

JARDINES BOTANICOS Y PARQUES ZOOLOGICOS DE TIEMPOS REMOTOS

INVESTIGACION *y* CIENCIA

SEPTIEMBRE 1999
800 PTA. 4,81 EURO

Edición española de
**SCIENTIFIC
AMERICAN**

**Materias primas
de la vida**

**El misterioso espín
de los nucleones**

Vacunas genéticas

**Informe especial:
futuro de las pilas de combustible**



SECCIONES

3
HACE...
50, 100 y 150 años.

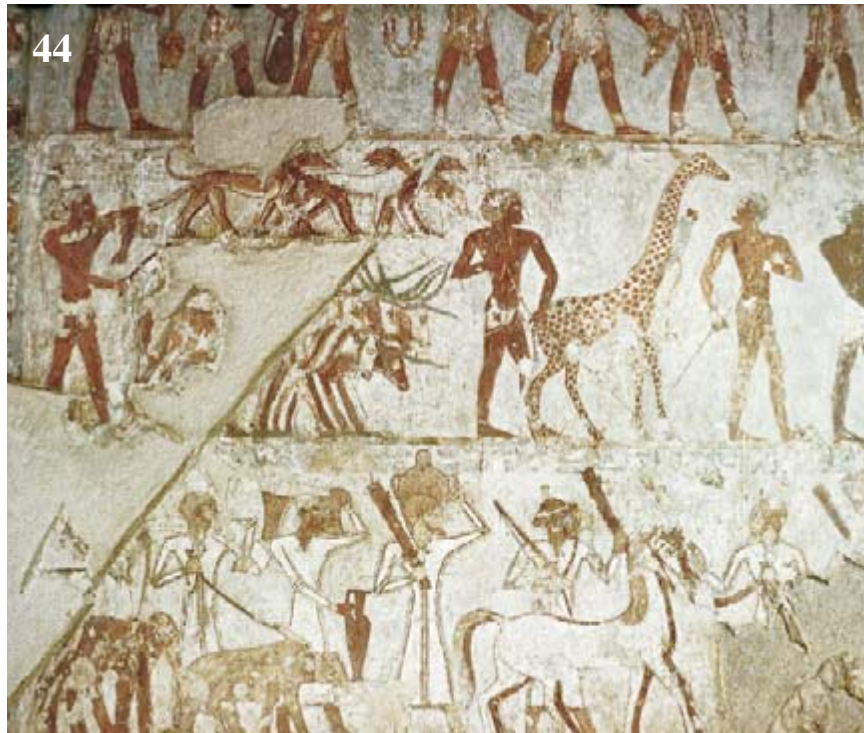
32
PERFILES
Steven Pinker:
Explorador
del cerebro.



34
CIENCIA Y SOCIEDAD
El origen africano
de la humanidad ¿una
teoría anticuada?...
Chapoteos... Magia perforada...
Fractales... Biología
de la evolución... Cucarachas
al volante... Fervores cristianos.



42
DE CERCA
Formas de vida,
por J. M.^a Gili y R. Coma.



CIENCIA EN IMAGENES

Jardines botánicos y parques zoológicos de tiempos remotos

Karen Polinger Foster

Hace más de cuatro mil años que los gobernantes de Egipto y de Mesopotamia, que levantaron pirámides e imperios, se dedicaron por primera vez a un pasatiempo diferente: la colección de animales exóticos y el cultivo de jardines ornamentales.

Materias primas de la vida

*Max P. Bernstein, Scott A. Sandford
y Louis J. Allamandola*

La vida pudiera deber su inicio a moléculas carbonadas que otrora flotaban en nubes interestelares y que cayeron a una Tierra recién formada, transportadas por cometas y meteoritos.

A medida que el planeta se fue enfriando, se fueron agrupando en aminoácidos y proteínas.



14



Vacunas genéticas

David B. Weiner y Ronald C. Kennedy

Fragmentos de ADN y de ARN adecuadamente introducidos en las células del organismo pueden estimular respuestas inmunitarias potentes contra virus, bacterias y hasta cánceres. Estas vacunas genéticas constituyen una esperanza para el tratamiento de algunas enfermedades rebeldes.

24



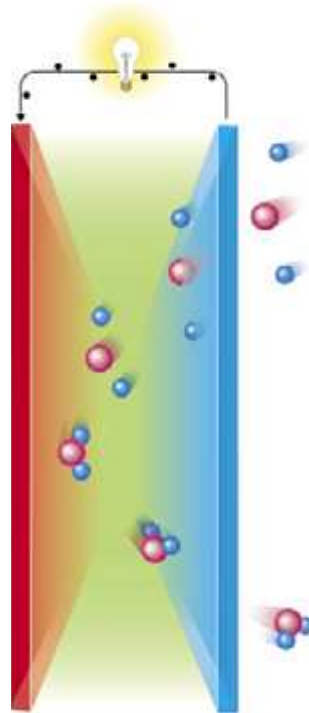
El misterioso espín de los nucleones

Klaus Rith y Andreas Schäfer

El momento angular intrínseco, o espín, es una propiedad fundamental de protones y neutrones. Los modelos simples de tal propiedad son elegantes, pero incorrectos. Su mejora implica lidiar con interacciones endiablidamente complejas entre los quarks y los gluones virtuales de su interior.

52 INFORME ESPECIAL Futuro de las pilas de combustible

Las pilas de combustible llevan más de un siglo generando grandes esperanzas además de electricidad. Son limpias y silenciosas, sólo consumen hidrógeno y oxígeno y su único producto de desecho es el vapor de agua. Su desarrollo ha tropezado con obstáculos económicos, pero las recientes innovaciones técnicas puede que hagan cambiar la situación. Tres especialistas exponen sus apreciaciones, realistas y sorprendentes, sobre las perspectivas de este tipo de generadores.



54 Motores electroquímicos

A. John Appleby

60 Una fábrica de energía en el sótano

Alan C. Lloyd

66 Las baterías de los aparatos portátiles

Christopher K. Dyer

72



Formación de estrellas en galaxias espirales

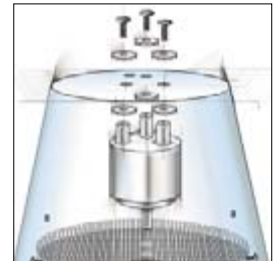
Jordi Cepa Nogué

Las galaxias constituyen los laboratorios astrofísicos donde someter a prueba la influencia de las condiciones del medio interestelar en la generación de estrellas.

SECCIONES

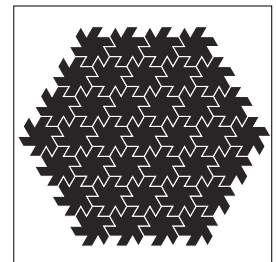
82

TALLER Y LABORATORIO
Detección de la electricidad atmosférica, por Shawn Carlson



85

JUEGOS MATEMÁTICOS
El arte de la teselación elegante, por Ian Stewart



88

NEXOS
Dando la nota, por James Burke

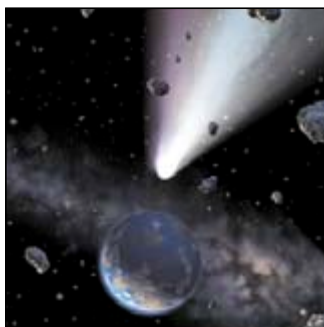
90

LIBROS
Comunicaciones... Química.



96

IDEAS APLICADAS
Fuegos artificiales, por George R. Zambelli



Portada: Alfred T. Kamajian

PROCEDENCIA DE LAS ILUSTRACIONES

Página	Fuente
4-5	Slim Films
6	Slim Films (<i>fondo</i>), John P. Bradley (<i>fotografía</i>)
7	Jeff Hester, Paul Scowen y NASA (<i>arriba</i>), Slim Films (<i>abajo</i>)
8	Slim Films
9	Laboratorio de Propulsión a Chorro/NASA
10	David W. Deamer (<i>izquierda y arriba a la derecha</i>), Slim Films (<i>abajo a la derecha</i>)
11	Slim Films
14-16	Dana Burns-Pizer
17	Velpandi Ayyavoo
18-19	Dana Burns-Pizer
20	Michael Chattergoon
21	Heidi Noland
24-26	Slim Films
27	Slim Films; Heike Thum-Schmielau <i>DESY</i> (<i>fotografía</i>)
28-29	Laurie Grace
45	Museo Británico
46-47	Museo Egipcio de Berlín; fotografía de Jürgen Liepe (<i>izquierda</i>), Rogers Fund y Edward S. Harkness Gift, 1920 (20.3.13), fotografía ©1992 Museo de Arte Metropolitano (<i>derecha</i>); Laurie Grace (<i>mapa</i>)
48	Archivos Werner Forman/Art Resource
49-51	Museo Británico
52-53	George Retseck (<i>dibujo</i>), Instituto Fraunhofer para Solar Energy Systems (<i>arriba a la izquierda</i>), Daimler-Benz (<i>abajo a la izquierda</i>), Plug Power (<i>derecha</i>)
55	George Retseck, fuente: DaimlerChrysler
56	Karl Kordes
57	Ballard Power Systems
58	Richard Hunt
59	George Retseck
61	George Retseck
62	Jock Pottle, cortesía de Fox & Fowle Architects
63	Richard Hunt
64	Cortesía de Plug Power
67-69	George Retseck
73-81	Material gráfico elaborado por Gabriel Pérez Díaz (IAC), imágenes procesadas por Fernando de Pablos Caño (IAC)
82-83	Daniels & Daniels
85	Bryan Christie
86	Bryan Christie; diseño cortesía de Rosemary Grazebrook
87	Bryan Christie
88	Dusan Petricic
96	Slim Films/Bryan Christie

COLABORADORES DE ESTE NUMERO

Asesoramiento y traducción:

Juan Carlos Rodríguez Rubio: *Materias primas de la vida*; Ana M.^a Rubio: *Vacunas genéticas*; Néstor Herrán: *El misterioso espín de los nucleones*; Victoria Laporta: *Jardines botánicos y parques zoológicos de tiempos remotos*; J. Vilardell: *Hace..., Taller y laboratorio e Ideas aplicadas*; Luis Bou: *Juegos matemáticos*; Angel Garcimartín: *Perfiles*; José M.^a Valderas Martínez: *Nexos*

Ciencia y sociedad:

Ana M.^a Rubio: *El origen africano de la humanidad ¿una teoría anticuada?*; Manuel Puigcerver: *Chapoteos y Magia perforada*; Luis Bou: *Fractales útiles*; Joandomènec Ros: *Comer tierra para vivir sano*; José M. García de la Mora: *Fervores cristianos*

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, *Senior Associate Editor*; Timothy M. Beardsley 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, Sarah Simpson y Glenn Zorpette, *Editors*;

Graham P. Collins; Marguerite Holloway, Steve Mirsky y Paul Wallich,

Contributing Editors

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	11.150 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

TELEVISIÓN Y FAMILIA. «Los parpadeos de las pantallas de los televisores han inmovilizado en sus butacas a las familias de casi dos millones de hogares norteamericanos. Evidentemente ya es hora de que alguien comience a medir las repercusiones de esa nueva fuerza social. La Agencia de Radiodifusión y la Universidad de Rutgers han probado documentalmente que el efecto más potente de la televisión lo reciben los más jóvenes, que pasan dos horas cada tarde ante el receptor por término medio. El descubrimiento más sorprendente ha sido la dependencia entre el apego a la televisión y el grupo social: las familias de escasa educación pierden el interés por los programas televisivos antes que las más educadas.»

ENCEFALITIS. «Si nuestras hipótesis actuales son correctas, las enfermedades encefalíticas del hombre y de los caballos puede que representen el más complejo de los ciclos morbosos hasta ahora desentrañados. Es posible que el reservorio del virus de la encefalitis equina occidental sean los ácaros, que lo pasan a sus crías y a los pájaros. En el ciclo endémico principal el virus se propaga entre los pájaros y los mosquitos *Culex*. En el posible ciclo epidémico se infectan hombres y caballos, los cuales transmiten el virus a través del mosquito *Aedes*.»

...cien años

MINERÍA AURÍFERA PROFUNDA. «No cabe la menor duda de que los yacimientos auríferos del Rand, en Sudáfrica, se adentran en las profundidades hasta más allá del punto en que las elevadas temperaturas imposibilitarán las operaciones mineras. ¿Dónde es probable que se halle tal límite? Experimentalmente se ha descubierto un aumento de temperatura de casi tres grados Celsius por cada cien de metros de profundidad vertical. Si suponemos que la máxima temperatura del aire a la que hombres y niños pueden desempeñar un turno de trabajo es de unos 38°C, resulta que la temperatura limita la profundidad de trabajo a unos 3500 metros.»

CARTAGO. «Las excavaciones de M. Gauckler en la antigua ciudad de Cartago, bajo una casa romana datada en los tiempos de Constantino, han puesto al descubierto un templo pagano. En una esquina retirada del vestíbulo se halló

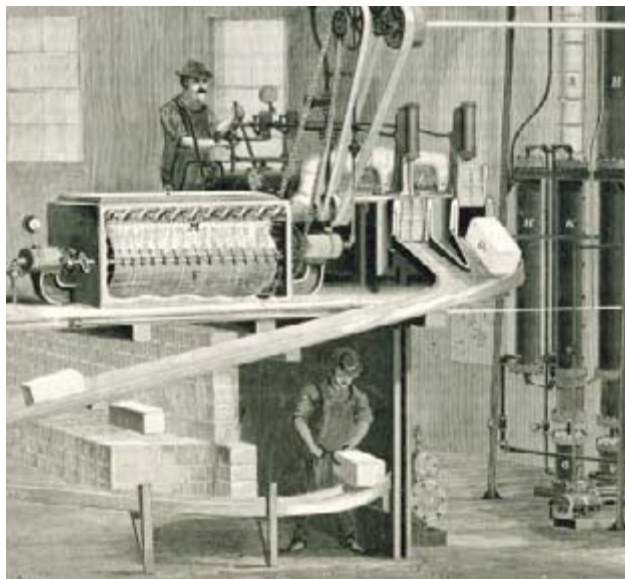
adherida al muro una gran lápida de mármol con una dedicatoria a Júpiter Amón, identificado con la deidad silvana a la que adoraban los bárbaros. Al pie de esa dedicatoria hay una figura votiva en mármol blanco que representa una cabeza de toro que porta entre sus cuernos una media luna con una inscripción dirigida a Saturno y una veintena de bétulos (piedras meteóricas sagradas) y bolas de piedra de carácter votivo.»

FABRICACION DE HIELO. «Por gentileza de D.L. Holden, que ha estado relacionado con la manufactura de hielo artificial durante más de treinta años, y quien con justicia podría ser llamado padre de esa industria, ilustramos una planta de notable interés. En el corazón de este nuevo sistema hay una fina película de amoníaco en evaporación dentro de un cilindro (F), que hace congelarse con gran rapidez al agua del exterior. Pero con la misma rapidez a la que el hielo se forma, éste es troceado mediante un conjunto de cuchillas dispuestas sobre un árbol. El lodo de virutas de hielo es apartado del cilindro por un tornillo sinfín (M) e introducido en las dos prensas hidráulicas que se ven en el grabado, donde es congelado para formar hielo compacto (Q).»

...ciento cincuenta años

AHORRO DE AGUA. «Una dama americana que escribe desde París afirma haber descubierto hace poco el secreto de los hermosos y luminosos cutis que se ven en esa ciudad. Parece ser que las damas francesas consideran al agua como una gran destructora de la piel, por lo que a menos que alguna circunstancia adversa les manche realmente la cara, excluyen por completo el agua de sus tocadores y se contentan con frotarse suavemente con una toalla basta y seca.»

RÉPLICAS VITALES. «En la sesión anual de la American Scientific Association, celebrada en la antigua Universidad de Harvard, el famoso profesor Agassiz subrayó que 'encontramos que los animales jóvenes, de casi toda clase, difieren mucho dentro del huevo de lo que son en su estado de crecimiento cumplido. Hallamos, asimismo, que el joven murciélago, o el pájaro, o la joven serpiente, en ciertos períodos de su crecimiento, se asemejan unos a otros hasta el punto de que es difícil decir cuál sea uno u otro, es decir, es difícil distinguir entre un murciélago y una serpiente'.»



El nuevo sistema Holden para fabricar hielo



Materias primas de la vida

*Puede que la vida deba sus inicios a complicadas
moléculas orgánicas elaboradas
en los corazones helados de las nubes interestelares*

Max P. Bernstein, Scott A. Sandford y Louis J. Allamandola

Los cometas se han considerado durante milenios ominosos augurios para la humanidad. Los astrónomos chinos habían bosquejado 29 variedades de cometas hacia el 400 a.C.; muchas de ellas vaticinaban calamidades. La suposición aristotélica de que los cometas eran un aviso de los dioses se mantuvo vigente en la civilización occidental durante los dos milenios siguientes al apogeo de la cultura griega antigua. Cometas y meteoritos siguen siendo en la actualidad protagonistas de historias cinematográficas de catástrofe y destrucción. Y resulta que la amenaza cometaria no es meramente mitológica. La ciencia moderna ha revelado que a buen seguro una colisión gigante de este tipo fue la que acabó con los dinosaurios y la humanidad contempló impresionada cómo el cometa Shoemaker-Levy 9 se estrellaba contra Júpiter en 1994.

Tan ominosa reputación se torna irónica cuando se considera la posibilidad de que fuese precisamente el difuso polvo espacial la causa de que la Tierra se convirtiese en el planeta acogedor y lleno de vida que es actualmente. Las investigaciones espaciales realizadas desde el inicio de los años sesenta plantearon la hipótesis de que fuesen los cometas y otros residuos de la formación del sistema solar los que recogieran las moléculas de gas y de agua que acabaron por proporcionar la atmósfera y los océanos que convierten el planeta en habitable.

Crece el número de investigadores que piensa que algunas de las materias primas importantes para la creación de vida vagaron por el espacio. Nuestro grupo del Laboratorio de Astroquímica del Centro de Investigación Nacional de Aeronáutica y Administración Espacial (NASA) Ames es de esta opinión. Algunas de estas moléculas orgánicas extraterrestres formarían cápsulas no estancas que pudieron albergar los primeros procesos celulares. Puede que ciertas moléculas absorbieran parte de la radiación ultravioleta solar, resguardando así a otras menos resistentes, y ayudaran a convertir la energía lumínica en sustancia química.

1. MOLECULAS ORGANICAS COMPLEJAS —algunas como las que se encuentran en los seres vivos— abundan en las partes oscuras de las nubes interestelares. Hace más de 4000 millones de años una de estas nubes se condensó en una vorágine que diseminó el Sol y los planetas. Algunas de las frágiles moléculas resistieron el calor violento de la formación del sistema solar al mantenerse en los confines fríos del conjunto, agrupadas en forma de cometas. Los cometas y otros residuos nebulares aportaron posteriormente estas moléculas a la Tierra.

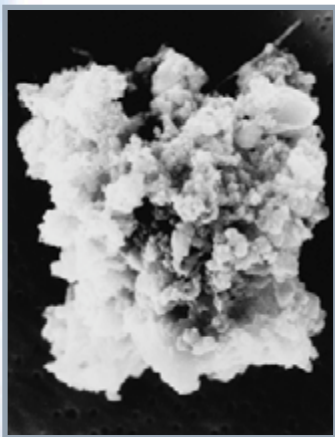


ASTEROIDES

COMETA

POLVO

2. COMETAS Y ASTEROIDES bombardearon con intensidad la Tierra hasta hace unos 4000 millones de años. Incluso ahora, nuestro planeta sigue recogiendo cientos de toneladas de polvo y de meteoritos procedentes de ellos cada día. En muchas partículas de polvo (*fotografía*) —la mayoría de tan sólo una milésima de milímetro de tamaño— abundan las moléculas orgánicas fabricadas en la nube oscura de la que surgió el sistema solar. Es probable que los huecos de la partícula inferior contuvieran hielo, que se evaporó cuando escapó de su cometa de origen.



PARTICULA DE POLVO

METEORITO

En estas circunstancias, la plataforma para la vida se formó hace más de 4000 millones de años cuando una nube interestelar fría y oscura se condensó en una vorágine de polvo y gas ardiente que engendró nuestro sistema solar. La Tierra se moldeó no mucho después que el Sol, hace unos 4500 millones de años, y se pensó durante mucho tiempo que había retenido agua y los ingredientes para la vida desde entonces. Pero actualmente se sospecha que inicialmente la Tierra estaba caliente y era seca y estéril. Ahora está claro que las partículas espaciales bombardearon el planeta joven y crearon cataclismos equivalentes a la detonación de incontables bombas atómicas. Es posible incluso que la Luna sea un trozo de la Tierra desprendido por la colisión de un objeto del tamaño de Marte [véase “El legado científico del proyecto Apolo”, G. Jeffrey Taylor; INVESTIGACIÓN Y CIENCIA, septiembre, 1994]. Impactos de este tipo, comunes hasta hace unos 4000 millones de años, malograron a buen seguro cualquier vida bisona que tratase de existir previamente.

Mientras que nuevas investigaciones adelantan la época en que el planeta se hizo habitable, otros descubrimientos atrasan la de los primeros signos de vida. El descubrimiento de microfósiles en rocas antiguas de Australia y de Africa del Sur demuestra que la vida terrestre ya era abundante hace unos 3500 millones de años. Rocas todavía más antiguas de Groenlandia, de 3900 millones de años de antigüedad, contienen rastros de isótopos de carbono que tan sólo pueden haber pertenecido a un organismo vivo. Dicho de otro modo, tan sólo unos 100 millones de años después del momento más remoto en que la Tierra pudo haber sustentado vida, había ya una presencia orgánica suficiente para que

actualmente se conserven testimonios suyos. El escaso tiempo disponible para la emergencia de la vida implica el posible concurso de moléculas procedentes del espacio.

Los orígenes de los orígenes

El primer organismo unicelular del planeta es probable que debiera su aparición a una serie de reacciones químicas que originaran moléculas carbonadas del tipo de los aminoácidos. En condiciones adecuadas, los aminoácidos se concatenan para formar proteínas, que son los ladrillos de la vida. Stanley L. Miller, mientras estudiaba en el laboratorio de Harold C. Urey en la Universidad de Chicago a principios de los años cincuenta, fue uno de los primeros en mostrar cómo se debieron originar estos aminoácidos originarios. Hizo saltar chispas parecidas a los rayos a través de una “atmósfera” de moléculas sencillas en las que abundaba el hidrógeno y que estaban encerradas en un matraz de vidrio. Pasadas unas pocas semanas, la reacción produjo una serie de moléculas orgánicas —entre ellas aminoácidos— en un segundo matraz situado debajo y que simulaba las aguas oceánicas.

Datos posteriores han puesto en tela de juicio los componentes de la atmósfera de Miller, pero su teoría de la sopa primordial como mecanismo por el que se generaron los ingredientes de la vida en una charca caliente o en un océano de la superficie de la Tierra tiene todavía partidarios enfervorizados. Hay investigadores que han trasladado la olla de la sopa al fondo del mar, donde dicen que nubes lóbregas de minerales expulsadas por manantiales termales pudieran haber generado las moléculas precursoras de la vida. Pero crece el número de quienes buscan

el origen de las moléculas portadoras de vida en un sitio completamente diferente, en el espacio.

Juan Oró propuso la idea del origen extraterrestre en 1961, teoría que fue reavivada por Sherwood Chang en 1979. Christopher R. Chyba, del Instituto de Búsqueda de Inteligencia Extraterrestre (SETI) en Mountain View, California, es desde 1990 el paladín de la idea de que cometas pequeños, meteoritos y partículas de polvo interplanetario transportaron el agua y los gases atmosféricos que tiene el planeta desde el espacio.

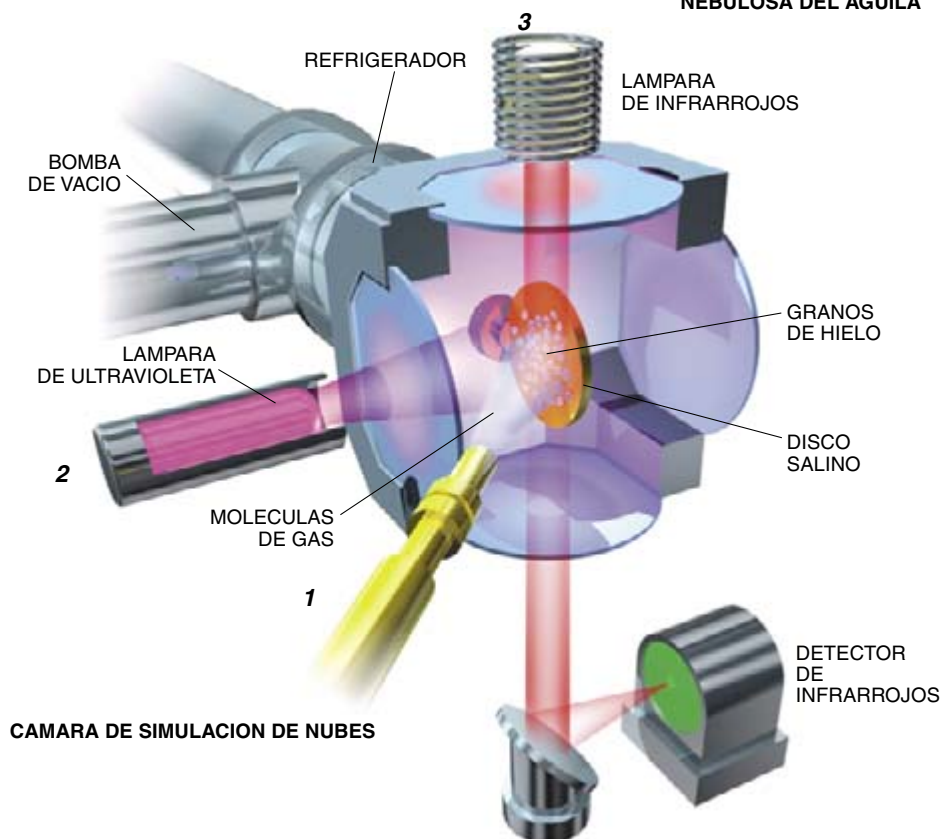
No hay unanimidad sobre el origen de los océanos terrestres, pero son muchos quienes coinciden en que los restos interestelares contribuyeron a ello. Se estima que cientos de toneladas de polvo caen sobre la superficie del planeta diariamente. Estos copos minúsculos —el más grande no es mayor que un grano de arena— se esparcen por el sistema solar interior y a veces atraviesan a gran velocidad el cielo nocturno como estrellas fugaces. Cada vez hay más pruebas de que, además de transportar los gases y el agua que hicieron de la Tierra un planeta habitable, los cometas y sus primos sazonaron la sopa primordial con moléculas orgánicas del mismo tipo que las de los seres vivos actuales.

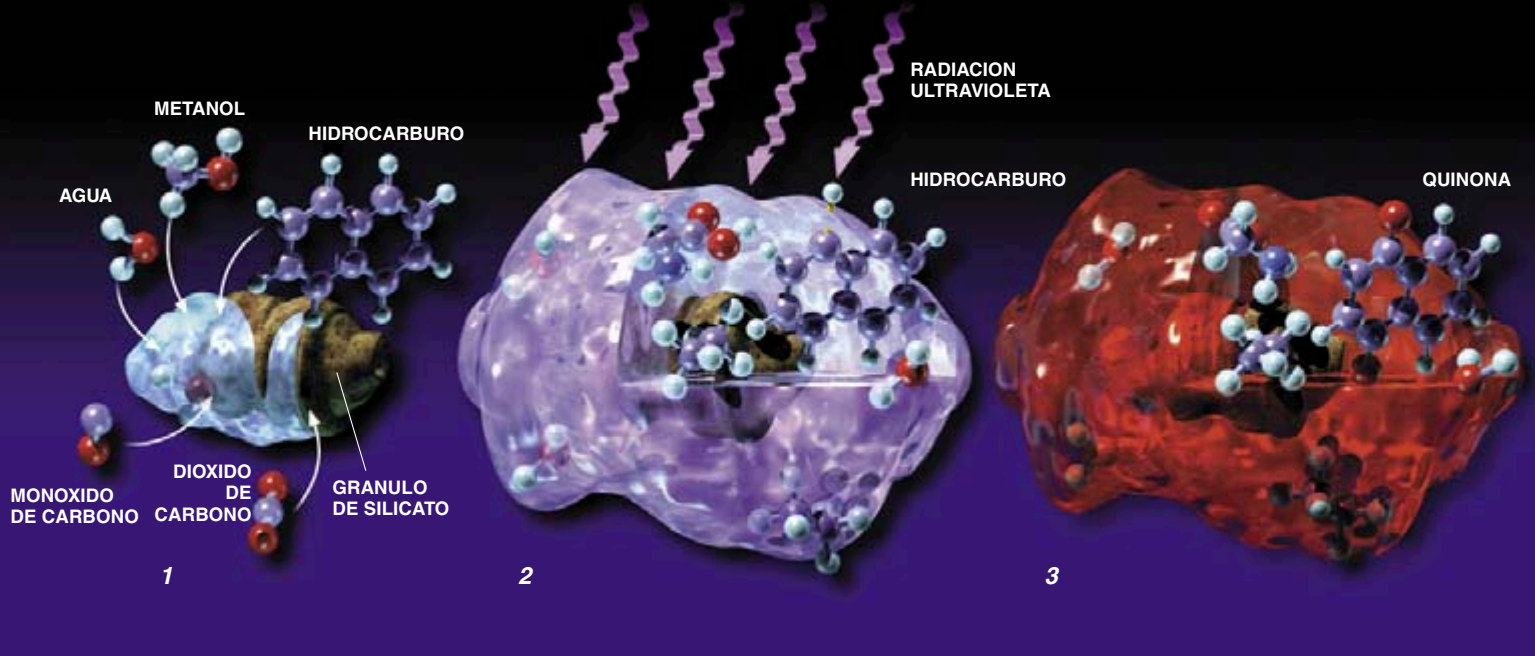
Observaciones recientes de los célebres cometas Halley, Hale-Bopp y Hyakutake revelaron que estos helados vehículos están repletos de componentes orgánicos. Cámaras situadas a bordo de las astronaves Giotto y



NEBULOSA DEL AGUILA

3. LAS SIMULACIONES de laboratorio remedan lo que ocurre en las partes frías de las nubes interestelares como la Nebulosa del Aguila (arriba a la derecha). Un refrigerador y una bomba especiales generan en el interior de una cámara metálica del tamaño de una caja de zapatos un vacío comparable al del espacio, extremadamente frío (derecha). Una niebla de moléculas gaseosas sencillas rociada desde un tubo de cobre se congela sobre un disco salino, que funciona como el núcleo silíceo de un grano de hielo en el espacio (1). Una lámpara ultravioleta baña el hielo recién formado en una dosis potente de radiación parecida a la de las estrellas (2). Después se proyecta a través del hielo una luz infrarroja, emitida también por las estrellas, para determinar qué moléculas se encuentran congeladas en su interior (3). La comparación entre los espectros de absorción infrarroja revela que la composición del hielo del laboratorio tiene un sorprendente parecido con la del cósmico.





4. EL HIELO INTERESTELAR comienza a formarse cuando las moléculas de agua, de metanol y de hidrocarburos se congelan en gránulos de silicato, parecidos a la arena, que se mueven sin rumbo por las nubes interestelares densas (1). Las radiaciones ultravioletas de las estrellas próximas rompen

algunos de los enlaces químicos de los productos congelados mientras que el grano de hielo alcanza un tamaño no mayor de una milésima de milímetro (2). Las moléculas rotas se recombinan en estructuras como las quinonas, que nunca se formarían de otro modo (3).

Vega captaron en 1986 imágenes de material oscuro en la superficie del cometa Halley, que recuerda al querogeno presente en algunos meteoritos, y los espectrómetros de masas vislumbraron moléculas ricas en carbono. Telescopios terrestres que inspeccionaban la cabellera y la cola de los cometas Hyakutake y Hale-Bopp distinguieron en ellas más recientemente varios compuestos orgánicos específicos, incluidos metano y etano. Varias sondas espaciales explorarán otros cometas durante los próximos veinte años.

Cuando un cometa pasa a través del sistema solar interior parte de él se evapora en forma de gas y de polvo, una porción de los cuales es recogida por la atracción gravitatoria de la Tierra. Los investigadores de la NASA hacen acopio de partículas cometarias de la atmósfera superior mediante aeronaves ER2, que vuelan el doble de alto que un avión a reacción comercial. A unos 19.000 metros de altitud, el polvo espacial se adhiere a unas placas de plástico cubiertas de aceite dentro de unos colectores situados bajo las alas de los aviones. Uno de nosotros (Sandford), entre otros investigadores que analizaron estas partículas microscópicas, encontró que algunas contenían hasta un 50 por ciento de carbono orgánico, más que cualquier otro objeto extraterrestre conocido. Incluso con una composición de tan sólo un 10 por ciento de carbono

de media, el polvo espacial traería cerca de 30 toneladas de material orgánico a la Tierra cada día.

Los fragmentos de los asteroides que caen en la Tierra en forma de meteoritos se conocen mejor que los cometas distantes y que el polvo microscópico. Están compuestos mayoritariamente de metales y de roca, pero algunos de ellos también tienen bases nucleicas, cetonas, quinonas, ácidos carboxílicos, aminas y amidas. Del montón de sustancias orgánicas complejas extraídas de los meteoritos, las setenta variedades de aminoácidos han atraído la mayor atención. Sólo ocho de ellos pertenecen a los veinte empleados por las células vivas para formar proteínas, pero los de origen extraterrestre poseen un rasgo característico de la vida terrestre.

Los aminoácidos existen en parejas de imágenes especulares, una propiedad molecular denominada quiralidad. Igual que sucede con las manos de una persona, que se parecen cuando se presiona una palma contra la otra, pero se diferencian si se sitúa la palma contra los nudillos, los aminoácidos individuales pueden ser de forma levo o de forma dextro. Por razones poco conocidas y con pocas excepciones, los aminoácidos de un organismo vivo son de forma levo. Una de las críticas hechas a los experimentos de Miller es que producen igual número de ambas formas. Aquí es donde muestran su ventaja los aminoáci-

dos extraterrestres. John R. Cronin lleva publicando desde 1993 datos que demuestran la existencia de un ligero exceso de formas levo en varios aminoácidos extraídos de dos meteoritos diferentes. Hay quienes creen que la conformación levo de la vida es pura casualidad, pero los ingredientes iniciales extraterrestres pudieran haber predeterminado esta peculiaridad molecular.

Puede que los aminoácidos sean las moléculas biológicamente más relevantes de los meteoritos, pero no son las más abundantes. La mayoría del carbono está inmovilizado en querogeno, un material que se compone en parte de hidrocarburos aromáticos policíclicos, sustancias mejor conocidas quizá como agentes contaminantes y carcinógenos. Producto de combustión que se encuentra en las carnes asadas a la parrilla muy quemadas y en los tubos de escape de los automóviles, estos hidrocarburos especiales causaron gran revuelo cuando se detectaron en el controvertido meteorito de Marte ALH 84001, del cual se dice que alberga pruebas de microbios marcianos fosilizados.

¿Horno o congelador?

Aunque esté claro que cometas, meteoritos y partículas de polvo aportan moléculas interesantes a la Tierra, averiguar dónde se originan estas moléculas ha sido más difícil.

Se ha propuesto la idea de que las reacciones que se producirían en el agua líquida que gotease por el interior de los cometas y de los asteroides de los que provienen algunos meteoritos serían las responsables parciales de su química orgánica. Pero estas reacciones apenas podrían explicar las partículas de carbono congeladas de las nubes interestelares negras.

Gana adeptos la opinión de que el hielo cometario es un residuo de la nube oscura originaria que se condensó en la nebulosa solar ardiente, la vorágine de gas y de polvo que generó el sol y los planetas. El hielo se conservó porque estuvo protegido en el congelador constituido por los bordes exteriores del sistema. No le faltan defensores al aserto más antiguo de que las moléculas orgánicas extraterrestres se originaron en el interior de la nebulosa. Según esta teoría, el hielo de la nube originaria se evaporó, las moléculas se disgregaron y volvieron

a reagruparse durante la tumultuosa formación de los planetas.

Las moléculas que fueron sometidas a estas torturas dentro de la nebulosa solar y que luego pasaron a formar parte de los cometas deberían mostrar las señales isotópicas comunes a los planetas y a los demás objetos del sistema solar interior. Pero, por el contrario, el polvo de la mayoría de los cometas está enriquecido con elementos poco abundantes, como el deuterio (un isótopo del hidrógeno con un neutrón extra). El enriquecimiento de deuterio es una característica de las reacciones químicas en el ambiente de baja temperatura del espacio interestelar; las temperaturas permanecen clavadas allí justo por encima del cero absoluto y no hay suficiente energía más que para disgregar unas cuantas moléculas formadas a partir de los isótopos más pesados, que se van acumulando con el tiempo.

Es casi seguro que el verdadero origen de la mayoría de los cometas

y meteoritos combina el congelador interestelar con el horno de la nebulosa. Esta dualidad es manifiesta en el polvo espacial, que abarca sustancias alteradas por grandes calores junto a otras que no lo han sido. Pese a todo, la gran cantidad de datos reunida durante los dos años de las observaciones de los cometas Hale-Bopp y Hyakutake ha reforzado la opinión de que los cometas proceden del medio interestelar. Docenas de investigadores han detectado similitudes sorprendentes entre determinadas moléculas y la abundancia de deuterio de los cometas con lo que es de común observación en los granos de hielo interestelares. El estado de giro de los átomos de hidrógeno mide los avatares experimentados por el hielo; el del hidrógeno contenido en el agua del cometa Hale-Bopp confirma que el hielo se formó aproximadamente a 25 kelvin (-248 grados centígrados) y que nunca alcanzó una temperatura superior.

¿Materias primas o vida auténtica?

Hay una gran diferencia entre el hecho de que las materias primas de la vida se dirijan a la Tierra a lomos de cometas y meteoritos y el de que sean organismos vivos del espacio quienes caigan y colonicen el planeta, una idea antigua conocida como panspermia. El médico italiano Francesco Redi desacreditó en el siglo XVII la idea, durante tanto tiempo aceptada, de que podía surgir vida de la materia inanimada, estableciendo que la vida sólo puede venir de la vida. El químico sueco y premio Nobel Svante A. Arrhenius propuso en 1908 que la radiación de las estrellas podría llevar gérmenes microscópicos de un mundo a otro.

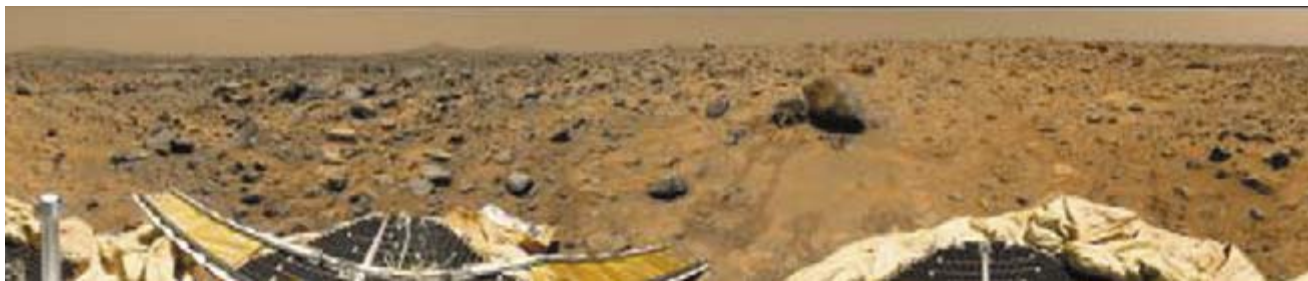
No hubo muchos colegas suyos que estuvieran dispuestos a considerar tal posibilidad, por lo menos hasta hace poco. Informes controvertidos sobre la existencia de microbios fósiles en el meteorito marciano ALH 84001 avivaron la teoría de la panspermia en 1996, mientras que un informe del mismo año abona la idea de que los planetas interiores pudieran haber intercambiado toneladas de materia en los últimos miles de millones de años. Pese a todo, pocos son los que creen que en Marte hubiese vida alguna vez

y muchos menos quienes admitan que los organismos de Marte pudieran haber sobrevivido el viaje de 80 millones de kilómetros hasta la Tierra. Aunque un microbio pudiera resistir el impacto que lo arrojase al espacio, las mortales radiaciones en él presentes y el vacío bajo cero actuando durante los miles de años de viaje lo destruirían con toda probabilidad.

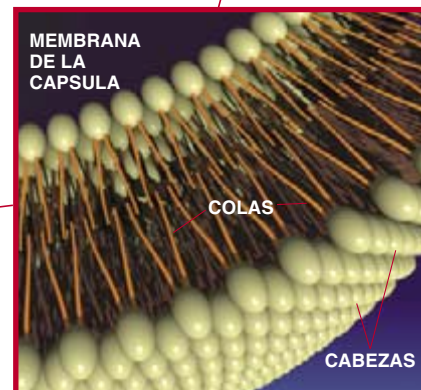
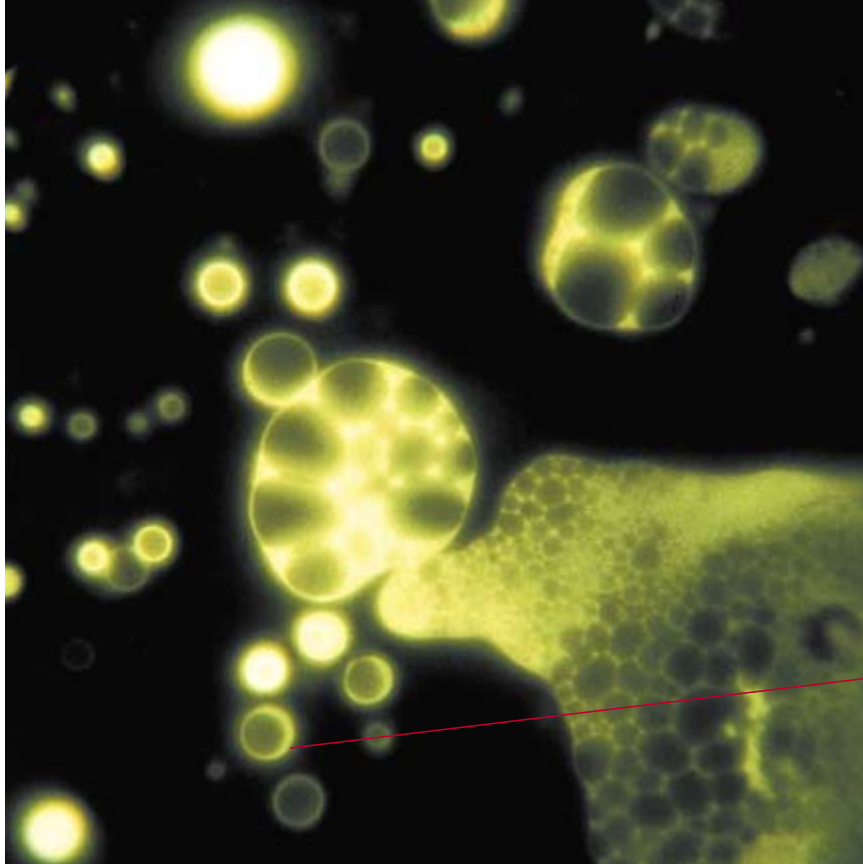
La colonización desde Marte parece innecesariamente complicada en estas condiciones, cuando la vida pudiera haber comenzado aquí mismo en la Tierra. Puede que la vida apareciese en Marte de forma independiente si poseyó en otro tiempo las condiciones aptas para ello, pues los cometas y los meteoritos que sembrarían la Tierra con agua y con moléculas orgánicas habrían proporcionado el mismo servicio a todos los cuerpos del sistema solar.

En diciembre una sonda nueva de la NASA buscará señales de vida en el suelo de Marte. Pero aunque apareciese vida en el planeta rojo, demostrar que tales organismos pudieran sobrevivir a un viaje desde su planeta natal y adaptarse a la Tierra es otra historia.

—M.P.B.



Paisaje marciano en 1997



5. LOS HIDROCARBUROS DEL ESPACIO pudieron servir de escudo a las moléculas precursoras de la vida. Los hidrocarburos de meteoritos (*verde*) —y productos similares hechos en el laboratorio en condiciones interestelares (*azul*)— se organizan en cápsulas agujereadas al mezclarse con agua. Las cabezas

hidrófilas de las moléculas apuntan hacia el exterior de la membrana de la cápsula, al tiempo que las colas hidrófobas se ocultan en el interior (*inferior a la derecha*). Las esferas también emiten fluorescencia, lo que indica que dentro hay atrapados productos carbonados.

Si el hielo cometario proviene de las nubes interestelares, es fácil admitir que las moléculas orgánicas lo hicieran también. Los astrónomos ven señales de compuestos orgánicos por todas partes del universo, especialmente entre las nebulosas. Un decenio de investigaciones ha revelado que los hidrocarburos aromáticos policíclicos son los productos carbonados más abundantes en el universo, en cuyos enrejados moleculares se contiene hasta el

veinte por ciento del carbono galáctico total.

La deducción de la composición de partículas microscópicas de polvo y de hielo que se encuentran alejadas de nosotros cientos de años luz es posible en parte merced a observaciones astronómicas de nubes como la nebulosa del Aguila. Estas nubes oscuras absorben algo de la radiación infrarroja de las estrellas cercanas. Cuando el resto de la radiación alcanza a los detectores terrestres y

se separa en un espectro, la luz que falta en ciertas longitudes de onda corresponde a los enlaces químicos particulares que absorbieron la luz.

Nubes en el laboratorio

Mediante la comparación del espectro infrarrojo de las nubes del espacio con mediciones de réplicas del hielo interestelar hechas en el laboratorio se ha determinado que los granos de hielo de las nubes

Misiones a los cometas

Stardust

Primeras muestras de material cometario

Una sonda volará a través de la cabellera gaseosa del **cometa Wild 2** en el año 2004 y usará un aerogel para recolectar muestras de polvo.

Retornará a la Tierra en el 2006.
Lanzamiento: 7 de febrero de 1999
(NASA)

Rosetta

El estudio cometario más completo

Un satélite se reunirá con el **cometa Wirtanen** en 2013 y pasará once meses realizando mediciones desde la órbita en que se situará, al tiempo que un vehículo aterrizará y sondeará la superficie del cometa.

Lanzamiento: 2003
(Agencia Espacial Europea)

Champollion

Un pionero fallido

La NASA consideró durante un tiempo el lanzamiento independiente en el 2003 de un satélite que habría enviado un vehículo que aterrizará sobre el **cometa Tempel 1**, y analizara su composición en el 2005. El proyecto se ha cancelado en julio de 1999 por dificultades presupuestarias.