

INVESTIGACION *y* CIENCIA

ESTRELLAS DE RAYOS X SUPERBLANDAS

EVOLUCION DE LAS AVES

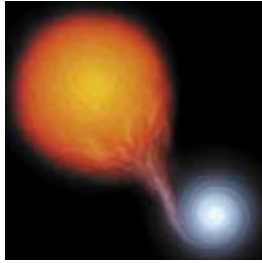
INFORME ESPECIAL: ASTRONAVES DEL SIGLO XXI

Edición española de
**SCIENTIFIC
AMERICAN**



CICLIDOS DE LOS LAGOS DE AFRICA ORIENTAL
ABRIL 1999
800 PTA. 4,81 EURO

6



Estrellas de rayos X superblandas y supernovas

Peter Kahabka, Edward P. J. van den Heuvel y Saul A. Rappaport

Por raro que parezca, las fuentes espaciales de rayos X de baja energía se originan en sistemas solares en los que una enana blanca gira alrededor de una estrella mayor y más corriente. Parece que aquélla va devorando a ésta y, cuando se ha saturado hasta reventar, estalla de forma violenta convertida en supernova del tipo Ia.

14



Hipertensión en los afroamericanos

Richard S. Cooper, C. N. Rotimi y R. Ward

La hipertensión arterial constituye la principal causa de enfermedad entre los americanos de origen africano. Los habitantes de Africa occidental, sin embargo, presentan la menor prevalencia de hipertensión del planeta. Prejuicios e ideas preconcebidas sobre las razas distorsionan la comprensión de esta enfermedad.

22



Cíclidos de los lagos de Africa oriental

Melanie L. J. Stiassny y Axel Meyer

Estos bellos peces evolucionan a un ritmo sorprendente. Cientos de especies viven en sólo tres lagos africanos, y muchas de ellas parecen haber surgido de la noche a la mañana. Pero en la actualidad el uso que los seres humanos hacen de dichos ambientes amenaza con exterminar estos laboratorios vivientes, únicos para la investigación en biología evolutiva.

44

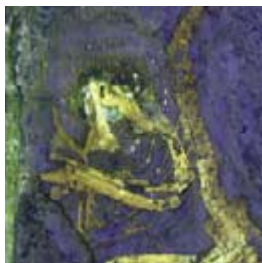


Factorización de números grandes

Johannes Buchmann

La seguridad de las codificaciones de datos se basa en la dificultad extrema que reviste la descomposición en factores primos de números con más de cien cifras. Pero las técnicas de factorización han experimentado grandes avances; por eso, los sistemas criptográficos utilizados hoy quizá dejen de ser seguros en un mañana próximo.

52



Las aves de Las Hoyas

José Luis Sanz y Bernardino P. Pérez-Moreno

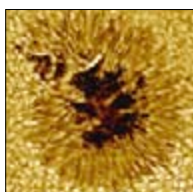
Hace 120 millones de años, el paisaje de la Serranía de Cuenca era muy distinto del que podemos contemplar hoy. Los pinares y sabinas que observamos era entonces una planicie salpicada de abundantes zonas húmedas. Desenterrando sus entrañas los paleontólogos están obteniendo información sobre las primeras fases de la historia evolutiva de las aves.

58**Búsqueda de vida en el sistema solar***Bruce M. Jakosky*

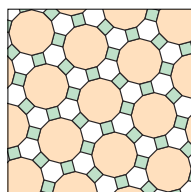
Desde la antigüedad, el hombre ha imaginado formas de vida que pululaban por el universo. La ciencia exige rigor y embridar la fantasía. Si la vida se desarrolló también en otros planetas o satélites, ¿cuáles serían los lugares donde habría que buscar pruebas de existencia de organismos extraterrestres?

64**La vía de salida al espacio***Tim Beardsley*

La industria, la ciencia, la exploración e incluso el turismo tienen los ojos puestos en el espacio exterior. La cuestión es cómo llegar allá. Los vehículos espaciales todavía son demasiado costosos y limitados como para alentar una estampida hacia las estrellas. Los nuevos y atractivos conceptos del transporte espacial, hoy en planificación y pruebas, se sazonan con impresiones y comentarios de quienes colaboran en el empeño.

Aerorreactores*Charles R. McClinton***Cables espaciales***Robert L. Forward y Robert P. Hoyt***Autopistas de luz***Leik N. Myrabo***Velas de luz***Henry M. Harris***Cohetes nucleares compactos***James R. Powell***Alcanzar las estrellas***Stephanie D. Leifer***SECCIONES****4 HACE...****28 PERFILES****30****CIENCIA
Y SOCIEDAD**

Manchas solares.

86**JUEGOS
MATEMÁTICOS**

Tesselaciones en papiroflexia.

42 DE CERCA**88 NEXOS****84 TALLER Y LABORATORIO****90 LIBROS****96 IDEAS APLICADAS**



Portada: Roberto Osti

PROCEDENCIA DE LAS ILUSTRACIONES

Página	Fuente
6-7	Alfred T. Kamajian
8	Bryan Christie; fuente: Peter Kahabka, Edward P.J. van den Heuvel y Saul A. Rappaport (<i>arriba</i>); Wolfgang Pietsch Rosat Team (<i>abajo, izquierda</i>); Sven Kohle (<i>abajo, derecha</i>)
9	Alfred T. Kamajian
10	Bryan Christie; fuente: Klaus Reinsch (<i>izquierda</i>) y Stefan G. Schaeidt (<i>derecha</i>)
11	Bryan Christie (<i>arriba</i>), Alfred T. Kamajian (<i>abajo</i>)
12	Bryan Christie; fuente: Icko Iben
14-15	Daniels & Daniels (<i>arriba, izquierda</i>), Johnny Johnson (<i>arriba, derecha</i>); Yoram Lehmann, Tompex, Jim Sugar Photography, Donna Binder y Christopher Smith (<i>abajo, de izquierda a derecha</i>)
16	CC Studio/SPL/Photo Researchers, Inc.
17	Johnny Johnson
18-19	Tomo Narashima
20	Johnny Johnson
21	<i>Negroes in the Bilge</i> , grabado de Deroi, publicado por Engelmann, circa 1835 (lito) de Johann Moritz Rugendas (1802-1858) <i>Stapleton Collection, U.K./Bridgeman Art Library, London/New York</i>
22-23	Roberto Osti
24-25	Axel Meyer (<i>micrografías</i>); Melanie L.J. Stiassny (<i>abajo, izquierda</i>); Ad Konings (<i>abajo, centro y derecha</i>)
26	Roberto Osti
27	Dmitry Krasny
44-45	Hugh C. Williams, Univ. de Manitoba en Winnipeg (Canadá)
46	Hugh C. Williams (<i>arriba</i>) Johannes Buchmann/Spektrum der Wissenschaft (<i>abajo</i>)
47-51	Johannes Buchmann/Spektrum der Wissenschaft
52-54	Gerardo F. Kurtz
55	Cortesía de ABC/Blanco y Negro
56	Gerardo F. Kurtz (<i>abajo</i>)
57	Gerardo F. Kurtz, cortesía de ABC/Blanco y Negro
58-60	Cortesía de Bruce M. Jakosky
61	Centro espacial Johnson, NASA (<i>izquierda</i>), J. W. Valley (<i>derecha</i>)
62-63	JPL/NASA (<i>arriba</i>), Inst. de Ciencias del Telescopio Espacial (<i>abajo</i>)
64-65	Slim Films
66	Cortesía de Boeing
67	Alfred T. Kamajian; cortesía de Rotary Rocket Company (<i>inserto</i>)
68	FDC/NYMA, Inc.
69	NASA LANGLEY (<i>arriba</i>), Johann Rosario (<i>abajo</i>)
70	Johann Rosario (<i>arriba</i>), Alfred T. Kamajian
72	Leik N. Myrabo
73	Tom Moore y NASA
74-75	Slim Films
76	Laurie Grace
77	Cortesía de Space Access
78	Bob Sauls
79	Dana Berry y Robert O'Dell
80	Cortesía de Kistler Aerospace
81	Don Foley
84-85	Daniels & Daniels
86-87	Matt Colins (<i>arriba</i>), Dmitry Krasny

COLABORADORES DE ESTE NUMERO

Asesoramiento y traducción:

Juan Pedro Campos: *Estrellas de rayos X superblandas y supernovas*; José M.ª Valderas Martínez: *Hipertensión en los afroamericanos y Nexos*; Joandoménech Ros: *Ciclidos de los lagos de Africa oriental*; Diana Estévez: *Factorización de números grandes*; Manuel Puigcerver: *Búsqueda de vida en el sistema solar*; José Meseguer: *Aerorreactores y Cables espaciales*; Juan Pedro Adrados: *Autopistas de luz*; Angel Garcimartín: *Velas de luz y Perfiles*; J. Vilardeell: *Cohetes nucleares compactos, Alcanzar las estrellas, Hace..., Taller y laboratorio e Ideas aplicadas*; Luis Bou: *Juegos matemáticos*.

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

BOARD OF EDITORS Michelle Press, *Managing Editor*; Philip M. Yam, *News Editor*;

Ricki L. Rusting, Timothy M. Beardsley, David A. Schneider y Gary Stix,

Associate Editors; W. Wayt Gibbs, *Senior Writer*; Kristin Leutwyler,

On-Line Editor; Mark Alpert, Carol Ezzell, Alden M. Hayashi, Madhusree

Mukerjee, George Musser, Sasha Nemecek y Glenn Zorpette, *Editors*;

Marguerite Holloway, Steve Mirsky y Paul Wallich, *Contributing Editors*

PRODUCTION Richard Sasso

CHAIRMAN AND CHIEF EXECUTIVE OFFICER John J. Hanley

CO-CHAIRMAN Rolf Grisebach

PRESIDENT 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	11.150 pta. 67,01 euro	20.700 pta. 124,41 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:

MIDESA

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 © 1999 Scientific American Inc., 415 Madison Av., New York N. Y. 10017.

Copyright © 1999 Prensa Científica S. A. Muntaner, 339 pral. 1.ª 08021 Barcelona (España)

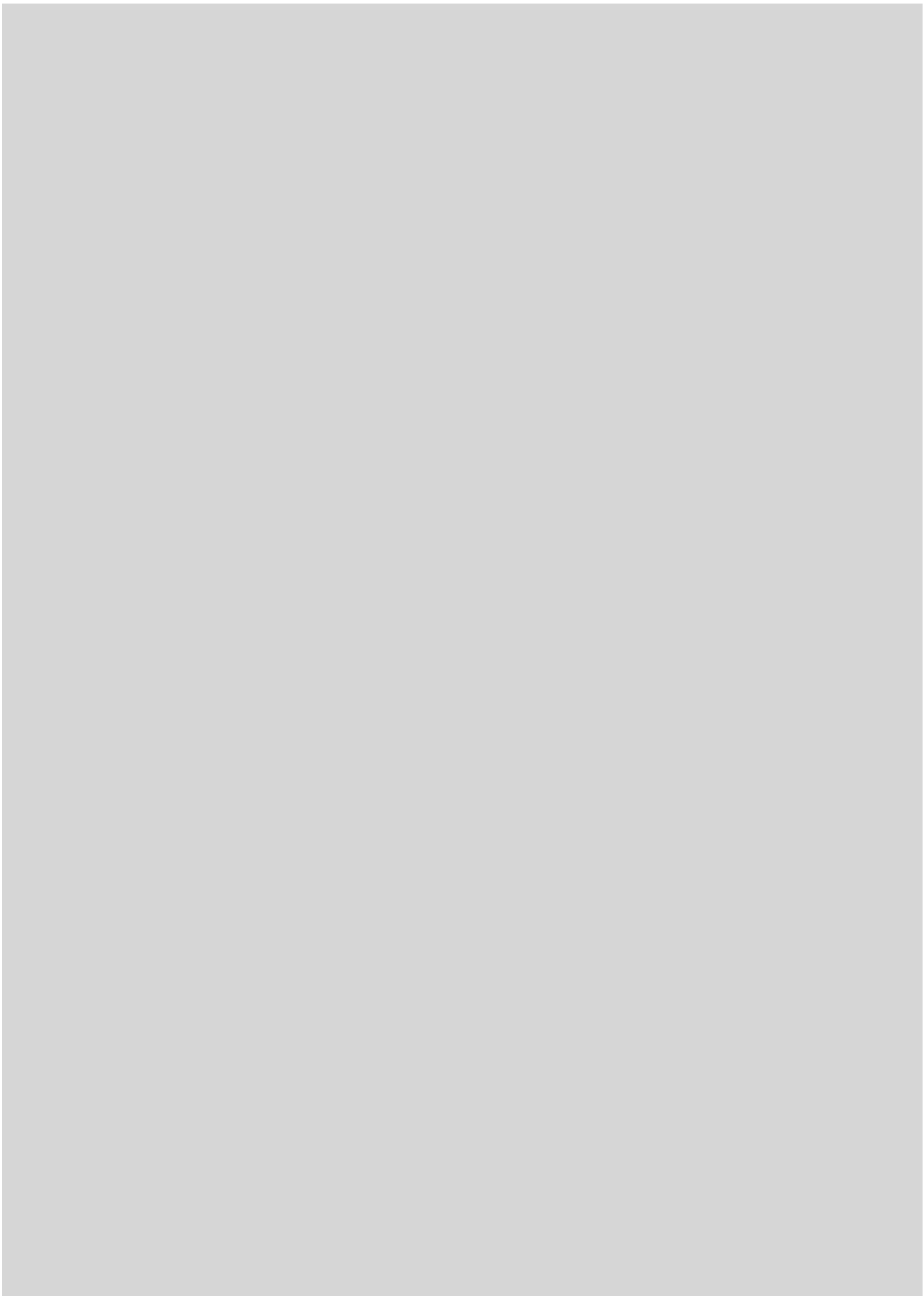
Reservados todos los derechos. Prohibida la reproducción en todo o en parte por ningún medio mecánico, fotográfico o electrónico, así como cualquier clase de copia, reproducción, registro o transmisión para uso público o privado, sin la previa autorización escrita del editor de la revista. El nombre 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 fotocompos reproducidos por Dos Digital, Zamora, 46-48, 6ª planta, 3ª puerta - 08005 Barcelona

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

Printed in Spain - Impreso en España



HACE...

...cincuenta años

ANTES DE LA TECTÓNICA DE PLACAS. «Frente a las costas de los continentes principales existen grandes cañones submarinos, pero no podemos dar una explicación de su formación a partir de los principios de la geología clásica. Una sugerencia obvia es que fueron excavados por corrientes de agua cuando las laderas oceánicas emergían. ¿Podrían los glaciares del Período Glacial haber sido lo bastante grandes como para reducir los océanos hasta el punto de amontonar agua en la tierra firme hasta una altura de muchos miles de metros? La mayoría de los geólogos lo dudan. Otra posibilidad es que los continentes y las cuencas oceánicas pudieran haber sufrido vastos corrimientos que expusieran los márgenes a la erosión fluvial. Tales ideas podrían reclamar cambios radicales en conceptos geológicos que se suponían inamovibles.»

GUERRA A LA MALARIA. «La Organización Mundial de la Salud, la Fundación de Auxilio Internacional a la Infancia y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura se disponen a lanzar una ofensiva a gran escala contra la malaria. Gracias al DDT se ha controlado la enfermedad. En Grecia han permanecido equipos de la OMS durante un año, luchando contra la malaria con DDT y fármacos sintéticos. A Birmania, Ceilán, India, Indonesia, Pakistán y Yugoslavia serán enviados equipos similares. En el sur de Grecia, los tres años de tratamiento con DDT para erradicar los mosquitos transmisores han reducido la incidencia de la enfermedad desde un millón a 50.000 casos al año a un costo de 30 centavos por año y persona.»

...cien años

SUBMARINO PRIMITIVO. «El interés general suscitado por las prestaciones del torpedero submarino *Gustave Zédé* no guarda proporción con el verdadero valor ofensivo

de este tipo de embarcación. En la idea de un buque de guerra que pueda desplazarse sin ser visto por la profundidad del mar y causar al enemigo un impacto fatal inesperado hay algo que capta la fantasía popular. Sin embargo, el vicealmirante Dupont, conocido oficial de marina de gran experiencia, ha advertido que el público debería comprender que, en una guerra naval, los buques submarinos no tienen más misión que hacer peligroso para el enemigo el bloqueo de los puertos aliados. Nuestra ilustración muestra una sección longitudinal y una vista del buque en la costa de Tolón, tras habersele añadido una torreta de mando para la navegación en superficie.»

MICROBIO DEL CÁNCER. «El *Figaro*, de París, anuncia que el doctor Bra ha descubierto el microbio del cáncer y que hay razones para esperar que ese descubrimiento podría no tardar en desembocar en un remedio seguro para tan espantosa enfermedad. En su informe Bra se manifiesta discreto y prudente; avisa que pasarán meses antes de que sea posible hacer una declaración definitiva. Sí ha podido ya aislar y cultivar un parásito procedente de un tumor canceroso y, con su inoculación, inducir cánceres en animales. El parásito, de tipo hongo, es el agente específico del cáncer. El doctor Bra lleva cuatro años estudiando el origen de la enfermedad.»

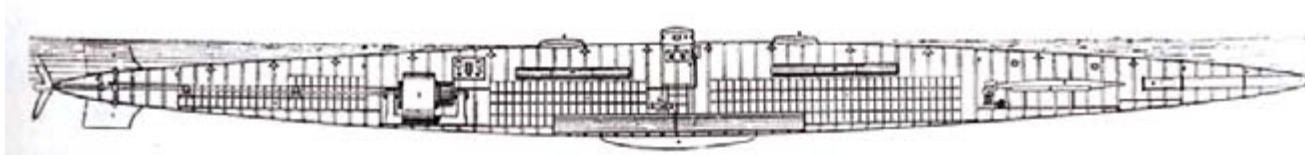
...ciento cincuenta años

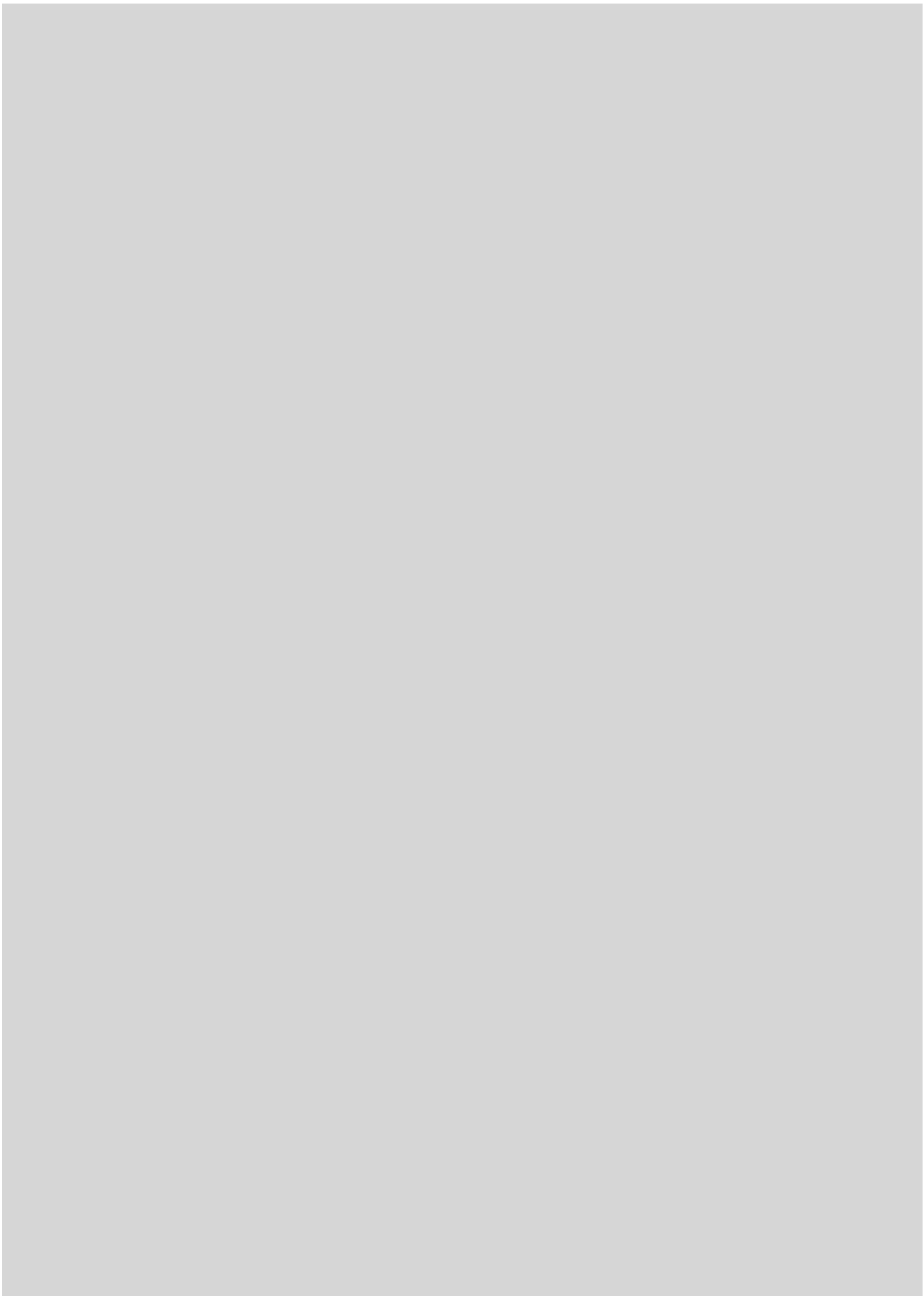
ACELERACIÓN DEL COMERCIO MUNDIAL. «El buque *Sea Witch*, del capitán Robert Waterman, arribado a este puerto [Nueva York] la semana pasada procedente de Cantón, en el insólitamente corto espacio de 74 días y 14 horas, ha realizado, parece, una serie de travesías durante su camino de ida y vuelta, con una rapidez superior a las logradas hasta ahora por cualquier velero. Esas travesías equivalen a un viaje alrededor del mundo, que efectuó en 194 días de navegación.»

MENTES EN RUINAS. «El doctor W. H. Stokes, del Instituto Mount Hope para Dementes, afirma acerca de la locura moral: 'Otra fuente fecunda de trastornos mentales de esta especie parece encontrarse en un indebido exceso en la lectura de los numerosos relatos novelísticos, que tanto han proliferado en la prensa durante los últimos años, y que tanto se han multiplicado por todas partes, con el efecto de viciar el gusto y corromper la moral de los jóvenes. Los padres nunca serán demasiado cautelosos a la hora de preservar a sus jóvenes hijas de esta perniciosa costumbre.'»



El nuevo torpedero submarino Gustave Zédé





Estrellas de rayos X superblandas y supernovas

*Años atrás se descubría un nuevo tipo de estrella
que emitía rayos X de una energía insólitamente baja.
Ahora sabemos que se trata de enanas blancas,
devoradoras de sus estrellas compañeras
hasta terminar por estallar*

Peter Kahabka, Edward P. J. van den Heuvel y Saul A. Rappaport

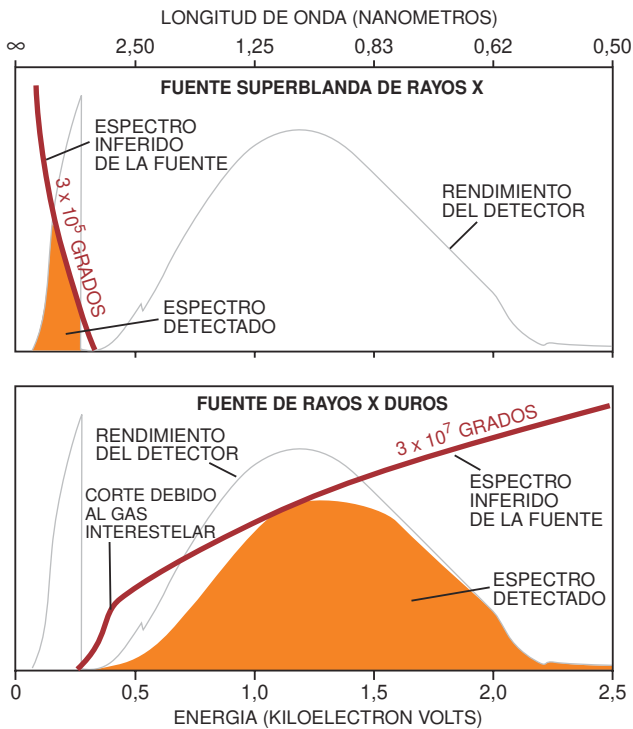
1. UN DAVID Y UN GOLIAT ESTELARES trenzan un sistema binario simbiótico: una enana blanca y una estrella gigante roja, en órbita una alrededor de otra. La enana, con su intensa gravedad, va engullendo las capas exteriores de la gigante. El gas hurtado termina en un disco de acreción que rodea a la enana, hasta que acaba por asentarse en su superficie, donde puede encender la fusión nuclear y generar abundante cantidad de rayos X de baja energía.

Desde los años treinta se sabe que las estrellas brillan por las reacciones de fusión nuclear que se producen en sus entrañas. Sin ir más lejos, en el núcleo del Sol se fusionan 600 millones de toneladas de hidrógeno por segundo para crear helio. El proceso libera energía en forma de rayos X y gamma, que se abren lento paso hacia el exterior a través de espesas capas de gas. Para cuando la radiación arriba a la superficie del astro se ha degradado en luz visible.

Pero hace poco se ha descubierto una nueva clase de estrellas en las que la fusión nuclear no se produce en las profundidades, sino en las capas exteriores, bajo la superficie mismo. Manifiestan ser enanas blancas —estrellas densas, consumidas ya, agotado su combustible nuclear— que giran alrededor de estrellas comunes. Las enanas roban gas de hidrógeno a sus compañeras, lo agregan a su propia superficie y reanudan la fusión. La consecuencia es un torrente de rayos X con un intervalo de longitudes de onda “blandas”, distintivo de tales estrellas, a las que se ha dado en llamar “fuentes luminosas superblandas de rayos X”. Por esa vía, el peso de las enanas blancas aumenta hasta que llega un momento en que se vuelven inestables y, entonces, o se desploman convertidas en una estrella de neutrones más densa o estallan.

Desde tiempo atrás se viene sugiriendo la hipótesis según la cual la desestructuración de una enana blanca sería la causa de cierta explosión de supernova, la de tipo Ia. Gracias al descubrimiento de las fuentes superblandas se ha identificado una clase de sistema estelar que explosiona de idéntica forma. Las supernovas del tipo Ia han adquirido interés por su función de “candelas estándar” brillantes para medir la lejanía de galaxias remotas y, por ende, la velocidad de la expansión cósmica. Buena parte de la pertinaz incertidumbre en las evaluaciones de la edad y de la velocidad de la expansión del universo guarda relación con nuestro desconocimiento del origen de tales supernovas. En las fuentes superblandas podría esconderse el anhelado eslabón perdido.

El capítulo de las fuentes superblandas se abrió con el lanzamiento del satélite de rayos X alemán ROSAT en 1990. Este observatorio orbital acometió el primer rastreo exhaustivo del cielo en las longitudes de onda de los rayos X blandos, una forma de radiación electromagnética que cae entre la luz ultravioleta y los rayos X “duros”. Se trata de longitudes entre 50 y 1000 veces menores que las de la luz visible; la energía de sus fotones (la unidad que prefieren los astrónomos de rayos X) va de los 0,09 a los 2,5 kiloelectronvolts (keV). Los rayos X duros tienen energías de hasta unos cientos de keV. Con la excepción del Observatorio Einstein de la NASA, que cubría el intervalo de energías entre los 0,2 y los 4,0 keV, los satélites que le habían precedido se habían centrado en los rayos X duros.

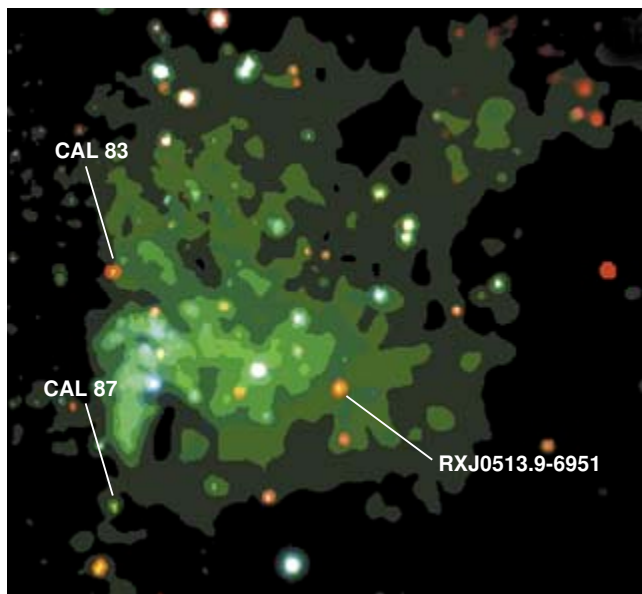


2. LAS FUENTES DURAS de rayos X se distinguen de las fuentes blandas por sus espectros, tal y como midió el observatorio ROSAT. Una fuente superblanda típica (*arriba*) emite rayos X de una energía bastante baja, indicativa de una temperatura, poco elevada en comparación, de 300.000 grados. Una fuente de rayos X duros (*abajo*) es cien veces más caliente y emite, por ende, rayos X de gran energía. En ambos casos el espectro intrínseco de la fuente (*curvas rojas*) está distorsionado por la respuesta del detector del ROSAT (*curvas grises*) y por absorción de gas interestelar.

Muy pronto, el equipo del ROSAT, dirigido por Joachim Trümper, se fijó en ciertos objetos peculiares de la Gran Nube de Magallanes, galaxia satélite de la Vía Láctea. Emitían rayos X a una velocidad prodigiosa —de 5000 a 20.000 veces la generación total de energía por el Sol— y, sin embargo, su espectro era inesperadamente blando. Las fuentes de rayos X acostumbran generar espectros duros, con el pico de energía entre 1 y 20 keV, producidos por gases a temperaturas de 10 a 100 millones de kelvins. Esas fuentes de rayos X duros son estrellas de neutrones y agujeros negros que están devorando a sus compañeras estelares. Pero los espectros blandos de las nuevas estrellas —cuyos fotones tenían energías de una centésima de los de esas otras fuentes de rayos X— indicaban que sus temperaturas eran de sólo unos cientos de miles de kelvins. En una imagen de rayos X coloreada se las ve rojas, mientras que las fuentes de rayos X clásicas salen azules.

La culpa de no haber reconocido en las fuentes superblandas una clase distinta de estrellas hemos de achacarla a los detectores de rayos X hasta entonces empleados, menos sensibles a las energías bajas. Tras los hallazgos del ROSAT, se removieron los archivos y se comprobó que se habían descubierto ya dos fuentes hacía diez años. Fue con el Observatorio Einstein y las halló el equipo de Knox S. Long. Con los nombres de CAL 83 y CAL 87, estaban clasificadas en la misma categoría que otras fuentes intensas de la Gran Nube de Magallanes, aunque los astrónomos notaron que mostraban unos espectros insólitamente blandos.

Por entonces, el grupo de Anne P. Cowley lanzó la idea de que CAL 83 y 87 pudieran ser agujeros negros en acreción, cuyo espectro es a menudo más blando que el obtenido de estrellas de neutrones. Al descubrirse, en los años ochenta, estrellas débiles en ambas fuentes la sospecha arraigó. El brillo de las



3. IMAGEN DE RAYOS X COLOREADA (*a la izquierda*) para ilustrar cómo vería quien tuviese ojos de rayos X una minigalaxia cercana, la Gran Nube de Magallanes. El color rojo indica una radiación de una energía menor (o, lo que es equivalente, una longitud de onda mayor); el azul significa una energía mayor (una longitud de onda menor). Las fuentes superblandas destacan como puntos rojos o

naranjas, mientras que las de rayos X duros salen azules. La estrella superblanda CAL 87 parece verde porque una nube interpuesta de hidrógeno altera su verdadero color. (Algunos puntos rojos son, en realidad, estrellas de tipo solar presentes en primer plano.) La vista en rayos X difiere bastante de una fotografía ordinaria de la misma región (*a la derecha*).

estrellas oscilaba, signo revelador de la presencia de un sistema binario (donde una estrella gira alrededor de la otra). En el curso de una campaña internacional de observación dirigida por Alan P. Smale, se halló en 1988 que el brillo de CAL 83 fluctuaba con un período de apenas más de un día. Un proyecto similar, dirigido por Tim Naylor, obtuvo que el período de CAL 87 era de 11 horas. Esas estrellas compañeras visibles eran el combustible de los hipotéticos agujeros negros. Pesaban, según las diversas mediciones y suponiendo que todavía no estaban esquiladas, entre 1,2 y 2,5 veces lo que el Sol.

Pero las observaciones del ROSAT minaron la credibilidad de la hipótesis. Las fuentes eran mucho más frías que cualquier sistema con agujero negro. Además, su brillo y temperatura revelaban su tamaño. Por física básica sabemos que cada unidad de área de una superficie radia una cantidad de energía proporcional a la cuarta potencia de su temperatura. Dividiendo la emisión total de la estrella por esa cantidad se calcula su superficie y, suponiendo que sea esférica, su diámetro. Resulta que los de CAL 83, CAL 87 y otras fuentes de la Nube de Magallanes miden entre 10.000 y 20.000 kilómetros, que es el tamaño de una estrella enana blanca. Tales objetos multiplican, pues, 500 o 1000 veces el tamaño de una estrella de neutrones o el del “horizonte” en el borde de un agujero negro cuya masa sea de orden estelar. Cuando Trümper habló de las fuentes superblandas en un congreso celebrado en el Instituto de Física Teórica de Santa Bárbara en enero de 1991, varios asistentes hicieron rápidamente este cálculo, como quien dice, en la vuelta de la hoja.

Algunos participantes, Jonathan E. Grindlay entre ellos, sugirieron que las fuentes eran enanas blancas que emitían rayos X conforme rompían olas de gas contra su superficie, a la manera en que las fuentes de

rayos X duros se originan por acumulación de materia sobre una estrella de neutrones o en un agujero negro. Trümper, Jochen Greiner, Günther Hasinger, Nikolaos D. Kylafis y Kiriaki M. Xilouris se decantaron por estrellas de neutrones; propusieron que las fuentes eran estrellas de neutrones que habían acumulado una cubierta gaseosa de unos 10.000 kilómetros de espesor. En ambos enfoques la fuente de energía era, en última instancia, de tipo gravitatorio. La gravedad atraía la materia hacia la estrella enana o neutrónica; la energía del movimiento se convertía en calor y radiación durante las colisiones sobre la superficie estelar o dentro del gas.

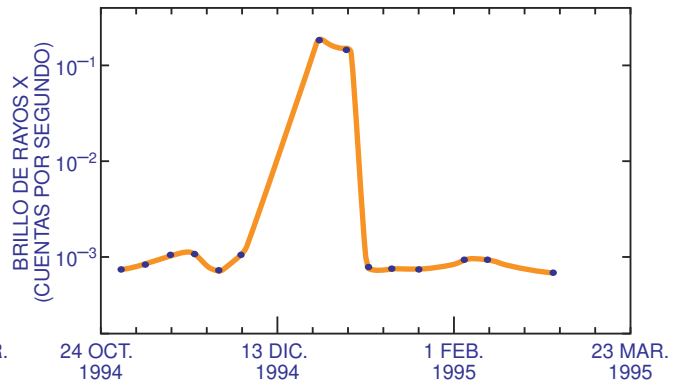
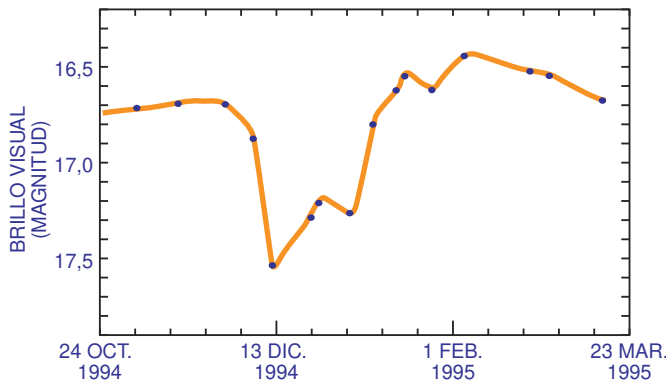
Ambos modelos merecían un estudio más hondo. Van den Heuvel y Rappaport, firmantes de este artículo, contando con Dipankar Bhattacharya, lo emprendieron de inmediato. No tardamos en ver que ninguno de los modelos valía. Las fuentes superblandas emiten una energía similar a las más brillantes estrellas de neutrones acumuladoras de materia en un sistema binario. Sin embargo, las colisiones del gas son, como proceso generador de energía, de 500 a 1000 veces más eficaces sobre las estrellas neutrónicas que sobre las enanas blancas: el efecto de la gravedad en la superficie de una estrella de neutrones es todas esas veces mayor. (Para cuerpos de la misma masa, la energía gravitatoria disponible es inversamente proporcional al radio del cuerpo.) Así, para que una enana igualase la emisión de una estrella de neutrones había de barrer materia de 500 a 1000 veces más deprisa. Con un flujo de acumulación tan frenético —equivalente a varias veces la masa de la Tierra por año— el material que caería sería tan denso, que absorbería todos los rayos X.

La tesis de las estrellas de neutrones con cubiertas gaseosas no estaba exenta de problemas. Un envoltorio de gas enorme (ingente con respecto al radio de 10 kilómetros de la estrella de neutrones) sería inestable; o



4. LAS ESTRELLAS COMPACTAS tienen unas velocidades de escape enormes. Una enana blanca típica (*a la izquierda*) encierra la masa del Sol en el volumen de un planeta como la Tierra. Para liberarse de su gravedad, un objeto ha de moverse a unos 6000 kilómetros por segundo; tal es, aproximadamente, la velocidad que un cuerpo que hiciera el viaje al revés —que

cayese sobre la enana— llevaría en el momento del impacto. Estrellas más densas de la misma masa, como las de neutrones (*en el centro*), retienen los cuerpos con fuerza incluso mayor. La estrella más densa posible, un agujero negro, está definida por una superficie, u “horizonte”, cuya velocidad de escape es la de la luz (*a la derecha*).



5. LA EMISION ALTERNA de la estrella superblanda RXJ0513.9-6951 es señal de que se encuentra entre dos modos de comportamiento. Cuando brilla con luz visible (*a la izquierda*) su producción de rayos X es baja (*a la derecha*), y viceversa. (Las cuentas inferiores de rayos X son límites

superiores.) La estrella se halla en la frontera entre una fuente superblanda (que emitiría sólo rayos X) y una enana blanca rodeada por un gas espeso (que sólo emitiría luz visible). Las ligeras fluctuaciones de la velocidad de toma de gas hacen que la estrella pase de un comportamiento al otro.

se derrumbaría o se dispersaría en segundos o minutos. Pero CAL 83 y CAL 87 llevan brillando desde hace diez años, por lo menos. Y la nebulosa de gas interestelar ionizado que rodea a CAL 83 tardó decenas de miles de años en crearse.

Tras semanas de analizar y evaluar modelos, ninguno de los cuales funcionaba, nos dimos cuenta de cuál era la diferencia crucial entre la acumulación de material sobre las estrellas de neutrones o en los agujeros negros y la acumulación sobre las enanas blancas. Aquella genera mucha más energía que la fusión nuclear de la misma cantidad de hidrógeno, mientras que ésta produce mucha menos. De la energía inherente a la masa (la famosa ecuación de Einstein $E = mc^2$), la fusión libera un 0,7 por ciento. Pero la acreción sobre una estrella de neutrones libera más de un 10 por ciento; en un agujero negro, antes de que el material desaparezca en él, hasta el 46 por ciento. Por contra, la acumulación sobre una enana blanca, con su gravedad más débil, desprende sólo un 0,01 por ciento de la energía inherente.

Por tanto, la fusión nuclear puede resultar en las enanas blancas más potente que la acumulación. Si el hidrógeno se acumula en la superficie de una enana blanca y por alguna razón empezase a “quemarse” (es decir, a experimentar una fusión), se requeriría sólo al año un 0,03 de la masa de la Tierra para generar la luminosidad de rayos X observada. Por ser menor la

densidad de la materia entrante, los rayos X podrían escapar.

La combustión nuclear estable de la materia que cayese explicaría el brillo paradójico de las fuentes superblandas. Pero, ¿era realmente posible algo así? Aquí tuvimos suerte. Mientras buscábamos respuesta se presentó en Santa Bárbara Ken'ichi Nomoto. Este profesor de Tokyo había intentado ya despejar ese mismo interrogante, mas para entender otro fenómeno, las explosiones de nova, estallidos de mucha menor energía que las supernovas que hacen que la estrella brille de pronto 10.000 veces más, si bien no la destruyen. Las novae se producen siempre en binarias cercanas formadas por una enana blanca y una estrella de tipo solar. Hasta el descubrimiento de las fuentes superblandas eran las únicas binarias ceñidas que se conocían.

A lo largo de diez años Nomoto y otros habían venido mejorando las simulaciones primerizas de Bohdan Paczyński y de Anna Żytkow. Confirmaban sus análisis que el hidrógeno asentado sobre la superficie

6. EL CICLO VITAL de una estrella superblanda (*secuencia de arriba*) empieza en un sistema binario de estrellas desigual; termina en una explosión de supernova del tipo Ia. Según la naturaleza de la estrella compañera, la fase superblanda adquirirá, de entre tres formas posibles, una. Si la estrella en cuestión es ordinaria y la órbita ceñida, rebosará de su lóbulo de Roche y cederá el control de sus partes externas a la enana blanca. Se representa este caso en el quinto cuadro de la secuencia (5a). Los diagramas inferiores muestran las restantes posibilidades. Si la compañera es una estrella gigante roja de talla suficiente, desbordará también su lóbulo de Roche (5b). Por último, si es una gigante roja de menor tamaño o con una órbita más amplia, podría alimentar una fuente superblanda con sus fuertes vientos (5c). No todas las fuentes superblandas estallan, pero con las que lo hacen basta para explicar la frecuencia observada de supernovas.

