extremos siguiendo un patrón de 'banda estrecha continua'.»

**ANTIBIÓTICOS INDUSTRIALES.** «La aureomicina, el antibiótico áureo, es más eficaz que las vitaminas en su fomento del crecimiento de los animales; hasta un 50 por ciento en pollos, cerdos y pavos. Los ensayos muestran que sólo 25 miligramos de aureomicina por kilogramo de pienso aumentan la tasa media de crecimiento del animal entre un diez y un quince por ciento. Se ha sugerido que la aureomicina podría ayudar a ese crecimiento porque ataca a los microorganismos perjudiciales del tracto intestinal.»

**LA CONSPIRACIÓN DE LOS CRÉDULOS.** «Crítica: 'Worlds in Collision', de Immanuel Velikovsky, The MacMillan Company. Los científicos consideran que la teoría de Velikovsky de que hace 3500 años un enorme cometa detuvo temporalmente a la Tierra es uno de los más asombrosos engaños hasta ahora sufrido por el hombre crédulo. Los sociólogos harían bien en considerarlo sujeto de estudio sobre psicología de masas, no menos interesante que el famoso programa de radio 'Marte ataca' de Orson Welles. Al autor no parecen perturbarle esas opiniones.»



Algodón: nueva escuela laboral sureña, 1900

## ...cien años

**¿QUÉ TRANSMITIR?** «Mr. Richard Kerr ha exhibido ante la Real Sociedad de Londres su último sistema hertziano. Se trata de un reloj cuyos movimientos se controlan a distancia mediante telegrafía sin hilos. El inventor se propone ajustar simultáneamente todos los relojes londinenses mediante esa única máquina. Su ingenio podría actuar sobre todo reloj dotado de un receptor y sus manecillas se moverían a cualquier parte deseada de la esfera.»

**VIETNAM Y PESCADO.** «Se estima en cinco millones el número de personas que en Anam [Vietnam Central] se alimentan de pescado, que abunda sobre todo en las provincias meridionales de Binh-Thuan y Khan-Hoa y en la norteña Thanh-Hoa. Esta última suministra pescado a los mercados de Tonkín y parte de China. Las dos primeras, dadas las numerosas bahías donde puede pescarse todo el año, abastecen a las plantas de salazón que sirven a Singapur y a Extremo Oriente.»

**ESCUELAS DE HILATURA DEL ALGODÓN.** «Los fabricantes del sur reconocen el fracaso del sistema de formar a los obreros en las plantas. La fábrica es un establecimiento cuyo fin es producir, no enseñar. La primera escuela laboral sureña del algodón está afiliada a la Escuela de Tecnología de Georgia, en Atlanta; el Instituto Clemson (Carolina del Sur) ha abierto también, hace poco, un departamento textil. Los planes de estudios de esas escuelas son tan amplios como su selección de maquinaria. Nuestra ilustración muestra a uno de los jóvenes aprendiendo de una hiladora continua.»

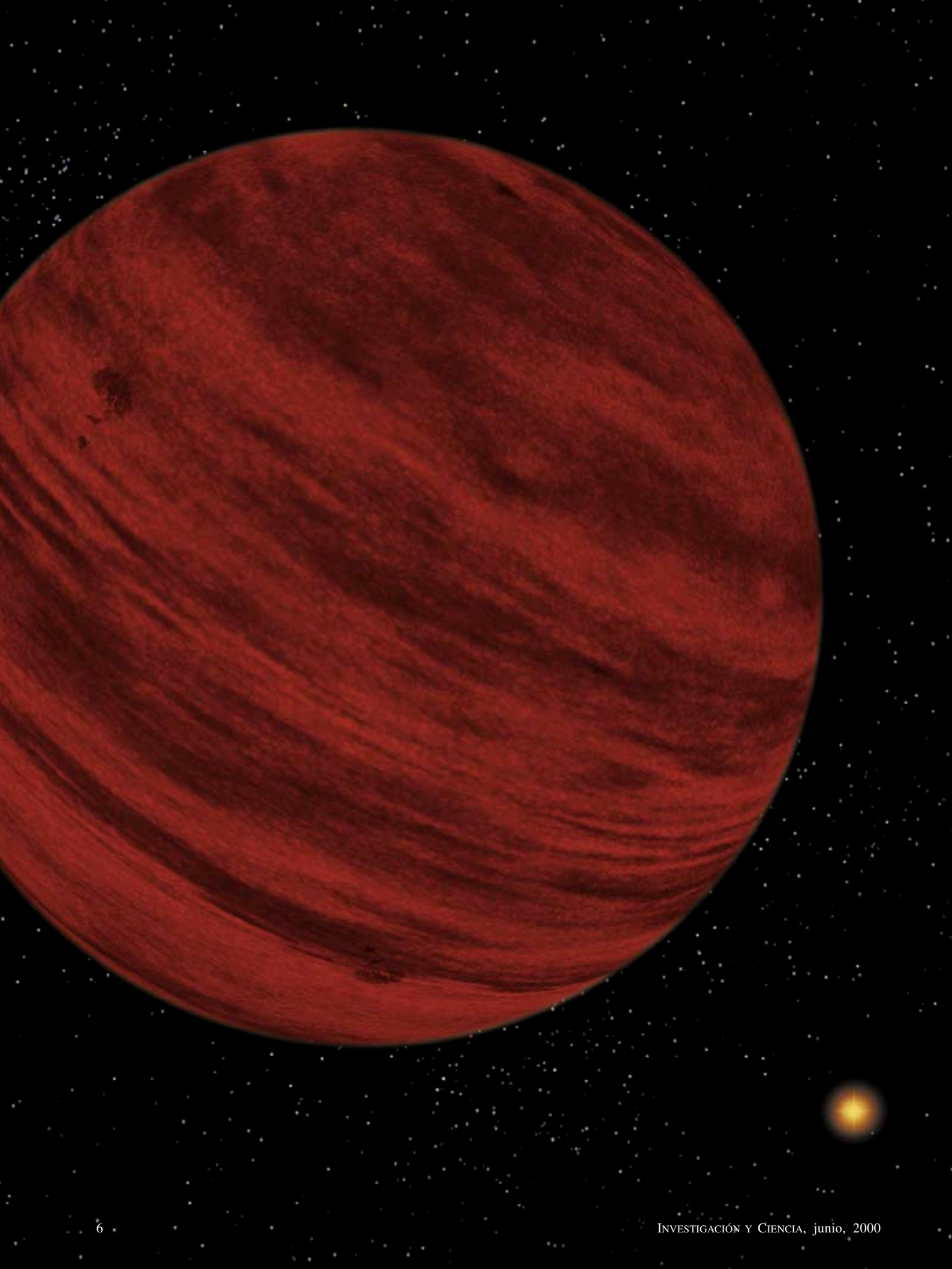
**TRANSMITIR POTENCIA.** «En la Exposición de París todos los motores de gran tamaño se emplean en accionar dinamos, afirma *The Engineer*, y éstas sirven para suministrar potencia a través de cables allá donde se desea. El 'motor de noria' ya no se ve y puede que esté dejando de existir en el Continente. En la Exposición no hay una correa ni una soga de arrastre. Ello prueba el favor con que en el Continente se considera la transmisión eléctrica.»

## ...ciento cincuenta años

**MUNDO DE BURBUJAS.** «Un gran pecado se propaga a escala nacional, el deseo desordenado de enriquecerse pronto y cada vez más. Como la riqueza es la única aristocracia en América, todos parecen fascinados por conseguir tal distinción. La 'prisa por enriquecerse' alienta el espíritu especulativo y los hombres se precipitan a la buena de Dios en ardidés para adquirir una riqueza rápida. En consecuencia, en torno a nosotros revientan las pompas de jabón. Un hombre que amasa riqueza tan rápidamente no suele saber administrarla, mientras que su momentáneo éxito atrae a miles hacia los mismos ilusorios fines. ¿Qué puede ser peor para la sociedad que tales prácticas?»









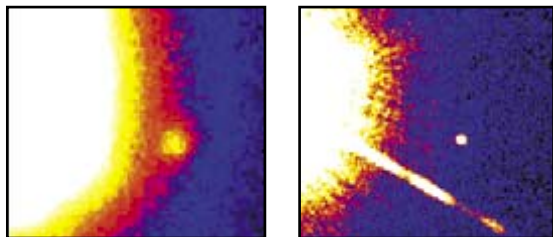
# EL DESCUBRIMIENTO DE LAS ENANAS MARRONES

*De menos masa que las estrellas, pero más que los planetas, las enanas marrones se reputaron antaño cuerpos celestes escasos. Las nuevas búsquedas realizadas en el cielo muestran, sin embargo, que nos hallamos ante objetos tan comunes como las estrellas*

Gibor Basri

Una enana marrón es una estrella que se frustró. Las estrellas brillan en el cielo en virtud de las reacciones nucleares de su interior que liberan grandes cantidades de energía resultante de la fusión del hidrógeno en helio. Para que se desarrollen tales reacciones de fusión es necesario, sin embargo, superar un umbral de temperatura de unos 3 millones de kelvin en el núcleo de las estrellas. Y puesto que la temperatura del núcleo aumenta con la presión gravitatoria durante el proceso de formación, una estrella debe tener al menos una masa mínima para ser considerada como tal: aproximadamente unas 75 veces la masa del planeta Júpiter, vale decir, alrededor de un 7% la masa de nuestro Sol. Las enanas marrones no cumplen esta propiedad; gozan de una masa mayor que la de los planetas gigantes gaseosos pero no hasta el punto de entrar en la categoría de estrella.

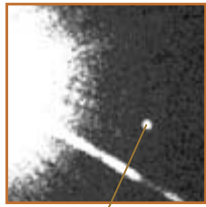
Durante decenios las enanas marrones fueron el “eslabón perdido” de los cuerpos celestes: aunque se creía en su existencia, nunca se habían observado. En 1963, Shiv Kumar, de la Universidad de Virginia, presentó su teoría según la cual el mismo proceso de contracción gravitatoria que da lugar a las estrellas, a partir de nubes de gas y polvo, podría también producir a menudo objetos de masa inferior. A tales cuerpos hipotéticos se les llamó estrellas negras o estrellas infrarrojas, antes de que Jill C. Tarter sugiriese la denominación “enana marrón”, en 1975. (Jill C. Tarter es hoy directora de investigación del Instituto SETI en la californiana Mountain View.) Se trata, empero, de un nombre confundente, pues la enana marrón es un objeto de color rojo. Pero ya existía la expresión “enana roja”, que designaba a las estrellas cuya masa no llegaba a la mitad de la solar.



LA ENANA MARRON GLIESE 229B presenta un brillo rojo en la recreación artística precedente. Se le atribuye un tamaño 10 veces menor que el de Júpiter, pero su temperatura decuplica la de éste y le supera entre 30 y 40 veces en masa. Fue descubierta en 1995 como compañera de una estrella enana roja GJ 229A (fondo). Los astrónomos detectaron la enana marrón en las imágenes tomadas con el telescopio de 1,5 metros de diámetro de Monte Palomar (recuadro de la izquierda) y con el telescopio espacial Hubble (recuadro de la derecha); nos mostraron la presencia del objeto constituido en una pequeña y débil fuente de luz al lado de la enana roja. GJ 229B dista más de 6000 millones de kilómetros de su estrella compañera, es decir, más alejada de cuanto Plutón se encuentra con respecto al Sol.

## Descubrimiento de enanas marrones

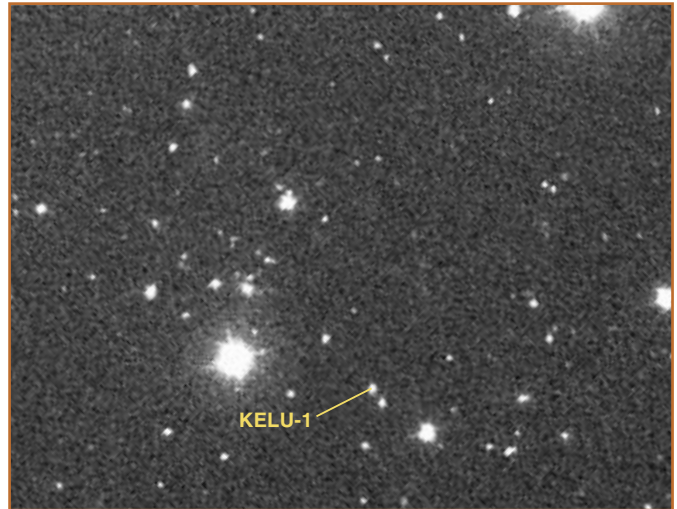
# Métodos de búsqueda



GL 229B



PPL 15



KELU-1

**PARA OBSERVAR A LOS OBJETOS DÉBILES**, así las enanas marrones, se necesitan estrategias especiales. Una consiste en apuntar los telescopios hacia los alrededores de estrellas conocidas y buscar la presencia de compañeros. Se trata del método seguido en el descubrimiento de GL 229B (*arriba a la izquierda*). De acuerdo con otra técnica, la búsqueda se concentra en cúmulos recientes, ya que las enanas marrones brillan más en su juventud. Se cartografió

el cúmulo de las Pléyades (*centro*), que cuenta con una edad de sólo 120 millones de años, para detectar PPL 15 así como un gran número de enanas marrones jóvenes. Se sigue una tercera estrategia para hallar enanas marrones “del campo”, mediante la obtención de imágenes de grandes áreas de cielo con instrumentos que son sensibles a fuentes débiles y rojas. La identificación de la primera enana marrón del campo, Kelu 1 (*arriba a la derecha*), se anunció en 1997.

A mediados de los años ochenta, los astrónomos de todo el mundo comenzaron una intensa búsqueda de enanas marrones en el firmamento. No les acompañó la suerte. En 1995, por fin, se dio a conocer la primera prueba irrefutable de la existencia de dichos objetos. El descubrimiento abrió las compuertas. Desde entonces se han detectado docenas de enanas marrones. Hoy, la astronomía teórica y la de observación se cuestionan un rosario de preguntas del máximo interés. ¿Cuántas enanas marrones hay? ¿Cuál es el intervalo de masas en el que se pueden encontrar? ¿Existe un continuo de estos objetos desde las estrellas hasta la masa de Júpiter? ¿Se originan todos de la misma forma?

La búsqueda de enanas marrones fue un proceso largo y tedioso, ya que se trata de cuerpos celestes muy

débiles. Todos los objetos astrofísicos (estrellas, planetas y enanas marrones) emiten luz durante sus etapas de formación en virtud de la energía que se libera con la contracción gravitatoria. En el caso de una estrella, el brillo originado por la contracción se sustituye en el curso de la evolución estelar por la radiación termonuclear resultante de la fusión del hidrógeno. Una vez que dicha fusión comienza, el tamaño y la luminosidad de la estrella permanecen constantes; en muchos casos, durante miles de millones de años. No ocurre así en la enana marrón; incapaz de mantener por sí misma la reacción nuclear del hidrógeno, su luz se debilita paulatinamente a medida que el objeto se va contrayendo. La luz emitida por las enanas marrones corresponde principalmente a la parte del infrarrojo cercano del espectro electromagnético. Puesto que hablamos de objetos intrínsecamente débiles desde su nacimiento y su luz se apaga con los años, algunos especularon con la posibilidad de que las enanas marrones formaran parte importante de la “materia oscura”, una masa misteriosa e invisible que supera de largo la masa luminosa del universo.

Los astrónomos creían que el lugar apropiado para buscar objetos tan débiles sería en las proximidades de estrellas brillantes. Más de la mitad de las estrellas de nuestra galaxia se encuentran formando pareja con otras estrellas (sistemas binarios donde las dos componentes estelares orbitan alrededor del centro de gravedad común). Sospechaban así que muchas estrellas, aparentemente solitarias, podrían tener por compañera una enana marrón. En ese tipo de búsqueda no se requiere cubrir grandes áreas en el cielo; basta con apuntar el telescopio hacia estrellas ya conocidas. Lo que no deja de ser una ventaja.

Semejante estrategia se mostró acertada desde el principio. En 1984, los investigadores del Observatorio Steward, de la Universidad de Arizona, anunciaban el hallazgo de VB8, una estrella de masa pequeña distante del sistema solar 21 años-luz. Por sus propiedades, el candidato debía ser una enana marrón; pero no pudo confirmarse su presencia en imágenes posteriores. (Resultó tratarse de un artefacto observacional; no era ningún objeto real.) El siguiente candidato probable fue anunciado en 1988: Eric Becklin y Benjamin Zuckerman, de la Universidad de California en Los

GIBOR BASRI, profesor de astronomía de la Universidad de California en Berkeley, se doctoró en astrofísica por la de Colorado en Boulder en 1979. Entre sus campos de estudio destacan las estrellas de tipo solar, las estrellas de baja masa y la formación estelar.

Angeles, informaron sobre el descubrimiento de GD 165B, un objeto débil y rojo compañero de una estrella enana blanca. No guardan las enanas blancas ninguna relación con las enanas marrones. Las enanas blancas son los cadáveres de estrellas de masa intermedia, tienen un tamaño reducido y son más calientes y pesadas que las enanas marrones. GD 165B podría tratarse de una enana marrón, pero los astrónomos no pudieron confirmarlo, dado que la masa que se obtiene para este objeto es muy próxima al límite de 75 veces la masa de Júpiter entre las estrellas menos masivas y las enanas marrones.

Otra ventaja de la búsqueda de enanas marrones compañeras de estrellas estriba en que no se precisa observar aquéllas. Podemos detectar la enana marrón con las mismas técnicas que se emplean para hallar planetas extrasolares: analizar los efectos periódicos que la enana marrón compañera ejerce sobre la estrella a cuyo alrededor orbita. Se determinan las variaciones en las velocidades de las estrellas a través de la medición de los corrimientos Doppler de sus líneas espectrales. Con este método resulta más fácil detectar enanas marrones que planetas, por la razón

principal de que las primeras poseen una masa mayor.

Ello no obstante, Geoffrey W. Marcy, de la Universidad estatal de San Francisco y de la Universidad de California en Berkeley, reputado “cazador” de planetas, no encontró ninguna enana marrón en su búsqueda en torno a 70 estrellas de baja masa, a finales de los ochenta. En el ecuador de los noventa, Marcy halló media docena de planetas extrasolares gigantes y gaseosos en su muestra de 107 estrellas similares a nuestro Sol, pero seguía sin dar con la prueba irrefutable de enanas marrones. Ante tamaño fracaso en la búsqueda, parecía lógico admitir que las enanas marrones escaseaban mucho más que los planetas gigantes y las estrellas. Se empezó a hablar del “desierto de las enanas marrones”.

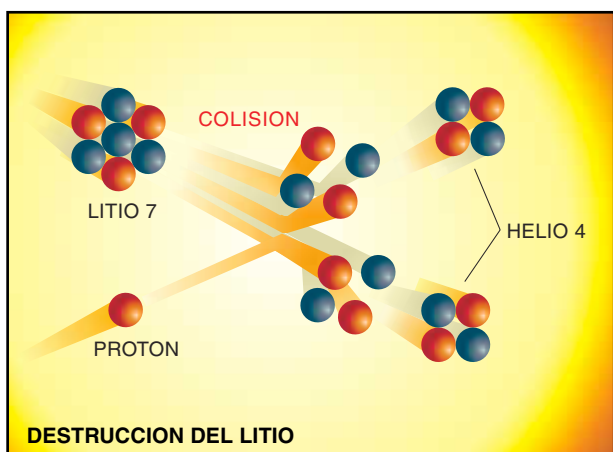
Sólo uno de los primeros rastreos, fundado en la técnica de medición de la velocidad radial (efecto Doppler), obtuvo éxito en la búsqueda de candidatos. En 1988, y entre una lista de 1000 estrellas, David W. Latham, del Centro Smithsonian de Astrofísica de Harvard, descubrió un posible compañero estelar con una masa por lo menos igual a 11

veces la de Júpiter. Con el método de la velocidad radial sólo puede determinarse un límite inferior a la masa del objeto; el candidato de Latham lo mismo podía ser una enana marrón que una estrella de masa pequeña. Para resolver la naturaleza del candidato habrá que esperar a poder determinar con precisión las posiciones de las estrellas.

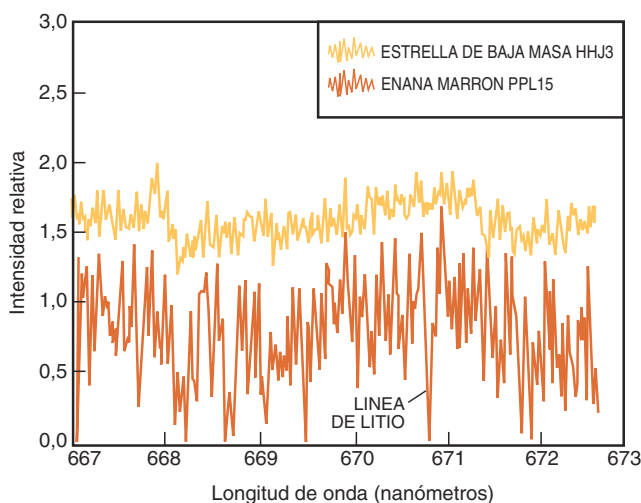
Mientras tanto, otros astrónomos perseguían estrategias diferentes, apoyados en cierta característica de las enanas marrones, el brillo más intenso de las jóvenes. Para buscar objetos jóvenes, nada mejor que los cúmulos estelares. Todas las estrellas del cúmulo, aunque se forman simultáneamente, difieren en su longevidad. Las estrellas de mayor masa brillan durante algunos millones de años antes de agotar su combustible de hidrógeno y dejar atrás la fase de secuencia principal de su vida, mientras que las estrellas menores permanecen luminosas por miles de millones, e incluso billones, de años. El método tradicional para averiguar la edad de un cúmulo consiste en identificar la estrella dotada de una masa mayor de la secuencia principal. La edad del cúmulo se aproximará al tiempo de vida de esa estrella.

## Confirmación de los descubrimientos

### La prueba del litio



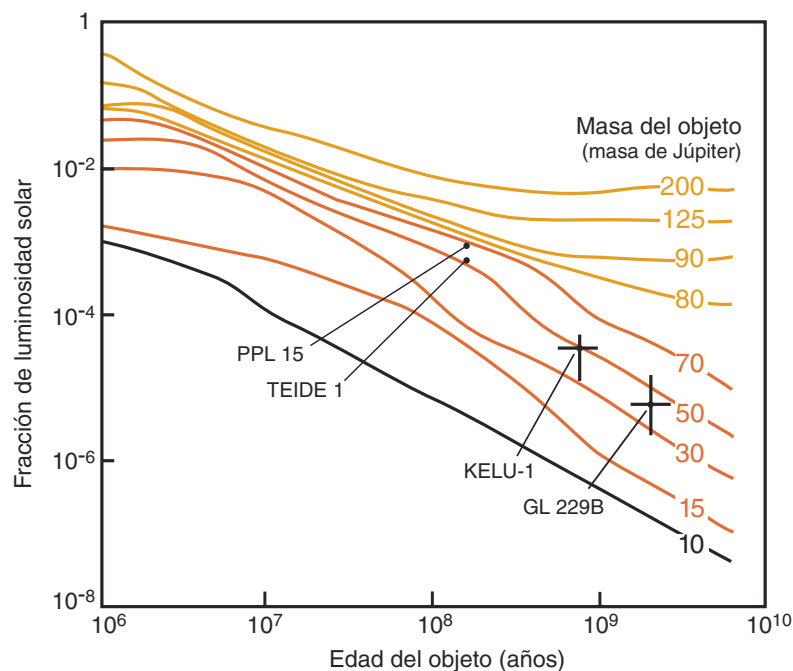
**EL ANALISIS DE LOS ESPECTROS** de los objetos débiles puede revelar si dichos objetos son estrellas o si se trata de enanas marrones. Las estrellas consumen en su interior el contenido de litio, reacción nuclear en que un protón choca contra el isótopo de litio 7, que se divide en dos átomos de helio (izquierda). Por contra, las enanas marrones, salvo las de mayor masa, no pueden sostener esta reacción en su núcleo, puesto que no alcanzan la temperatura umbral



necesaria para la “destrucción” del litio; por tanto, las enanas marrones retienen el litio durante toda su vida. El espectro de HHJ 3 (a la derecha, línea de color amarillo), que es una estrella de baja masa en las Pléyades, no muestra signos de la presencia de litio. El espectro de PPI 15 (línea de color rojo) muestra, sin embargo, un rasgo significativo en absorción que indica claramente la presencia de dicho elemento.

Comparación entre estrellas, enanas marrones y planetas

## Debilitándose con el tiempo



**EL HISTORIAL DE LUMINOSIDAD** de las estrellas de baja masa (*línea amarilla*), de las enanas marrones (*línea roja*) y de los planetas (*línea negra*) revela que sólo las estrellas tienen masa suficiente para quemar, de forma estable, hidrógeno en sus interiores; gracias a ello, mantienen una luminosidad constante. La luz emitida por las enanas marrones y los planetas se apaga a medida que envejecen. Los datos de algunas enanas marrones (*cruces negras*) indican cuán pesadas son y sus edades.

Una vez identificado un cúmulo estelar joven y determinada su edad, sólo queda descubrir los objetos más débiles y rojos (y, por tanto, más fríos) del cúmulo para establecer los candidatos a enanas marrones. Los estudios teóricos facilitan la temperatura superficial y la luminosidad esperada a una edad fijada para objetos de distintas masas; midiendo, pues, esos parámetros estimaremos la masa de cada candidato. Varios grupos de astrónomos comenzaron su propia caza cubriendo las zonas del cielo donde se encuentran los cúmulos jóvenes y seleccionando los objetos poco luminosos y rojos.

Fruto de sus trabajos, anunciaron una serie de candidatos a enanas marrones en cúmulos jóvenes, que incluían la región de formación estelar de la constelación del Toro y el cúmulo brillante de las Pléyades ("Las Siete Hermanas"). Pero, sometidos a un fino análisis posterior, se mostró que ninguno de los candidatos era

una enana marrón real. Se trataba, en algunos casos, de estrellas gigantes rojas ubicadas a miles de años-luz allende el cúmulo; estas estrellas del fondo, aunque muy luminosas, aparecen bastante débiles por hallarse tan remotas. En otros casos, los contaminantes eran estrellas de masa pequeña que se encuentran delante o ligeramente por detrás del cúmulo. Algunos de estos "descubrimientos" salieron publicados en la prensa, si bien el reconocimiento posterior de su invalidez no contó con el mismo despliegue. Comenzó a cundir el escepticismo entre los astrónomos ante cualquier candidato a enana marrón. Se reforzó la idea de la escasez de esta clase de objetos.

### En busca del litio

Así las cosas, Rafael Rebolo, Eduardo Martín y Antonio Magazzù, del Instituto de Astrofísica de Canarias, propusieron en 1992 un

método inteligente que ayuda a distinguir de las estrellas de baja masa las enanas marrones. Denominada la prueba del litio, se funda en el siguiente dato: para masas inferiores a unas 60 veces la de Júpiter, una enana marrón nunca llega a reunir las condiciones requeridas para mantener la quema del litio en su núcleo. Esta reacción nuclear tiene lugar a una temperatura ligeramente inferior a la de la fusión del hidrógeno; como resultado, toda estrella pequeña consume sin dificultad el litio cualquiera que fuera su concentración original. Incluso las estrellas menos masivas queman su litio en menos de 100 millones de años, mientras que las enanas marrones, excluidas las de mayor masa, retienen su reserva de litio durante toda la vida. Por tanto, la presencia continua de litio constituye un signo de que un objeto tiene masa subestelar.

Las líneas espectrales del litio son bastante intensas en objetos rojos y fríos. El grupo de Canarias buscó signos de la presencia de litio en todos los objetos más fríos del cielo cuyo brillo pudiera proporcionar datos de la calidad necesaria. Ninguno de ellos mostraba litio. En 1993 otro equipo, integrado por Marcy, James R. Graham y el autor, comenzó a aplicar la prueba del litio a objetos aún más débiles. Nos servimos del telescopio Keck de 10 metros de diámetro, recién incorporado al Observatorio de Mauna Kea en Hawai. Tampoco hubo suerte en el intento; pero la fortuna cambió cuando la búsqueda se centró en las Pléyades.

Otro grupo británico había realizado poco antes una búsqueda muy profunda, que cubría un área considerable del mismo cúmulo. Hallaron varios objetos de masa subestelar, a tenor de sus propiedades. Se determinó que estos candidatos mostraban un movimiento propio común con el del cúmulo y, por tanto, tenían que ser miembros de las Pléyades y no estrellas del fondo. El equipo norteamericano apuntó directamente al más débil de los candidatos, un objeto llamado HHJ 3, con la esperanza de detectar el litio. Pero fracasó. John Stauffer, del Smithsonian, presentó otro candidato. Este astrónomo había realizado también búsquedas de estrellas pequeñas en las Pléyades, hallando un candidato incluso más débil, denominado PPL 15 (el candidato número 15 de la búsqueda del Monte Palomar en las Pléyades). Por fin, el grupo norteamericano obtuvo éxito: por primera vez se detectó el