

# LA ECUACIÓN DE DRAKE, TREINTA AÑOS DESPUÉS

EL INICIO —EN LA SIMBÓLICA FECHA DEL 12 DE OCTUBRE DE 1992— POR PARTE DE LA NASA DE UN PROGRAMA DE ESCUCHA SISTEMÁTICA DE POSIBLES SEÑALES LANZADAS AL ESPACIO POR SERES INTELIGENTES, HA PUESTO DE NUEVO DE ACTUALIDAD EL TEMA DE LA MULTIPLICIDAD O UNICIDAD DE LAS CIVILIZACIONES EN EL COSMOS: HACE AHORA TREINTA AÑOS QUE UN SEMINARIO DE CIENTÍFICOS, COORDINADO POR EL ASTRÓNOMO NORTEAMERICANO FRANK DRAKE, ABORDÓ POR PRIMERA VEZ ESTE TEMA CLAVE EN FORMA ORGANIZADA. LA REEVALUACIÓN DE LA DISCUTIDA ECUACIÓN DE DRAKE A LA LUZ DE LOS ÚLTIMOS AVANCES EN PLANETOLOGÍA Y PALEOMICROBIOLOGÍA CONDUCE A UN NÍTIDO DIAGNÓSTICO: SERÍA INCREÍBLE QUE HOMO SAPIENS FUESE LA ÚNICA ESPECIE INTELIGENTE DEL UNIVERSO.

FRANCISCO ANGUITA

En 1961, en la localidad de Green Bank, en Estados Unidos, un grupo de astrónomos coordinados por Frank Drake, de la universidad de Cornell, organizó un seminario para tratar de cuantificar las probabilidades de existencia de civilizaciones extraterrestres. El resultado material más sobresaliente de la reunión fue una fórmula matemática (conocida desde entonces como *Ecuación de Drake*), en la que se incluían todos los factores reconocidos como teóricamente importantes para la aparición, evolución y organización de la vida en sociedades inteligentes. La ecuación de Drake fue popularizada por otro de los integrantes del seminario, Carl Sagan, en su obra «Cosmos».

Hoy, treinta años después de Green Bank, se han producido en astronomía, planetología y biología avances lo bastante significativos como para que merezca la pena efectuar una revisión de al menos algunos de los parámetros que aparecen en la ecuación. Por otra parte, la revitalización de diversos pro-

yectos de comunicación con eventuales civilizaciones extra-solares ha vuelto a poner de actualidad un tema cuya importancia científica y psicológica no puede ser exagerada: ¿Estamos solos<sup>(1)</sup> o somos una más de las innumerables civilizaciones que pueblan una de las incontables galaxias? ¿Cómo podemos saberlo, o al menos limitar la incertidumbre?

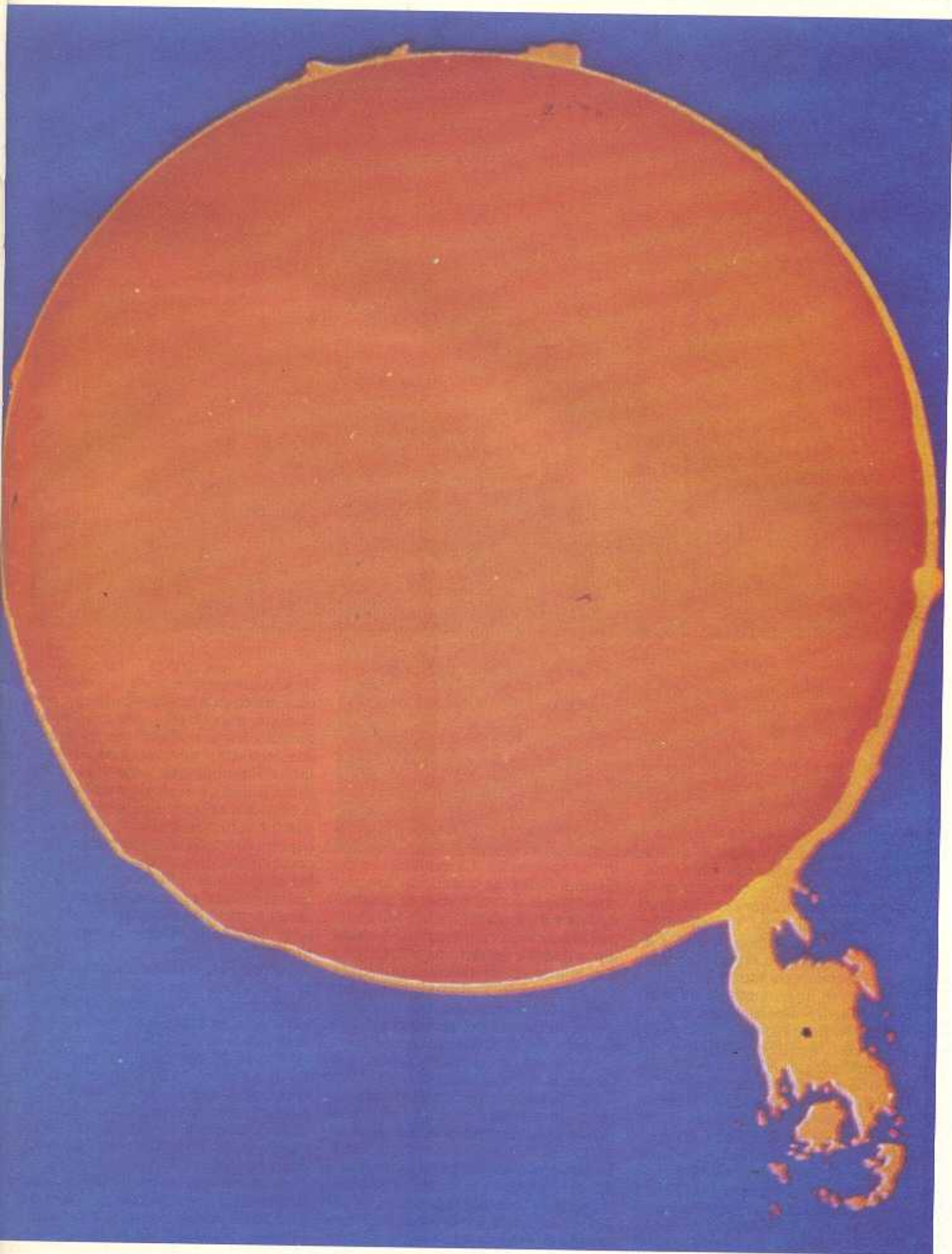
Drake y su grupo se limitaron a la estimación estadística del número  $N$  de civilizaciones inteligentes en nuestra galaxia. Para ello multiplicaron el número de estrellas de ésta por una serie de factores limitantes que cumplían el papel de filtros, ya que cada uno de ellos hacía decrecer la probabilidad final:

$$N = N_* f_p n_c f_i f_e f_L$$
siendo  $N_*$  el número de estrellas de la Vía Láctea;  $f_p$  la fracción de esas estrellas con planetas en órbita;  $n_c$  la fracción de planetas de un sistema que son aptos para el desarrollo de la vida;  $f_i$  la fracción de los planetas anteriores en los que realmente aparece la vida;  $f_e$  la fracción de planetas con biosfera

en los que surge vida inteligente;  $f_c$  la fracción de los anteriores en que se alcanza el estadio de civilización técnica y  $f_L$  el lapso de la existencia de un planeta durante el cual éste es habitado por una civilización técnica. Analicemos estos factores. Hay acuerdo en que la cifra de estrellas en nuestra galaxia es ligeramente superior a  $10^{11}$ ; Sagan propone 400 000 millones. El segundo factor  $f_p$  ha sido objeto de muchas estimaciones en la década de los ochenta. Sagan calcula que un

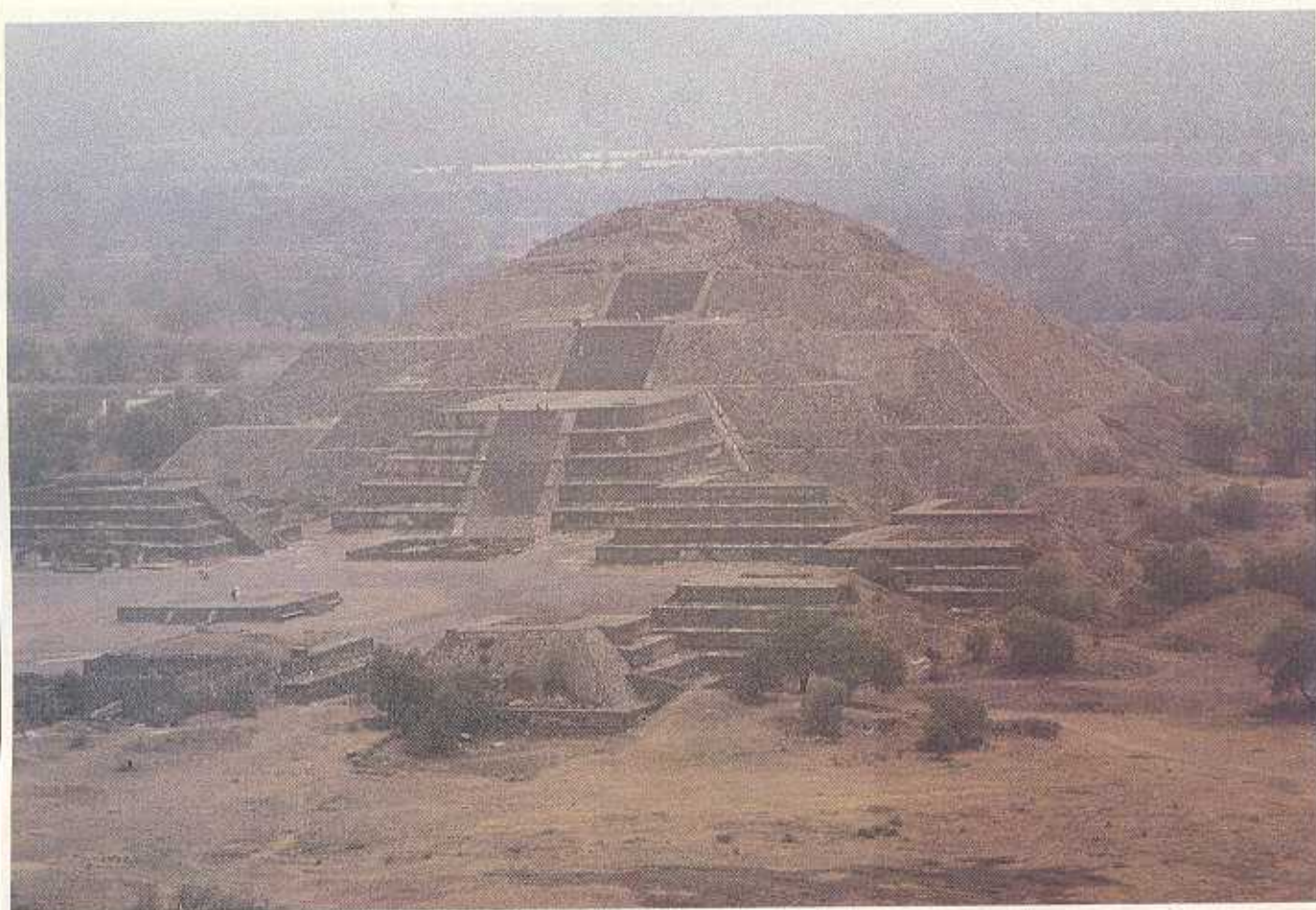
*Figura 1. El Sol, motor de la biosfera terrestre. Nuestra estrella ha estado fundiendo hidrógeno desde hace 5 000 millones de años, y lo seguirá haciendo durante un periodo similar. Uno de cada cinco estrellas es de tipo solar, lo que significa que estará emitiendo energía de forma estable durante un tiempo suficiente para calentar posibles planetas en su órbita. A escala, la Tierra tendría el tamaño del punto negro que aparece sobre la fulguración, una erupción hiperenergética en la atmósfera solar.*







**FRANCISCO ANGUITA** es profesor de geología planetaria en el departamento de petrología y geoquímica de la Universidad Complutense de Madrid.



30 % de las estrellas tiene planetas en órbita. Hartmann propone unos límites muy amplios, entre 1 y 30 %, y Gehrz y colaboradores,<sup>(2)</sup> un 35 %. Estos cálculos se realizan a partir de los modelos actuales de formación de nuestro sistema planetario, y teniendo en cuenta que un 20 % de las estrellas son similares al Sol (fig. 1) en masa y temperatura; y que otro 20 % son estrellas binarias (dobles) con órbitas mutuas de tipo planetario (casi circulares), por lo que se supone que estos sistemas podrían tener planetas en órbita. Lo cierto es que la detección de discos de partículas en torno a estrellas jóvenes se ha convertido en rutina.<sup>(3)</sup>

El número  $n_c$  de planetas de un sistema que pueden albergar vida ha sido evaluado en forma muy variable desde que, en 1960, Lederberg definió el término *exobiología*. Algunas evaluaciones iniciales como la de Michael H. Hart, de la NASA, eran enormemente antropocéntricas: se definía una ecosfera, una corona esférica en la que tendrían que estar situados los planetas aptos para la vida. Para estrellas tipo Sol, Hart proponía una ecosfera entre 0,95 y 1,01 unidades astronómicas (distancias Tierra-Sol), lo que restringía la posibilidad de vida inteligente similar

Figura 2. Las civilizaciones de *Homo sapiens* han marcado el planeta desde hace al menos 5 000 años. En la imagen, la Pirámide del Sol, monumento emblemático de la civilización azteca, en la ciudad ceremonial de Teotihuacán, cerca de Ciudad de México.

a la terrestre  $n_p$  planetas que estuviesen casi exactamente a *distancia terrestre* de su estrella. La exploración del Sistema Solar ha permitido ampliar esta perspectiva, al revelar la posibilidad de temperaturas aptas para el desarrollo de vida en puntos del Sistema tan alejados como Marte y Titán, gracias a la retención de calor infrarrojo por las atmósferas planetarias existentes o pasadas: el *efecto de invernadero* que el mismo Sagan propuso por vez primera. Estimaciones recientes<sup>(4)</sup> proponen ecosferas entre 0,9 y 1,5 UA, que incluye las órbitas de la Tierra y Marte. Teniendo esto en cuenta, Sagan sugiere un valor de 2 para  $n_c$ : dos planetas de cada sistema podrían albergar vida.

El mismo Sagan propone un valor de 0,3 para el siguiente factor,  $f_l$ . Se basa, sin profundizar demasiado, en la supuesta evidencia experimental de que la vida es fácil de construir mediante

síntesis abiogénicas. Este es uno de los campos en el que ha habido diversos cambios importantes, por lo que volveremos después sobre él en detalle. Los dos factores siguientes, a saber  $f_i$ , la probabilidad de que surja vida inteligente (fig. 2), y  $f_c$ , la de desarrollo de civilizaciones avanzadas (definidas como aquéllas que utilizan radiotelecopios, sistemas imprescindibles para comunicarse con otras) reciben un valor conjunto de 0,01 por parte de Sagan que, como vemos, estima que sólo en un planeta de cada cien en los que surge la vida se desarrolla tecnología avanzada.

Y por último, el factor de pervivencia  $f_L$ , que se calcula dividiendo el periodo de tiempo durante el que hay radiotelescopios (en este momento, algunas décadas, o sea  $n \times 10$  años) por el de existencia del planeta (unos pocos miles de millones de años, o sea  $n \times 10^9$  años), de lo que resulta  $f_L = 10^{-8}$ . Hay que subrayar que éste es un cálculo pesimista, que supone que nuestra civilización va a autodestruirse en un tiempo corto.

En total, la aplicación de la ecuación de Drake a nuestra galaxia por parte de Carl Sagan resulta en unas diez civilizaciones avanzadas en la Vía Láctea.

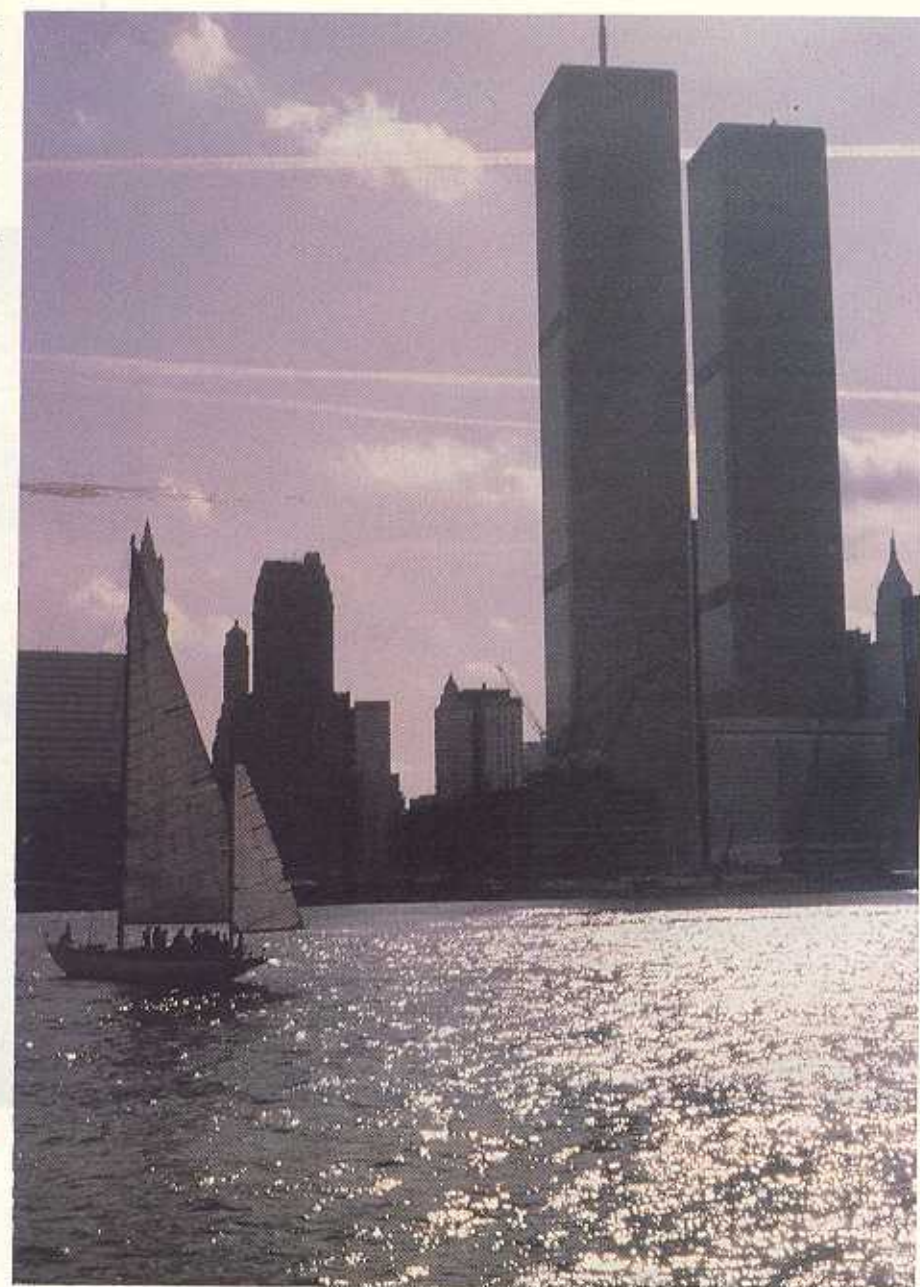


Pero el autor advierte de la enorme incertidumbre que surge del último factor. Y en efecto, un acontecimiento político como el fin de la guerra fría ha hecho que el espectro de una confrontación nuclear global parezca hoy más lejano. Si el hombre, o sus variantes génicas futuras, muriese *de muerte natural*; es decir, si la especie *Homo sapiens* durase lo que dura una especie media (unos 10 millones de años), entonces  $f_L = 10^7/10^9 = 0,01$ , y  $N = 10^7$ . Diez millones de especies con las que comunicarnos. Sólo en nuestra galaxia.

### LA ECUACIÓN Y LA NUEVA CIENCIA: EL PROBLEMA DE LA INTELIGENCIA

El valor de la última variable viene determinado por la sabiduría, o la conveniencia, de los estadistas. Pero los otros factores requieren enfoques científicos, aunque varios peldaños sigan siendo hoy tan difíciles de concretar como en 1961. Por ejemplo, la probabilidad de aparición de vida inteligente, o en otras palabras la probabilidad de aparición de lo complejo. En la Tierra, el intervalo que transcurre desde el origen del planeta hasta la aparición de las primeras células complejas (nucleadas) es de unos 3 000 millones de años. Si elegimos un nivel mayor de complejidad, como es la existencia de animales (seres de reproducción sexual, cavidad interna y tejidos especializados) deberemos añadir otros 300 millones de años; en otros 250 millones de años más aparecen los vertebrados. Es difícil decidir cuándo aparece la *inteligencia* (ya que éste es un término de definición complicada), pero sí podemos llegar al acuerdo de que, en la Tierra, un nivel importante de complejidad se ha alcanzado en aproximadamente la tercera parte del tiempo durante el cual el Sol será una estrella estable (unos 3 500 sobre 10 000 millones de años). A no ser que la Tierra sea un planeta excepcional, hay que admitir que la conquista de la enorme complejidad que suponen la fauna y la flora superiores se ha producido en un tiempo que en términos astronómicos se puede denominar corto.

Pero, además de aparentemente fáciles *obligatoria* esta evolución meteórica de la materia viva hacia la complejidad? ¿Tiene un sentido? ¿Da quizá sentido al Universo? Teodosius Dobzhansky, el padre del neodarwinismo, escribió en 1972: «Los orígenes de la vida y del hombre son en realidad los puntos cruciales de la evolución de la



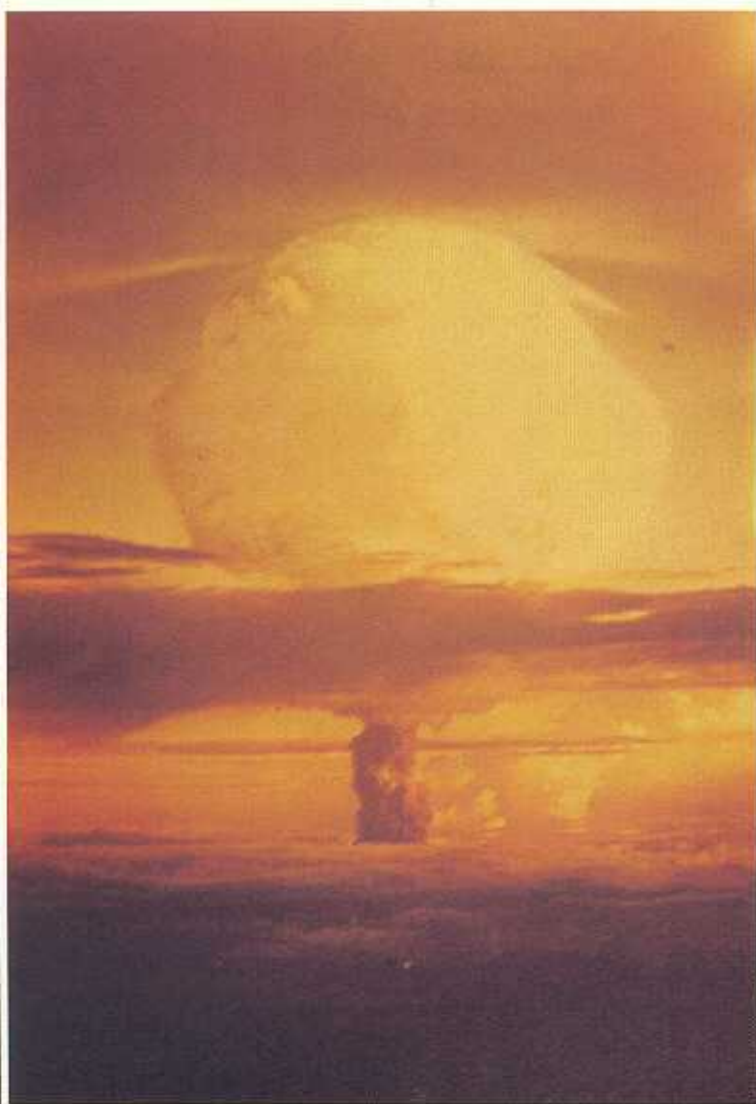
Tierra y, probablemente, del Cosmos». Al menos desde Demócrito, para quien «todo se debe al azar y a la necesidad» es decir, hace al menos veinticinco siglos, visiones deterministas como la anterior vienen compitiendo con otras que enfatizan la importancia del azar. El neodarwinismo, magníficamente divulgado por Jacques Monod en la obra que toma su título de la frase del pensador griego, atribuye a las micromutaciones el componente azaroso de la evolución. Hoy, el neodarwinismo se encuentra bajo el fuego de los puntualistas, que niegan el papel de las micromutaciones en la evolución y ponen el énfasis en el carácter estático de las especies, que duran millones de años sin cambiar hasta que sufren una macromutación, o bien se extinguen brusca-

Figura 3. Las culturas primitivas desembocan inevitablemente en civilizaciones de alta tecnología. El World Trade Center, un moderno doble totem en el Sur de la isla de Manhattan, desde el río Hudson.

mente a causa de algún acontecimiento no biológico, probablemente casual. El ejemplo extremo de este azar podría ser el predominio de los mamíferos, que requirió que desapareciesen previamente los grandes reptiles que ocuparon la cúspide de las cadenas tróficas durante el Mesozoico. Como es sabido, han aumentado recientemente las pruebas<sup>(5)</sup> de que, en último término, la aparición del hombre sobre la Tierra se debe a que un gran asteroide colisionó con ésta unos 60 millones de años antes (fig. 5). Como postula la

[1] L. Ruiz de Gopegui, «Solos en el Universo», *Mundo Científico*, 105, 842, 1990.  
[2] R.D. Gehrz, et al., *Science*, 224, 823, 1984.  
[3] V. Pirolo, et al., *Nature*, 359, 399, 1992.  
[4] J.F. Kasling, et al., *Sc. Am.*, 46, 258, 1988.  
[5] K.O. Pope, et al., *Nature*, 351, 105, 1991.





reciente física del caos, un acontecimiento puntual se amplifica con el tiempo hasta llegar a determinar la evolución de todo el sistema, la biosfera en este caso.

Pero volvamos a la ecuación de Drake. ¿Cómo se valora en la actualidad  $f_i$ , es decir la probabilidad real de que la vida surja en un planeta teóricamente apto para ella? Muy al contrario de lo que expresa Sagan, los experimentos que intentan simular el origen de la vida han progresado muy poco en los últimos 40 años, lo que significa que estamos en un nivel no mucho más avanzado que el de las históricas síntesis de Stanley Miller en 1953: la síntesis de aminoácidos es ya rutinaria, e incluso se ha conseguido que éstos asimilen compuestos sencillos, pero la síntesis de células, incluso simples, sigue siendo una utopía. El escenario clásico para el origen de la vida en la Tierra es un charco marino somero bajo una atmósfera reductora, donde se verificaron las síntesis de aminoácidos que luego, de al-

guna forma no bien especificada, se combinarían para dar proteínas y después células. Pero además del estancamiento de la vía experimental, recientemente se ha descubierto un importante inconveniente en la extrapolación de los experimentos de Miller; los geoquímicos planetarios han llegado a la conclusión bastante unánime de que ni la Tierra ni los otros planetas terrestres tuvieron nunca una atmósfera de amoníaco y metano como la que Miller utilizó, sino más bien una neutra o suavemente reductora ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ).<sup>(6,7,8)</sup> El problema que surge es doble, porque en una atmósfera de este tipo las síntesis no se producen.

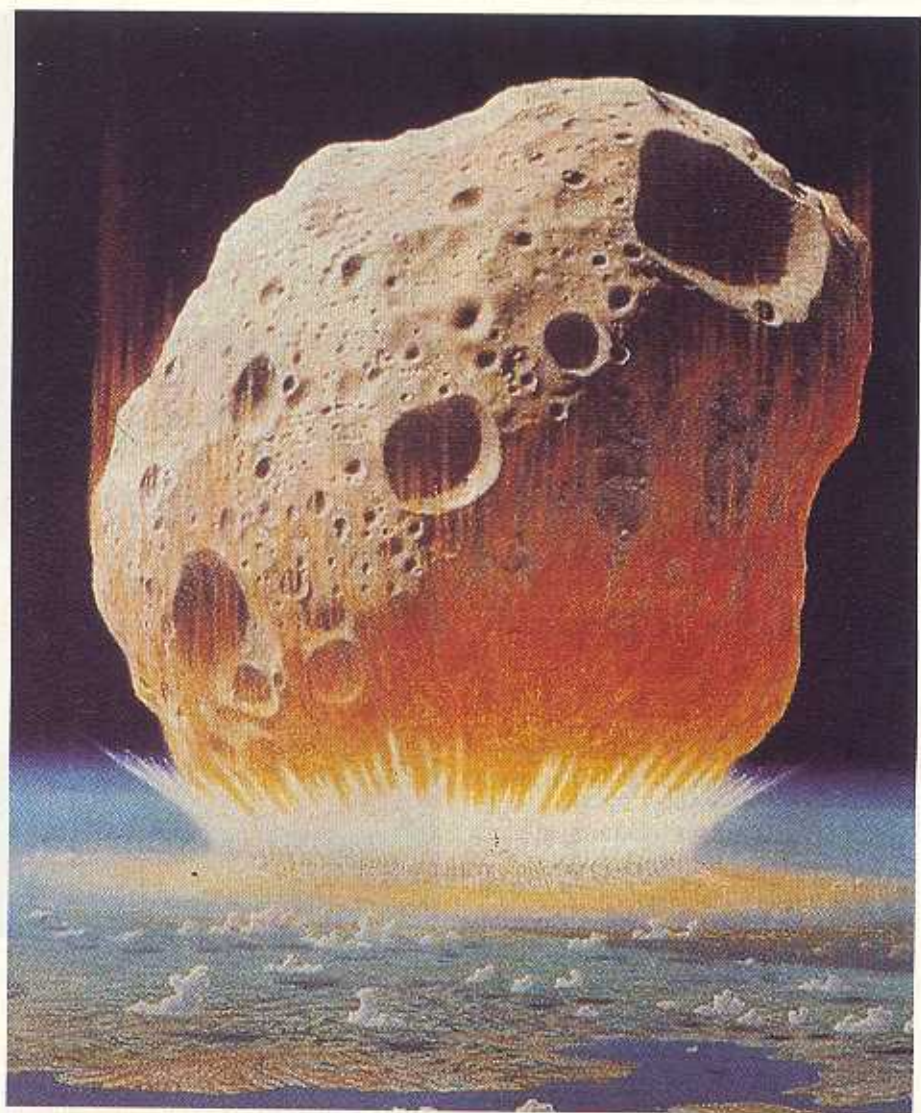
El cuadro se ha venido a complicar aún más por el hallazgo de aminoácidos en meteoritos. Por ejemplo, 70 aminoácidos distintos hallados en el meteorito de Murchison (caído en esta localidad de Australia en 1969) son diferentes a los terrestres en su simetría y en su composición isotópica. ¿Cómo se formaron? Evidentemente, y puesto que

*Figura 4. Durante las décadas de la guerra fría, el temor más insistente sobre el apocalipsis de nuestra civilización ha sido la guerra termonuclear masiva. Hoy, con el fantasma de la guerra global en retroceso, la realidad más temible es el desastre medioambiental generalizado: la biosfera no moriría quemada, sino envenenada. (Fotos del Departamento de Energía de EEUU y de Penta Press.)*

los meteoritos provienen casi siempre de cuerpos parentales en el cinturón de asteroides, y estos cuerpos sólo tienen unos pocos cientos de kilómetros de diámetro, es imposible que se hayan formado en masas líquidas, inviables en cuerpos sin atmósfera.

La alternativa que puede unir todos estos cabos sueltos se suele denominar *mundo de ARN*,<sup>(9)</sup> y postula la síntesis de este ácido nucleico (que, al contener instrucciones para *fabricar* proteínas, resolvería mejor que el modelo de Miller el problema de las síntesis) no en charcos marinos sino en vacuolas y grietas de chimeneas volcánicas<sup>(10)</sup> por





donde se evacuarían amoníaco y metano (como en los géiseres actuales en Islandia). Así no se requeriría una atmósfera reductora; es más, ni siquiera una atmósfera: los aminoácidos podrían sintetizarse en grietas y vacuolas profundas de un asteroide en proceso de desgasificación.

Además de teóricamente posible ¿es probable este proceso? La exploración del Sistema Solar permite intuir que sí lo es: muchos cuerpos del exterior del Sistema (planetas, satélites, asteroides, cometas) están cubiertos por un material gris o rojizo de albedo muy bajo ( $< 0,06$ )<sup>(11)</sup> al que la mayoría de los autores atribuye una composición carbonosa; las misiones al cometa Halley confirmaron esta suposición para aquel cuerpo. De manera que la abundancia de moléculas orgánicas en las nebulosas oscuras parece prolongarse en muchos cuerpos del Sistema Solar, y ha permitido avanzar un modelo<sup>(12)</sup> (atractivo aunque lleno de dificultades) según el cual parte de la materia orgá-

▲ *Figura 5. ¿Es la biosfera actual el resultado de un proceso determinista o aleatorio? Si se demostrase que los vertebrados dominantes en la Era Mesozoica fueron exterminados por la colisión de un asteroide hace 65 millones de años, habría que aceptar que los acontecimientos casuales juegan un papel determinante en la evolución.*

nica que se originase en el espacio interestelar podría contaminar la periferia de los sistemas planetarios, de donde pasaría, esencialmente a través de impactos cometarios, a colonizar los planetas interiores. Como se ve, se trata de una versión remozada de la panspermia de Anaxágoras y Arrhenius, y cuya principal dificultad es explicar la no destrucción (o la destrucción seguida de nueva síntesis) de la materia orgánica en los impactos cometa-planeta. En síntesis, con o sin panspermia, parece cierto que los átomos de carbono tienen una facilidad extraordinaria para polimerizarse en situaciones variadas,

algunas de ellas teóricamente poco favorables, como es la bajísima densidad del espacio interestelar. Con qué frecuencia esta materia orgánica ubicua puede convertirse en materia viva, es una pregunta que aún no podemos responder. Parece que los únicos requisitos auténticos de la vida son: 1) una fuente de energía, normalmente luz estelar; 2) carbono; 3) agua en estado líquido; 4) algunos otros pocos elementos, como nitrógeno, fósforo y azufre, y 5) que todas las condiciones anteriores perduren durante al menos unos 500 millones de años, que es el tiempo que transcurrió entre el origen de la Tierra y el origen de la vida en ella. Un cóctel en principio no demasiado exigente. A partir de la puesta en órbita de satélites con telescopios que detectan las radiaciones infrarrojas, el número de candidatos a ser el primer planeta extrasolar detectado directamente ha aumentado de forma clara: las estrellas Vega, de Barnard, 61 de Cisne, Epsilon de Auriga y Beta del Pintor están en-

(6) R.M. Haberle, *Investigación y Ciencia*, 118, 26, 1986.  
 (7) J.F. Kasting, *Actas del 29º Int. Geol. Congress, Kyoto, 1992*, vol. 1, p. 8.  
 (8) T. Matsui, *Actas del 29º Int. Geol. Congress, Kyoto, 1992*, vol. 1, p. 3.  
 (9) G.A. Dover, *Nature*, 336, 623, 1988.  
 (10) E.G. Nisbet, *Episodes*, 1, 83, 1986.  
 (11) C. Sagan, *The Planetary Report*, 8-3, 13, 1986.

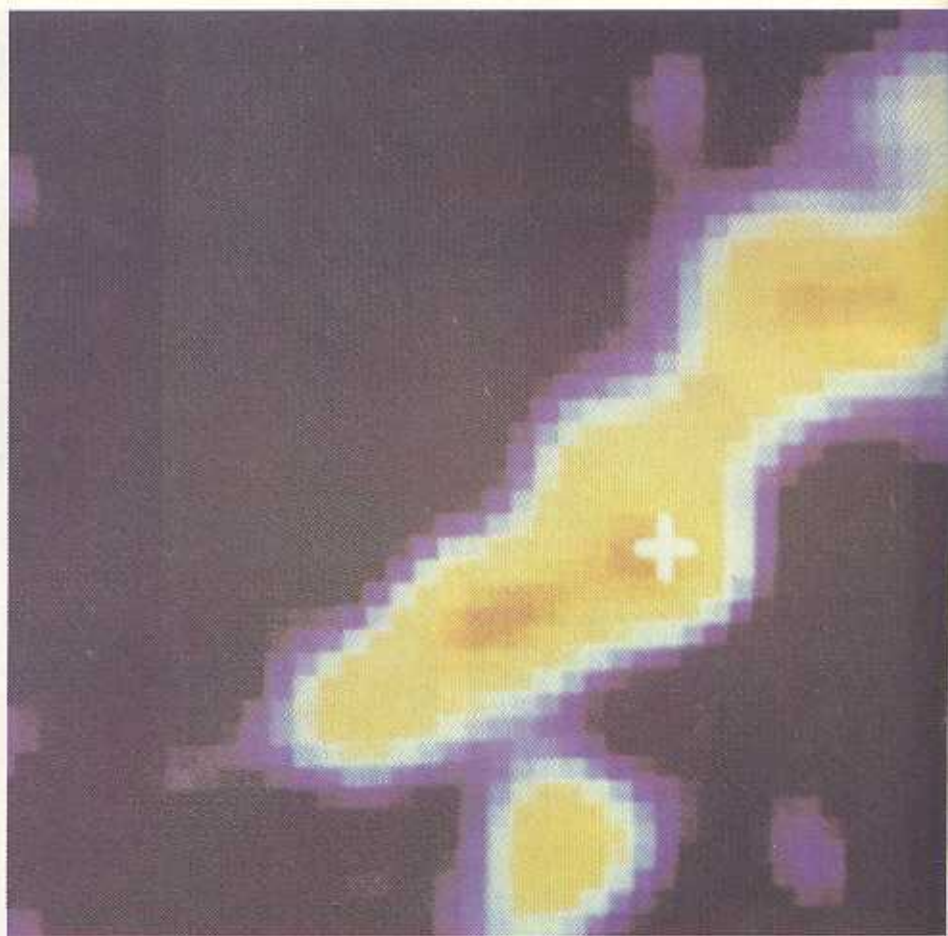


Figura 6. La actividad del IRAS ha permitido localizar multitud de discos de gas y polvo que rodean a estrellas, como éste en torno a la estrella HL (cruz) en la constelación Taurus. Treinta sistemas solares cabrían en esta enorme estructura. En Black.

tre las más divulgadas. En torno a algunas (como la última de las citadas) se han detectado<sup>(13)</sup> discos de partículas que podrían ser las fases iniciales de la formación de un sistema planetario. El fracaso inicial del telescopio espacial Hubble probablemente ha impedido que tengamos ya imágenes ópticas de los primeros planetas extrasolares; en todo caso, éste es con seguridad un logro para la presente década. En cambio, hará falta otra generación de aparatos de observación para saber si el 30 % de estrellas con planetas que propone Carl Sagan es o no una aproximación realista.

Dentro de nuestro sistema, las sondas automáticas que han fotografiado en detalle las superficies planetarias han permitido interesantes avances conceptuales en el tema de la vida extraterrestre. El resultado negativo de los experimentos exobiológicos de las sondas Viking significa que actualmente no hay vida en dos zonas de Marte; pero no podemos extrapolar esta conclusión al pasado. Los canales marcianos indican que en ese planeta el agua líquida fue estable en un pasado probablemente remoto. Estos canales desembocan en zonas deprimidas que pudieron estar ocupadas por un antiguo océano,<sup>(14)</sup> el cual probablemente se heló cuando la atmósfera se fue enrareciendo por fotodisociación. Un modelo reciente postula la posibilidad de que persistiese agua líquida en el fondo de este océano, al igual que lo hace en algunos lagos antárticos. Esta situación metaestable podría prolongarse al menos durante varios cientos de millones de años: aproximadamente el mismo periodo de tiempo que en la Tierra bastó para que la materia orgánica simple se organizase hasta formar una biosfera incipiente.

Aunque no conocemos aún la superficie de Venus con el detalle suficiente como para saber si, como sostienen al-



gunos planetólogos,<sup>(15)</sup> hubo agua líquida durante la etapa inicial de la evolución de nuestro planeta hermano, los canales detectados por la sonda Magallanes se han interpretado inicialmente<sup>(16)</sup> como cauces erosivos formados

por corrientes de lava. Lo cierto es que las fluctuaciones climáticas catastróficas comienzan a ser una parte importante de los modelos de planetas terrestres primordiales. También comienza a citarse con frecuencia otra idea, ésta



Figura 7. El Universo parece sembrado de galaxias (o de cúasares, sus equivalentes hiperenergéticos) hasta donde podemos observar. Por otra parte, según los modelos recientes de universos inflacionarios, nuestro Universo no sería más que una pequeña burbuja incluida dentro de una estructura enormemente mayor. Nada en la ciencia actual nos autoriza a proclamar que este espacio increíblemente grande sea un desierto. En la imagen, un grupo de cinco galaxias en la constelación de Ophiuchus. (Foto de los Observatorios Hale.)

[12] C.P. McKay, *Icarus*, 91, 93, 1991.

[13] B.A. Smith, et al., *Science*, 226, 142, 1984.

[14] H.L. Helfer, *Icarus*, 87, 228, 1990.

[15] J.F. Kasting, *The Planetary Report*, 8-6, 13, 1988.

[16] G. Komatsu, et al., *Actas del 29º Int. Geol. Congress*, Kyoto, 1992, vol. 3, p. 654.

[17] B. Nagy, et al., *Nature*, 289, 53, 1981.

[18] M. Schildowski, *Actas del 29º Int. Geol. Congress*, Kyoto, 1992, vol. 1, p. 9.

[19] K.A. Mahrt, D.J. Stevenson, *Nature*, 331, 612, 1988.





basada en el concepto de Gran Bombardeo Meteorítico (que se prolongó hasta hace 3 900 millones de años sobre todos los cuerpos del Sistema Solar): las primeras formas de vida tuvieron que generarse bajo este poco acogedor bombardeo. Las proporciones isotópicas de carbono en los sedimentos de Isua<sup>(17,18)</sup>, que con más de 3 800 millones de años figuran entre las rocas más antiguas conocidas, permiten suponer que la vida se originó hace unos 4 000 millones de años... o al menos lo intentó: el concepto de *frustración de la vida primordial por impactos*<sup>(19)</sup> sugiere que quizá la biosfera actual no proviene del primer intento de síntesis abiogénica, sino que hubo otros que pudieron ser abortados por las entonces frecuentes colisiones asteroidales. Un nuevo factor de apoyo al modelo del origen de la vida por síntesis en chimeneas volcánicas es que se ha calculado que no pocos de estos impactos aportarían a la hidrosfera energía suficiente para vaporizar los cientos de metros más superficiales del océano, a nivel planetario, de forma que la vida incipiente podría mantenerse en las profundidades mientras que sería quizás repetidamente aniquilada en superficie.

Así pues, sin contar los hábitats mar-

ginales como el posible mar de metano de Titán, el océano subterráneo de Europa, o la cota en las nubes de Júpiter donde la temperatura media se iguala con la terrestre, vemos que en la Tierra (¿también en otros planetas terrestres?), sometida a un imponente fusilamiento cósmico y quizá a brutales oscilaciones climáticas, la vida deja su huella desde hace 3 830 millones de años en rocas que figuran entre las más antiguas conocidas. Hay que reconocer que se trata de una *performance* impresionante.

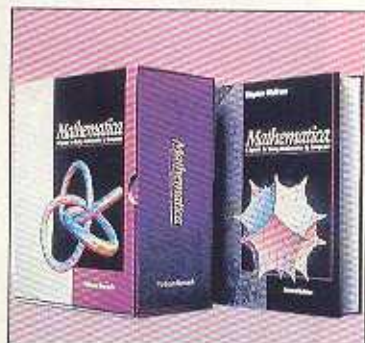
El grupo de Drake planteó su ecuación sólo para nuestra galaxia. Pero en el universo conocido existen más de  $10^{11}$  galaxias, en general algo menores que la Vía Láctea, o sea con unos  $10^{11}$  estrellas cada una. Lo cual supone un total del orden de 10 000 trillones de estrellas. La aplicación a este número gigantesco de la evaluación más pesimista de la ecuación (recuérdese: 10 civilizaciones de alta tecnología por galaxia) nos daría la redonda cifra de un billón ( $10^{12}$ ) de civilizaciones de este tipo... en el Universo conocido. Habría que reducir los factores de la ecuación a unos valores no apoyados en absoluto por nuestros conocimientos científicos actuales (en astronomía, en planetología y en biología) para llegar a la conclusión de que estamos solos en el Universo. Por contra, creo que el análisis del estado de esta cuestión obliga a concluir que las tentativas de comunicación con otras civilizaciones (desde el pionero Proyecto Ozma hasta el Megaspectrum Channel Analyzer, en el que la NASA va a gastar 100 millones de dólares a partir de 1992) constituyen una obligación científica y moral para el hombre moderno.

#### PARA MÁS INFORMACIÓN:

- J. Heidmann, y M.J. Klein, *Bioastronomy. The search for extraterrestrial life. The exploration broadens*, Springer, 1991. Contiene las Actas del Tercer Simposio Internacional de Bioastronomía, celebrado en Francia en 1991.
- J. Monod, *El azar y la necesidad*, Barral, 1972. Una biología evolucionista que escandalizó hace veinte años y hoy se ha convertido en un clásico.
- C. Sagan, *Cosmos*, Planeta, 1982. Una obra tan totalizadora como indica su título, y con un capítulo final dedicado a los mensajes interestelares.
- W.K. Hartmann, *Moons and planets*, Wadsworth, Belmont, 1983. El mejor libro escrito hasta ahora sobre planetas.
- J. Gleick, *Caos: la creación de una ciencia*, Seix Barral, 1988. Incontables aplicaciones en planetología (como una explicación alternativa de la Gran Mancha Roja) y biología.
- F. Anguilla, *Origen e historia de la Tierra*, Rueda, Madrid, 1988. Trata del origen y extinción masiva de la vida, y también de las probabilidades de existencia de otros sistemas de planetas.

## ESTUDIANTES

### Mathematica® 2.1 + Libro Mathematica: Un enfoque Práctico en castellano



**32,900.- ptas**  
I.V.A. Incluido

No pierdas esta oportunidad que te permite por 4 veces menos de su valor adquirir el paquete de cálculo numérico, simbólico y gráfico más potente y más utilizado del mercado. Cerca de 200,000 usuarios, entre matemáticos físicos, ingenieros, economistas, informáticos y estudiantes avalan el prestigio del estándar en computación: *Mathematica*.



*Mathematica* Estudiante es una versión totalmente completa y compatible 100% con el resto de versiones, que únicamente no utiliza las ventajas del coprocesador numérico.

*Mathematica* Estudiante está disponible en Windows, MS-DOS y Macintosh.

Más INFORMACIÓN  
(93) 459 07 22



**AddLink**  
Software Científico

C/ Valencia, 404, Entlo 1º- 08013  
BARCELONA  
T. (93) 459 07 22 / 207 31 58  
FAX. (93) 459 06 98

© Mathematica es una marca registrada por Wolfram Research, Inc. Otras marcas están registradas por sus respectivos fabricantes.