



Gramáticas

Fernando J. Ballesteros

extraterrestres

La comunicación con civilizaciones
interestelares a la luz de la ciencia

Lectulandia

¿Es posible la comunicación con otras formas de vida fuera de nuestro planeta? ¿Con quién, con qué y cómo podríamos establecer esta comunicación, si es que hay alguien al otro lado?

Esta obra aborda la investigación científica de inteligencia extraterrestre, aquello que hoy conocemos con el nombre de SETI (Search of Extra Terrestrial Intelligence), una investigación que, si acabara con éxito, provocaría un choque que conmovería a nuestra sociedad. Nada volvería a ser igual.

A raíz de esta inquietud, *Gramáticas extraterrestres*, (Premi Europeu de Divulgació Científica Estudi General), nos habla de aquello que sabe la ciencia actual sobre el origen de la vida y su posible presencia en el resto del universo, a la vez que profundiza en los programas y los métodos de investigación. El autor trata también el problema del lenguaje de la comunicación y comenta, a través del estudio de la vida animal en nuestro planeta, si es posible descubrir y entender un lenguaje extraterrestre.

Lectulandia

Fernando J. Ballesteros

Gramáticas extraterrestres

ePub r1.2

koothrapali 20.07.14

Título original: *Gramàtiques extraterrestres*
Fernando J. Ballesteros, 2007

Editor digital: koothrapali
ePub base r1.1

más libros en lectulandia.com

Esta obra obtuvo el XII Premio Europeo de Divulgación Científica Estudi General, instituido por la Universitat de València y el Ayuntamiento de Alzira y con el apoyo de Bancaixa. Formaban parte del jurado Aurelio Beltrán, Consuelo Berenguer, Manuel Costa, Vicent J. Martínez y Fernando Sapiña.

A Herminia,
por ser la estrella que ilumina mi vida.

Durante muchos años he ofrecido conferencias de divulgación científica en distintos países y sobre diversos temas, generalmente relacionados con la astronomía y mi trabajo en el Observatorio de Arecibo. Sin importar el tema particular de la conferencia, la pregunta siempre surge: ¿Hemos contactado con «ellos» desde Arecibo?

Mi respuesta negativa no satisface a nadie, a unos —creyentes— les confirma la sospecha de una prohibición desde las esferas más altas del gobierno a divulgar el secreto por «razones de estado», para otros es simplemente decepción de que sea así.

Las «razones de estado» tienen que ver con la idea de que, al estilo de la película *Contact*, los mensajes recibidos contienen información importante y útil que daría grandes ventajas a quien la poseyera. En este entretenido libro, Fernando Ballesteros le hará entender las varias razones por las que esto resulta mucho más difícil de lo que se imagina.

La decepción es causada por el deseo de muchos de que sea cierto que los extraterrestres nos hablan, que quizá ya se encuentran entre nosotros, como piensan los aficionados a los ovni. Sería fascinante que fuera cierto, un descubrimiento más que extraordinario, la respuesta a una pregunta milenaria. Hay posiblemente una profunda raíz psicológica en este deseo de querer saber si estamos solos en este enorme universo, y de necesitar creer en algo más allá de nuestro limitado mundo, tanto en el espacio como en el tiempo.

Hay otros para los cuales los extraterrestres encarnan una nueva esperanza frente a una realidad desesperanzadora, de cara a unos rancios dioses en bancarrota, difíciles de aceptar en el mundo presente para cualquiera que tenga dos dedos de frente. Posiblemente, la consecuencia más trascendental de la noticia que nos presenta Ballesteros al inicio del libro sería el duro golpe que daría a casi todas las religiones que de alguna u otra forma postulan la creación especial del humano.

No hay duda entonces de que el tema da para muchas discusiones científicas y filosóficas, como también para muchas especulaciones, las cuales muchas veces, por falta de un marco de referencia, caen en pura pseudociencia.

En Gramáticas extraterrestres, Ballesteros nos provee este marco de referencia,

presentando los argumentos más relevantes del tema con claridad, erudición y humor, algo nada fácil de obtener, y que le ha hecho merecedor del Premio Europeo de Divulgación Científica. Con gran maestría y un claro dominio de las ideas y los hechos relevantes, el autor nos narra brevemente la increíble historia de nuestro planeta, con el fin de sentar las bases para considerar con quiénes, cómo y con qué se podría establecer algún tipo de comunicación, y fundamentalmente si tal comunicación sería posible.

Entre las consideraciones que nos presenta el texto surge la posibilidad de que la vida pudiera haberse originado primero en Marte, para luego «contaminar» la Tierra, o como dice Ballesteros: «Quizá, después de todo, los marcianos seamos nosotros». Quizá, y a mí me explicaría un montón de cosas.

DANIEL ROBERTO ALTSCHULER STERN
Catedrático de Física, Universidad de Puerto Rico
Senior Research Associate, Observatorio de Arecibo
Director del Observatorio de Arecibo entre los años 1991 y 2003

— AGRADECIMIENTOS —

Incluso cuando un libro está firmado por un único autor, nunca es labor de una sola persona. Todo libro es en realidad el resultado de una labor colectiva en la que interviene en mayor o menor grado mucha gente, y sin cuya participación éste nunca saldría a la luz. Por ello quiero expresar aquí mis agradecimientos a todos aquellos que han permitido que *Gramáticas extraterrestres* esté ahora entre sus manos.

En primer lugar, deseo expresar mi agradecimiento al Ayuntamiento de Alzira, a la Editorial Bromera y a la Universitat de València por hacer posible la existencia de este Premio Europeo de Divulgación Científica Estudi General. Considero que la divulgación científica es una tarea indispensable en el quehacer de los científicos. En una sociedad como la nuestra, tan modelada por los productos de la ciencia, es indispensable que aquélla adquiera unos saberes que podríamos llamar científicos, para enfrentarse con conocimiento de causa, rigor y escepticismo a los desafíos (algunos de ellos, terribles) del mundo actual. Para ello, resulta imprescindible la tarea de la divulgación científica. Por tanto, la existencia de un premio que recompensa precisamente divulgar la ciencia supone una gran alegría para mí.

Quiero también dar mi agradecimiento al equipo editorial de Publicacions de la Universitat de València, que ha estado siempre al otro lado del teléfono y del ordenador para ayudarme en todo lo que ha hecho falta durante el proceso de producción. En especial, deseo agradecer la ayuda de Maite Simon y de Soledad Rubio. También deseo dar las gracias a Fernando Sapiña, director de la colección, por sus atinados consejos y su ayuda en algunos momentos difíciles del proceso.

Especialmente deseo expresar mi agradecimiento a mis colegas (y amigos) Alberto Fernández, Amelia Ortiz, Bartolo Luque, Javier Díez, Vicent Martínez, Juli Peretó y Daniel Altschuler. Sus correcciones, sugerencias y fructíferas conversaciones han resultado una ayuda inigualable para que este libro adoptara la forma que finalmente tiene y llegara a feliz término. En especial, quiero agradecerle a Daniel el haberse tomado la molestia de escribir el prólogo de este libro y a Juli su inigualable ayuda en los capítulos biológicos del libro. También quiero dar las gracias a Pablo de la Cruz, Sofía Fuentes y Guadalupe Almodóvar por haber soportado mis preguntas cuando la inspiración me fallaba y haberme iluminado con nuevas ideas. Y

quiero agradecerles a mis amigos Filomeno Sánchez, M^a José Rodríguez, Federico Medina y Marina Gómez, su refrescante presencia durante tantos fines de semana; una ayuda indirecta, pero muy útil.

El mayor de los agradecimientos es para mi padre y mi madre, quienes siempre confiaron en mí y siempre me apoyaron, incluso cuando les dije que quería estudiar una cosa tan rara como ciencias físicas.

Por último, deseo agradecer a Herminia, mi media luna, su amor, comprensión y paciencia durante el proceso de escritura de este libro, ya que ella fue quien más lo padeció. Ella ha sido el principal motor de mi inspiración y buena parte del mérito de este libro es todo suyo.

INTRODUCCIÓN

El pasado 27 de julio del 2006 se hizo pública en el ámbito científico una noticia que ha supuesto el esperado final de una larga búsqueda: la detección inequívoca de una señal de radio proveniente de una civilización extraterrestre.

La coincidencia con el período vacacional, junto con la prudencia del equipo responsable del hallazgo, ha hecho que la noticia haya pasado desapercibida hasta el momento para el gran público y los medios de comunicación. Sin embargo, este bombazo científico que se ha publicado en la revista especializada *Radioastronomy Journal Letters* ha supuesto ya una verdadera revolución entre los astrónomos profesionales. El artículo se ha publicado bajo el poco comprometido título de «Radioanomalies of unknown origin in G8 stars» (Osterhagen et al., *Radioastr. J. Let.* 371, 766-770 (2006)).

El equipo liderado por el profesor Maximilian Osterhagen, del Radioastronomie Institut Leuercraff, tras un rastreo de más de dos años de estrellas al sur galáctico, localizó en la estrella Tau Ceti, en la constelación de la Ballena, una emisión anómala de ondas de radio en la región de los 21 cm, consistente en una serie de pulsos separados por intervalos de silencio. La anomalía estriba en que se trata de una señal casi cíclica. Si bien es habitual encontrar patrones cíclicos en la naturaleza, la extraña periodicidad de esta emisión atrajo rápidamente la atención de Osterhagen, ya que el intervalo de tiempo entre pulsos de radio variaba de una forma extraña. Este hecho llevó a pensar al equipo en que tal vez algún cuerpo en órbita alrededor de la fuente interceptaba en ocasiones los pulsos periódicos de radio (cuyo origen tampoco resultaba claro) e impedía la recepción de algunos. Por tanto, se intentó determinar cuál era el período más corto entre pulsos, para ver si los demás períodos eran múltiplos enteros de ese período mínimo.

Vieron que no ocurría así, pero casi. Lo que obtuvieron fue que los períodos entre pulsos eran múltiplos enteros de la tercera parte del más corto. Ese tiempo de $1/3$ del período más breve debía de ser por tanto el período real que regía el fenómeno astronómico estudiado. La sorpresa fue que no todos los múltiplos enteros eran igualmente posibles. Por contra, tan sólo se encontraron los siguientes valores, y en orden creciente: 3, 5, 5, 7, 11, 13, 17, 19, 29, 31, 41, 43... Estos valores, tomados en

parejas, tienen la peculiaridad de ser primos gemelos, es decir, pares de números primos separados por dos unidades. Pero es absolutamente imposible que ningún fenómeno físico pueda producir una secuencia numérica como ésta. Necesariamente, el «fenómeno» que los produce debe saber matemáticas. Es decir, el equipo de Osterhagen ha encontrado a 12 años luz a nuestros vecinos galácticos: una civilización extraterrestre. No existe ninguna otra explicación alternativa.

De una manera tan sencilla como ésta, podría comenzar la que sin duda sería la noticia más importante del milenio. Pero de momento no hay necesidad de que nos alteremos; lamentablemente la noticia anterior es una mera recreación ficticia. Por desgracia, hasta el momento nada similar ha ocurrido en la realidad. Sin embargo, quizá ha servido para que sienta el efecto que una noticia de este calibre tendría en usted. ¿Qué le ha hecho sentir el párrafo anterior? ¿Qué emociones, sensaciones o pensamientos han acudido a usted mientras leía la noticia del hallazgo de otra civilización entre las estrellas?

En algunos casos, sin duda la respuesta ha sido incredulidad. A nuestra cabeza ha acudido la música de *En los límites de la realidad* y nos hemos dicho «bah, esto es de una película». La noticia resulta de por sí tan improbable que (con buen criterio) tendemos a mostrarnos escépticos de su realidad. Pero en parte nos parece improbable precisamente por la importancia y repercusiones que tendría de ser real. En otros casos, si el lector de buena fe ha «picado» en la ficción anterior, puede que haya sentido un fuerte acceso de emoción. Tal vez haya acudido a su cabeza un «de estas cosas nunca nos enteramos» o «qué lástima, este tipo de noticias nunca llega al gran público». Quizá haya sentido alegría (o miedo) ante la idea de que no seamos la única especie inteligente en el Universo. Muy posiblemente la haya catalogado como la noticia más importante que ha leído.

Y sin duda, de ser cierta, sería una de las noticias más importantes y que más repercusiones tendría en nuestra vida. ¿Por qué resulta tan importante? ¿En qué puede cambiar nuestro quehacer diario el que a varios centenares o miles de años luz exista una civilización extraterrestre?

Para empezar, supondría un auténtico vuelco, un nuevo giro copernicano que cambiaría nuestra posición en el esquema de las cosas, y nos daría una nueva perspectiva del mundo. Por experiencia sabemos que giros similares han tenido en el pasado consecuencias definitivas, que han cambiado, a veces de manera lenta pero siempre indefectiblemente, nuestra sociedad. Antes creíamos que la Tierra era el centro del Universo. Cuando Copérnico postuló que no era así, sino que estaba girando en torno al Sol, y los posteriores avances científicos (en especial el trabajo de Kepler, Brahe y Galileo) dieron la razón a Copérnico, se cambió de repente nuestra

posición en la escala de las cosas, y la importancia que tenía nuestro mundo en la Creación. Pasamos así a creer que era el Sol quien ocupaba el centro del Universo.

Desde entonces el avance de la ciencia supuso una cadena de giros copernicanos que nos fue alejando poco a poco del papel estelar que creíamos desempeñar en el Universo: luego resultaba que el Sol no era un astro especial, sino una estrella más entre otras. El trabajo de Darwin demostraba que tampoco éramos objeto de una creación especial, *ex professo*, por parte de una divinidad, sino un animal más entre otros, fruto de un proceso de evolución ciega. Además, las estimaciones de posiciones y movimiento de las estrellas indicaban que éstas, junto con nuestro Sol, parecían estar girando en torno a un centro común (¿quizá el verdadero centro del Universo?) que se hallaba en realidad extraordinariamente lejos de nuestra localización. Este colectivo de estrellas que giraban en torno al supuesto «centro del Universo» tenía más o menos una forma de disco, y se lo bautizó con el nombre de Galaxia. Creíamos que la Galaxia era, por tanto, el Universo. Hasta que, a principios del siglo XX, llegó Edwin Hubble, quien demostró que aquellas borrosas nebulosas espirales que se adivinaban con los telescopios, y que los astrónomos creían que era pequeñas nubes de polvo dentro de la Galaxia, estaban en realidad a distancias increíblemente lejanas, tanto que se encontraban fuera de la Galaxia. Eran de hecho otros «universos», compuestos por miles de millones de estrellas (los astrónomos llamaron universos isla a estas inmensas colectividades de estrellas hasta que se popularizó el nombre de galaxias para referirse a ellas). Nuestra Galaxia pasaba así a ser un barrio más en la inmensa colectividad del Cosmos.

Cada uno de estos giros, además de suponer un cambio de paradigma científico, ha tenido sus correspondientes consecuencias sociales y filosóficas. Ha cambiado nuestra forma de entender el mundo, y ha repercutido en todos los ámbitos de la actividad humana, incluso en las corrientes artísticas. Ahora creemos que somos los únicos seres inteligentes del Universo. Es de prever un nuevo giro copernicano que cambie esta creencia.

El mero hecho de que se hallase otro tipo de vida en otro lugar supondría un vuelco a nuestra posición «privilegiada» de enormes consecuencias, ya que sería un indicio de que la vida, después de todo, es algo común en el Universo y no una rareza de nuestro mundo. Pero de encontrarse otra civilización entre las estrellas, el *shock* conmovería definitivamente nuestra sociedad y nada volvería a ser igual. Respondería de forma definitiva a la pregunta de si estamos solos en el Universo. Y su mera presencia nos revelaría que es posible sobrevivir al desarrollo tecnológico (por pura estadística, estarían con toda probabilidad más avanzados que nosotros).

Más aún, si pudiéramos llegar a establecer un contacto directo con ellos y se produjera un diálogo, de repente todos sus logros y conocimientos pasarían a estar a nuestra disposición. Descubriríamos qué límites tecnológicos puede alcanzar una

civilización, y se nos abriría una biblioteca infinita de conocimientos científicos, religiosos, filosóficos... cuyas repercusiones no alcanzamos a ver. Por ello sería tan importante establecer un contacto con una civilización extraterrestre, y por eso tantos científicos se dedican a la búsqueda activa de nuestros posibles vecinos cósmicos.

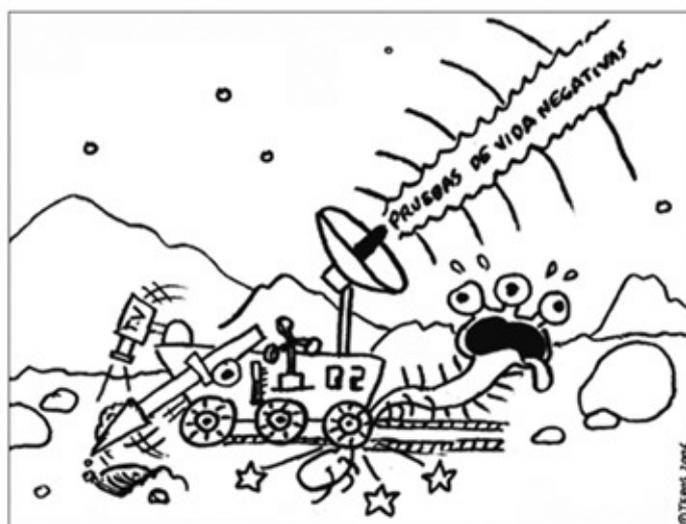
Por otra parte, incluso si se hiciera una larga búsqueda y ésta fallara, no habríamos malgastado el tiempo. En el proceso se habría generado tecnología aplicable a otros aspectos de nuestra civilización, habríamos aprendido mucho más sobre el Universo y habríamos reforzado la creencia en lo única que es nuestra especie, nuestra civilización y nuestro mundo, en que somos la única oportunidad que tiene el Universo de conocerse a sí mismo, lo que haría que recayera en nosotros una enorme responsabilidad.

Este libro trata sobre la comunicación con civilizaciones extraterrestres a la luz de lo que la ciencia nos puede desvelar. No es la intención de este texto dar respuesta a todas las cuestiones, sino que se quiere estimular la curiosidad del lector para que busque por sí mismo algunas de las respuestas. El libro está estructurado en tres partes, que tratarán de responder respectivamente a las preguntas «con quién», «con qué» y «cómo» podemos establecer esta comunicación, si es que hay alguien. Así, en la primera parte se hablará de lo que sabe la ciencia actual sobre el origen de la vida y la posible presencia de ésta en el resto del Universo. La segunda parte tratará principalmente sobre radioastronomía, el proyecto SETI y los medios para establecer contacto. Por último, la tercera parte, más extensa, estará centrada en el problema de qué lenguaje de comunicación se podría emplear con una inteligencia que sería completamente alienígena a nosotros. Al final del libro hay un epílogo donde se da un breve repaso a uno de los temas más fascinantes relacionado con civilizaciones extraterrestres: la paradoja de Fermi. Y por último, tras el epílogo, hay un breve apéndice para aquellos que hayan echado de menos alguna ecuación.

Si el lector encuentra que este tema puede ser de su interés, le invito a que pase a la siguiente página y se una a la lectura de *Gramáticas extraterrestres*.

CON QUIÉN:

LA PROBABILIDAD DE VIDA EN EL UNIVERSO



La creencia en que existen civilizaciones extraterrestres parte del llamado principio de mediocridad. Este principio postula que la Tierra es un planeta normal, que gira alrededor de una estrella normal, que se encuentra dentro de una galaxia normal. Es decir, que no hay nada especial en nuestro mundo que lo haga único. Es una conclusión lógica a la que nos aboca la sucesión de «giros copernicanos» que ha sufrido la ciencia a lo largo de su historia, y que nos ha ido sacando de la posición central que creíamos ocupar en el Universo.

Hemos comprobado que tanto nuestra estrella, el Sol, como nuestra Galaxia, son ejemplares típicos, similares en todo a esos otros millones que hemos observado con nuestros telescopios, y nada de especial parece haber en ellos. Todo indica que también nuestro planeta y nuestro Sistema Solar deben de ser ejemplares típicos de la fauna planetaria, aunque nuestro conocimiento de los planetas que giran alrededor de otras estrellas (los llamados planetas extrasolares, o exoplanetas) todavía está en sus comienzos. Si esto es cierto, si nuestro mundo es un ejemplo común en el Universo, por lógica debe existir una buena cantidad de planetas habitados, una fracción de los cuales contendrá seres inteligentes y civilizaciones. Éste es el argumento base que soporta el trabajo de todos los científicos que buscan de forma activa señales de la existencia de civilizaciones extraterrestres.

La mayor parte de la comunidad científica está de acuerdo con el principio de mediocridad, ya que en todas las ocasiones en que hemos creído que nuestro caso era especial, hemos descubierto con dolor que estábamos equivocados. Parece por tanto una guía útil de seguir. ¿Pero son en verdad la Tierra y el Sistema Solar casos representativos?

Un Sistema Solar de lo más normal

Por lo que la ciencia sabe hoy día, los mundos rocosos como los planetas o los satélites gigantes son un eslabón indispensable en la cadena de acontecimientos cósmicos que hacen posible la vida. Son lugares suficientemente extensos y estables donde los elementos químicos pueden interactuar en concentraciones elevadas para que se produzcan reacciones químicas interesantes. Por eso, saber cuán comunes son estos mundos en el Universo está directamente relacionado con la posibilidad de vida en otros rincones del cosmos. Pero para poder realizar una estimación de algo desconocido con razonables posibilidades de éxito, hay que partir de los casos conocidos.

Lo que la ciencia conoce en la actualidad sobre el origen de nuestro Sistema Solar nos cuenta una historia que tiene tintes casi mitológicos: hace mucho, mucho tiempo, en un oscuro rincón de nuestra Galaxia existía una gigantesca bolsa de gas y polvo, una inmensa nube que era en realidad un fragmento de una nube mucho mayor, una Nebulosa con N mayúscula, tan grande que poseía la masa de varios cientos de miles de soles. Su temperatura era de unos 260 °C bajo cero, sólo pocos grados por encima de la temperatura más baja posible. Estaba compuesta principalmente de hidrógeno y helio, y una minúscula cantidad de polvo y hollín. Pero su densidad era tan baja que en un centímetro cúbico apenas se encontraban 1000 partículas. Para nosotros, eso es prácticamente el vacío. En comparación, en el aire que respiramos a diario encontramos casi 27 trillones de moléculas por cm^3 .

Era una Nebulosa muy similar a la Gran Nebulosa de Orión, musa de tantos aficionados a la fotografía astronómica. Hay otras muchas similares en nuestra propia Galaxia, pero la gigantesca Nebulosa de la que hablamos ya no existe. Desapareció hace unos 5.000 millones de años, consumida por completo en el parto de varios miles de estrellas. Una de ellas fue nuestro Sol, formado de uno de los fragmentos menores de la Nebulosa, una de los 200.000 millones de estrellas de nuestra Galaxia. Aunque al principio de su nacimiento todas estas estrellas hermanas se encontraban cerca unas de otras, como ocurre hoy en día en el cercano cúmulo de las Pléyades, en

la actualidad vagan a lo largo y ancho de la Galaxia debido a las fuerzas de marea galácticas que disgregaron el cúmulo por completo. Lamentablemente, hoy día resulta prácticamente imposible saber cuáles de todas las estrellas que vemos son hermanas de nuestro Sol.

Así pues, cuando miramos a la Gran Nebulosa de Orión o al cúmulo de las Pléyades, estamos viendo instantáneas de un proceso similar a la formación de nuestro Sistema Solar. ¿Pero cómo se pasó del panorama antes descrito, de ser un bello y frío fragmento de nebulosa, una bolsa de gas y polvo interestelar sumida en la oscuridad de la Galaxia, a ser una estrella brillante rodeada de planetas? La respuesta está en la gravedad, el gran motor de todo cambio en la historia del Universo. Si no fuera por la gravedad, estas gigantescas nubes interestelares seguirían siendo sólo nubes, que con el tiempo se disgregarían hasta que sólo quedara un gas que cubriera uniformemente la Galaxia, como le ocurre a una bocanada de humo de cigarrillo lanzada en una gran habitación. Sin embargo, la gravedad hizo que el fragmento de nebulosa se comenzara a colapsar sobre sí mismo gracias a su propio peso.

Una vez comienza la fase de colapso gravitatorio de uno de esos fragmentos de nebulosa, ya no hay vuelta atrás. Poco a poco, el fragmento en contracción se va haciendo esférico. En su parte central, más densa, la nube de gas y polvo comienza a girar, y debido a la ley de conservación del momento angular, cuanto más se encoge, mayor es la velocidad a la que gira, hasta que al final acaba dando lugar a un giro desbocado. A causa de la fuerza centrífuga, esta zona central de la nebulosa primordial acabó convirtiéndose en un disco aplanado en el cual se formarían posteriormente los planetas. Pero desde el exterior poco era lo que se veía. Los restos que quedaban envolviéndolo todo eran todavía lo bastante densos y opacos como para ocultar lo que ocurría en su interior. Tan sólo la emisión de calor en forma de radiación infrarroja conseguía escapar. Mientras, la gravedad continuaba su trabajo: el centro de la nube seguía contrayéndose, haciéndose más denso y aumentando su temperatura. Hasta que, cuando ésta alcanzó los diez millones de grados, se encendieron los fuegos de la fusión nuclear y emergió una estrella: el Sol. Su luz iluminó de repente el inmenso disco de gas y polvo que le rodeaba.

Los planetas del Sistema Solar comenzaron a formarse posteriormente a partir de este disco circumstelar, mediante un proceso de acreción gravitatoria. Las partículas de polvo de ese disco desempeñan un papel crucial: tienen más masa que las moléculas de gas y por tanto mayor fuerza de gravedad. Poco a poco se atraen gravitatoriamente entre sí. Cuando quedaban unidas, se había formado en su lugar una partícula más grande, de más masa (y por tanto con mayor gravedad), que atraía a otras más, con lo que se generaba un proceso en cadena que acabaría en la formación primero de cuerpos de pequeño tamaño, llamados planetesimales, y después, conforme estos planetesimales se agrupaban a su vez, en la formación de varias

enormes bolas de masa, llamadas protoplanetas. Finalmente, los protoplanetas irían acretando hacia ellos el resto de la materia del disco. Con el tiempo, el disco quedó casi limpio, y prácticamente todo su material terminó en unos cuantos planetas que giraban alrededor del Sol. Pero éste no fue un proceso tranquilo, sino muy violento: cuando los primitivos planetas, todavía sumamente calientes y en formación, atraían tales «escombros» a la deriva por el Sistema Solar, éstos no se posaban tranquilamente en el suelo del planeta, sino que impactaban de manera explosiva. La propia Luna se originó como resultado del impacto de un cuerpo gigantesco con nuestra Tierra. De hecho, a la época en la que el Sistema Solar se acababa de configurar se la conoce también como el Gran Bombardeo. Terminó hace aproximadamente 3.800 millones de años, y la mayor parte de los cráteres que encontramos en los cuerpos del Sistema Solar provienen de aquella época.

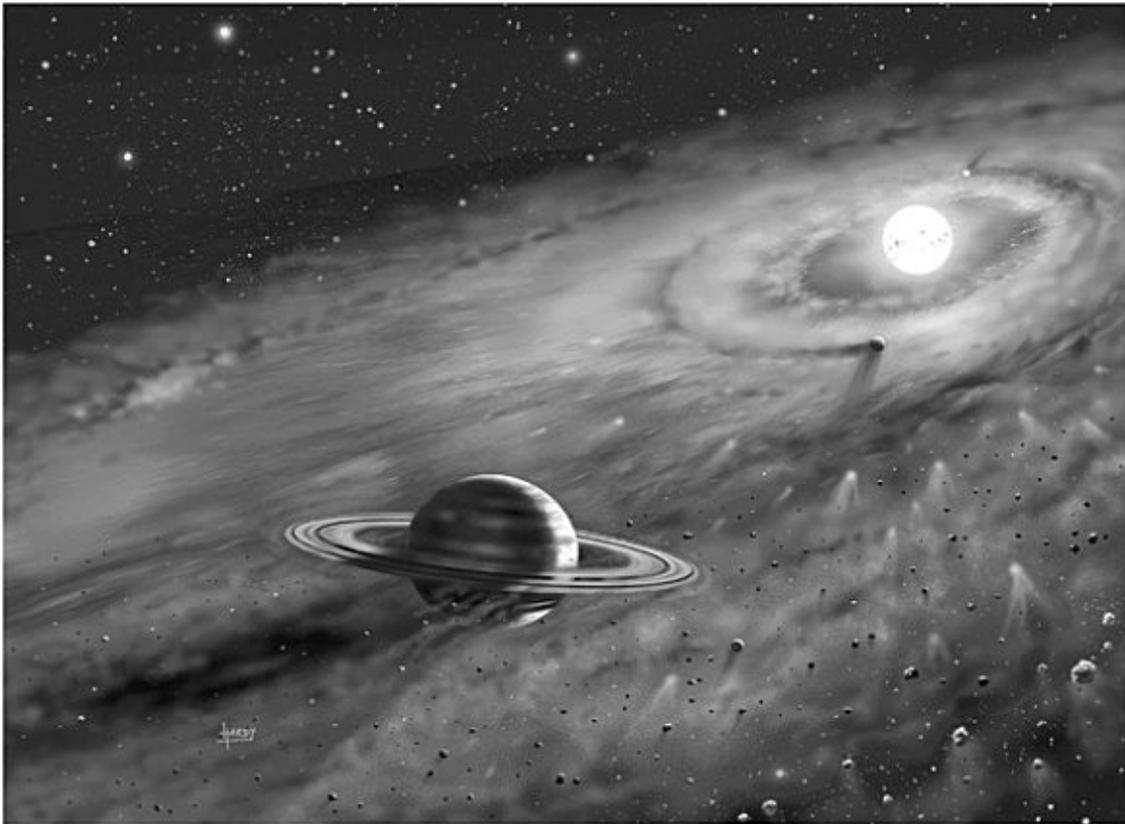
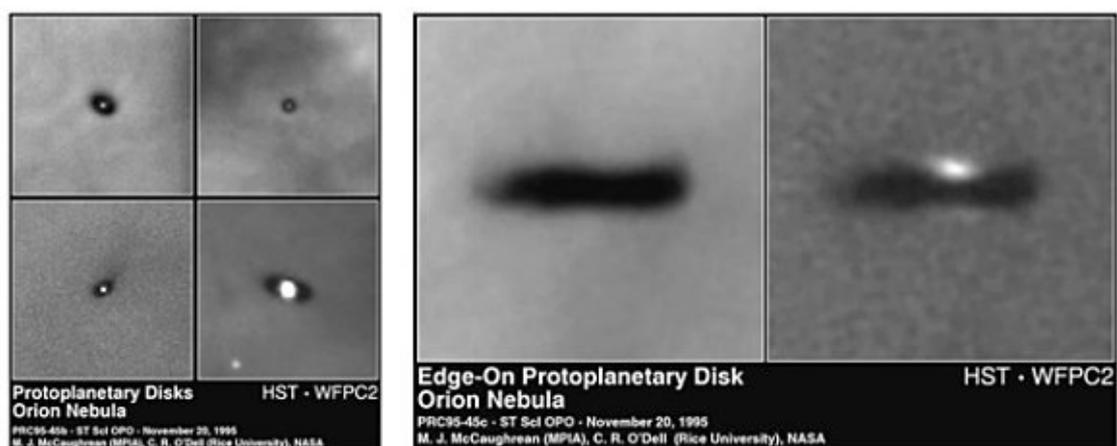


Imagen artística de la formación de un sistema planetario. Observamos una estrella y sus planetas ya formados con el disco protoplanetario aún insinuado. © David A. Hardy/astroart.org/PPARC.

Hay otros mundos, pero están muy lejos

Hasta hace unos años, todo esto era una teoría, aunque muy bien fundada y con muchas pruebas que la avalaban: todos los planetas del Sistema Solar se encuentran

en un mismo plano (prácticamente, las variaciones son de muy pocos grados) y giran alrededor del Sol en el mismo sentido (llamado directo), hechos imposibles de explicar si los planetas del Sistema Solar no se hubieran formado a la vez en un disco que giraba alrededor del Sol. Pero en la actualidad ha pasado de la teoría al campo de la observación, ya que hemos podido fotografiar otros sistemas planetarios en el momento de su formación. El telescopio espacial *Hubble* ha tomado imágenes detalladas de diversos sistemas estelares que están formándose, con un oscuro disco de polvo y gas que gira alrededor de una estrella recién nacida, verdaderas instantáneas de nuestro pasado más lejano. Buena parte de ellos han sido observados en la cercana e inmensa nebulosa de Orión, un auténtico criadero de estrellas. En algunos casos, los discos parecen tener espacios vacíos, justo lo que es de esperar si esas estrellas poseen planetas gigantes que han barrido de material su órbita: las huellas de otros mundos.



Imágenes tomadas por el Telescopio Espacial *Hubble* en la región de Orión que muestran discos de polvo alrededor de estrellas. Cortesía del Hubble Space Telescope-NASA/ESA.

Ante estos hechos, otro telescopio espacial que estudia principalmente la radiación infrarroja, el *Spitzer*, se ha dedicado también a observar detenidamente la nebulosa de Orión, y ha obtenido una imagen en el infrarrojo en la que se han descubierto casi ¡2.300 discos de formación planetaria! que giran alrededor de estrellas. A partir de estos datos, se estima que en torno al 70% de las estrellas en la nebulosa de Orión posee discos de formación planetaria, lo que nos muestra que el proceso que formó el Sistema Solar antes descrito es de lo más común.

Pero no sólo hemos observado sistemas planetarios en formación. En realidad, se ha visto también una enorme cantidad de planetas ya formados, girando en torno a otras estrellas. El primero de ellos se encontró en 1995, y supuso un auténtico bum, ya que por primera vez se tenían pruebas directas de que nuestro Sol no era la única estrella que tenía planetas. Hoy día, gracias a la mejora de la instrumentación astronómica, se han encontrado ya más de 200 planetas extrasolares, y esta cifra

aumenta día a día. En su mayor parte, estos nuevos exoplanetas son planetas gigantes (en muchos casos, con tamaños mucho mayores que Júpiter), con períodos orbitales pequeños y órbitas excéntricas de corto período, muy cercanas a la estrella central, lo que parece indicar que son sistemas planetarios muy jóvenes. Pero esto no quiere decir que ésta sea la norma; sencillamente, se han encontrado tales planetas porque, dadas sus características, son los más llamativos y fáciles de encontrar. Además, muchos de ellos se han encontrado en sistemas estelares binarios. Toda una sorpresa, porque durante un tiempo se pensó que los sistemas estelares formados por dos o más estrellas no podían contar con planetas, pues todo el material se habría consumido en la formación de esas estrellas. Este descubrimiento de repente amplía el rango de estrellas que pueden tener planetas.

Es de esperar que con el avance de la tecnología y la puesta en marcha de nuevas misiones espaciales, se incremente de prisa el número de exoplanetas descubiertos. Entre estas misiones se encuentra la francesa COROT, un telescopio espacial que cuenta con una notable participación de la Universidad de Valencia. Cuando esté en funcionamiento, COROT medirá variaciones en la luz de las estrellas, y estudiará, entre otras, a varias estrellas candidatas a tener sistemas planetarios. Si en realidad estas estrellas tienen planetas y coincide que uno de ellos pasa por delante de la estrella tapando parte de su luz, COROT lo descubrirá al detectar la disminución de brillo. Otra misión interesante es GAIA, de la Agencia Espacial Europea (ESA), dedicada a medir con extraordinaria precisión la posición de cientos de miles de estrellas. Si alguna de estas estrellas tiene un planeta orbitándola, su fuerza de gravedad hará que la estrella sufra un pequeño bamboleo, pequeño pero detectable por GAIA. Con esta misión será posible encontrar planetas del tamaño de Júpiter, o incluso menores. Por último, hay que destacar la misión Kepler, en esta ocasión de la NASA, una compleja misión diseñada específicamente para encontrar planetas similares a la Tierra.

Pero una nueva técnica se ha añadido a la búsqueda y se está revelando como extraordinariamente útil. Se trata de las microlentes gravitatorias. Como nos muestra la relatividad general, la masa de los astros deforma el espacio en torno a ellos. Cuando un rayo de luz pasa cerca del astro, sufre un desvío en su trayectoria. En cierta forma, este espacio deformado por el astro se comporta como una lente, y se puede usar de esa forma. Con las condiciones ideales, el astro puede amplificar la luz, como una lupa, e intensificarla. Cuando la luz de una estrella mucho más lejana, en segundo plano, en su recorrido hacia la Tierra pasa cerca de un planeta desconocido, de repente la luz de la estrella se amplifica, revelando la presencia del planeta desconocido. Esta técnica, con la que ya se han detectado algunos planetas extrasolares, ha mostrado ser extremadamente sensible y tiene en la actualidad el récord absoluto pues, como se publicó en la revista *Nature* en enero del 2006, ha

servido para descubrir el planeta extrasolar más pequeño encontrado hasta la fecha: de tan sólo ¡cinco masas terrestres! Es el primer descubrimiento confirmado de un planeta rocoso tipo Tierra, lo que es una excelente indicación de que el Sistema Solar no es un caso especial.

Las señales más antiguas de vida

El conocimiento de cómo se formó nuestro Sistema Solar y la detección de numerosos planetas extrasolares y sistemas planetarios en formación nos revela que en la Galaxia existen innumerables mundos en los que eventualmente podría aparecer la vida. Pero una vez que tenemos un mundo formado ¿cómo de probable es que aparezca la vida en él? De nuevo, para estimar esta probabilidad, hay que partir del estudio de lo conocido. Por desgracia, en este caso muy poco es lo que conocemos con seguridad sobre la aparición de la vida en la Tierra. Sólo contamos con un conjunto de atractivas teorías y algunas pruebas químicas y geológicas para guiarnos. Comencemos con la geología.

Los materiales más antiguos que se conservan en nuestro planeta son unos circones encontrados dentro de algunas rocas del oeste de Australia. El circón es un mineral muy duro que resiste muy bien la erosión, por ello es común encontrar circones que son más antiguos que la roca que los contiene. Los del oeste australiano están datados en unos 4.400 millones de años de antigüedad. Lo interesante de ellos es que muestran pruebas químicas inequívocas de que provienen de la fusión de una roca que había sido alterada previamente por agua líquida a bajas temperaturas y cerca de la superficie. Es decir, estos circones demuestran que ya había agua líquida en la superficie de la Tierra hace 4.400 millones de años y temperaturas superficiales no muy diferentes a las actuales.

La siguiente parada la haremos en Isua y Akilia, en Groenlandia, donde aflora una interesante sucesión de rocas antiguas, tan bien preservadas que es posible identificar sin duda su origen. De esta manera, podemos saber que buena parte de ellas derivan de antiguas rocas volcánicas submarinas, mientras que otras muchas tienen un origen sedimentario marino innegable. Éste constituye el conjunto de rocas sedimentarias más antiguo que conocemos en la Tierra, ya que tienen edades entre 3.850 y 3.760 millones de años. Son la primera evidencia directa de que hace unos 3.800 millones de años la Tierra ya tenía océanos en cuyo fondo se producía una sedimentación provocada por la erosión de antiguos continentes. Esta época coincide precisamente con el final del Gran Bombardeo, la etapa en que el Sistema Solar acabó de configurarse y las órbitas planetarias quedaron limpias de fragmentos rocosos. Lo

cual tiene lógica, pues mientras esas inmensas rocas espaciales siguieran cayendo sobre la Tierra, debido a la energía de los violentos choques, cualquier océano que se pudiera formar herviría inmediatamente y se convertiría en vapor. Sólo cuando el bombardeo meteórico acabó, fue posible que el planeta tuviera océanos estables.

Pero estas mismas rocas groenlandesas nos deparan una gran sorpresa, pues muestran una firma química inequívoca de actividad biológica: una anomalía isotópica en su carbono, una discrepancia entre las concentraciones de los isótopos ^{12}C y ^{13}C , análoga a las producidas por los seres vivos. No todo el carbono de la naturaleza es igual, sino que este elemento tiene dos isótopos estables: el ^{13}C y el ^{12}C (además del famoso e inestable ^{14}C usado en arqueología y geología para datar restos antiguos). Aunque ambos isótopos pueden participar en los mismos compuestos y reacciones, los seres vivos van a preferir siempre usar el más ligero de los dos. Esto quiere decir que los organismos y sus productos van a estar más enriquecidos en ^{12}C que la materia no originada por organismos. Eso es exactamente lo que se encontró en los sedimentos de Isua, un mayor enriquecimiento de ^{12}C .

El origen biológico de este desequilibrio isotópico, que se publicó en *Nature* en 1996, fue puesto en duda desde entonces por diversos investigadores. Pero recientemente, en julio del 2006, un nuevo estudio más detallado de estos estratos parece confirmar que, en efecto, fueron seres vivos los causantes de esta firma química, lo que nos estaría diciendo que la vida se originó en nuestro planeta muy al principio de su historia, sólo unos cientos de millones de años después de que la Tierra fuera una bola fuego. Además, si en los pocos sedimentos que conocemos de aquella época encontramos huellas de esta biosfera de hace 3.700-3.800 millones de años, si esta muestra al azar de aquel mundo pasado presenta restos de vida, eso querría decir que la vida estaría ya extendida por todo el planeta.

Otros datos geológicos apuntan también hacia un origen temprano de la vida: unas interesantes formaciones sedimentarias, llamadas formaciones de hierros bandeados (o en su abreviatura inglesa, bif, *Banded Iron Forms*). Estas rocas sedimentarias marinas están formadas por la alternancia de capas milimétricas de óxidos de hierro y sílex, y son especialmente abundantes en el Arcaico y Proterozoico inicial, siendo notoriamente escasas posteriormente. Las más antiguas tienen de nuevo 3.800 millones de años, y pueden encontrarse también en los depósitos groenlandeses. ¿Qué tienen que ver con la vida estas formaciones? Bueno, resulta que el hierro sólo es soluble en el agua como Fe^{2+} , por lo que en presencia de oxígeno libre en el agua el hierro se oxida y precipita. Pero hasta que la vida apareció, no pudo haber oxígeno libre en la atmósfera de nuestro planeta. ¿Cómo se oxidó ese hierro? La respuesta es que estamos viendo la acción de seres vivos. El hierro, que probablemente emanaría de chimeneas submarinas, se disolvería en el agua libre de oxígeno y sería transportado hasta zonas marinas someras donde precipitaría, porque

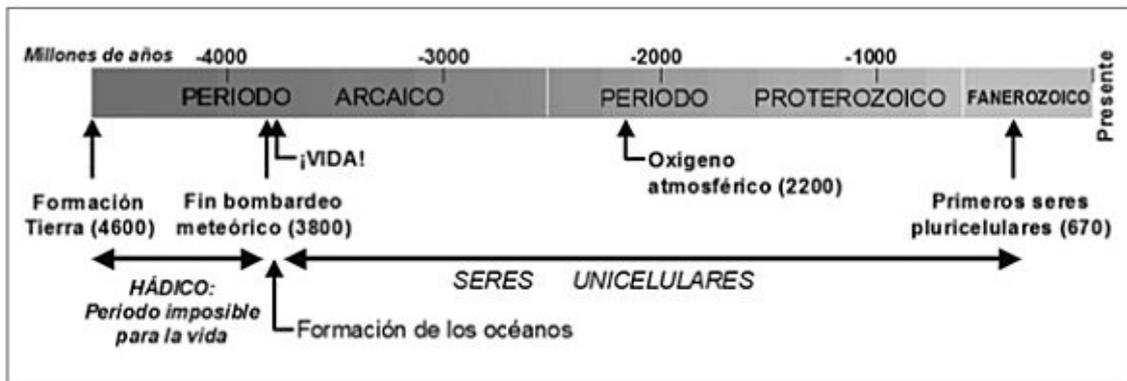
era allí donde los primeros organismos fotosintéticos estarían actuando liberando oxígeno al agua.

Por último, nos trasladamos a Pilbara, Australia Occidental, donde encontramos unas extraordinarias estructuras fósiles, llamadas estromatolitos. Los estromatolitos son formaciones rocosas generadas por la acción de cianobacterias, en cierto sentido análogas a los arrecifes de los corales: los restos de las bacterias se van depositando capa tras capa, creando una estructura de aspecto rocoso que crece con el tiempo. En la actualidad, hay todavía estromatolitos vivos (por cierto, también en Australia) gracias a los cuales es posible reconocer qué son estas formaciones fósiles que se encuentran en Pilbara, datadas en 3.500 millones de años de antigüedad. Aunque en la actualidad el origen biológico de estas estructuras fósiles es muy discutido, y se han propuesto varias alternativas no biológicas para explicarlas, muchos geólogos defienden el origen biológico de estas rocas, por lo que el debate continúa.



Estromatolitos vivos actuales en Shark Bay, Australia. Cortesía de Cambridge Carbonates Ltd.

En cualquier caso, todos estos datos en conjunto apoyan firmemente una conclusión: en cuanto fue posible tener océanos de agua líquida permanentes (tras el Gran Bombardeo), en cuanto se dieron las condiciones para permitir la existencia de vida, ésta surgió rápidamente, con facilidad, en un brevísimo lapso de tiempo. Por otra parte, como se puede ver en la línea del tiempo de la imagen siguiente, la llegada de la vida compleja pluricelular se hizo bastante de rogar. La mayor parte de la historia de la vida en la Tierra la escribieron organismos unicelulares. ¿Indica esto la dificultad de que se dé este paso? ¿Tal vez sea ese el cuello de botella en el camino a la inteligencia?



Línea del tiempo: desde la formación de la Tierra hasta el presente.

El milagro de la vida

A la vista del apartado anterior, un simple argumento estadístico nos sugiere que fue bastante fácil que la vida se formara en nuestro mundo. Pero no nos dice nada sobre cómo surgió. ¿Qué procesos se dieron para que la vida apareciera tan deprisa? ¿Son esos procesos generales a otros mundos? La verdad es que es poco lo que sabemos. Para empezar, ni siquiera estamos seguros de cuál era la composición de la atmósfera primitiva, lo que es fundamental para conocer qué procesos químicos prebióticos llevaron a la formación de seres vivos. En la actualidad, las atmósferas de los planetas llamados terrestres (Mercurio, Venus, Tierra y Marte) no tienen nada que ver con las atmósferas que tuvieron durante la época de su formación. En su mayor parte, son el resultado de procesos posteriores, como por ejemplo desintegraciones radiactivas del núcleo, la evaporación de los hielos atrapados en los planetesimales, erupciones volcánicas, o en el caso de la Tierra, el efecto de los seres vivos, que ha determinado de manera brutal la actual composición atmosférica. Estas atmósferas secundarias aportan por tanto poca información sobre las condiciones que imperaban en la Tierra primigenia.

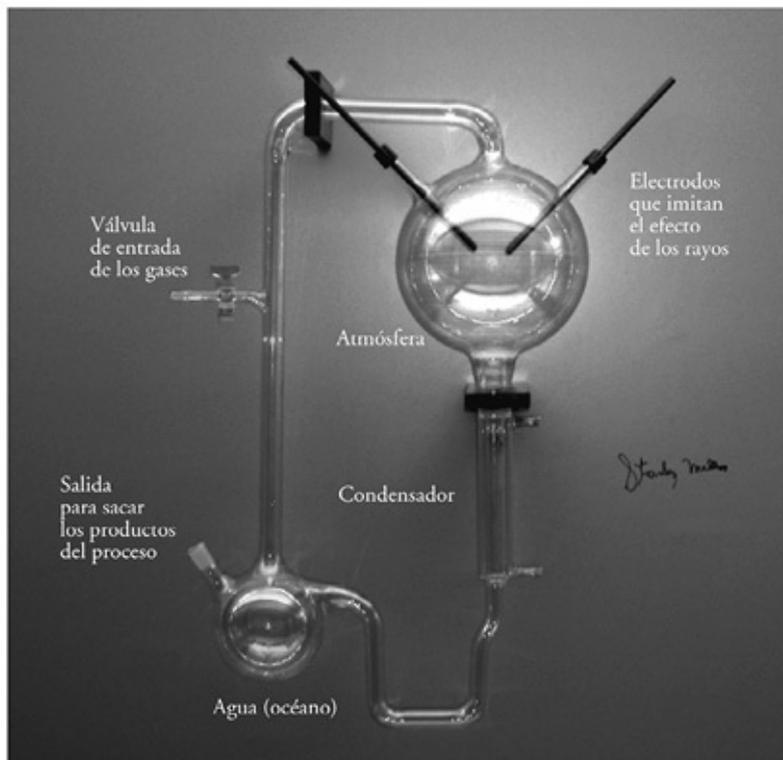
Sin embargo, hay razones para creer que las atmósferas de los planetas gigantes (Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno) sí que son básicamente de tipo primario, y han permanecido bastante inalteradas desde que estos planetas se formaron, y puede ser por tanto una buena representación de la atmósfera originaria que debieron de tener los planetas del Sistema Solar (y entre ellos la Tierra) durante su formación. En estas atmósferas, constituidas en su mayor parte por hidrógeno y helio, el carbono es el tercer elemento más abundante (si bien disminuye su abundancia cuanto más cercana al Sol es la órbita de un planeta). Este carbono se presenta sobre todo en las capas altas de la atmósfera de los planetas gigantes, en forma de metano. Otros elementos que enriquecen estas atmósferas son el nitrógeno, azufre, fósforo... Tomando estos

datos como guía, en 1953 Stanley Miller llevó a cabo un famoso experimento, que supuso el paso de la teoría a la experimentación activa en el estudio del origen de la vida.

Miller le propuso al que entonces era su director de tesis, Harold Urey, simular las condiciones de la Tierra primitiva en el laboratorio, tanto de la atmósfera como de los océanos. Para ello ideó un sistema de tubos donde se encontrarían los gases que emularían la atmósfera: metano (CH_4), amoníaco (NH_3), vapor de agua (H_2O) e hidrógeno molecular (H_2). Se trataba de una atmósfera con un alto poder de reducción. Esto no quiere decir que las cosas allí metidas encogieran de tamaño; en química, la *reducción* es el nombre que se le da al proceso contrario a la oxidación. La atmósfera actual de la Tierra, con su elevado contenido de oxígeno molecular, es muy oxidante y, si dejamos un clavo de hierro a la intemperie, al cabo del tiempo termina completamente oxidado. En una atmósfera reductora ocurre lo contrario: si dejáramos allí un clavo oxidado, acabaría por desoxidarse (es decir, «reducirse»), perdería todo resto de óxido y quedaría como nuevo.

Una vez convencido su director tesis, Miller se puso manos a la obra. Dispuso un sistema tubular que terminaba por arriba en un matraz donde se mezclaban los gases, y por abajo en otro matraz que contenía agua a modo de océano. Todo el sistema estaba herméticamente cerrado para que los gases no se escaparan. Para emular las fuentes de energía que pudiera haber en la atmósfera primitiva (radiación ultravioleta proveniente del Sol, o rayos debidos a tormentas en la atmósfera), se emplearon electrodos que generaban descargas eléctricas en el matraz superior (la atmósfera). Para simular el ciclo de evaporación y posterior condensación, es decir, la lluvia, se calentaba el matraz inferior (el océano) a fin de que el agua se evaporara y entrara en contacto con los gases reductores, y se enfriaba luego el gas en un condensador. En ausencia de descargas eléctricas, esta lluvia estaba limpia. Pero cuando en la atmósfera del experimento se producían chispas, algo mágico pasaba.

Tras varias semanas de funcionamiento, Miller encontró «sedimentos» en el fondo de su «océano». Los análisis químicos mostraron que ese sedimento estaba formado por moléculas mucho más complejas que las iniciales. El resultado no era una mezcla indiscriminada, sino que principalmente se formó un pequeño número de sustancias de gran importancia biológica: aminoácidos (como glicina, alanina y ácido aspártico), y urea. Las moléculas precursoras de la vida.



Réplica del experimento de Stanley Miller que se encuentra en el Institut Cavanilles de Biodiversitat de la Universitat de València, firmado por Stanley Miller durante una visita a Valencia.

Desde entonces, el experimento de Miller se ha repetido en innumerables ocasiones, realizándose diversas variaciones sobre el mismo. Uno de los resultados de estos experimentos es que la fuente de energía puede cambiar: la luz ultravioleta o los rayos cósmicos tiene un efecto similar a las chispas del experimento original, produciéndose la síntesis de moléculas orgánicas complejas. Otro resultado interesante es que no debe haber oxígeno en la atmósfera del experimento: incluso en cantidades pequeñas, oxida los gases y el experimento fracasa. Por último, una atmósfera fuertemente reductora, con presencia de amoníaco y metano, aporta múltiples ventajas para la formación de productos prebióticos. De lo contrario, los rendimientos en la formación de las moléculas orgánicas disminuyen mucho.

En este ambiente idóneo se generarían gran cantidad de moléculas orgánicas complejas que se acumularían en los océanos primordiales, dando lugar a lo que se ha bautizado como la *sopa primordial*, un término que se asocia a menudo con Aleksandr Oparin, que fue uno de los primeros, allá en 1924 y dentro de la hermética Unión Soviética, en teorizar con rigor sobre el origen de la vida (a pesar de que Oparin no llegara a utilizar este término en sus escritos). En esta sopa primordial se irían produciendo los sucesivos pasos de síntesis de moléculas prebióticas cada vez más complejas, que culminarían en la aparición de las primeras células vivas, a partir de las cuales evolucionaría el resto de la biosfera. Si existió esta sopa primordial, debió de ser en algún momento poco después del Gran Bombardeo.

Sin embargo, hoy día ese escenario de sopa primordial no está tan claro. Hay

investigadores que creen que la atmósfera primitiva de la Tierra no era reductora, sino más bien neutra: la composición de la atmósfera terrestre en sus inicios debió de estar formada en buena parte por los gases internos emitidos por nuestro planeta durante las numerosas erupciones volcánicas de la Tierra primitiva. Estos gases son, principalmente, vapor de agua, dióxido de carbono y dióxido de azufre. Por tanto, el carbono no estaría en su mayoría en forma de metano, sino de dióxido de carbono, con lo que la atmósfera primaria de nuestro planeta no debía de ser en sus inicios especialmente reductora. Y en esas condiciones, difícilmente pudo sustentarse la producción de moléculas complejas. Por este motivo, muchos especialistas opinan que el aporte exterior de materia orgánica, a través de cometas y meteoritos, fue esencial para las primeras etapas prebióticas.

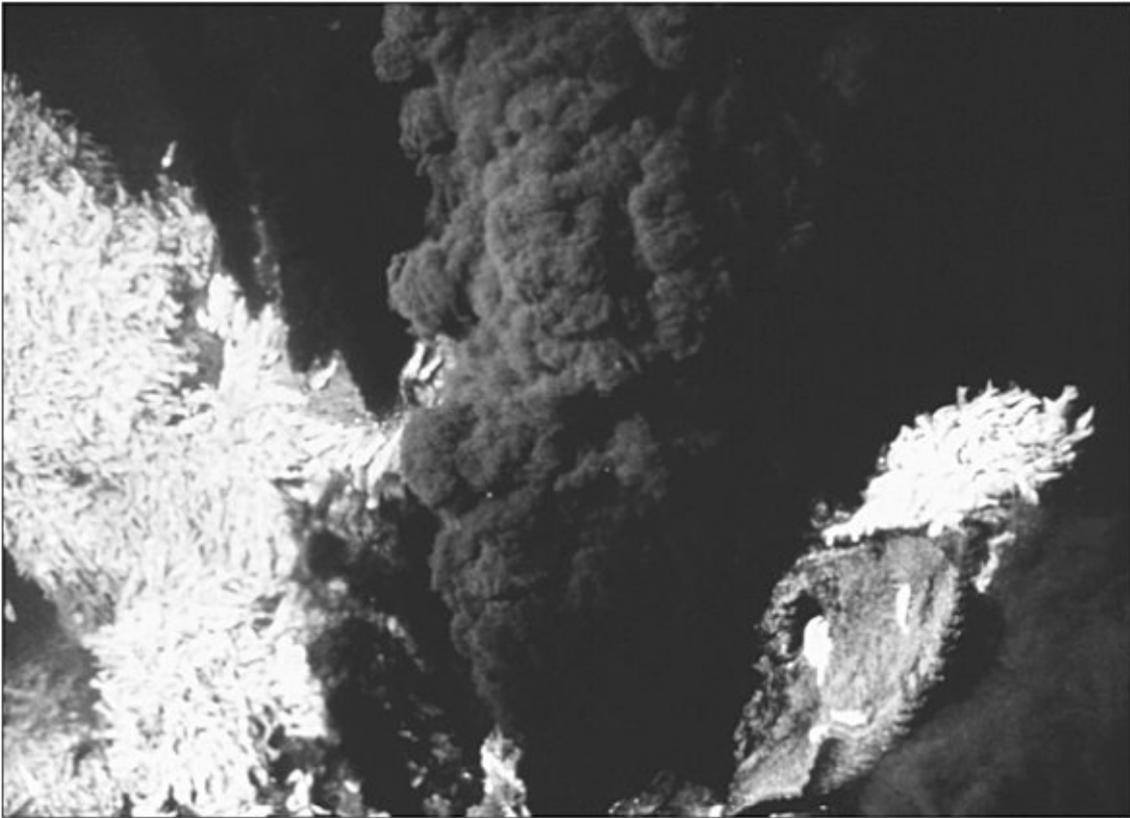
Un polímero en la chimenea

Las moléculas de la vida se dividen en dos grandes grupos: ácidos nucleicos (como el DNA y el RNA) y proteínas. En todos estos casos se trata de largas cadenas de moléculas más pequeñas llamadas *monómeros*, que se alinean como cuentas en un collar. En el caso de las proteínas, estos monómeros son aminoácidos como los que se formaron en el experimento de Miller, y en el de los ácidos nucleicos, nucleótidos. Este tipo de moléculas formadas por cadenas de monómeros se llaman *polímeros* (polimerizar viene a querer decir algo así como hacer cadenas, encadenar). En los seres vivos, cada uno de estos tipos de polímeros tiene diferentes labores. El DNA es el almacén universal en el que se almacena toda la información del ser vivo, universal en el sentido de que lo comparten todos los seres vivos. Por su parte, las proteínas son los constituyentes, los ladrillos, con los que se construyen los seres vivos; nuestra carne, nuestro pelo y uñas están formados por proteínas. Las proteínas también tienen la labor de catalizar las reacciones químicas de la vida. El RNA por su parte, funciona como intermediario entre el DNA y las proteínas.

El problema está en que toda esta maquinaria química se encuentra íntimamente imbricada y funciona como un todo: las proteínas están codificadas en el DNA y es el DNA el que las produce (cuando un gen produce una proteína se dice que *se expresa*), pero por su parte son las proteínas las que catalizan la replicación del DNA. Es decir, las proteínas no se pueden crear sin dna, pero el DNA no se puede duplicar sin proteínas. Esta versión bioquímica del viejo dilema del «huevo y la gallina» ha traído de cabeza a los biólogos, pues parece poco probable que ambos tipos de moléculas se formaran en la sopa primordial a la vez, tan perfectamente adaptadas las unas a las otras. La solución parece estar en esa tercera molécula que ha quedado relegada al

mero papel de correveidile entre ambas, el RNA. Esta atractiva teoría, que recibe el nombre de *mundo del RNA*, teoriza que en las etapas iniciales del origen de la vida, era el RNA la molécula encargada de realizar la doble función que hoy día hacen por separado DNA y proteínas. Sabemos que el RNA puede almacenar información, ya que hay virus sin DNA que usan una molécula de RNA para almacenar su información constitutiva. Por otro lado, se ha demostrado que cierto tipo de moléculas de RNA llamadas ribozimas tiene también propiedades catalíticas. Por tanto, no parece descabellado que el *mundo del RNA* haya sido en efecto una de las etapas por las que pasó la Tierra en su camino hacia la vida. El delegar las actividades de almacenaje de información y catalización de reacciones al DNA y a las proteínas, respectivamente, sucedería mucho después en la historia bioquímica.

Aunque esta teoría sea cierta, aún queda otro problema: cómo pasar de una colección de monómeros que se hubieran formado en la sopa primordial a tener un polímero, una cadena tan complicada como el RNA. La polimerización es un paso determinante: es necesaria la formación de moléculas de entre 20 y 100 monómeros para que pueda haber una primitiva catálisis y replicación. Sin embargo la polimerización, la creación de estas moléculas gigantes, es energéticamente desfavorable; resulta más fácil tener monómeros sueltos. Para solventar esta dificultad muchos autores apuestan por las superficies minerales como soporte catalítico para favorecer este indispensable proceso. Las que gozan de más consideración entre la comunidad científica son las arcillas (como la montmorillonita) y la pirita. Estos minerales sirven de «andamio» para guiar a los monómeros a que se unan en polímeros. No se trata de meras teorías. Experimentos de laboratorio han demostrado que sustancias como la adenosina y la guanosina, absorbidas en montmorillonita, dan lugar a polímeros de RNA.



Chimenea hidrotermal submarina. Cortesía de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).

Todas estas originales y nuevas alternativas para el mundo prebiótico se han visto favorecidas por el descubrimiento hace unos años de las chimeneas hidrotermales submarinas y los ecosistemas que las rodean. Estos sistemas hidrotermales parecen contener todos los elementos necesarios para hacer reales los teóricos mundos primitivos: un ambiente local muy reductor, una alta concentración de minerales y calor, y la evidencia de ser verdaderos reactores químicos y biológicos. Las chimeneas hidrotermales se sitúan principalmente cerca de las dorsales submarinas, y en ellas se producen emanaciones muy cargadas de metales. Estas emanaciones dan lugar a un fuerte desequilibrio químico que provoca la precipitación de minerales metálicos, base de la energía química que utilizan muchos de los microorganismos que viven hoy en día en estos ambientes.

Pero también encontramos aquí la síntesis de compuestos orgánicos similares a los del experimento de Miller. Además, se produce una gran cantidad de minerales (piritas y arcillas) en cuyas superficies se podrían dar reacciones de polimerización. Una de las grandes ventajas de estos ambientes como hipotéticas cunas de la vida, es que estos procesos no dependen de las condiciones externas (composición o temperatura atmosférica) para que se sinteticen compuestos orgánicos complejos, que a la postre llevaran a la vida en la Tierra.

¿Un mundo especial?

Sin duda, la rapidez de la formación de la vida en nuestro mundo es uno de los argumentos más potentes para pensar que, en cuanto se tiene un planeta con las condiciones adecuadas, es muy probable que surja la vida en él. ¿Pero abundan estos mundos con las «condiciones adecuadas»? O dicho de otro modo ¿es la Tierra un planeta normal?

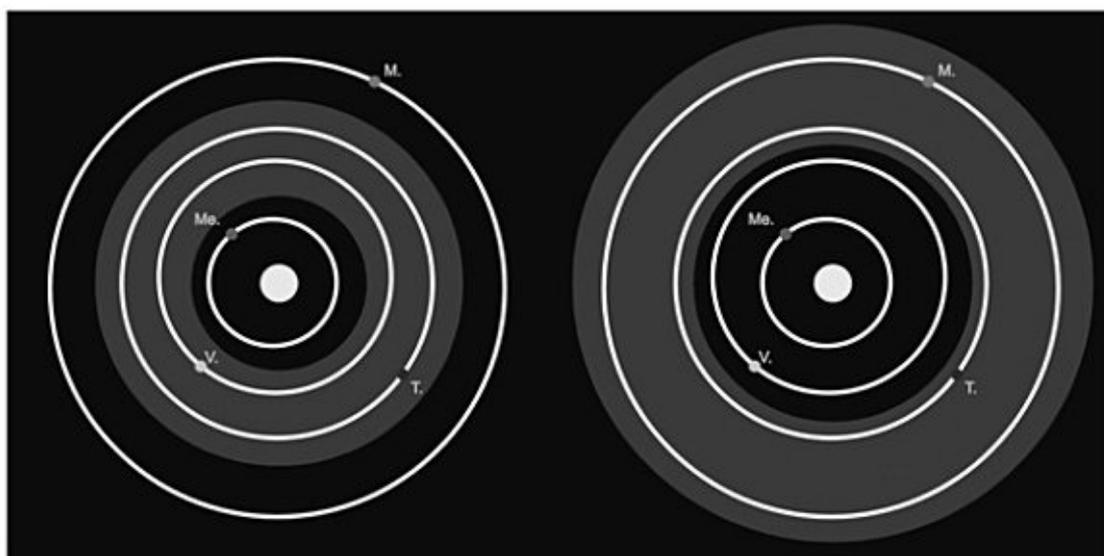
Frente a los que creen que sí, se encuentra la postura de otros científicos que piensan que, después de todo, nuestro mundo es especial; que éste es el único planeta donde la inteligencia y la civilización han surgido. El argumento básicamente dice que la aparición de vida compleja pluricelular como la de nuestro planeta (requisito necesario para que surja la inteligencia) es extraordinariamente improbable, y que sólo un sorprendente cúmulo de coincidencias puede permitir que aparezca. La probabilidad de que esa cadena de coincidencias improbables se dé puede que sea tan baja como, digamos, una entre un cuatrillón (un uno seguido de 24 ceros). Pero el Universo es muy grande, quizá incluso, infinito. Si en todo el volumen del Universo observable hubiera más de un cuatrillón de planetas, la estadística más elemental nos dice que, tal vez, en al menos un planeta se llegará a dar esa afortunada serie de coincidencias. Bien. Ese planeta se llama Tierra.

Esta hipótesis que defiende la excepcionalidad de la Tierra recibe el nombre de Tierra Rara. Sostiene que nuestro planeta es un mundo entre algodones, un lugar donde se ha dado toda una serie de improbables circunstancias afortunadas que han conducido a la vida compleja. Basta con que una de ellas no hubiera sucedido para que no existieran seres inteligentes que estuvieran leyendo este libro.

Entre estas coincidencias improbables se encuentra el hecho de que la órbita del Sol alrededor del centro de la Galaxia es prácticamente circular. Esto hace que nuestro Sistema Solar se encuentre siempre a la misma distancia del núcleo galáctico, lejos de las potentes emisiones de rayos gamma del agujero negro supermasivo que habita en su interior. Estrellas con órbitas más excéntricas no han tenido tanta suerte y cada cierto tiempo se acercan demasiado a la peligrosa zona central de la Galaxia.

Otra coincidencia es que la Tierra se encuentra a la distancia correcta del Sol, en una región del Sistema Solar bautizada con el nombre de Zona de Habitabilidad. Esta zona se define como la región en la cual la radiación de la estrella puede mantener temperaturas en la superficie planetaria lo bastante altas para permitir que el agua esté líquida (que luego lo esté o no puede depender de otros factores, como la presión atmosférica, el albedo o la presencia de gases con efecto invernadero). Si la Tierra estuviera mucho más lejos del Sol, el agua estaría en forma de hielo y no tendríamos mares. Si estuviera más cerca, el calor del Sol sería demasiado elevado y el agua se evaporaría. Resulta además que la zona de habitabilidad cambia con la evolución de

las estrellas. Conforme pasa el tiempo y dejan de ser jóvenes, las estrellas van emitiendo cada vez más energía, con lo que la zona de habitabilidad se va alejando hacia el exterior. Cuando el Sol era una estrella joven, esta zona comprendía los planetas Venus y Tierra. Posteriormente, al aumentar la actividad solar, la zona de habitabilidad se extendió, y Venus quedó fuera de ella, comprendiendo actualmente los planetas Tierra y Marte. Por casualidad, nuestro planeta ha tenido una órbita privilegiada que le ha permitido encontrarse siempre dentro de esta zona ideal.



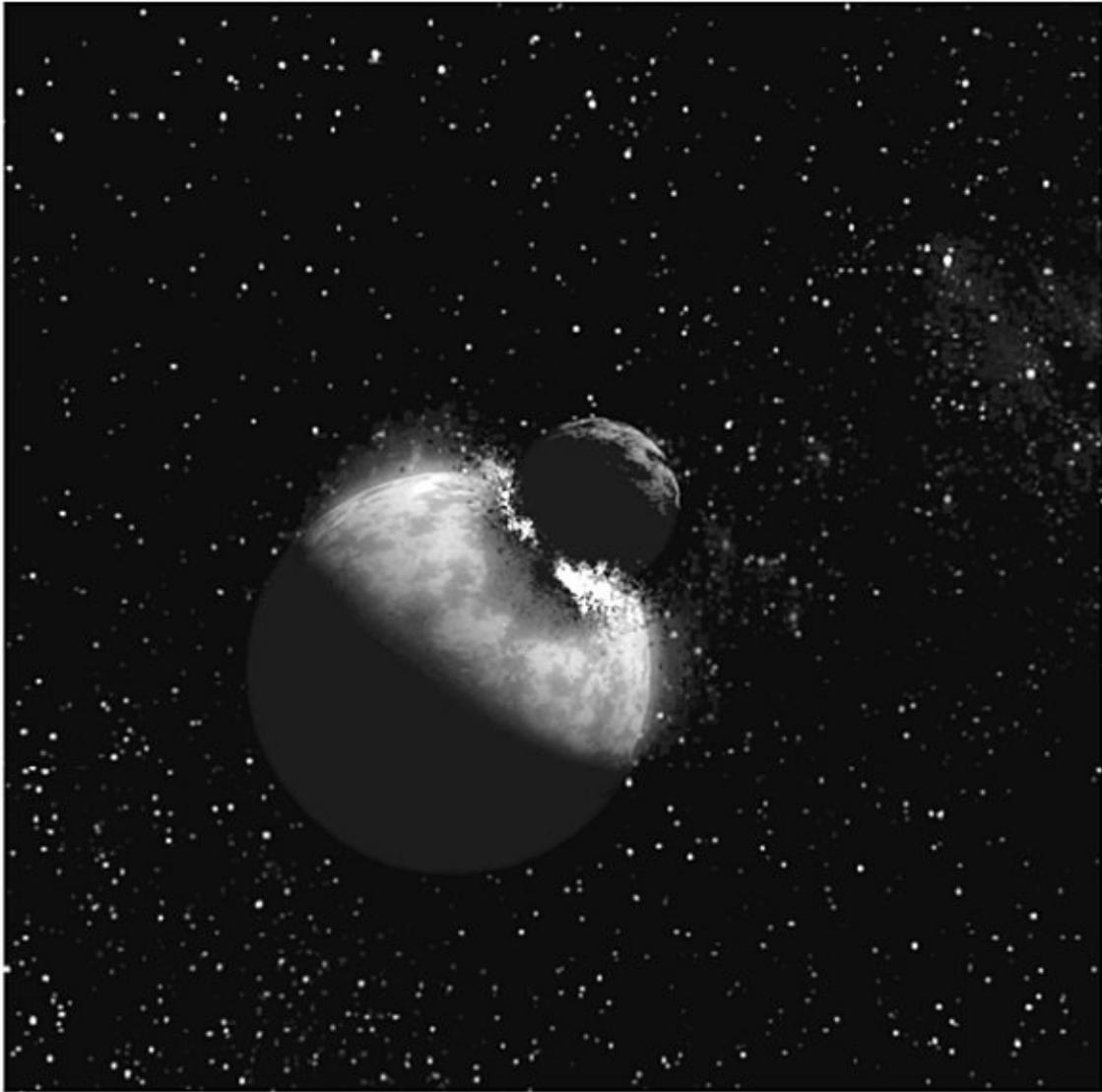
Evolución de la zona de habitabilidad en nuestro Sistema Solar conforme el Sol incrementó su actividad a lo largo de su vida. A la izquierda, el Sol joven es más frío y la zona de habitabilidad englobaba Venus y la Tierra. A la derecha, con el Sol actual, más caliente, engloba la Tierra y Marte.

Los defensores de la hipótesis de la Tierra Rara añaden otros elementos a la lista de singularidades del planeta, como el tener tectónica de placas. De todos los cuerpos rocosos del Sistema Solar, sólo nuestro planeta posee esta curiosa dinámica superficial, que permite entre otras cosas la renovación del CO₂ atmosférico y con ello la existencia de un ciclo del carbono, indispensable para la vida. Esta tectónica de placas única funciona, por una parte, gracias al elevado calor interno de nuestro planeta, que proviene en su mayor parte de la desintegración de elementos radiactivos en el interior del planeta, lo que mantiene el núcleo y el manto en un estado fluido. Y, por otra, por la existencia de agua líquida en la superficie, que funciona como lubricante entre placas (de hecho, las zonas de subducción sólo se encuentran en el fondo de los océanos). Es también esta fluidez del interior planetario la que permite que el núcleo de hierro del planeta continúe girando como una gran dinamo, gracias a lo cual se genera el campo magnético de la Tierra, con mucho el más potente entre los planetas rocosos del Sistema Solar. Como sabemos, el campo magnético de la Tierra crea un colchón efectivo contra las partículas cargadas de alta energía procedentes del viento solar, protegiendo a la vida de los efectos dañinos de esta

radiación.

A la lista de rarezas hay que añadir también la existencia de la Luna, un satélite gigante que no tiene parangón entre los demás planetas rocosos del Sistema Solar. Por supuesto, existen satélites de tamaño comparable, incluso mucho mayores, pero todos esos satélites giran alrededor de los planetas gigantes gaseosos. Ningún planeta rocoso posee un satélite tan grande como el nuestro, de un tamaño comparable al del cuerpo que orbita. Y ello se debe al extraño origen de la Luna, de nuevo una casualidad única. Hoy día hay un acuerdo general entre los astrónomos en que la Luna se formó como resultado de una colisión fortuita entre la primitiva proto-Tierra y un cuerpo planetario con un tamaño similar al del planeta Marte, durante la época de formación del Sistema Solar. Como resultado de esta colisión, los dos cuerpos planetarios se fusionaron en uno, uniéndose sus núcleos de hierro, y quedando en órbita alrededor del planeta Tierra resultante una gigantesca nube de materia, producto de la colisión, formando un anillo. Con el tiempo, el anillo se condensó en un segundo cuerpo planetario que estaba en órbita casi circular. Nacía así la Luna. Es importante destacar que para que al final se forme un cuerpo como la Luna en órbita circular, el ángulo en el que la colisión se debe producir ha de mantenerse en unos valores muy restringidos. Por tanto, sólo un choque de cada muchos podría terminar dando un sistema doble como el nuestro. Era más probable que no ocurriera, pero por casualidad ocurrió.

¿Pero qué relación puede tener la posesión de un satélite gigante con la vida? Para empezar, la Luna es la causante de las mareas. Muchas especies costeras dependen de este ciclo de subidas y bajadas del nivel del mar para su propio ciclo vital. Más aún, existen algunas teorías sobre la aparición de la vida que creen que las mareas lunares, debido a los cambios de concentraciones químicas que producían en las costas, fueron indispensables para que la vida apareciera sobre la Tierra. Por mencionar un ejemplo, una de estas teorías afirma que los componentes químicos prebióticos que posteriormente constituirían los primeros sistemas orgánicos se formaron precisamente en esas zonas costeras, entre la bajamar y la pleamar, alternando la desecación y exposición a la radiación solar de los compuestos químicos, con la subsiguiente disolución de los mismos en el mar, lo que les permitía reaccionar químicamente. Si estas teorías son ciertas, de no haber existido unas mareas tan acusadas como las que la Luna produjo en la Tierra primitiva, no se habría llegado a poner en marcha la maquinaria química que llevaría hasta los seres vivos.



Representación artística del impacto de la proto-Tierra con un planetóide de tamaño similar al planeta Marte, a partir del cual se formó la Luna. Cortesía del AOES Medialab, ESA 2002.

La Luna también tiene influencia en la inclinación del eje de rotación de la Tierra. Por una parte, es la causante de que éste sufra una pequeña oscilación periódica llamada *nutación* que, junto con otros efectos orbitales, produce cambios en la insolación recibida en las diferentes latitudes. Parece comprobado que estos cambios de insolación son los causantes de las glaciaciones, que periódicamente recubren la Tierra con una gruesa capa de hielo de enormes efectos para la vida. Pero, por otra parte, al parecer la Luna impide que la inclinación del eje varíe demasiado. Por comparación, algunos astrónomos sostienen que la inclinación del eje de Marte ha sufrido enormes oscilaciones a lo largo de su historia, debido a que el tirón gravitatorio de los planetas gigantes Júpiter y Saturno induce en el eje marciano una dinámica caótica. Si la Tierra no contara con el estabilizador efecto de la Luna, le ocurriría algo similar a Marte, lo que habría tenido sin duda consecuencias demoledoras para la vida.

Por último, no puedo dejar de mencionar una ingeniosa teoría debida a Isaac

Asimov y que aparece en su novela *Robots e imperio*. En ella se postula que la gravedad lunar impidió que los elementos radiactivos pesados como el uranio se hundieran demasiado en el interior planetario, en la época en que el planeta estaba en un estado fluido. Como resultado, la radiactividad superficial de la Tierra es mayor de lo que debería ser, y por tanto también la tasa de mutación de los seres vivos, lo que ha llevado a una evolución más rápida de lo que hubiera sido posible de no haber estado presente la Luna.

A pesar de los persuasivos argumentos de los defensores de la hipótesis Tierra Rara, a la mayoría de los científicos esta postura les suena demasiado al geocentrismo de épocas pasadas y a no querer resignarse a que el hombre pierda su papel protagonista en este Universo. De hecho, los fundamentalistas cristianos (y de otras religiones) suelen acoger con agrado esta teoría, tan acorde con sus expectativas religiosas.

En realidad, no está claro cómo de excepcionales son las circunstancias anteriores; tal vez sean más comunes de lo que creemos. Por ejemplo, hay pruebas de que en el pasado hubo tectónica de placas en Marte, y por otro lado los últimos datos de la sonda *Cassini* muestran que Titán, el satélite gigante de Saturno, presenta en su superficie señales de fracturas que sugieren la existencia de tectónica de placas. Por su parte, Io tiene un activo vulcanismo estimulado por las fuertes mareas que Júpiter induce en él, que estrujan el satélite y (debido al calor generado por este rozamiento) mantienen su interior en estado fluido, sin necesidad de echar mano de desintegraciones radiactivas. Este vulcanismo de Io desempeña un papel análogo a la tectónica de placas, y renueva la superficie planetaria cada pocos miles de años.

Por otro lado, la propia importancia de la zona de habitabilidad está en entredicho. Por una parte, sabemos que Marte en el pasado, durante la época en que se encontraba fuera de la zona de habitabilidad, tuvo agua líquida en su superficie (es lo que se conoce como paradoja del Débil Sol Joven). Por otra parte, como vamos a ver, hoy día tenemos datos que nos indican que Europa, la luna de Júpiter, posee un océano de agua líquida bajo su capa de hielo, a pesar de que está totalmente fuera de la zona de habitabilidad. Además, Júpiter y los planetas gigantes en general realizan un trabajo de estabilización del eje de sus satélites mucho mejor que el que hace la Luna con el eje de la Tierra. En realidad, ser satélite de un gigante gaseoso proporciona muchas de las ventajas listadas arriba (además de tener otras: por ejemplo, el planeta gigante puede ofrecer una pantalla eficaz contra esporádicos rayos gamma). Así que tal vez el caso particular de la Tierra, después de todo, no es más que uno de todos los posibles escenarios donde la vida puede aparecer, y sea un error concentrarse sólo en considerar réplicas exactas de la Tierra, como han hecho los defensores de la hipótesis de la Tierra Rara. Los satélites gigantes alrededor de planetas gaseosos parecen también una buena alternativa, y en el Sistema Solar

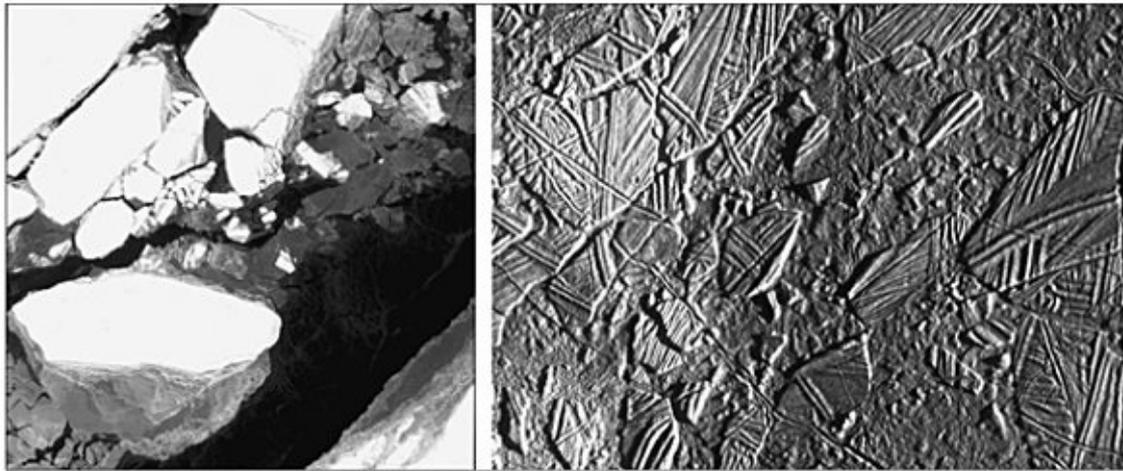
abundan. En concreto, dos de ellos resultan sumamente interesantes.

Los satélites gigantes

Europa, la más pequeña de las cuatro lunas de Júpiter que descubriera Galileo Galilei, desde que la observaran las sondas *Voyager*, ha atraído especulaciones sobre que esté habitada. Ello se debe a que lo que mejor se aprecia de esta luna es el agua, o mejor dicho, el hielo de agua que recubre completamente este interesante satélite, convirtiéndolo en una lisa y preciosa bola blanca. Europa es el cuerpo del Sistema Solar que, junto con la Tierra, muestra de manera más manifiesta poseer grandes cantidades de esta preciosa sustancia, indispensable para la vida como la conocemos.

Desde los años ochenta se ha postulado que las fuerzas de marea que Júpiter induce en Europa, aunque si bien no tan potentes como las de Io (por estar más lejos de Júpiter), podrían calentar el interior de este satélite lo suficiente como para que, bajo la capa de hielo, el agua se mantuviera en estado líquido. Recientemente, dos interesantes observaciones han llevado a los científicos a concluir que quizá se trate de algo más que una teoría.

Por una parte, las imágenes de alta resolución que se tomaron de la superficie de Europa con la sonda *Galileo* muestran unas formaciones de hielo que tienen todo el aspecto de icebergs sobre un mar congelado, como si en algún momento dado la dinámica del satélite hubiera roto la corteza de hielo, y durante un tiempo corto los bloques fracturados de hielo hubieran flotado, desplazándose y girando, hasta que de nuevo el agua subyacente se volvió a congelar (la temperatura superficial de Europa ronda los 200 °C bajo cero), restaurando la corteza de hielo y sellando la fractura.



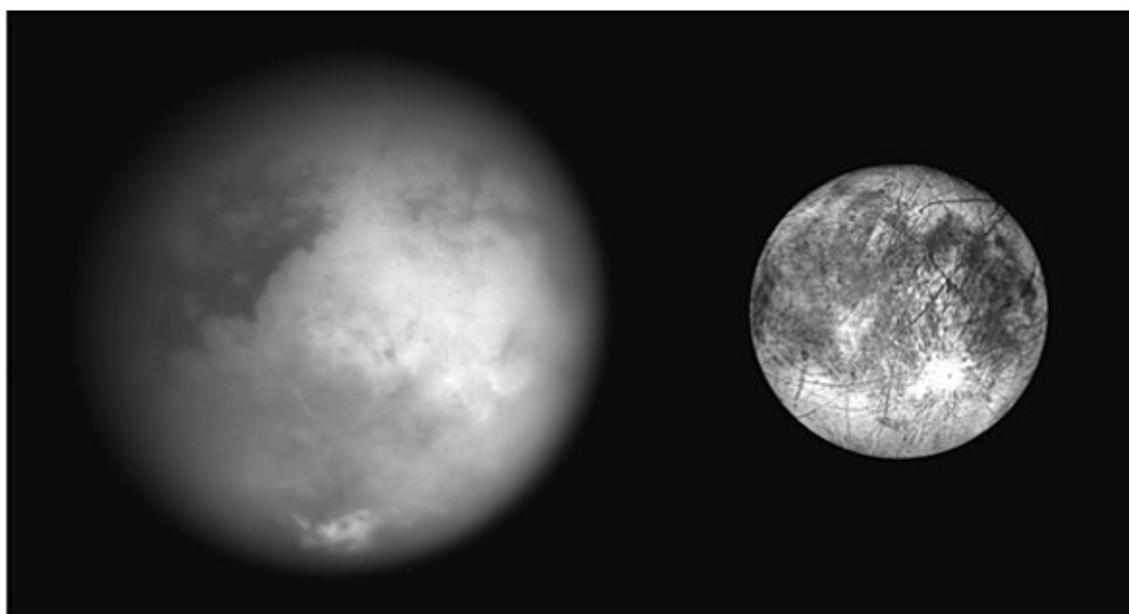
Icebergs terrestres vistos desde arriba (izquierda) e imagen de la sonda *Galileo* de la región del Caos de Conamara, en el satélite Europa (derecha), de notable parecido. Como se puede ver, en ambos casos los fragmentos de hielo se pueden encajar entre sí como si fueran piezas de un puzzle. Cortesía de NASA/JPL-Caltech.

La segunda observación se debe también a la sonda espacial *Galileo*. Esta sonda descubrió que Europa posee un débil campo magnético, que va cambiando de dirección según el satélite orbita alrededor de Júpiter, alineándose con el campo magnético mucho más potente de este último. Pero la sorprendente movilidad del campo magnético de Europa sólo se puede explicar con la presencia de algún líquido conductor de la electricidad, que sea la causa de la plasticidad de este campo magnético. El mejor candidato no es otro que el agua salada. Por tanto, ambas pruebas apuntan a que bajo la corteza helada de Europa hay grandes acumulaciones de agua salada líquida. Además, no se trataría de pequeños lagos subterráneos de agua salada; las características que presenta este campo magnético hablan más bien de un océano subterráneo de extensión casi global.

Si esto es así, seguramente el calentamiento debido a las fuerzas de marea jovianas provocará también un activo vulcanismo submarino, lo que probablemente generará chimeneas hidrotermales en el fondo de este océano europeo. Por lo que conocemos de sus equivalentes terrestres, la investigación de estas chimeneas submarinas sería decisiva para confirmar o refutar la importancia que tuvieron las chimeneas hidrotermales en el origen de la vida en la Tierra. Incluso podríamos encontrarnos con la extraordinaria sorpresa de que en las chimeneas europeas se haya dado la génesis autóctona de vida orgánica. Lamentablemente, la ambiciosa misión JIMO de la NASA, que estaba diseñada para penetrar con un proyectil la gruesa capa de hielo de Europa y explorar el hipotético océano subterráneo, y que tantas cosas podría habernos revelado, fue cancelada, por lo que tendremos que conformarnos con datos indirectos que calmen nuestra curiosidad durante algunas décadas.

Otra luna interesante desde el punto de vista biológico es Titán, el satélite más

grande del planeta Saturno. De hecho, es tan grande que su tamaño es comparable al del planeta Marte. Titán, con una temperatura superficial de 180 °C bajo cero, posee una misteriosa y densa atmósfera (mucho más densa que la terrestre), compuesta de nitrógeno, argón y metano; una atmósfera muy reductora, como lo era la del experimento de Miller. Por eso se ha dicho de ella (con más acierto publicitario que científico) que es una réplica exacta de la atmósfera que tenía la Tierra durante la época en que surgió la vida, aunque como hemos visto, no se sabe con seguridad qué atmósfera tuvo la Tierra en aquel entonces. Pero no cabe duda de que muy posiblemente Titán posee una interesante y rica química orgánica, cuyo estudio podría ser relevante para esclarecer algunos puntos oscuros de la química prebiótica terrestre.



La luna Titán de Saturno, a la izquierda (imagen de la sonda *Cassini*), y la luna Europa de Júpiter, a la derecha (imagen de la sonda *Galileo*). Ambas lunas están representadas a escala, de acuerdo con sus tamaños relativos. Cortesía *Cassini/Galileo-NASA*.

Parte del misterio de la atmósfera de Titán radica en la presencia del metano atmosférico. Ciertamente, había metano en la nebulosa primordial que dio lugar a nuestro Sistema Solar, y se ha detectado metano en las regiones de formación estelar. ¿Dónde está el misterio, entonces? El misterio es que todavía haya hoy día metano, pues el metano es una molécula que la radiación ultravioleta solar rompe con facilidad (lo que recibe el nombre de fotólisis). Estas moléculas rotas de metano se recombinan fácilmente entre ellas para dar lugar a hidrocarburos más complejos, con lo que poco a poco va disminuyendo la concentración de metano atmosférico. Si hoy día seguimos encontrando metano en una atmósfera, se debe a que alguna otra fuente lo está reponiendo.

En el caso de los planetas gigantes como Júpiter o Saturno, la presencia

continuada de metano se debe a un ciclo cerrado de fotólisis y regeneración: en la alta atmósfera, el metano se rompe y se recombina para dar hidrocarburos más pesados que poco a poco se hunden a capas más profundas y calientes. Conforme estos hidrocarburos profundizan más, la elevada temperatura ambiente los descompone de nuevo en moléculas de metano, más ligeras, que son transportadas a las capas altas, con lo que se recupera el metano perdido. Pero semejante ciclo no es posible en los mundos rocosos como la Tierra o Titán. ¿De dónde procede entonces el metano? En el caso de la Tierra, el metano que existe en nuestra atmósfera se debe a la acción de los seres vivos; es un producto de desecho de la digestión bacteriana. Sin vida, no quedaría nada de metano en la atmósfera terrestre.

¿Y en Titán? Casi es inevitable pensar que en esa atmósfera tan reductora no se hayan formado exóticos organismos que, como en la Tierra, sean los causantes del metano atmosférico. Pero con unas temperaturas superficiales tan bajas, es imposible tener agua líquida. En su lugar se ha barajado la hipótesis de que haya lagos o mares de amoníaco, o de mezclas de amoníaco y metano, que con esa presión atmosférica y temperatura pueden permanecer líquidos en la superficie, desempeñando un papel equivalente al del agua.

Para resolver el enigma del metano de Titán, una sonda europea llamada *Huygens* aterrizó el 14 de enero del 2005 en el satélite. La *Huygens* viajó hasta Saturno cogida de la mano de la sonda *Cassini*, la cual, cuando llegó a las cercanías de Titán, la dejó caer en el interior del satélite. La sonda *Huygens* fue tomando datos atmosféricos e imágenes durante todo el descenso, hasta que aterrizó en la superficie con un suave *pluch*. Las imágenes que tomó mostraron un mundo con paisajes sorprendentemente parecidos a los de la Tierra, con montañas, valles y unas curiosas formaciones que tienen toda la pinta de ser ríos. Por su parte, los datos tomados por la sonda mostraron no sólo metano atmosférico, sino también evidencias de metano líquido superficial: tras el impacto, la sonda detectó un incremento de los niveles de metano de un 40%, lo que revela la presencia de metano líquido mezclado con el material de la superficie; la sonda había aterrizado sobre barro de metano. Por su parte, las imágenes obtenidas desde el espacio por el radar de la nave *Cassini*, si bien no muestran océanos, sí que revelan la presencia de lagos superficiales de alguna sustancia líquida.

No obstante, si la única fuente de metano fueran charcos y lagos superficiales, hace cientos de millones de años que debería haberse perdido ya todo. La combinación de los datos de la *Huygens* con los que ha tomado de Titán la sonda *Cassini* llevan a concluir que, ciertamente, el origen del metano no es biológico, sino que es repuesto por procesos geológicos, algún tipo de vulcanismo que libera metano del interior, un metano que habría sido atrapado cuando esta luna se formó.

Un pasado pasado por agua

Pero si de buscar pistas sobre la aparición de la vida en otros mundos se trata, el rey indiscutible es Marte, objetivo de tantísimas investigaciones astrobiológicas. Desde que el polémico Percival Lowell publicara en 1908 el libro *Mars as the abode of life*, en el que describía sus fantásticas teorías sobre una civilización de marcianos cavadores de canales, Marte ha excitado la imaginación de varias generaciones de científicos, escritores de ciencia ficción y guionistas de Hollywood. La martemania llegó al punto en que, incluso entre la comunidad científica, se dio por hecho que Marte era una segunda Tierra y estaba habitado; hasta el extremo de que, en nuestro lenguaje cotidiano, la palabra *marciano* se ha convertido en un sinónimo de *extraterrestre*. Y es que parte del atractivo de nuestro vecino planeta reside en que muestra sorprendentes similitudes con la Tierra: la duración del día solar marciano es casi la misma que la del nuestro (24 h 39 min frente a 24 h); la inclinación de su eje respecto al plano de su órbita es también muy similar a la del eje de nuestro planeta (24° 28' frente a 23° 27'), lo que causa que tenga también estaciones; y presenta además casquetes polares, claramente visibles desde la Tierra con un sencillo telescopio. Además, ambos planetas tienen un tamaño comparable (su diámetro viene a ser la mitad del de la Tierra).

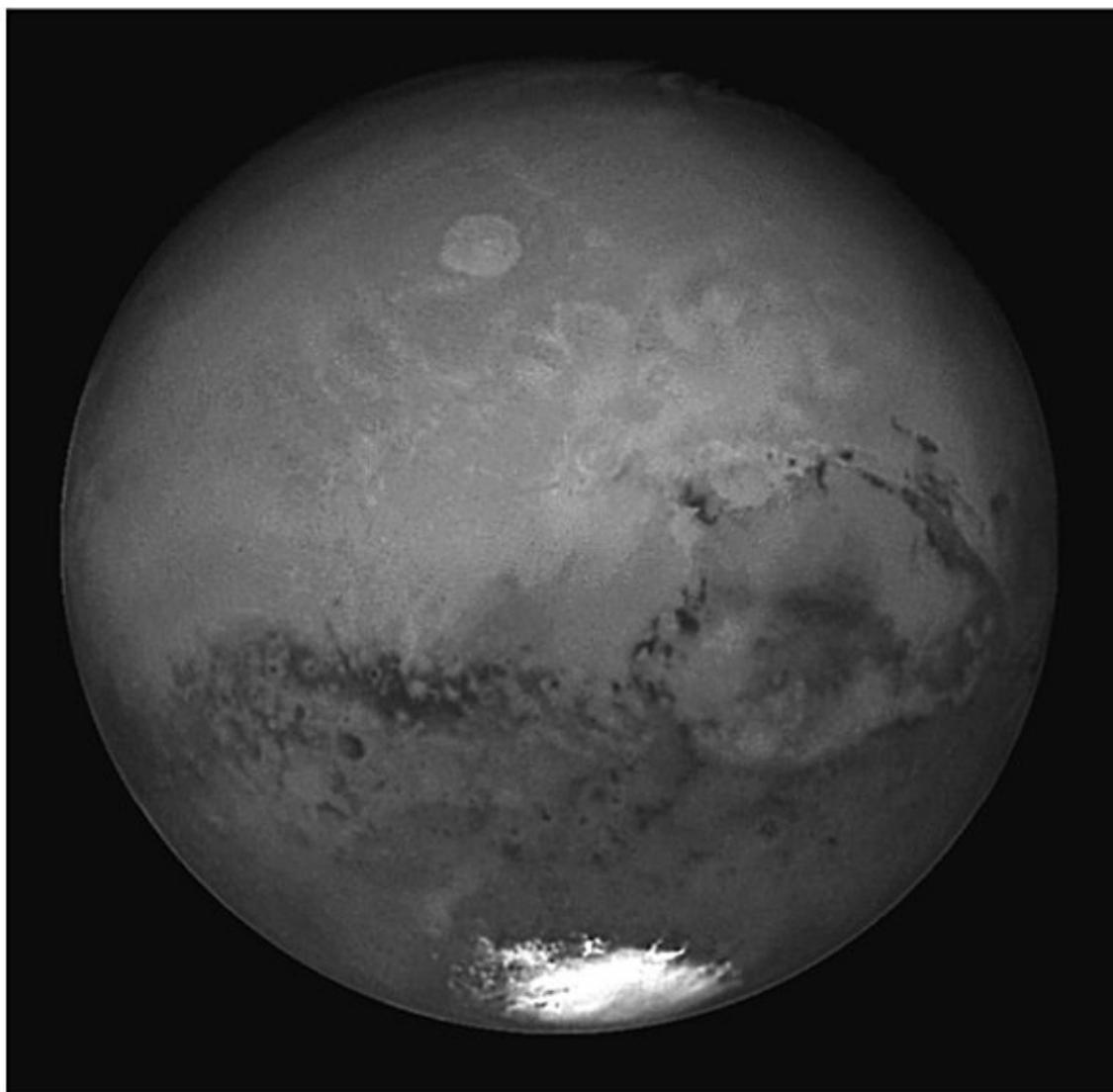


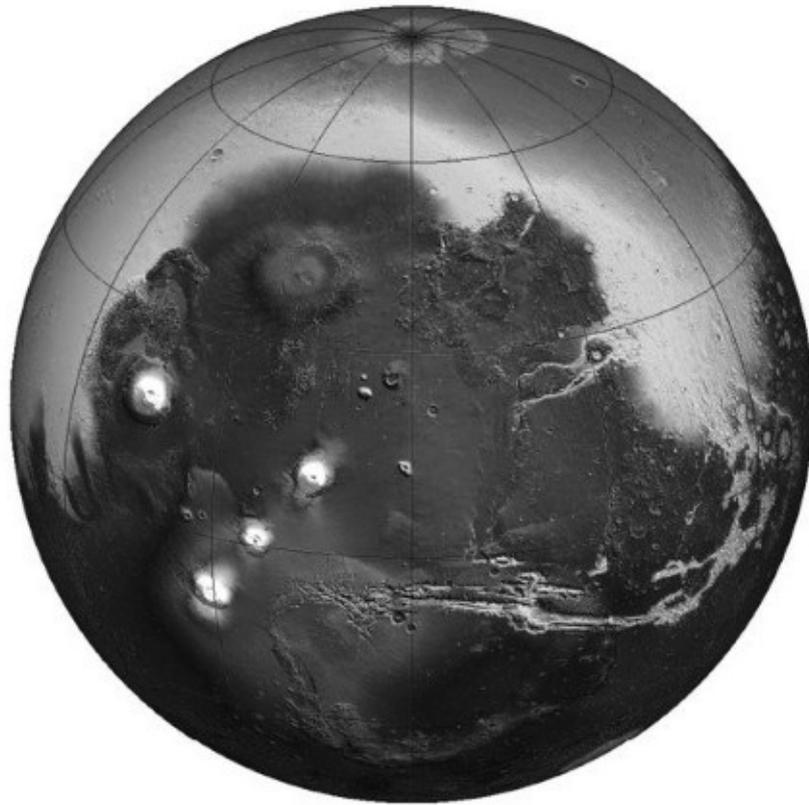
Imagen del planeta Marte tomada por el telescopio espacial *Hubble*. Se aprecia claramente el casquete polar sur, y arriba, al centro, el monte Olimpo, el mayor volcán del Sistema Solar. A la derecha, cerca del borde, se puede ver el Valle del Mariner. Cortesía del Hubble Space Telescope-NASA/ESA.

La verdad es que se pusieron demasiadas esperanzas en nuestro rojizo vecino. Las primeras imágenes de buena resolución que se obtuvieron de la superficie de Marte, tomadas por la sonda *Mariner 4* en 1965, fueron un auténtico cubo de agua fría para estas fantásticas expectativas. Estas imágenes mostraron un mundo desértico que era dolorosamente parecido a la Luna. Años después, en 1971, la nave *Mariner 9* se puso en órbita alrededor de Marte, con lo que se convirtió en el primer satélite artificial de este planeta. Desde esta órbita trazó un mapa fotográfico de todo el planeta, el primer mapa completo de su superficie, que serviría para buscar lugares de aterrizaje para futuras misiones. Este mapa corroboraba ampliamente lo que habían mostrado seis años antes las imágenes de la *Mariner 4*: en la superficie del planeta no había agua ni mares, ni mucho menos canales o ciudades marcianas. De hecho, tampoco había prácticamente aire, pues la presión atmosférica de Marte resulta ser un 1% de la de la Tierra. Con presiones atmosféricas tan bajas resulta completamente imposible tener

agua líquida, pues hierve al instante y se convierte en vapor de agua.

Sin embargo, la *Mariner 9*, así como los posteriores orbitadores de las *Viking I* y *II* (que llegaron a Marte en 1976), sí que encontraron numerosas pruebas de la existencia pasada de agua líquida en la superficie: múltiples cauces secos de ríos y estructuras en forma de isla, formadas por el agua que fluía en el Marte primitivo. Muchos de estos cauces son de enormes dimensiones, lo que sólo se explica con una larga historia de presencia de agua líquida superficial. Todo ello nos hablaba de un tremendo cambio climático que debió padecer el planeta en algún momento de su historia, y que lo hizo evolucionar de un mundo con presión atmosférica elevada, ríos y tal vez mares, y donde quizá incluso llegó a surgir la vida, al seco y frío desierto actual.

A los datos procedentes de las misiones *Viking* y *Mariner*, se han unido los procedentes de una batería de sondas espaciales, llegadas a Marte en tiempos más recientes: las *Mars Global Surveyor* (1997-NASA), *Mars Odyssey* (2001-NASA), *Mars Express* (2003-esa), los rover gemelos *Spirit* y *Opportunity* (2004-NASA) y, últimamente, la *Mars Reconnaissance Orbiter* (2006-NASA), todas ellas todavía en funcionamiento en el momento de escribirse estas líneas, salvo la *Mars Global Surveyor*, que dejó de emitir datos recientemente, en noviembre del 2006. Estas misiones han mostrado que la geología marciana es una de las más complejas del Sistema Solar. Marte aún posee amplias regiones de su superficie que datan de los inicios del Sistema Solar, la época del Gran Bombardeo. Junto a ellas, encontramos terrenos modernos, con los ejemplos mayores de actividad geológica del Sistema Solar: los volcanes más grandes, los cañones más profundos... Sorprendentemente, los terrenos antiguos y modernos no aparecen mezclados al azar, sino que están claramente separados: los terrenos antiguos marcianos, que constituyen 2/3 de su superficie, aparecen mayoritariamente en el hemisferio sur, mientras que el tercio restante, con las zonas más modernas, ocupan el hemisferio norte. Precisamente en este hemisferio norte, la *Mars Global Surveyor* ha encontrado pruebas sorprendentes de la existencia ¡de un antiguo mar! El altímetro de esta misión ha descubierto que, en esa zona, la superficie es extremadamente plana y que el límite con las tierras altas es una superficie equipotencial horizontal. Es decir, la costa de un antiguo mar: el océano Boreal.

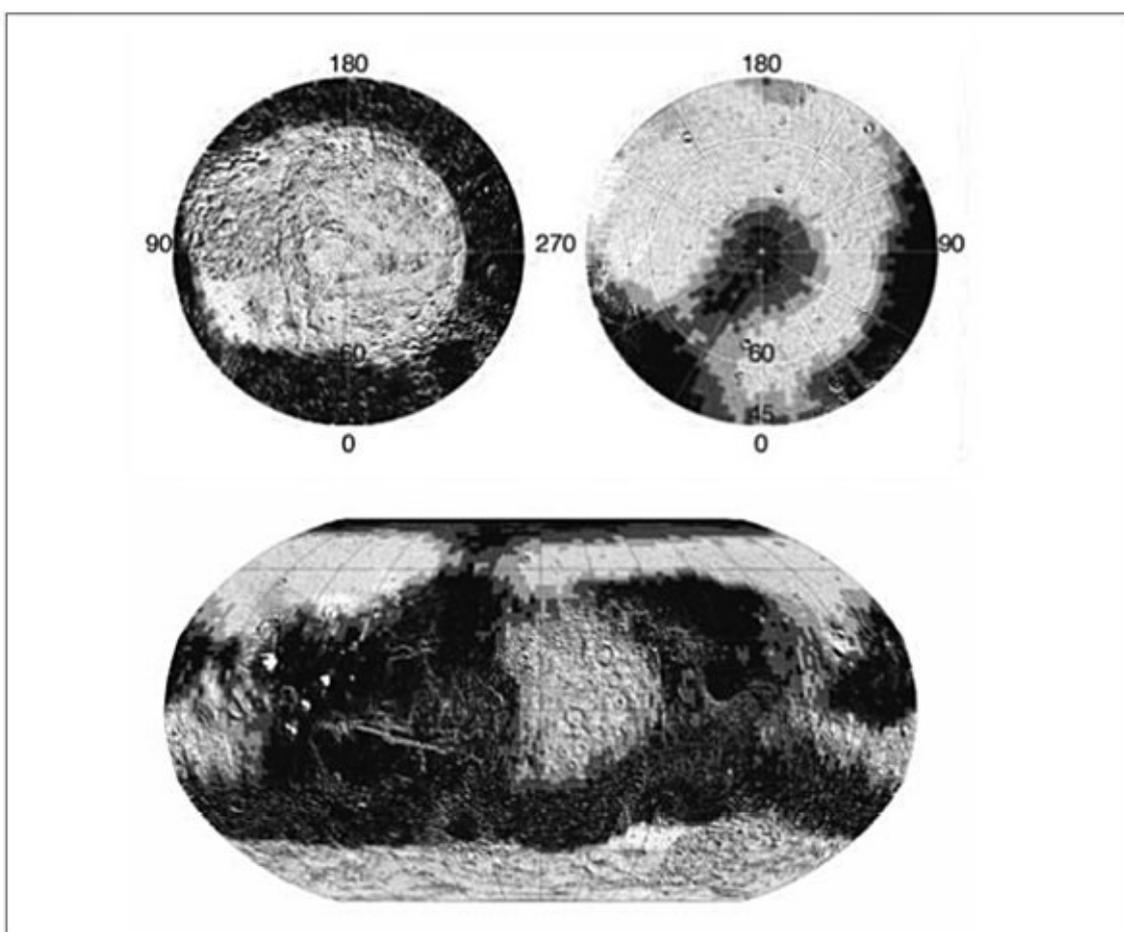


Mapa de alturas de Marte obtenido por la *Mars Global Surveyor*. En la zona norte, en tonos claros se muestran los terrenos más bajos, donde habría estado el océano Boreal. Se aprecian varios ríos antiguos que desembocarían en él. A la izquierda, en blanco, se aprecian cuatro montañas (la superior izquierda es el monte Olimpo) y abajo a la derecha, el valle del Mariner, cuyo interior se encuentra a la misma altura que los terrenos nórdicos del presunto océano y que conecta con él. Cortesía de MOLA/MGS-NASA.

Los dos rover marcianos, en su exploración de más de dos años de la superficie de Marte, también nos hablan de un pasado con abundante agua líquida, y han encontrado a su paso numerosas pruebas geológicas y químicas que sólo se pueden explicar con la presencia de agua superficial, no durante un corto período de tiempo, sino durante millones de años: estratos sedimentarios, concreciones de materiales inicialmente disueltos en agua que después precipitaron sobre roca porosa, y abundantes minerales (como la jarosita) que sólo se pueden formar en presencia de agua líquida.

Pero ¿dónde está el agua? De todas las regiones de Marte, el único lugar donde hay agua de manera evidente es en los casquetes polares. Sin embargo, un rápido cálculo basta para darse cuenta de que en los casquetes no hay ni de lejos agua suficiente para explicar todas las muestras de actividad hídrica encontradas en el planeta. Para encontrarla, la *Mars Odyssey* cuenta con un detector de neutrones con el que es capaz de detectar la presencia de agua, aunque esté bajo tierra. El mecanismo que utiliza es muy ingenioso, y merece la pena detenerse brevemente a explicarlo. Los neutrones que detecta este instrumento proceden del Sol. Cuando estos neutrones llegan al suelo marciano, chocan con los átomos del suelo (si bien débilmente, pues

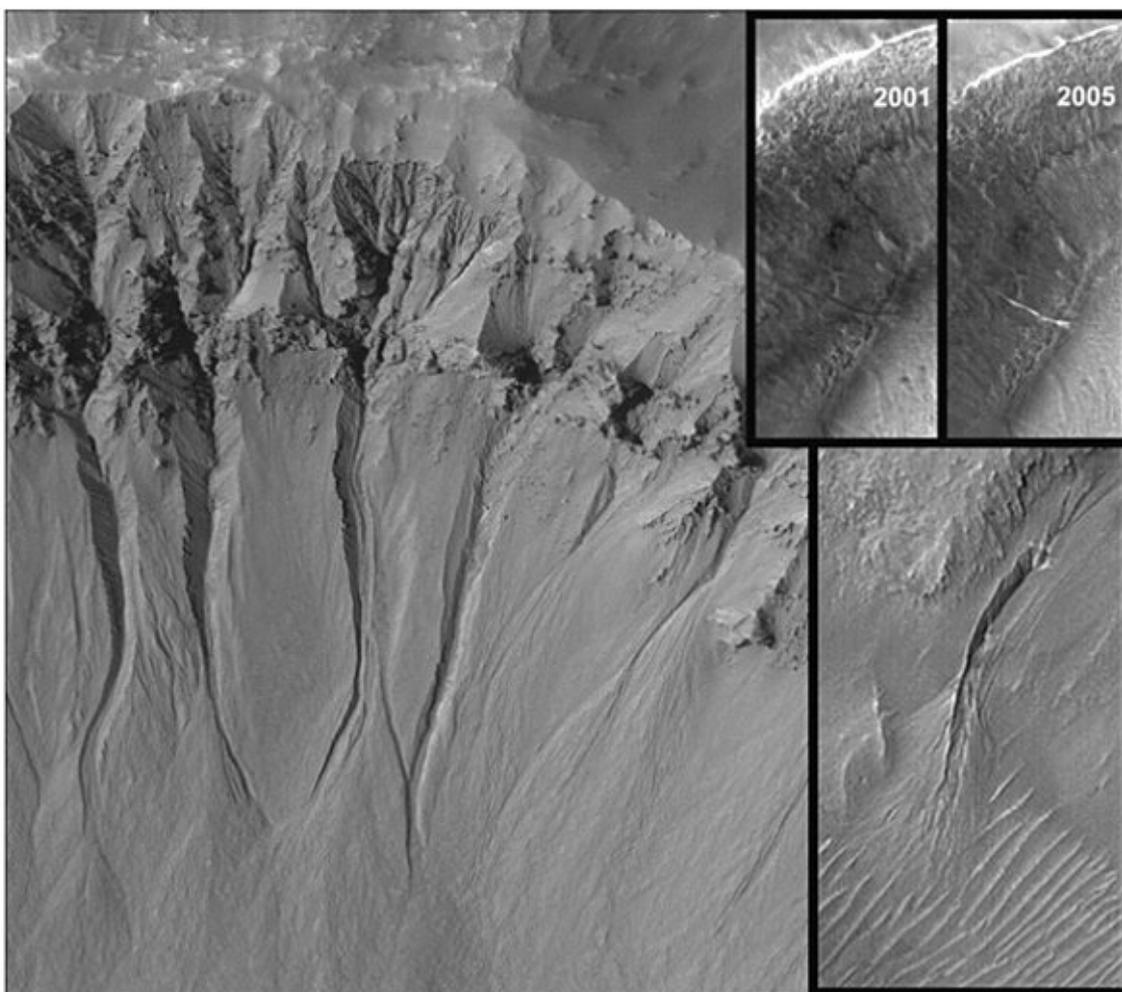
los neutrones, como indica su nombre, no tienen carga eléctrica). Si el choque es contra un núcleo atómico de un tamaño respetable, como silicio, hierro, carbono..., el neutrón rebota hacia atrás prácticamente con la misma energía que llevaba. Pero si choca con un núcleo de hidrógeno que está compuesto solamente por un protón, como tiene una masa equiparable a la del neutrón, este último pierde buena parte de la energía en el choque, como si de dos bolas de billar se tratara, con lo que los neutrones rebotan con mucha menos energía que en el primer caso (o no rebotan en absoluto). Así, si en una zona de Marte hay abundancia de hidrógeno, el detector de la *Mars Odyssey* medirá menos neutrones que en otras zonas. Por supuesto, lo que se detecta así son átomos hidrógeno, pero la molécula con hidrógeno más probable que puede haber en Marte es, precisamente, la de agua.



Datos del detector de neutrones de la *Mars Odyssey*. En tonos claros, las zonas donde se ha detectado la presencia de agua subterránea. Cortesía de *Mars Odyssey*-NASA.

Los datos de la *Mars Odyssey* son reveladores y demuestran que en latitudes en torno a los 60° norte y en buena parte del hemisferio sur hay una inmensa abundancia de hielo bajo el suelo marciano a una profundidad de poco más de un metro, con toda seguridad en forma de un terreno helado similar al permafrost. Hay de hecho agua más que suficiente para llenar la cuenca del hipotético océano Boreal.

Y sin embargo no han acabado las sorpresas con Marte, pues hay indicios que apuntan a que parte de esa agua subterránea puede ser ¡agua líquida! Las imágenes de alta resolución de la *Mars Global Surveyor* descubrieron en el año 2000, en las paredes de cráteres y cañones, la existencia de erosiones con todo el aspecto de haber sido formadas por torrentes de agua. Pero lo que más sorprendía de estas torrenteras era que son muy recientes, y pueden tener incluso menos de mil años de antigüedad, ya que en algunos casos habían borrado a su paso dunas de arena que, debido a los vientos, están en perpetuo movimiento. Estas enigmáticas torrenteras se encuentran principalmente entre los 30° y 60° sur, en buena parte coincidiendo con localizaciones en las que la *Mars Odyssey* ha detectado hielo bajo la superficie.



Torrenteras marcianas en la ladera de un cráter. Abajo a la derecha, torrentera que ha borrado a su paso parte de un conjunto de dunas. Arriba a la derecha, una misma torrentera, observada en dos ocasiones distintas, muestra, en la imagen del 2005, lo que parece ser agua líquida manando. Cortesía de MOC/MGS-NASA.

Si son lo que parecen ser, una explicación sería que son producidas por la emergencia repentina de agua subterránea líquida a elevadas presiones. Debido a la dinámica del planeta, en ocasiones estos ríos subterráneos romperían en la superficie liberando grandes cantidades de agua líquida, la cual, mientras herviría y se helaría al mismo tiempo, aún permanecería líquida el tiempo suficiente para crear estas

torreteras; hasta que se volvería a formar un nuevo tapón de hielo que sellaría la emanación de agua. Si esta teoría es correcta, sólo es cuestión de tiempo que pillemos in fraganti el agua líquida en acción, mientras mana en una de estas torreteras. Y parece ser que esto ya ha ocurrido: en abril del 2005, cuando una torrentera marciana que ya había sido fotografiada fue fotografiada de nuevo, mostraba un extraño cambio. La torrentera, que en la imagen anterior del 2001 se veía oscura, en la nueva imagen mostraba lo que parecía ¡agua manando! Si se confirma que en efecto es agua, y no torrentes de arena (como apunta otra hipótesis), la presencia de agua líquida subterránea en Marte tendría extraordinarias implicaciones biológicas.

¡Marcianos!

Y suma y sigue, porque cuanto más estudiamos Marte, más sorpresas encontramos. En el 2004 el espectrómetro de la *Mars Express* encontró en la atmósfera de Marte ni más ni menos que ¡gas metano! Este descubrimiento, que ha sido confirmado desde la Tierra por telescopios en Hawai y Chile, ha supuesto una sorpresa totalmente inesperada. La *Mars Express* encontró que este metano no se halla distribuido de manera uniforme por toda la atmósfera, sino que se concentra en zonas de latitud intermedia; precisamente coincidiendo con zonas donde se han localizado torreteras. De hecho, los mapas de presencia de metano realizados por la *Mars Express* se solapan perfectamente con los de presencia de agua de la *Mars Odyssey*.

Y de nuevo surge la pregunta, ¿de dónde procede este metano? Dado que es un gas tan inestable a la radiación ultravioleta solar, algo lo debe estar reponiendo en la atmósfera de manera continua. Si bien se podría explicar la presencia de este gas por vulcanismo (emanaciones de metano subterráneo atrapado en el planeta), el no haber encontrado asociado a este metano la más mínima traza de sulfuro hace que su origen volcánico quede completamente descartado. En esta ocasión, resulta extraordinariamente difícil justificar la presencia de este gas en la atmósfera marciana mediante un mecanismo geológico. ¿Estaremos viendo por fin la huella de una actividad biológica extraterrestre?

La verdad es que no es la primera vez que tenemos indicios de que pueda existir en la actualidad alguna forma de vida en Marte. Las naves *Viking*, que aterrizaron en la superficie marciana en 1976, llevaban a bordo experimentos destinados a revelar la presencia de posibles organismos en el suelo marciano. Hasta la fecha, son los únicos experimentos de estas características que se han realizado en Marte; ninguno de los rover marcianos lleva a bordo (inexplicablemente) experimentos biológicos; y la malhadada sonda *Beagle II*, que llevaba a bordo diversos experimentos para buscar

vida marciana, acabó estrellándose contra Marte.

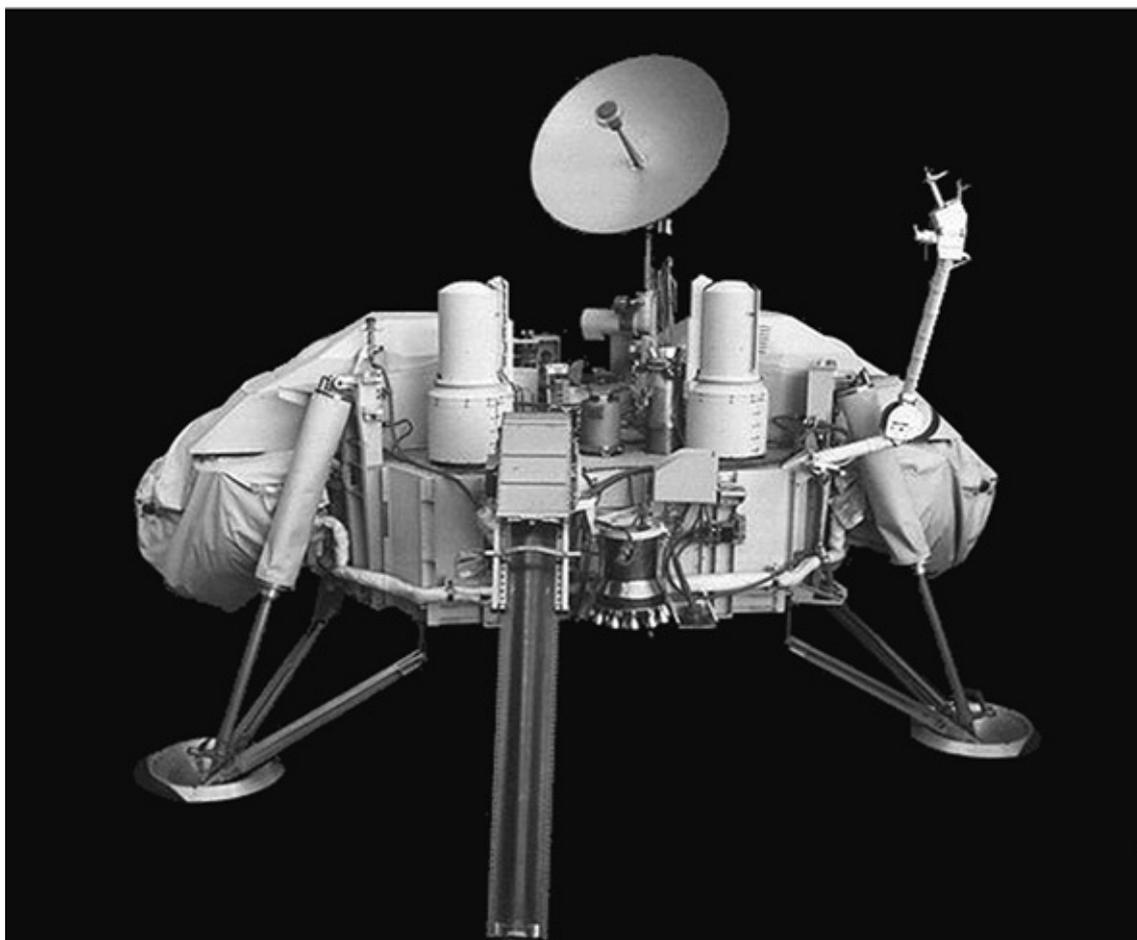
Lo interesante de los experimentos de las naves *Viking* es que ni confirmaron ni refutaron la presencia de vida en Marte, sino que dieron resultados ambiguos. El que dio los resultados más estimulantes fue el experimento lr de liberación de gases. El experimento consistía en tomar una muestra de terreno marciano e introducirla en una sopa de nutrientes que llevaban a bordo las *Viking*. Estos nutrientes estaban marcados con carbono 14, radiactivo y por tanto fácil de detectar. Si en la muestra de terreno había organismos marcianos, se esperaba que se comieran los nutrientes de la sopa y que liberaran como producto de la digestión gas dióxido de carbono, que los sensores de la *Viking* podrían detectar. Cuando se realizó el experimento, se detectó...

... que de la sopa de nutrientes se liberaba dióxido de carbono. Un tanto a favor de la posible presencia de organismos marcianos. Pero podría ocurrir que se tratara simplemente de la química del suelo, por lo que el experimento lr tenía una segunda parte: consistía en repetir de nuevo el experimento, pero calentando la muestra de tierra marciana a 200 °C antes de introducirla en la sopa de nutrientes, a fin de matar los posibles organismos que hubiera en la muestra. De esta manera, si los responsables de la liberación de dióxido de carbono eran organismos, al haberlos destruido previamente, no debería haber liberación de dióxido de carbono en la segunda parte del experimento. En cambio, si era un resultado de la química del terreno, debería seguir emitiéndose CO₂. Cuando se realizó esta segunda parte del experimento, se encontró...

... que en esta ocasión ¡no se emitía dióxido de carbono! Dos tantos para la vida. Este mismo resultado fue corroborado por las dos *Viking*, localizadas en partes diferentes del planeta, todas las veces que se realizó el experimento. ¿Se había encontrado por tanto vida marciana? A pesar del éxito del experimento, la NASA declaró oficialmente no haber encontrado organismos, debido a dos motivos. Por una parte, algunos tipos de arcillas, como la montmorillonita de la que tratamos antes, pueden producir reacciones químicas similares. Por otra parte, otro experimento a bordo de las *Viking*, destinado a buscar materia orgánica en la superficie de Marte, dio un resultado negativo: no se encontró materia orgánica en el suelo marciano. Por tanto, no podía haber organismos. Pero como se supo muchísimo más tarde, ese resultado no significaba nada, ya que el experimento de detección de materia orgánica, sencillamente, no funcionaba: cuando posteriormente lo probaron sobre el suelo de la Antártida, donde sabemos que sí hay organismos y materia orgánica, tampoco fue capaz de encontrar nada. Lástima que no lo probaran antes.

Otro resultado del experimento lr apuntaba también a un posible origen orgánico. Las sondas *Viking*, que estaban diseñadas para durar unas semanas en el suelo de Marte, estuvieron finalmente en funcionamiento durante dos años. A lo largo de este dilatado período, el experimento lr se realizó con regularidad, midiendo la emisión de

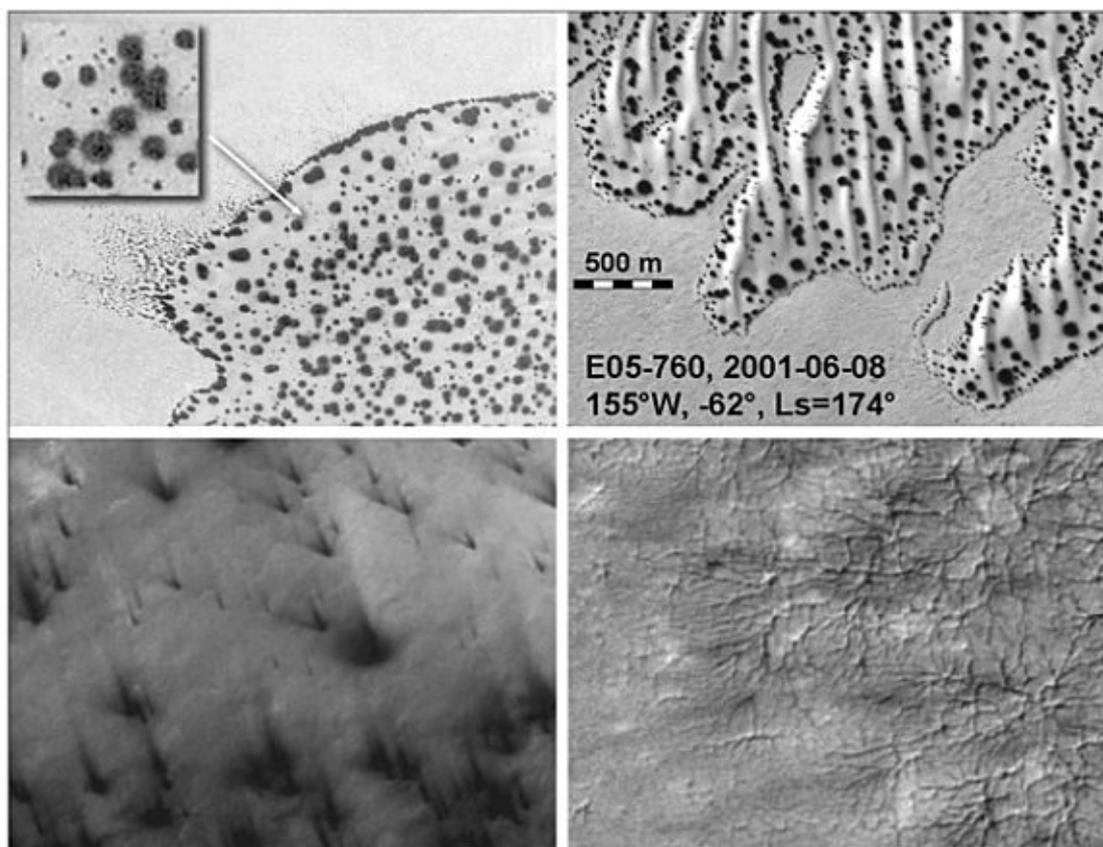
CO₂. Con sorpresa se vio que la intensidad de la emisión de dióxido de carbono seguía una pauta día/noche, se reducía la actividad cuando las temperaturas disminuían al anochecer y aumentaba con la salida del Sol. Difícilmente podría explicarse este comportamiento si el responsable de la emisión fuera una arcilla del terreno. Sin embargo, era compatible con que los responsables fueran organismos: lo que se estaría viendo sería el resultado de un ciclo biológico circadiano.



Módulo de aterrizaje (lander) de las misiones *Viking I* y *II*. Cortesía de NASA/JPL.

Lamentablemente, para saberlo tendremos que volver allí con nuevos experimentos biológicos. Por otra parte, la excelente calidad de las imágenes de la *Mars Global Surveyor* continuamente muestra nuevas estructuras y características de la superficie marciana, que crean verdaderos quebraderos de cabeza a los científicos. Una de estas estructuras son unas manchas negras estacionales que aparecen cerca de las zonas polares con la llegada de la primavera marciana, principalmente sobre dunas heladas o en el interior de cráteres. Las oscuras manchas, con un tamaño característico de pocos metros, surgen sobre la capa de escarcha y van creciendo de tamaño con el transcurso de los meses. Las hay de diferentes tipos y morfologías. En algunos lugares del planeta presentan una estructura diferenciada, con una zona central más oscura y un halo gris alrededor; tienen de hecho un aspecto que recuerda bastante a las manchas que aparecen sobre la piel de los plátanos cuando éstos

maduran. Otras presentan formas más exóticas y asemejan una red neuronal, o se disponen en forma de abanico. Hoy día hay varias teorías para explicar la aparición de estas manchas, pero ninguna termina de convencer. Algunos científicos creen que se trata simplemente de zonas de deshielo donde se ha evaporado la capa de escarcha, dejando ver el terreno que hay debajo, que parece oscuro por contraste. Pero esto no explica la forma y distribución que presentan estas manchas. Otra hipótesis cree que su origen son erupciones de dióxido de carbono que, con la llegada del calor, sublima de hielo a gas de forma explosiva, arrastrando a su paso arena y polvo del suelo. Este material al caer es el que crearía las manchas oscuras. De nuevo, esta teoría no acaba de explicar bien por qué estas manchas aparecen principalmente en el interior de los cráteres. En tercer lugar, un grupo de investigadores húngaros defiende una sugerente (aunque poco popular) posibilidad: que estas manchas sean colonias de microorganismos marcianos que aprovechan la bonanza del tiempo de deshielo para reproducirse rápidamente, a la espera de la próxima primavera.



Manchas oscuras aparecen sobre la escarcha marciana al llegar la primavera.
¿Pruebas de actividad biológica? Cortesía de MOC/MGS-NASA.

La vida en el Universo

Posiblemente todas estas pistas e indicaciones de una presunta actividad biológica en el Marte actual resulten ser de nuevo vanas esperanzas. Tal vez estamos viendo una nueva versión de los «canales marcianos» y nos estamos dejando arrastrar por nuestras ilusiones. Pero tal vez no. Quizá futuras misiones encuentren que hay vida en Marte. Un segundo caso de vida en el Sistema Solar sin duda dispararía espectacularmente las posibilidades de que la vida sea la norma del Universo, de que siempre que se disponga de agua líquida y de una fuente de energía, se dé el milagro de la vida.

Eso sí, siempre que esa vida marciana fuera diferente de la nuestra. Pues podríamos toparnos con la sorpresa de que la vida que encontráramos en Marte estuviera basada en la misma química orgánica y que contase con el mismo dna y código genético. ¿Cómo sería esto posible? Si la vida terrestre y la marciana hubieran aparecido y evolucionado independientemente en ambos mundos, desde luego sería imposible algo así. Por tanto la única respuesta posible sería que estuviéramos emparentados. Y ello podría ser así.

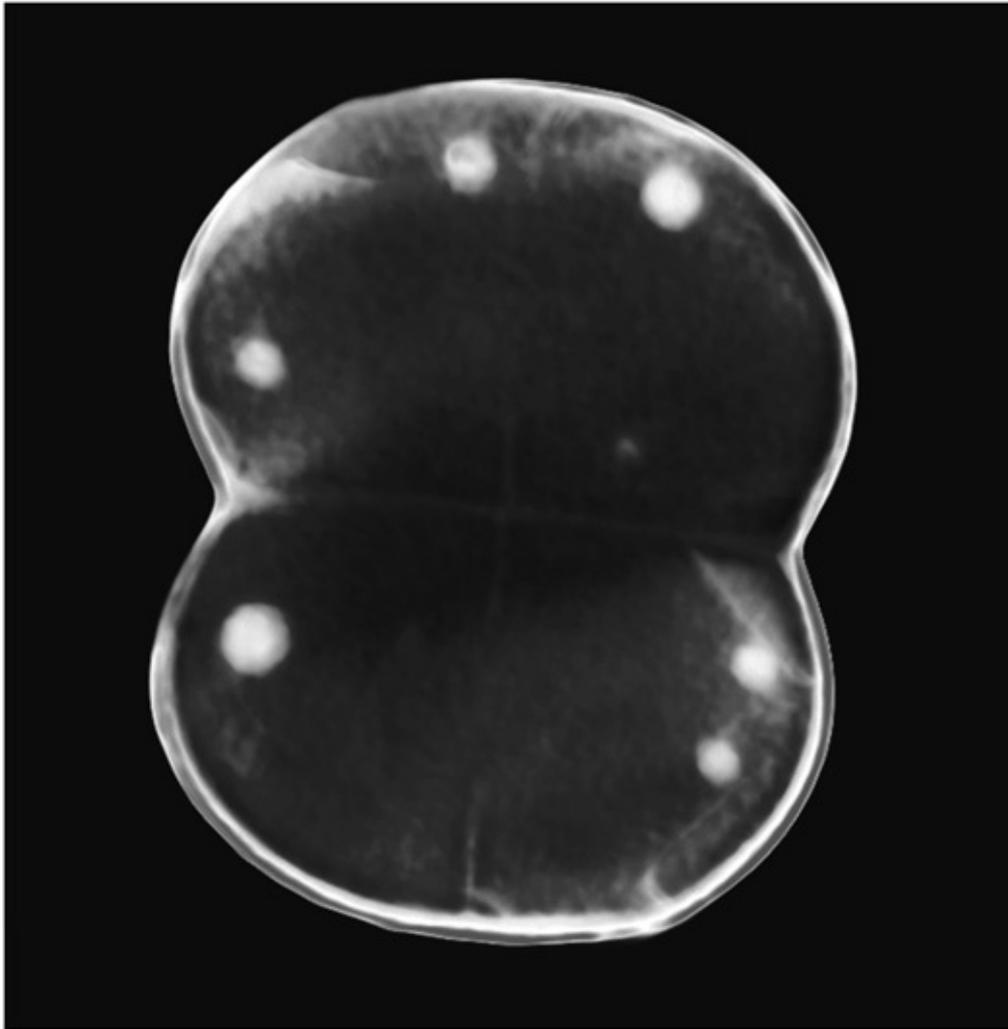
La panspermia es una antigua teoría que trataba de explicar el origen de la vida terrestre trasladando el problema a otro lugar: la vida habría llegado a la Tierra procedente del espacio. Históricamente ha habido distintas variantes de esta teoría: desde la que consideraba que naves espaciales sembradoras de vida llegaron en un pasado remoto, pasando por la que postulaba que organismos bien formados cayeron del cielo fertilizando la Tierra (quizá bacterias, como defendía el astrónomo británico Fred Hoyle), hasta las más conservadoras, que defendían que los compuestos químicos a partir de los cuales se formó la vida no se pudieron crear en la Tierra, sino que cayeron a lomos de cometas y meteoritos (aunque la vida luego sí se formara aquí). Completamente desacreditada durante décadas, ya que en realidad no explicaba nada, recientes descubrimientos han hecho replantearse la posibilidad de que la vida pueda, después de todo, caer de los cielos.

Por una parte, se han encontrado seres vivos que son increíblemente resistentes a las condiciones más adversas. Cuando la sonda lunar *Surveyor 3* fue lanzada a la Luna en 1967, portaba inadvertidamente a bordo en torno a un centenar de polizones: bacterias *Streptococcus mitis* en forma de esporas. Dos años después, la nave tripulada *Apollo XII* alunizaba y los astronautas recogían la cámara de televisión de la *Surveyor 3*, para traerla de vuelta a la Tierra en condiciones estériles (por si acaso portaba posibles microorganismos lunares). Al abrir el interior de la cámara de televisión para ser sometida a un análisis biológico, no encontraron exóticos microorganismos lunares, sino esporas de estreptococo, presuntamente muertas. Cuando pusieron estas esporas viajeras en un caldo de cultivo, la sorpresa fue rotunda: desarrollaron bacterias viables que comenzaron a multiplicarse. Estos organismos habían sobrevivido tras más de dos años sometidos a las peores

condiciones para la vida: en el vacío, sin nutrientes ni agua, con temperaturas que oscilaban entre los 150 °C sobre cero y los 200 °C bajo cero, y sometidos a un intenso bombardeo de radiación proveniente del Sol. Desde entonces, la lista de organismos que son capaces de resistir las duras condiciones del espacio ha aumentado. No sólo diferentes tipos de bacterias, sino incluso organismos pluricelulares como líquenes, y hasta animales invertebrados como los tardígrados.

Por otra parte, se sabe que es posible el intercambio de material entre los cuerpos del Sistema Solar: el impacto violento de un meteorito contra un planeta o satélite puede arrancarle material a este último que, si sale con la suficiente velocidad, escapará de su campo gravitatorio y quedará errante por el Sistema Solar. Con el tiempo podría incluso colisionar con otro planeta. Sabemos que esto puede ocurrir porque ya ha ocurrido: en la Tierra se han encontrado meteoritos que (su composición química e isotópica no deja lugar a dudas) provienen de Marte y de la Luna. En la época del Gran Bombardeo, tal tipo de intercambio debió ser frecuente. ¿Es posible que en alguno de los fragmentos arrancados a los planetas viajaran, como polizones, organismos vivos que sobrevivieran al viaje, hasta caer en un nuevo planeta?

Por ello no es del todo descabellado pensar que, si la vida apareció en la Tierra tan tempranamente, habiendo todavía una importante actividad meteorítica en el Sistema Solar, pudieran llegar a Marte organismos terrestres a bordo de fragmentos de la Tierra, fertilizando un mundo lleno de agua líquida, dispuesto a recibirlos. Aunque también habría que plantearse el escenario opuesto: que la vida se hubiera originado en otro planeta del Sistema Solar (puede que en Marte) y luego llegara a la Tierra transportada en meteoritos. Tal vez esto explica por qué la vida apareció tan pronto, en cuanto el Gran Bombardeo terminó. Quizá, después de todo, los marcianos seamos nosotros.



Deinococcus radiodurans, una bacteria extremófila que tolera vivir bajo dosis de radiaciones letales para otros organismos. Cortesía de Luis R. Comolli & Cristina E. Siegerist.

A la anterior lista de organismos resistentes a condiciones hostiles, hay que añadir un conjunto curioso de organismos unicelulares que no sólo soportan bien condiciones extremas de temperatura, presión, salinidad, radiactividad o acidez, sino que las buscan. Algunos sólo se encuentran a gusto a temperaturas entre los 80 y 120 °C, habitando en sistemas hidrotermales. Otros viven en el hielo, a temperaturas de 12 °C bajo cero. Los hay que evitan la humedad y viven tan a gusto en condiciones de sequedad increíbles. Todo este conjunto de organismos, bautizados con el nombre de extremófilos debido a su «gusto» por las condiciones extremas, nos demuestra que las condiciones idóneas de presión, temperatura, composición atmosférica, fuente de energía, etc. para que el lector se sienta lo bastante cómodo como para no morir, resultan en realidad ser sólo un minúsculo subconjunto de las condiciones en las que la vida puede darse sin problemas. La existencia de tales organismos ensancha considerablemente las condiciones físicas y químicas para que un mundo pueda ser considerado habitable, lo que aumenta las posibilidades de que la vida en el Universo sea algo común.

CON QUÉ:

LA BÚSQUEDA DE INTELIGENCIA EXTRATERRESTRE

El capítulo anterior nos ha mostrado que la vida en la Tierra surgió con sorprendente rapidez y facilidad en cuanto se dieron las condiciones adecuadas para mantener agua líquida. Vimos que hay pruebas de la presencia de esa valiosa sustancia en al menos otros dos cuerpos del Sistema Solar, y hay esperanzadores indicios de que, quizá, la vida en el Sistema Solar no se circunscribe a la Tierra. También vimos que los sistemas planetarios no son rarezas de la naturaleza, sino que parecen abundar a lo largo y ancho del Universo, y que la vida es mucho más resistente de lo que se creía, lo que amplía los límites de lo que se considera un «mundo habitable». Todos estos hechos, a pesar de que aún no se sabe lo suficiente, hacen que numerosos científicos se muestren razonablemente optimistas sobre la existencia de muchos mundos habitados en nuestra Galaxia.

Por supuesto, aunque la vida abundase en el Universo, vida no es sinónimo de inteligencia. Quizá, después de todo, no haya otras civilizaciones. Pero como vimos en la introducción, los inmensos beneficios que podría reportar esta búsqueda de tener resultados positivos hacen que merezca sobradamente la pena el esfuerzo, aunque no haya garantía de éxito. En realidad, incluso si llegáramos a conocer que estamos solos, sería un resultado que tendría enormes repercusiones en nuestra sociedad. Por este motivo, centenares de científicos en todo el mundo están buscando de forma activa cualquier muestra de civilización más allá de nuestro Sistema Solar. Científicos cuyo trabajo se agrupa bajo las siglas de SETI: Search of Extra Terrestrial Intelligence. La Búsqueda de Inteligencia Extraterrestre.

Los primeros tiempos

Las primeras búsquedas de inteligencia extraterrestre, a finales del siglo XIX, se centraron por motivos obvios en nuestro Sistema Solar. Por supuesto, el planeta Marte fue el objetivo principal de las mismas; recordemos que Giovanni Schiaparelli había «descubierto» en 1877 los canales marcianos, cautivando a muchos contemporáneos. Entre ellos, Percival Lowell, un adinerado matemático apasionado por la astronomía. Como vimos en el capítulo anterior, Lowell creyó que los canales de Schiaparelli eran ingeniería de alto nivel obra de marcianos inteligentes, y dedicó buena parte de su fortuna a construir un observatorio en Flagstaff, Arizona, para observar estas señales extraterrestres de inteligencia. Debido a este motivo, podría decirse de Lowell que fue el fundador del SETI óptico (OSETI), que trataremos más adelante. Su activa defensa de la inteligencia marciana, a través de la publicación de libros y de conferencias, predispuso a la opinión pública y a buena parte de la comunidad científica a que creyeran que en el planeta rojo residía una civilización.

Desde muy temprano en la historia de la radio, se consideró el uso de ésta para la comunicación interplanetaria, y fueron los pioneros de las ondas hertzianas los que hicieron los primeros intentos de buscar inteligencias extraterrestres. Nicolas Tesla, quien construyera en 1893 el primer radiotransmisor, detectó en 1899 una serie de señales repetitivas, en grupos coherentes de 1 a 4 clics, que determinó que provenían de Marte. Según sus emotivas palabras: «He observado acciones eléctricas que parecen ser inexplicables. A pesar de lo débiles e inciertas que son, me han traído la profunda convicción de que todos los seres humanos de este globo volverán, como un solo hombre, sus ojos hacia el firmamento con sentimientos de amor y reverencia, conmocionados por la gran noticia: ¡Hermanos! tenemos un mensaje de otro mundo, remoto y desconocido. Dice: uno... dos... tres...». La publicación de esta noticia supuso su descrédito entre toda la comunidad científica. Pero esto no desanimó a Tesla, quien pasó los últimos años de su vida intentando comunicarse activamente con sus hipotéticos marcianos. Hoy día se cree que estas señales eran emisiones de radio de la ionosfera del planeta Júpiter, que son fácilmente detectables por radio.

Estas radiaciones naturales se emiten de tanto en tanto en forma de dobletes y tripletes de pulsos, lo que se asemeja bastante a la descripción dada por Tesla.

Años después, en 1919, se repetía la historia: Guillermo Marconi, inventor de la telegrafía sin hilos, detectaba de nuevo unas extrañas señales de radio, y determinó que provenían de Marte, lo que causó un considerable revuelo público. No obstante, Marconi no sufrió el descrédito de Tesla, en parte porque no mostró la rotunda convicción de este último, y en parte por el respaldo que recibió del reputado científico lord William Thomson, barón de Kelvin. Al parecer, las señales que detectó Marconi fueron en realidad pulsos morse distorsionados por la ionosfera terrestre, provenientes de una re-mota emisora de radio. Comenzaba a descubrirse la capacidad de la ionosfera de nuestro planeta para la comunicación a larga distancia.

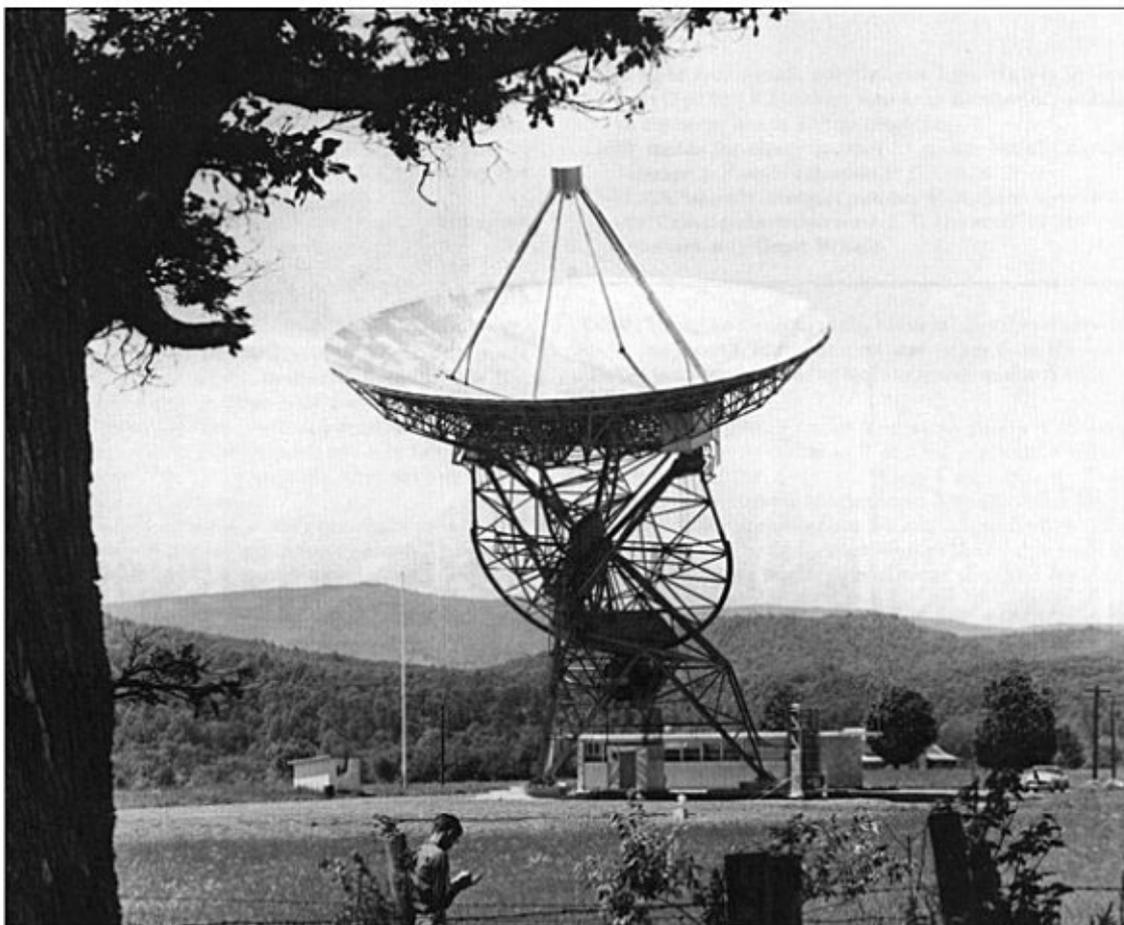
En 1924, coincidiendo con una oposición marciana (las oposiciones son los momentos de máxima cercanía de este planeta y la Tierra), David Todd, un asociado de Percival Lowell, coordinó una escucha activa de las señales de radio que pudieran provenir de Marte, y consiguió incluso persuadir al ejército y a la marina estadounidense de que usaran para este fin sus receptores de radio. ¿Hubo resultados? Bueno, pasada la oposición, en la portada de los periódicos se podía leer «La radio detecta algo cuando Marte se acerca», o también «Se repite por radio un posible flash marciano» pues, en efecto, algunos receptores habían escuchado algo. Pero poco después se descubría que la causa estaba mucho más cerca: de nuevo, en este caso los pulsos recibidos provenían de una emisora en Seattle.

Con la mejora de los sistemas de radio, se hizo evidente que ningún tipo de señal de radio provenía del planeta Marte. Al mismo tiempo, las pruebas cada vez más desalentadoras de que Marte, el mundo más prometedor, era en realidad un frío, seco y yermo desierto, sin apenas atmósfera, pusieron la meta de las escuchas de radio más allá de nuestro Sistema Solar. Esto se hizo posible con la llegada de los radiotelescopios.

El proyecto Ozma

El punto de partida de la actual búsqueda de inteligencias extraterrestres con radiotelescopios fue un artículo científico publicado en 1959 en la revista *Nature* por los físicos Giuseppe Cocconi y Philip Morrison, titulado «Búsqueda de comunicaciones interestelares». En este artículo, se proponía por primera vez una estrategia realista para buscar tales inteligencias, remarcando que dos radiotelescopios de tamaño razonable (con unas antenas parabólicas en torno a los 75 m de diámetro) no deberían tener ningún problema para comunicarse entre sí a través

de las inmensas distancias interestelares. El artículo concluía que, si de las estrellas más cercanas estuvieran llegando tales señales interestelares, ya se disponía de los medios para detectarlas, por lo que proponían su búsqueda mediante el empleo de radiotelescopios. Poco tiempo después, la idea de Morrison y Cocconi era sometida a prueba.



Telescopio de 26 m del observatorio de Green Bank en 1960, con el que Frank Drake llevó a cabo el proyecto Ozma. Cortesía de NRAO/AUI/NSF y *Cosmic Search Magazine* (www.bigear.org).

Frank Drake, un joven radioastrónomo que trabajaba en el observatorio de Green Bank, en Virginia Occidental, había alcanzado un año antes de manera independiente idénticas conclusiones. Tras una serie de cálculos se había dado cuenta de que, de todos los radiotelescopios que había en Green Bank, uno de ellos, el de 26 m de diámetro, tenía el tamaño suficiente para poder detectar una señal enviada por un telescopio equivalente situado en las estrellas más cercanas, llegando hasta una distancia límite de 12 años luz. Y existían varias estrellas similares al Sol dentro de ese límite. Drake pensó que podía hacer algo más que el simple cálculo teórico, y propuso a la dirección del observatorio la fantástica idea de usar el radiotelescopio de 26 m para buscar posibles señales de radio de otras civilizaciones. Para su sorpresa, recibió la autorización.

Tras dos años de silenciosos preparativos (pues Drake temía el ridículo que

podiera suscitar entre la comunidad científica su proyecto), por fin, en 1960, comenzó la búsqueda. Este trabajo pionero fue bautizado por Drake con el nombre de proyecto Ozma, por un personaje de los cuentos de Oz. Dado que el proyecto Ozma no disponía de mucho tiempo de observación, se decidió hacer una escucha prolongada de sólo dos estrellas. Éstas debían ser estrellas similares al Sol, estar situadas a unos 11 años luz, y no ser un sistema múltiple, es decir, no tener ninguna compañera estelar que hubiera podido interferir en la formación de planetas (como ya hemos visto, hasta hace bien poco se creía que los sistemas con más de una estrella no podían tener planetas). Las seleccionadas para esta escucha fueron Epsilon Eridani y Tau Ceti.

El proyecto Ozma, de hecho, detectó en dos ocasiones una fuerte señal pulsante, cuando la antena apuntaba a Epsilon Eridani; justo con el aspecto que Drake esperaba que tendría una comunicación interestelar. Lamentablemente, en la segunda ocasión en que la señal se escuchó, una antena secundaria de baja potencia también la detectó, lo que indicaba que la fuente estaba en realidad mucho más cerca. De hecho se trataba de un avión espía U2 que sobrevolaba la zona. Como vemos, este tipo de sucesos ha sido y es la tónica general de estas búsquedas. La mayoría de las señales prometedoras que se detectan proceden de una civilización en concreto: la nuestra.

Ozma fue la primera búsqueda activa de señales producidas por otras inteligencias en nuestra Galaxia, y aunque tuvo resultados negativos, demostró que un tema tan polémico como la inteligencia extraterrestre se podía abordar con rigor científico. Fue el inicio de lo que hoy día conocemos como SETI. El proyecto Ozma, junto con el artículo de Cocconi y Morrison, resultó un revulsivo mundial, y provocó una inesperada reacción científica. No sólo no sufrieron críticas o escarnio estos pioneros de SETI, como tanto había temido Drake, sino que de repente, la comunidad científica se sentía interesada por encontrar otras inteligencias en la Galaxia. Los tiempos de los marcianos verdes y cabezones, herencia de la ciencia ficción *pulp* de la posguerra, habían pasado. El tema de las civilizaciones extraterrestres entraba en su madurez científica. La prueba de que esto fue así es que pocos años después del proyecto Ozma se detectaron unas misteriosas señales, a todas luces extraterrestres, y no hubo reparo ni vergüenza en atribuirles a inteligencias interestelares.

Señales pulsantes

Hay gente que cree que el destino está escrito en las estrellas. Por supuesto, están completamente equivocados. Sin embargo, lo que sí es cierto es que el destino de las propias estrellas está escrito... en su masa. En efecto, el sino que sufrirá una estrella

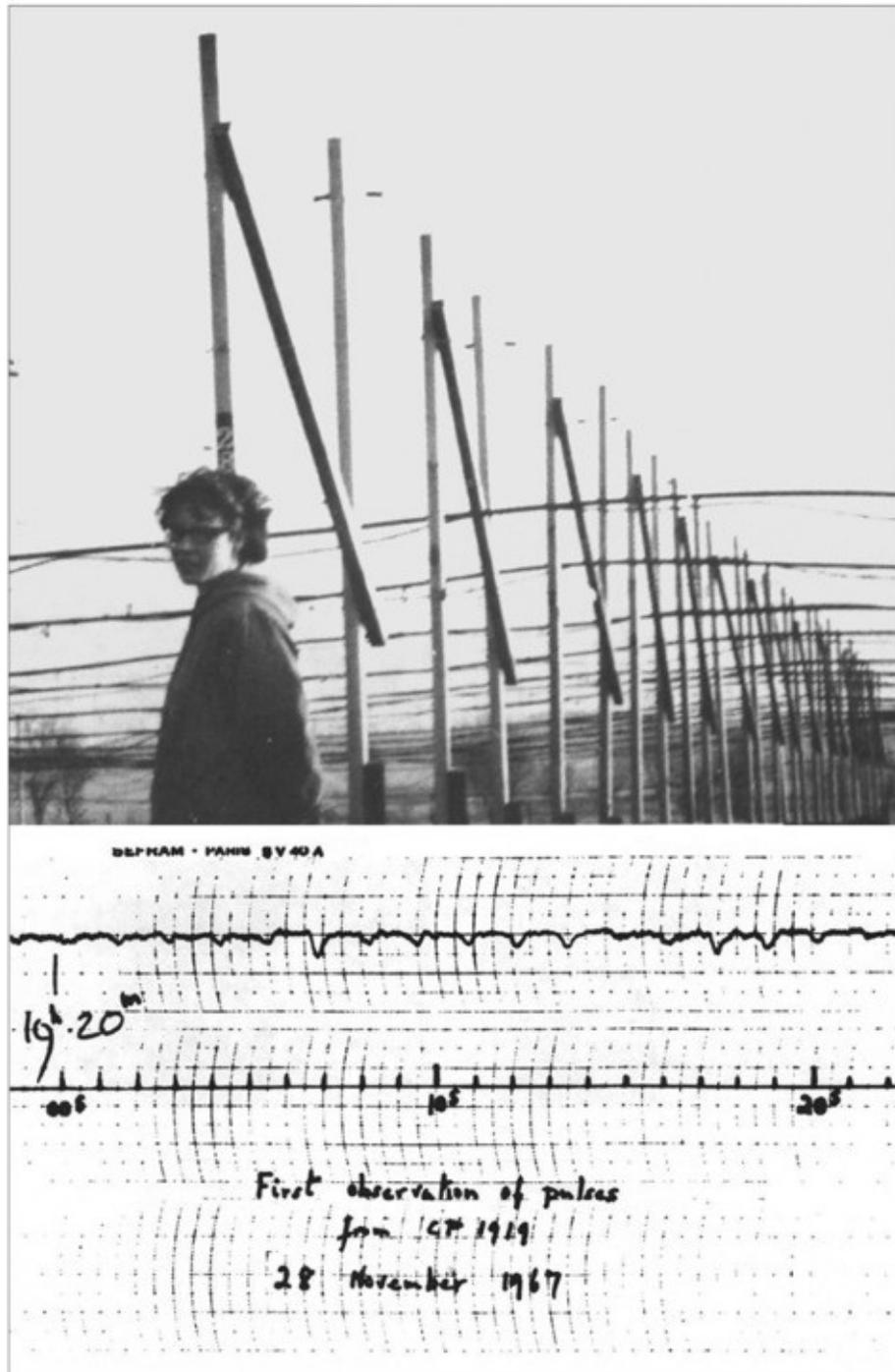
depende de la cantidad de masa que posea. Una estrella de poca masa, o de masa media como el Sol, está destinada a consumir lentamente su combustible nuclear, el hidrógeno (más lentamente cuanto menos masa tenga), hasta que, en los últimos días de su vida se hinche, y se convierta en una gigante roja. Pero ésta será la última fanfarronada de la estrella porque, poco después, volverá a contraerse sobre sí misma para convertirse en un minúsculo rescoldo denso y caliente llamado enana blanca. Una vida relativamente tranquila, como corresponde a una estrella de buenas maneras.

Pero las estrellas de masa alta (varias veces la masa del Sol) tienen una vida más alocada. Como un «rebelde sin causa», viven intensa y rápidamente consumiendo desenfrenadamente su combustible nuclear para, tras una breve juventud, morir de forma espectacular, reventando en una de las explosiones más violentas que se conocen en la naturaleza: una supernova. La intensidad de una supernova es tal que, durante la explosión, brilla más que todas las estrellas de su galaxia juntas. Pero la supernova no significa la desaparición de la estrella. En los restos de la explosión queda un minúsculo cuerpo de tan sólo unos 10 km compuesto únicamente de neutrones, tan denso que un balón de fútbol hecho con este material pesaría un billón de toneladas. Este curioso astro es una estrella de neutrones. Con un campo magnético billones de veces superior al terrestre, en sus polos magnéticos se generan unos intensos chorros de radiación electromagnética que salen despedidos al espacio. Es el canto de cisne de una estrella que se muere. La posición de estos polos no coincide necesariamente con el eje de rotación de la estrella, por lo que habitualmente estos chorros giran de forma similar a un faro en la tiniebla sideral. Si por casualidad uno de estos chorros apunta hacia la Tierra, cada vez que la estrella gire detectaremos una señal. Cuando esto ocurre, la llamamos púlsar. Los púlsares se caracterizan por emitir pulsos de radio con extrema regularidad, tanta que se pueden utilizar como relojes naturales.

Los primeros de estos pulsos fueron detectados en 1967 por la estudiante de doctorado Jocelyn Bell. Sorprendida por la extraña apariencia de la señal, mostró su descubrimiento a su director de tesis, Anthony Hewish. Lo que había visto Bell era una emisión de pulsos regulares de radio que se repetían con precisión cada 1,33 segundos. Al principio, Bell y Hewish creyeron que se trataba de una interferencia local, pero pronto lo descartaron, ya que la fuente de la señal se movía con la esfera celeste. Sin embargo, la pulsación era tan rápida que no parecía posible que proviniera de una estrella. De hecho, tenía un aspecto indiscutiblemente artificial.

Unos cuantos años antes (en 1961, un año después del proyecto Ozma), Drake, junto con otros científicos, había organizado en Green Bank el que se puede considerar el primer congreso sobre SETI. En este congreso se había determinado que una señal pulsante sería un medio perfecto para la comunicación interestelar, fácil de

discriminar respecto a otras señales de la Galaxia. Por este motivo, y dado que no se conocía ningún fenómeno natural que produjera pulsos periódicos, Bell y Hewish, excitados, creyeron haber encontrado la primera emisión de radio detectada de una inteligencia extraterrestre, y bautizaron a esta señal como LGM-1 (LGM: *Little Green Men*, pequeños hombrecillos verdes). Posteriormente se encontraron más de estas señales pulsantes en el cielo, y quedó claro que se trataba de un fenómeno natural. Los hombrecillos verdes fueron descartados. La nomenclatura actual llama a este primer púlsar *B1919+21*, pero es una lástima que la romántica denominación original se perdiera.



Arriba, Jocelyn Bell junto al radiotelescopio de la Universidad de Cambridge con el que encontró la señal pulsante de B1919+21, (abajo) el primer púlsar conocido. Cortesía de *Cosmic Search Magazine* (www.bigear.org) y *Annals of the New York Academy of Science*.

Como un metrónomo en el cielo, los púlsares son las señales naturales más estables y precisas que se conocen. Su descubrimiento puso de manifiesto un nuevo ejemplar de la fauna estelar, que le supuso a Anthony Hewish el premio Nobel de física en 1974. Injustamente, el comité Nobel dejó fuera a quien había hecho el descubrimiento en primer lugar: su estudiante Jocelyn Bell.

Fotones viajeros

Los científicos de SETI están convencidos de que, de todos los tipos de radiación posibles, cualquier señal que nos llegue de otra civilización galáctica lo hará en la forma de ondas electromagnéticas, por lo que la búsqueda se centra exclusivamente en este tipo de radiaciones. Pero ¿por qué ondas electromagnéticas? Bien, para empezar, porque la radiación electromagnética es extraordinariamente versátil y manejable, mucho más que cualquier otro tipo de radiación. Ninguna otra partícula en la naturaleza se asemeja al fotón en facilidad de manejo, detección, direccionalidad o enfoque. Ninguna otra consume menos energía para su generación, ni viaja más deprisa (la luz viaja a la velocidad de la luz, que es la máxima posible). Y además, el Universo es sorprendentemente transparente a esta radiación. Los fotones provenientes de las galaxias remotas nos llegan casi sin ninguna distorsión. Sólo en los últimos metros la atmósfera terrestre se interfiere, enmascarando la mayor parte de la radiación electromagnética, salvo la luz visible y las ondas de radio, para las cuales es transparente. Por eso, si se quiere estudiar otras zonas del espectro electromagnético (rayos X o gamma, radiación infrarroja o ultravioleta lejano), es necesario salir de la atmósfera y poner telescopios espaciales en órbita. Sin riesgo de exageración, se puede decir que prácticamente todo el conocimiento que tenemos del Universo lo hemos obtenido del estudio y análisis de la radiación electromagnética que nos llega de los diferentes astros.

Sólo los neutrinos tienen también esta facilidad de atravesar inmaculados largas distancias, viajando casi tan deprisa como la luz. Pero por desgracia, los neutrinos son unas partículas muchísimo más complicadas de manejar. Para poder detectarlos, se necesitan instrumentos inmensamente grandes que, aun así, sólo consiguen detectar un ínfimo porcentaje de los mismos. Y enfocarlos, reflejarlos o enviarlos en la dirección deseada es hoy por hoy prácticamente imposible para nuestra ciencia, por lo que hasta la fecha no ha sido posible construir un telescopio de neutrinos (hay detectores que se llaman así, pero no son verdaderos telescopios en el sentido en que sí lo son los radiotelescopios o los telescopios tradicionales). Por contra, hacer este

mismo tipo de manipulaciones con la radiación electromagnética es trivial.

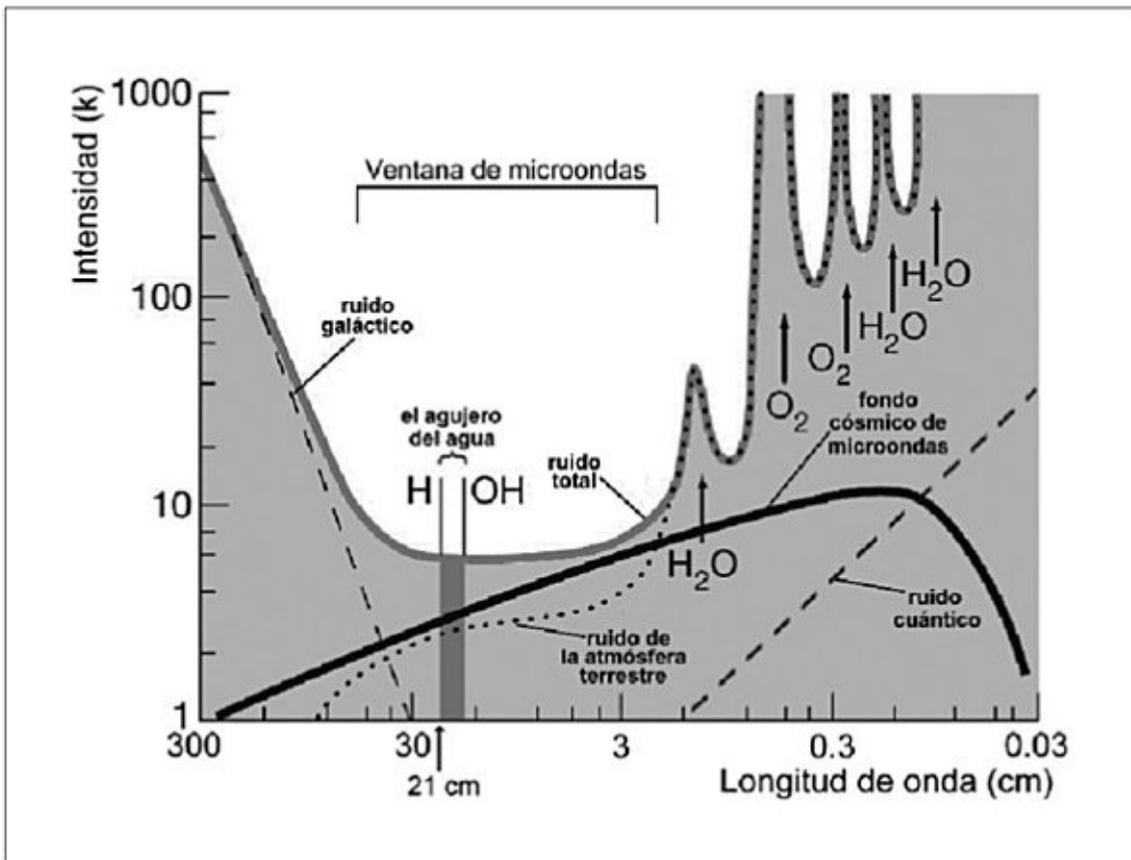
En cuanto a otras partículas que se podrían considerar como candidatas, como por ejemplo los protones o los electrones, dado que se trata de partículas cargadas, los campos magnéticos interestelares (debidos a las estrellas o al propio campo magnético galáctico) tienen la mala costumbre de desviarlos de su trayectoria, por lo que es muy difícil saber de qué dirección provienen originalmente.

El agujero del agua

La radiación electromagnética reúne todas las ventajas sin prácticamente inconvenientes, por lo que resulta el candidato ideal. Pero aun restringiéndonos a ella, el rango de búsqueda es enorme. ¿En qué longitudes de onda, de toda la gama del espectro electromagnético, conviene buscar? Los astrónomos planetarios estiman que prácticamente todas las atmósferas son transparentes a las ondas de radio, y una importante fracción de ellas también lo son a la luz visible, por lo cual ambas opciones parecen una buena elección. No tendría sentido usar una radiación que la atmósfera del planeta receptor fuera a apantallar y que sólo fuera observable desde el espacio, ya que no todas las civilizaciones tienen por qué haber desarrollado vuelos extraatmosféricos.

De ambas opciones, la que cuenta con más ventajas es la de las ondas de radio, debido a que las estrellas emiten relativamente poca cantidad de ondas de radio, y sin embargo emiten muchísima luz visible. Por este motivo, resulta más fácil detectar una emisión de radio que salga de un planeta que orbita alrededor de una estrella que una emisión en luz visible. En la región de las ondas de radio, un planeta puede fácilmente llegar a ser más visible que su estrella; en cambio, una emisión luminosa debe ser *muy* potente para destacar por encima de la luz de su estrella.

De nuevo, dentro de la región de radio, seguimos teniendo un amplio espectro de longitudes de ondas donde elegir. En principio, cualquiera de ellas sirve, y de hecho se han hecho búsquedas SETI usando diferentes frecuencias y anchuras de banda. Pero hay una zona en el espectro de radio que parece especialmente favorecida por la naturaleza. Se trata de la ventana de microondas:



Ventana de microondas: región de las ondas de radio donde la contribución de las diferentes fuentes de ruido es mínima. Dentro de ella se encuentra el *agujero del agua*.

La ventana de microondas es una región del espectro de radio donde el ruido debido a causas naturales (la contribución de la Galaxia, de la propia estrella, del fondo cósmico de microondas, o el límite cuántico de detección) es mínimo. Como su nombre indica, se halla en la región de las microondas y constituye un canal especialmente silencioso, lo que favorece la recepción de cualquier señal artificial que se pudiera emitir en esa banda. Como se ve en la gráfica, las fuentes naturales de ruido aumentan enormemente a la izquierda y a la derecha de esta ventana, con lo cual resulta la parte más silenciosa del espectro para cualquier observador en la Galaxia. Incluso cuando añadimos el ruido debido a la atmósfera de la Tierra, vemos que esta región sigue siendo la menos ruidosa, lo que hace de ella una banda idónea para ser estudiada desde tierra firme (al menos de momento; nuestra civilización cada vez produce más emisiones en la zona de microondas, una contaminación que está aumentando el ruido de fondo en esta zona del espectro).

La ventana de microondas resulta interesante para la comunicación interestelar por otros motivos. Dentro de ella se encuentra una longitud de onda estándar única, que debe ser conocida por cualquier observador en el Universo: la emisión fundamental del átomo neutro de hidrógeno, con una longitud de onda de 21 cm. Debido a que se trata del átomo más abundante del Universo, Cocconi y Morrison sugerían en su artículo que la búsqueda se centrara en longitudes de onda cercanas a

los 21 cm. Esta longitud de onda podría estar funcionando de facto como un marcador interestelar en el dial de «Radio Galaxia». Fue también en esta banda donde trabajó el proyecto Ozma, aunque no por estos motivos, sino por razones prácticas, pues el detector del radiotelescopio que utilizaron estaba diseñado, precisamente, para estudiar la distribución de hidrógeno atómico en la Galaxia.

Aún hay otro motivo más a favor de la ventana de microondas, en este caso de índole romántica. Relativamente cerca de la emisión fundamental del hidrógeno neutro, se encuentra también la emisión fundamental de la molécula OH, más conocida como radical hidroxilo. Dado que cuando el radical hidroxilo se une al hidrógeno atómico da agua ($H + OH = H_2O$), a la región comprendida entre ambas emisiones se la ha bautizado con el poético nombre de *el agujero del agua*, aunque en esa zona no exista ninguna emisión de la molécula de agua. La vida en la Tierra está basada en el agua y, como ya hemos visto, hay muy buenas razones para pensar que lo mismo ocurra con la mayor parte de los seres vivos del Universo. Así, de igual manera que los animales se reúnen en torno a una poza de agua en la sabana, puede que esos otros seres inteligentes basados en el agua vean también el simbolismo de agua = vida, y consideren el agujero del agua un punto de encuentro apropiado entre hermanos bioquímicos.

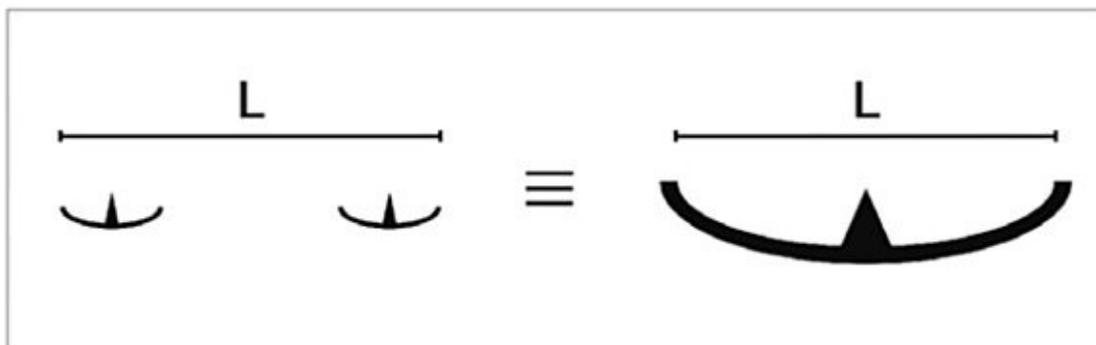
Una cuestión de sensibilidad

Un componente primordial en estas búsquedas es la sensibilidad del radiotelescopio. Cuanta mayor sea su sensibilidad, será capaz de detectar fuentes más débiles. Como vimos, el proyecto Ozma sólo podía detectar fuentes emitidas por un radiotelescopio equivalente hasta una distancia de 12 años luz. Si la fuente estuviera más lejos, su señal llegaría demasiado débil para ser detectada por este instrumento.

La otra característica principal es la resolución angular, es decir, la distancia angular más pequeña a la que deben estar separados dos objetos para que el telescopio sea capaz de distinguirlos por separado. Si dos objetos celestes están separados por un ángulo mayor, el telescopio verá claramente que hay dos objetos, pero si están separados por una distancia angular menor, el telescopio no será capaz de distinguir los dos objetos y los verá como una sola mancha. Por tanto, cuanto menor sea la resolución angular que tiene un telescopio, mejor.

La resolución depende directamente de la anchura del telescopio, o mejor dicho, de la distancia máxima posible en la zona colectora del telescopio. Por su parte, la sensibilidad depende directamente de la superficie total de esa área colectora (aunque depende también del detector que se esté usando). En radioastronomía resulta

bastante fácil disponer de un conjunto separado de radiotelescopios y hacerlos trabajar al unísono, combinando su respuesta, como si fueran un único radiotelescopio. En estas ocasiones, es frecuente oír decir que el conjunto resulta equivalente a un radiotelescopio mucho mayor. Por ejemplo, que dos radiotelescopios separados por una distancia L que trabajan al unísono, son equivalentes a un radiotelescopio de diámetro L :



Pero en realidad sólo son equivalentes en resolución angular, en capacidad de separar objetos que estén muy juntos. Sin embargo, el segundo tiene mucha más superficie colectora y por tanto mayor sensibilidad, por lo que será capaz de ver fuentes muchísimo más débiles que las que pueda detectar el conjunto de dos telescopios de la izquierda. En la actualidad, el radiotelescopio más sensible del mundo es el del Observatorio de Arecibo, en Puerto Rico, administrado por la Universidad de Cornell. Este radiotelescopio cuenta con la mayor área colectora del mundo, una gigantesca antena de 305 metros de diámetro, es decir, una superficie de unos 73.000 m². Existen radiotelescopios más grandes, como el ratan 600, en Rusia, que es una estructura en forma de anillo de 600 m de diámetro, lo que hacen de él el radiotelescopio individual (es decir, no compuesto por conjuntos de radiotelescopios) más grande del mundo. Pero dado que es un anillo, sin ninguna superficie colectora en su interior, tiene un área colectora total más pequeña, unos 1.000 m², por lo que de momento Arecibo sigue sin ser destronado.

Un código morse para las estrellas

Bien, hemos visto las ventajas de las ondas de radio para la comunicación interestelar, y en qué zonas del espectro de radio parece promisorio buscar. Pero ¿qué se espera escuchar? Es decir ¿qué cabe esperar de una señal SETI, qué características ha de tener una señal extraterrestre para que tengamos la certeza de que es artificial?

La característica principal que distingue una señal de radio artificial de las señales

generadas por fenómenos naturales es su anchura espectral o ancho de banda, es decir, cuánto espacio ocupa en el dial: cualquier señal con una anchura inferior a 300 MHz será artificial, pues la naturaleza no puede generar una señal de este tipo. Por esa razón, uno de los principales criterios de SETI es encontrar señales de banda estrecha. Además, una banda estrecha tiene la ventaja de que hace que se incremente la relación señal/ruido: cuanto más estrecho sea el ancho de banda, menos ruido sufre la señal.

Si la señal de radio está diseñada para ser lo más fácil posible de detectar a través de las distancias interestelares, debe ser enviada en la forma de una especie de código morse muy lento, con una anchura de banda de 1 Hz o menos. De esta manera, se puede trabajar con tiempos de integración largos (el tiempo durante el cual el detector está midiendo señal), lo que mejora la calidad de la detección. Si la señal oscilara muy deprisa, por ejemplo, 200 pulsos por segundo, y el tiempo en que el detector está integrando datos es de 10 segundos cada vez, 2.000 pulsos de entrada se convertirían en uno de salida, con lo que se perdería toda la información que pudieran tener. Además, si el tiempo de integración del detector fuera tan breve como medio milisegundo, sería difícil distinguir la señal del ruido de fondo. Por ello se esperan pulsos lentos.

Otra condición indispensable es que la señal se repita. A lo largo de todos los años de SETI, en innumerables ocasiones se han detectado señales prometedoras que cumplían los requisitos anteriores, pero al buscarlas de nuevo en la misma dirección del cielo no se han vuelto a repetir (salvo una excepción que luego veremos). En muchos casos se ha podido comprobar con posterioridad que provenían de nuestro planeta: interferencias, radares militares, aviones, satélites de telecomunicaciones, sondas espaciales... Por ello, tanto si se trata de señales diseñadas para ser detectadas, como si se trata de fugas de las emisiones que esas otras civilizaciones puedan estar empleando para su propio uso, el criterio de criba que deben pasar es que vuelvan a aparecer de nuevo al apuntar el radiotelescopio en la misma dirección. Encontrar una señal una sola vez y nunca volver a oír nada es una prueba poco convincente de presencia. Además, si la señal lleva algún tipo de mensaje, repetirla refuerza lo artificial de la señal y evita posibles pérdidas de información.

Algunos investigadores de SETI creen poco probable que detectemos señales que sean fugas no intencionadas de sus emisiones (equivalentes a nuestras emisiones de radio o televisión, que están escapando del Sistema Solar a la velocidad de la luz). El argumento es que tales tipos de transmisiones de alta potencia son una pérdida de energía, que con el tiempo se tiende a contrarrestar. En la misma Tierra, las potentes transmisiones analógicas de televisión están siendo sustituidas por transmisiones digitales de poca potencia, o por redes de fibra óptica, por lo que quizá la época en que una civilización emite estas fugas es de corta duración. No obstante, algunas

emisiones podrían durar mucho tiempo, por ejemplo, radares para el control del tráfico de naves o para monitorizar meteoritos. Aun así, estos investigadores creen más probable la detección de una señal intencionada, de un mensaje.

Una manera de aumentar el carácter artificial de una señal intencionada sería incluir una señal de llamada, algo que fuera imposible que ningún fenómeno físico produjera como, por ejemplo, que la modulación principal consistiera en una serie de números primos: 2 pulsos, 3 pulsos, 5, 7, 11... (el caso ficticio de la introducción sería también un buen ejemplo de señal de llamada). Necesariamente, una señal así implica una inteligencia al otro lado con conocimientos matemáticos. Esto atraería rápidamente la atención de cualquiera que la recibiera. Sobre esta modulación principal, dentro de la señal puede haber más capas con información codificada (submodulaciones, o quizá cambios en la polarización de la onda), donde podría estar el verdadero mensaje. Seguro que esto le suena de *Contact*. No es en absoluto de extrañar, porque la novela en que se basó la película, de igual nombre, fue escrita por el conocido astrónomo estadounidense Carl Sagan, quien desde siempre estuvo muy involucrado en SETI. Sagan plasmó con rigor en la novela lo que los investigadores de SETI llevan tiempo esperando encontrar en el mensaje de una civilización extraterrestre.

Resumiendo, estas son las características que esperamos que posea una señal extraterrestre diseñada para ser detectada:

1. Banda estrecha, que la diferencie de las señales de origen natural.
2. Pulsos lentos, para que sea fácilmente detectable.
3. Repetición de la señal.
4. Señal de llamada con, por ejemplo, contenido matemático.
5. Varias capas encriptadas en la señal, con el verdadero mensaje.

Sobre todo esto veremos más en el capítulo tercero.

Estrategias de búsqueda

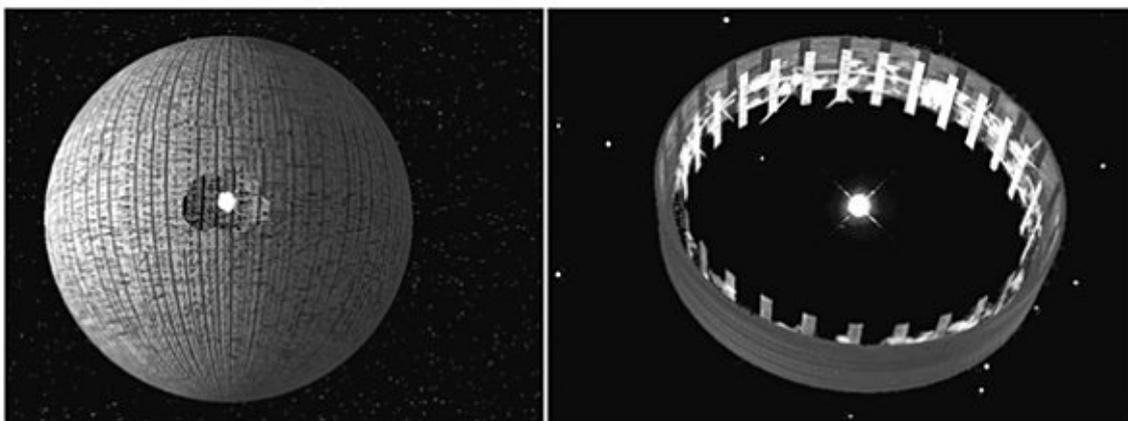
En SETI las estrategias de búsqueda de fuentes celestes se dividen en dos grandes grupos. El primer grupo se centra en el estudio de blancos concretos, de objetivos con una localización conocida que por los motivos que sea son buenos candidatos a tener civilizaciones. Este tipo de búsquedas suele concentrarse en estrellas cercanas, desde donde una hipotética señal llegaría con más intensidad, y en estrellas más o menos

similares al Sol (ya que es la única que conocemos en cuyo sistema planetario ha aparecido la vida). Entre ellas, se elige a las que no poseen ninguna estrella compañera, descartando así los sistemas formados por dos o más estrellas, pues se cree que esto reduce la posibilidad de que se formen planetas, al consumirse la mayor parte del material de la nebulosa en formar estrellas. Además, cualquier planeta que pudiera haber en esos sistemas difícilmente tendría una órbita estable. Se da además prioridad a las estrellas más viejas, a fin de dar tiempo a que evolucionen formas de vida complejas. Con esto se descartan las estrellas más masivas, ya que son de corta duración (explotan al cabo de pocos millones de años, en comparación con los miles de millones de años que duran otras). Estas búsquedas enfocadas a objetivos concretos implican observar a las estrellas candidatas durante largos períodos de tiempo, para lo cual es mejor usar grandes radiotelescopios con alta sensibilidad.

Pero de esta manera, sólo se puede estudiar un número muy limitado de estrellas candidatas. Para complementar estas búsquedas, se usa un segundo tipo de estrategia, consistente en realizar rastreos indiscriminados de todo el cielo, buscando señales prometedoras de origen desconocido sin realizar consideraciones a priori. Aquí la situación es la inversa. No conviene usar grandes telescopios, pues éstos sólo son capaces de observar en cada ocasión una pequeña fracción del cielo. Si se quiere hacer un rastreo completo de todo el cielo, hay que emplear radiotelescopios más pequeños, capaces de observar a la vez porciones más grandes del cielo; por supuesto, a cambio de perder la capacidad de detectar las fuentes más débiles. En este tipo de rastreos SETI suelen participar a menudo aficionados a la radioastronomía, quienes contribuyen con sus propias antenas de pequeño tamaño.

Una curiosa variante de esta estrategia consiste en mirar de una sola vez amplias zonas del cielo, esperando encontrar alguna señal potente. Este enfoque fue bastante común en el programa soviético. Estaba respaldado por la teoría de que el manejo energético aumenta en una civilización conforme pasa el tiempo, de lo que se deduce que las civilizaciones más antiguas deben estar manejando descomunales cantidades de energía, lo que las haría fácilmente visibles. Un astrónomo ruso, Nicolas S. Kardashev, hizo una clasificación de las civilizaciones en función de este empleo de la energía, definiendo tres tipos de civilizaciones. Las de tipo I serían aquellas capaces de manejar una cantidad de energía del mismo orden que la que produce su planeta (nosotros aún no habríamos llegado a esa fase). Las de tipo II serían las que pueden hacer uso de una cantidad de energía del mismo orden que la que produce una estrella. Estas civilizaciones serían capaces de absorber buena parte o la totalidad de la luz de su estrella y usarla en su propio beneficio. La ciencia ficción suele asociar a este tipo de civilizaciones ciertas construcciones de astroingeniería realmente espectaculares, como la esfera de Dyson, concebida por el matemático Freeman Dyson, y que consiste en la construcción de un casquete esférico que recubriría por

completo a la estrella, para evitar la pérdida de luz al espacio exterior y aprovecharla así toda. O en menor medida, un mundo anillo, como el concebido por el escritor de ciencia ficción Larry Niven, un ancho anillo circular que rodea la estrella, cuyo giro provocaría una fuerza centrífuga que serviría de pseudogravedad y haría habitable su superficie.



Una esfera de Dyson (izquierda), que muestra la estrella en su interior, y un mundo anillo de Niven (derecha), objetos de astroingeniería al alcance de las civilizaciones de tipo II. Cortesía de Steve Bowers.

En cuanto a las civilizaciones de Kardashev de tipo III, serían las que han alcanzado tal monstruoso nivel de desarrollo que pueden manejar unas cantidades de energía del mismo orden que la producida en una galaxia. Estas civilizaciones serían tan evidentes que una civilización de tipo III en otra galaxia sería más fácil de descubrir que una de tipo I que estuviera en nuestra vecindad.

Volviendo a las estrategias de búsqueda, uno de los problemas con los que se ha encontrado continuamente SETI es que es muy difícil conseguir que parte del tiempo de observación de un radiotelescopio se dedique a apuntar a una zona concreta donde no se sabe si hay algo. La competencia entre proyectos científicos para usar estos instrumentos es muy alta y suele favorecerse a las observaciones que presentan más garantías de obtener resultados. Además, la búsqueda SETI ideal sería la que pudiera combinar las ventajas de las dos estrategias: rastrear todo el cielo, y hacerlo con un radiotelescopio de gran sensibilidad. ¿Es posible algo así? Pues parece ser que sí. Un grupo de la Universidad de California, en Berkeley, ha conseguido solucionar ambos problemas con una idea brillante: que apunten otros. Nació así en 1979 el ingenioso proyecto SERENDIP.

La idea de SERENDIP consiste en poner, en un radiotelescopio, un detector de radio propio y dejarlo allí como un parásito, mientras el radiotelescopio se usa para hacer otro tipo de observaciones. Así, cuando un astrónomo esté estudiando una región del cielo que le interese para su propio trabajo de investigación, al mismo tiempo el detector de SERENDIP estará recogiendo datos para SETI de esa misma región. Aunque de esta manera los astrónomos de SETI no tienen ningún control

sobre qué lugar del cielo se está observando, al cabo de unos cuantos años se habrá observado una importante cantidad de cielo. Y muchos lugares en varias ocasiones, lo que resulta fundamental para comprobar si las señales candidatas se repiten al volver a observar la misma zona. En 1992, SERENDIP fue instalado como parásito ni más ni menos que del radiotelescopio de Arecibo, donde sigue aún, recogiendo datos de excelente calidad.

Wow!

SERENDIP es uno de los proyectos SETI más antiguos y que más tiempo lleva en funcionamiento, pero el récord lo tiene el programa SETI de la Universidad Estatal de Ohio, en Columbus. El programa de esta universidad comenzó en 1973 a escuchar señales de radio usando el radiotelescopio *Big Ear* (Gran Oreja, llamado así por su forma y tamaño), que se convertía así en el primer radiotelescopio en buscar de manera continua señales de civilizaciones extraterrestres. Ha sido también hasta el momento el programa SETI más largo, ya que ha funcionado ininterrumpidamente durante la friolera de 22 años.

Pero si por algo es conocido este radiotelescopio es por haber detectado en 1977 la famosa señal *Wow!*, una señal de radio particularmente intensa detectada por la Gran Oreja que mostraba poseer todas las características adecuadas: un pulso de banda estrecha, lento, mucho más potente que el ruido de fondo, y localizado precisamente en las cercanías de la longitud de onda de 21 cm. En la imagen siguiente se muestra la salida impresa donde se recogió la señal. El tiempo avanza hacia abajo y cada columna representa un canal, es decir, un intervalo estrecho de frecuencias. La señal está rodeada con bolígrafo rojo, y junto a ella el astrónomo que analizaba los datos escribió la exclamación de sorpresa *Wow!* (¡Guau!), por lo intensa que era, expresión que acabó finalmente bautizándola. Como se puede ver, la señal es de banda estrecha y ocupa solamente un canal de frecuencias (el canal 2).

Las curiosas letras que configuran la señal representan valores de intensidad relativos al ruido de fondo mayores de 9, ya que para cada canal, la salida impresa admitía sólo un carácter. En realidad, la secuencia «6EQUJ5» representa los valores: 6, 14, 26, 30, 19, 5. El pico de 30 indica que en ese momento la señal era 30 veces más intensa que el valor del ruido de fondo. Una señal verdaderamente prometedora... si no fuera porque nunca más volvió a repetirse. Tras su detección, en cuanto fue posible se volvió a apuntar la Gran Oreja a la misma zona del cielo, pero lo único que obtuvieron fue silencio. Desde entonces, recurrentemente distintos radiotelescopios han vuelto a apuntar a esas mismas coordenadas, siempre con nulos

resultados. ¿Qué era esta señal?

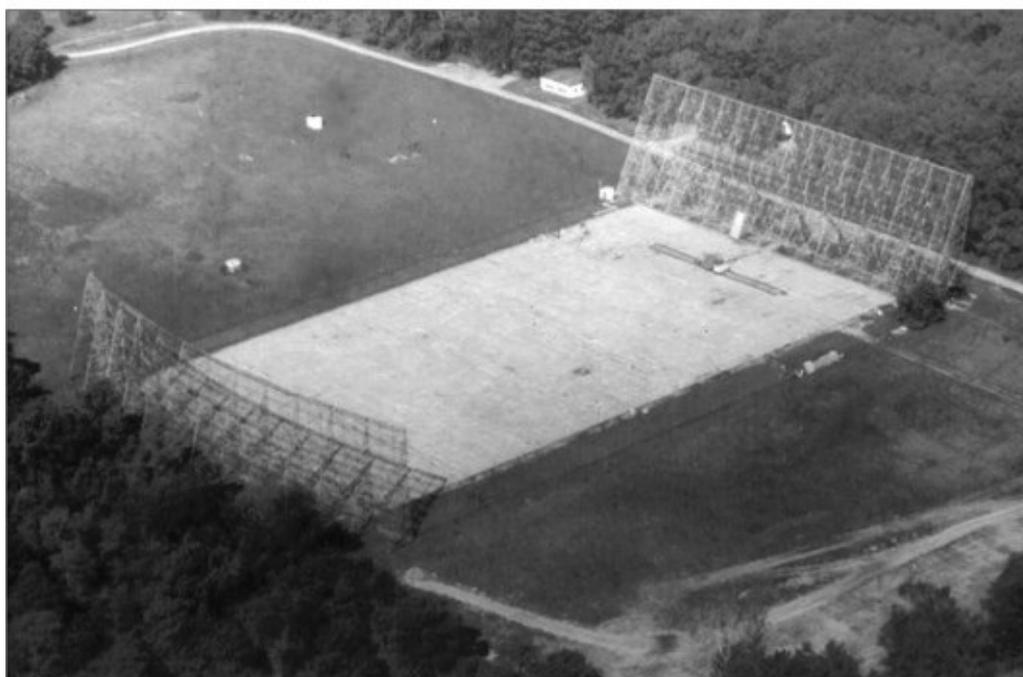
CHANNEL NUMBER (TWO DIGITS, WRITTEN VERTICALLY)										RT	ASCEN.	DEC		
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	T	HH	MM	SS	(19)
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19	05	22	27
1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19	05	37	27
1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	19	05	49	27
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19	06	01	27
12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19	06	13	27
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19	06	25	27
12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19	06	37	27
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19	06	49	27
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19	07	01	27
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19	07	13	27
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19	07	25	27
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19	07	37	27
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19	07	49	27
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19	08	01	27
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19	08	13	27
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19	08	25	27
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19	08	37	27
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19	08	49	27
12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19	09	01	27
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19	09	13	27
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19	09	25	27
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19	09	37	27
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19	09	49	27
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19	10	01	27
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19	10	13	27
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19	10	25	27
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19	10	37	27
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19	10	49	27
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19	11	01	27
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19	11	13	27
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19	11	25	27
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19	11	37	27
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19	11	49	27
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19	12	01	27
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19	12	13	27
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19	12	25	27
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19	12	37	27
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19	12	49	27
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19	13	00	27
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19	13	12	27
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19	13	24	27
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19	13	36	27
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19	13	48	27
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19	14	00	27
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19	14	12	27
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19	14	24	27
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19	14	36	27
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19	14	48	27
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19	15	00	27
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19	15	12	27
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19	15	24	27
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19	15	36	27
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19	15	48	27
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19	16	00	27
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19	16	12	27
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19	16	24	27
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19	16	36	27
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19	16	48	27
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19	17	00	27
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19	17	12	27
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19	17	24	27
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19	17	36	27
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19	17	48	27
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19	18	00	27
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19	18	12	27
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19	18	24	27
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19	18	36	27
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19	18	48	27
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19	19	00	27
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19	19	12	27
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19	19	24	27
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19	19	36	27
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19	19	48	27
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19	20	00	27
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19	20	12	27
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19	20	24	27
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19	20	36	27
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19	20	48	27
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19	21	00	27
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19	21	12	27
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19	21	24	27
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19	21	36	27
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	19	21	48	27

Wow!

La señal Wow! detectada en 1977 por la Gran Oreja. Cortesía del Radio Observatorio de la Universidad Estatal de Ohio/North American AstroPhysical Observatory/www.bigear.org.

La verdad es que, después de todo el tiempo que ha pasado, la señal Wow! no ha podido explicarse. Lo único que se sabe con seguridad de ella es que se originó en algún punto más lejano que la Luna, por tanto no pudo ser un satélite artificial ni ninguna interferencia local. El patrón tampoco coincide con las emisiones de planetas con ionosfera activa como Júpiter, y además, no había ningún planeta en aquel

momento en esa dirección. Una de las pocas hipótesis que pugna por explicar la señal es que haya sido debida a un fenómeno de lentes gravitatorias. Ya vimos este fenómeno cuando se trató el tema de búsqueda de planetas extrasolares. Tal vez una señal de radio natural en segundo plano fuera brevemente amplificada por el tránsito de un cuerpo celeste en primer plano. Pero esto no explica que sea una señal de banda estrecha. De momento, la señal *Wow!*, además de haberse convertido en un icono de la ciencia, sigue siendo un misterio.



La Gran Oreja en 1977. Cortesía del Radio Observatorio de la Universidad Estatal de Ohio/North American AstroPhysical Observatory/www.bigear.org.

Tras casi 40 años funcionando, después de haber realizado el programa SETI más largo hasta la fecha, y de haber detectado una de las señales más prometedoras de todos los programas SETI, en 1997 la Gran Oreja dejó de funcionar. ¿Se estropeó más allá de toda posibilidad de reparación? No. El final fue más estúpido. El terreno propiedad de la Universidad Estatal de Ohio donde estaba situada la Gran Oreja fue vendido a cambio de una sustanciosa cantidad a especuladores urbanísticos. La Gran Oreja se destruyó en 1998. Hoy día, como «monumento» a su recuerdo, ocupa su lugar un flamante campo de golf.

El programa SETI de la NASA

Como hemos visto, la década de los setenta fue una época de gran actividad SETI, con momentos excitantes como la señal *Wow!* La NASA comenzó a finales de esta

década a interesarse también en el tema y decidió desarrollar su propio programa de búsqueda de inteligencias extraterrestres. Buena parte de este trabajo se hizo desde el Instituto SETI.

El Instituto SETI se fundó en 1984 y originalmente se estableció para ayudar a la NASA a desarrollar su programa, aglutinando a la mayor parte de los científicos que había en Estados Unidos involucrados en el tema. Ambas instituciones se dedicaron a establecer el programa SETI de la NASA, que recibió el nombre de HRMS (*High Resolution Microwave Survey*, Muestreo de Alta Resolución en Microondas), en parte para contrarrestar el factor irrisorio que algunos políticos asociaban a las siglas de SETI. Durante varios años, los científicos del HRMS trabajaron en la definición del programa de trabajo, las estrategias de búsqueda, los criterios de selección y eliminación de señales, y en el desarrollo del *software* y de todos los instrumentos y detectores que iban a ser necesarios en este ambicioso proyecto. Finalmente, el trabajo dio su fruto: el resultado era un programa de observación de 10 años de duración en el que se iban a estudiar 1.000 estrellas candidatas tipo Sol situadas en un entorno de 100 años luz, utilizando para ello el radiotelescopio de Arecibo, al que le habían instalado nuevos detectores de microondas de gran resolución espectral. Y por fin...

El 12 de octubre de 1992, tras una década de prolongado esfuerzo, el ambicioso proyecto HRMS de la NASA ¡comenzaba a funcionar! La antena de Arecibo dirigía su atención hacia la estrella Gliese 615.1A y observaba la primera candidata de la larga lista de HRMS.

Sólo un año después, el 1 de octubre de 1993, el gobierno de Estados Unidos cancelaba los fondos para HRMS y el programa SETI de la NASA quedaba anulado. El senador Richard Bryan, conocido por su oposición al programa SETI, era el encargado de dar la estocada: en la sesión del Senado en que se trataban los presupuestos había conseguido colar en el último minuto una enmienda para terminar con el programa SETI, y el Senado votó en pleno a favor de la cancelación. En sus declaraciones a la prensa, Richard Bryan concluyó: «espero que esto sea el fin de la temporada de caza de marcianos a expensas de los contribuyentes».

¿Por qué se canceló SETI? En buena parte por las presiones de los grupos políticos, que acusaban a SETI de no ser buena ciencia y resultar un gasto inútil de dinero público, ridiculizando en muchos casos el programa y asociándolo al mundillo ovni. Pero el proyecto SETI de la NASA sí era buena ciencia. Se trataba de un excitante programa científico que había sido avalado por numerosos científicos de todo el mundo, incluyendo varios premios Nobel que dieron su apoyo al programa. HRMS era un proyecto riguroso, cuyos científicos habían conseguido un gran consenso sobre cómo, dónde y cuándo buscar señales. Una inversión de 10 millones de dólares anuales bien merecía la pena, teniendo en cuenta lo que se podría obtener a

cambio si tuviera éxito. Los productos derivados del programa también tenían valor científico, pues la instrumentación y los métodos que se desarrollaban podían usarse en otros campos de la ciencia o la tecnología (por poner un ejemplo, el analizador de frecuencias de SETI resultó tener aplicaciones prácticas para control del tráfico aéreo). Pero no sólo eso. Era una aventura intelectual, cuyos componentes educativos podrían excitar la atracción de los niños (y sus padres) hacia la ciencia, lo que de por sí justificaría la existencia de un proyecto SETI propio de la NASA.

Otro de los motivos para la cancelación de HRMS fueron los recortes de presupuesto. En aquel año acababa de ser elegido un nuevo presidente de gobierno, Bill Clinton, y el gobierno tenía déficit presupuestario. Había que recortar por algún sitio. Y fue en parte el pequeño tamaño del proyecto HRMS lo que irónicamente motivó su cancelación. Pequeño pero no demasiado; si hubiera sido excesivamente pequeño, su presencia o ausencia no habría supuesto diferencia presupuestaria. Y si hubiera sido un proyecto enormemente grande, del que dependían muchas empresas, también se hubiera salvado. Pero tenía el tamaño justo, 100 millones de dólares, para que fuera fácil de eliminar y que diera sensación de que se estaba ahorrando dinero. Sobre todo si la clase política pensaba que era un gasto inútil, que lo más probable es que no diera ningún resultado.

Pero es posible que haya habido también motivos de otra índole. En la puritana sociedad estadounidense, con sus políticos tan conservadores, pesa mucho la creencia de origen religioso de que el hombre es único, de que sigue siendo después de todo el rey de la Creación. Un proyecto cuyos resultados podrían hacer ver que esta creencia es errónea resulta cuanto menos incómodo; es mejor no hacer investigaciones al respecto, al menos con fondos del gobierno. Esto podría explicar también por qué la NASA, en sus nuevas misiones a la superficie de Marte, los rover *Spirit* y *Opportunity*, no ha enviado ningún experimento biológico para intentar determinar la presencia de vida en el planeta, a pesar de la opinión contraria de varios científicos del proyecto.

El renacer de un proyecto: Phoenix

La cancelación del proyecto SETI de la NASA fue una dura estocada, pero no fue una estocada mortal. En realidad, sirvió para azuzar al Instituto SETI, que hasta entonces había trabajado como contratista de la NASA, para que se decidiera a continuar con el proyecto por su cuenta y buscara financiación privada. Buena parte de los científicos de la NASA que habían trabajado en HRMS se trasladaron al Instituto SETI, y el profesor Barney Oliver, hasta entonces a cargo del HRMS, comenzó una

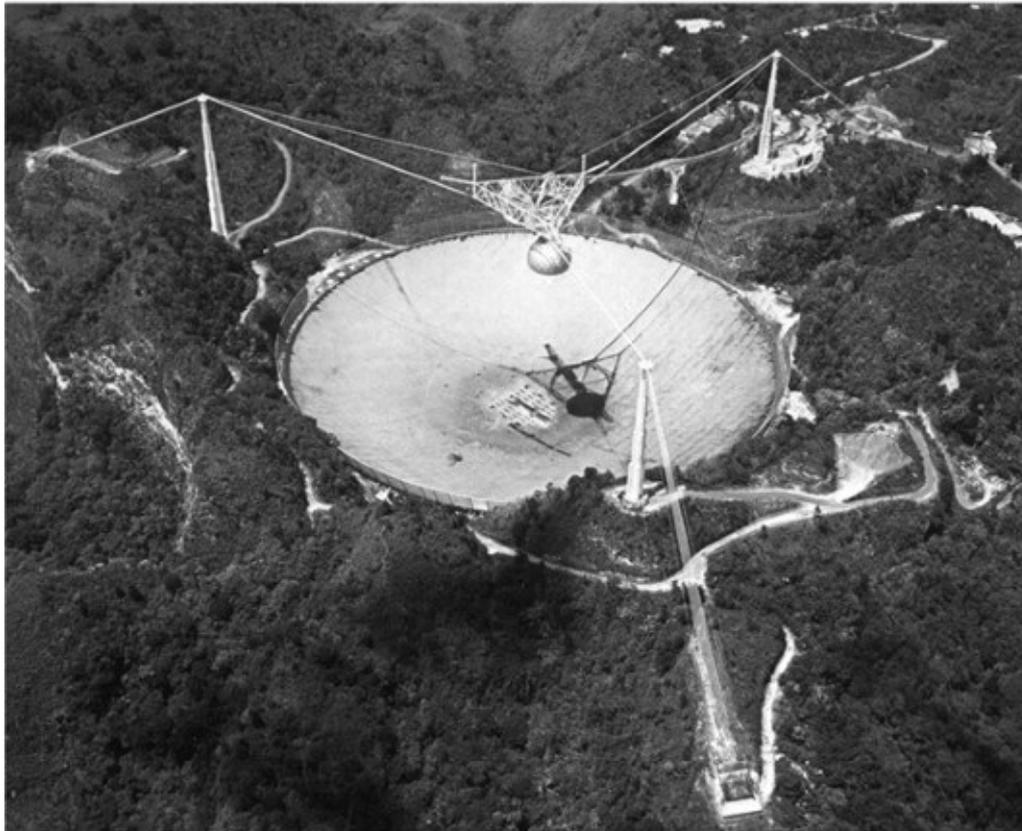
activa campaña para conseguir el mecenazgo de los ricos californianos de Silicon Valley. Este trabajo culminó con la puesta en marcha de un nuevo proyecto que era, de hecho, el proyecto HRMS renacido, por lo que recibió el adecuado nombre de Phoenix.

Una de las premisas del nuevo proyecto Phoenix era estudiar los candidatos con dos radiotelescopios al mismo tiempo, situados en localizaciones diferentes. ¿Por qué? Pues porque de esa manera se podría distinguir fácilmente si una señal artificial tenía origen terrestre o extraterrestre: si una interferencia local llegaba a uno de los radiotelescopios, el otro no la detectaría, con lo que quedaba descartada automáticamente. Debía llegar a los dos para que fuera considerada como de origen extraterrestre. Así, Phoenix comenzó su andadura en 1995, usando dos radiotelescopios australianos: la antena de 64 metros del Observatorio Parkes, en Nueva Gales del Sur (la más grande del hemisferio sur), y el radiotelescopio *Mopra*, más pequeño, situado a 200 km al norte. Al año siguiente, la búsqueda retornaba a Estados Unidos, y para esta ocasión se utilizaba el radiotelescopio de 43 m de Green Bank (que aún no había sido construido cuando Drake llevó a cabo el proyecto Ozma) junto con diferentes radiotelescopios del observatorio Woodbury. Aun así, en ambas ocasiones las dos antenas que se usaban conjuntamente estaban demasiado cerca entre sí; si una señal provenía de un satélite artificial, por su proximidad la detectarían ambas y no sería posible descartarla de forma automática. Era mejor poner un océano de por medio.

Finalmente, en 1998, cinco años después de la última observación del antiguo proyecto HRMS, el nuevo proyecto Phoenix conseguía volver a Arecibo, en buena parte gracias a la publicidad que había supuesto el éxito de la película *Contact*, que se había estrenado el año anterior. El cine al servicio de la ciencia.

Pero se necesitaba un segundo radiotelescopio, y éste fue el radiotelescopio de 76 m *Lovell*, en Jodrell Banks, Reino Unido. Con el Atlántico separando ambas antenas, por fin podrían distinguirse con seguridad las señales celestes de las terrestres.

Pero antes había que demostrarlo, por lo que empezaron a realizarse observaciones diarias de la veterana sonda espacial *Pioneer 10* (de la que sabremos más en el capítulo tercero). Esta sonda había sido lanzada en 1972 y se encontraba ya entonces a una inmensa distancia de la Tierra: a más de diez mil millones de kilómetros. Es decir más allá de la órbita de Plutón. Era un candidato ideal para probar los algoritmos de discriminación del proyecto. Y la prueba resultó ser un éxito. Las débiles señales de la *Pioneer 10* probaban que las técnicas desarrolladas en el proyecto Phoenix podían realmente detectar una señal extraterrestre y distinguirla de una interferencia de nuestro planeta.



La antena parabólica del radiotelescopio de Arecibo, de 305 metros de diámetro. Desde tres gigantescas columnas se halla suspendida la cúpula gregoriana donde se detecta la señal que recoge el plato principal. Arriba a la derecha, el complejo de edificios del Observatorio de Arecibo. Cortesía de Daniel R. Altschuler/Observatorio de Arecibo.

Phoenix acabó en el 2004, habiendo observado unas 700 estrellas. Demostró que la metodología funcionaba a la perfección, pero lamentablemente no encontró ninguna señal positiva de vida extraterrestre. En cuanto al Instituto SETI, irónicamente, puede que sus investigadores estén mejor desde que no cuentan con el apoyo y los recursos de la NASA. Al no tener que depender de los caprichos anuales del Gobierno, los programas SETI están también libres de la política y de los riesgos que conlleva la pérdida repentina de fondos. El Instituto SETI ha conseguido financiarse de manera sostenida durante todo este tiempo, con el apoyo de ricos mecenas como Paul Allen, cofundador de Microsoft, y haciendo uso del *merchandising* (qué remedio). SETI después de NASA es tal vez una empresa más pequeña, pero es también más diversa, más ampliamente aceptada en instituciones académicas alrededor del mundo, y notablemente más popular con el público en general, como lo ha demostrado el fenomenal éxito de SETI@home.

SETI@home

Probablemente conozca este simpático programa. Tal vez lo haya visto en funcionamiento en algún ordenador o quizá incluso lo haya ejecutado en el suyo propio. Tiene el aspecto de un curioso salvapantallas que se pone a dibujar unas coloridas gráficas en la pantalla del ordenador cuando nadie lo está usando. Se trata de SETI@home, leído SETI at home, y quiere decir SETI en casa. Y de eso precisamente se trata, de traerse a casa datos de SETI para analizarlos con su ordenador. Se trata de una brillante idea para procesar datos mediante cálculo compartido, detrás de la cual está, de nuevo, el equipo de la Universidad de California en Berkeley responsable de SERENDIP.

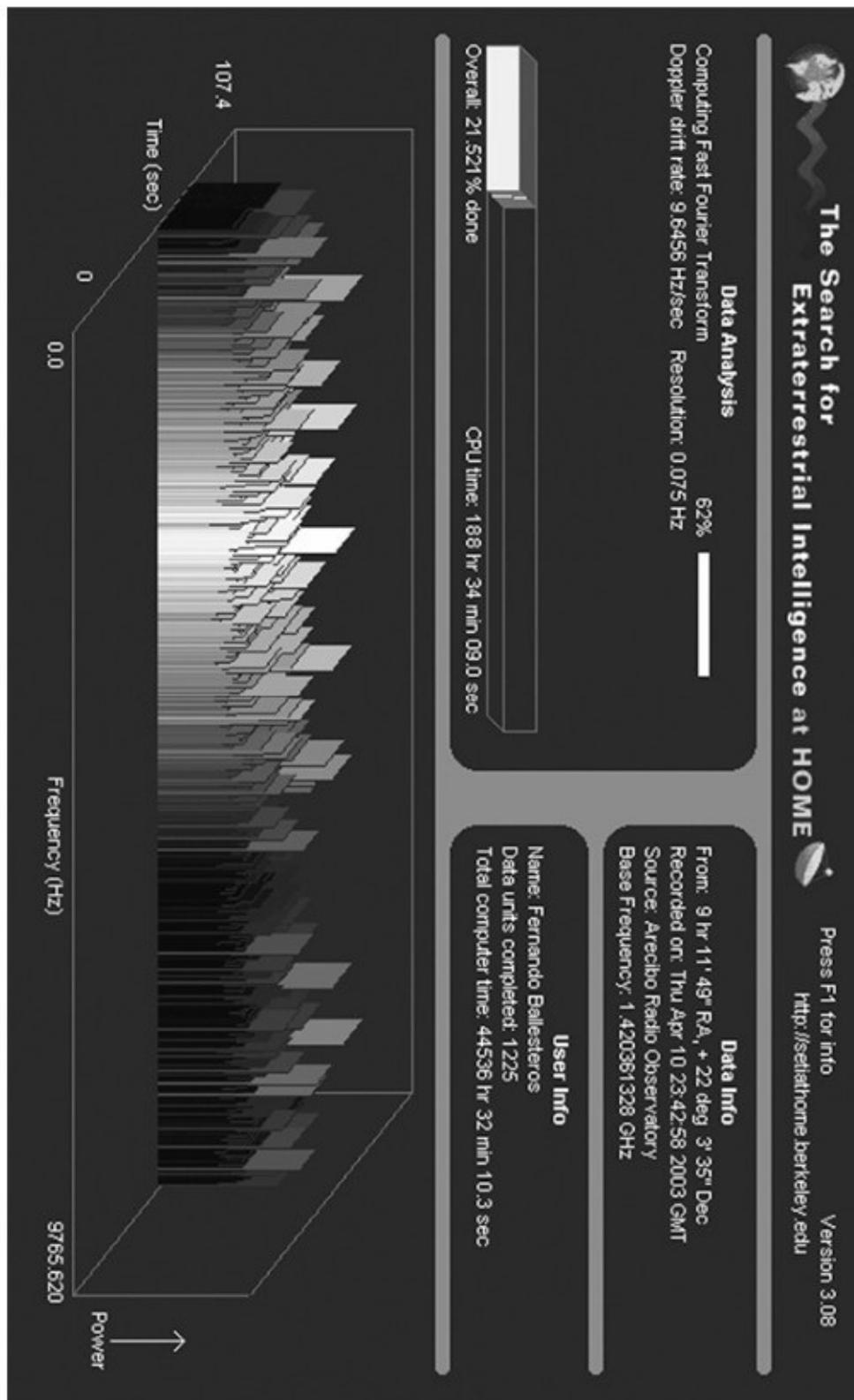
El proyecto SERENDIP instalado en la antena de Arecibo resultó tan exitoso, que pronto tuvieron muchísimos más datos de los que podían analizar y se vieron desbordados. Sus ordenadores no tenían capacidad suficiente de procesamiento para dar cuenta de la inmensa montaña de datos que se les iba acumulando. Y cada vez tenían más. En 1995 uno de los miembros del equipo, David Geyde, de repente se dio cuenta de que había ya una inmensa cantidad de ordenadores conectados a Internet, a los que en principio podrían acceder a través de la Red. La mayor parte de ellos pasaba mucho tiempo inactivo mientras su usuario no lo estaba usando. ¿Y si estos ordenadores emplearan este tiempo muerto trabajando para SETI, haciendo de todos ellos un superordenador virtual? De esa manera podría procesarse buena parte de los datos que llegaban de Arecibo. Sería la solución. Pero ¿cómo hacerlo?

La respuesta fue un salvapantallas. Precisamente, los salvapantallas trabajan cuando nadie usa el ordenador. Pero éste, mientras funcionara, además de mostrar imágenes bonitas se dedicaría a analizar los datos de SERENDIP tomados en Arecibo buscando señales candidatas. (Había otra versión de este programa para ordenadores UNIX sin la parte del salvapantallas, que estaba en funcionamiento permanentemente). El programa, de forma automática, tomaría por Internet un paquete de datos, y cuando terminara de analizarlo mandaría de vuelta a Berkeley los resultados del análisis, cogiendo un nuevo paquete de datos y vuelta a empezar. Nació así SETI@home, que se convirtió en el primer proyecto de computación compartida por Internet.

SETI@home se puso en funcionamiento en mayo de 1999. El uso del boca a boca y la ilusión de la gente por participar en la búsqueda de civilizaciones extraterrestres hicieron el resto, convirtiendo a SETI@home en un éxito que superó todas las expectativas. Más de cinco millones de personas en todo el mundo participaron en el análisis. Tan grande fue su éxito que tras él vinieron otros proyectos de computación compartida similares que también requerían potencia de cálculo: secuenciación de genoma, cálculo de plegado de proteínas, criptografía...

SETI@home funcionó tan bien que en diciembre del 2005, tras seis años de operaciones, de repente había más ordenadores personales reclamando datos que

datos para analizar. Con lo que el proyecto original terminó y en el 2006 un nuevo proyecto llamado BOINC (*Berkeley Open Infrastructure for Network Computing*, infraestructura abierta de computación en red de Berkeley) tomaba su lugar. Como su nombre indica, BOINC ya no está ligado a SETI, sino que está abierto a diversos proyectos que puedan necesitar realizar computación masiva, y aunque hace uso de la red creada en SETI@home y sigue analizando datos de SERENDIP, SETI es sólo una pequeña parte del análisis que realiza BOINC. Actualmente está procesando datos de diferentes proyectos de climatología, biología molecular, medicina, física de partículas, astrofísica y matemáticas.

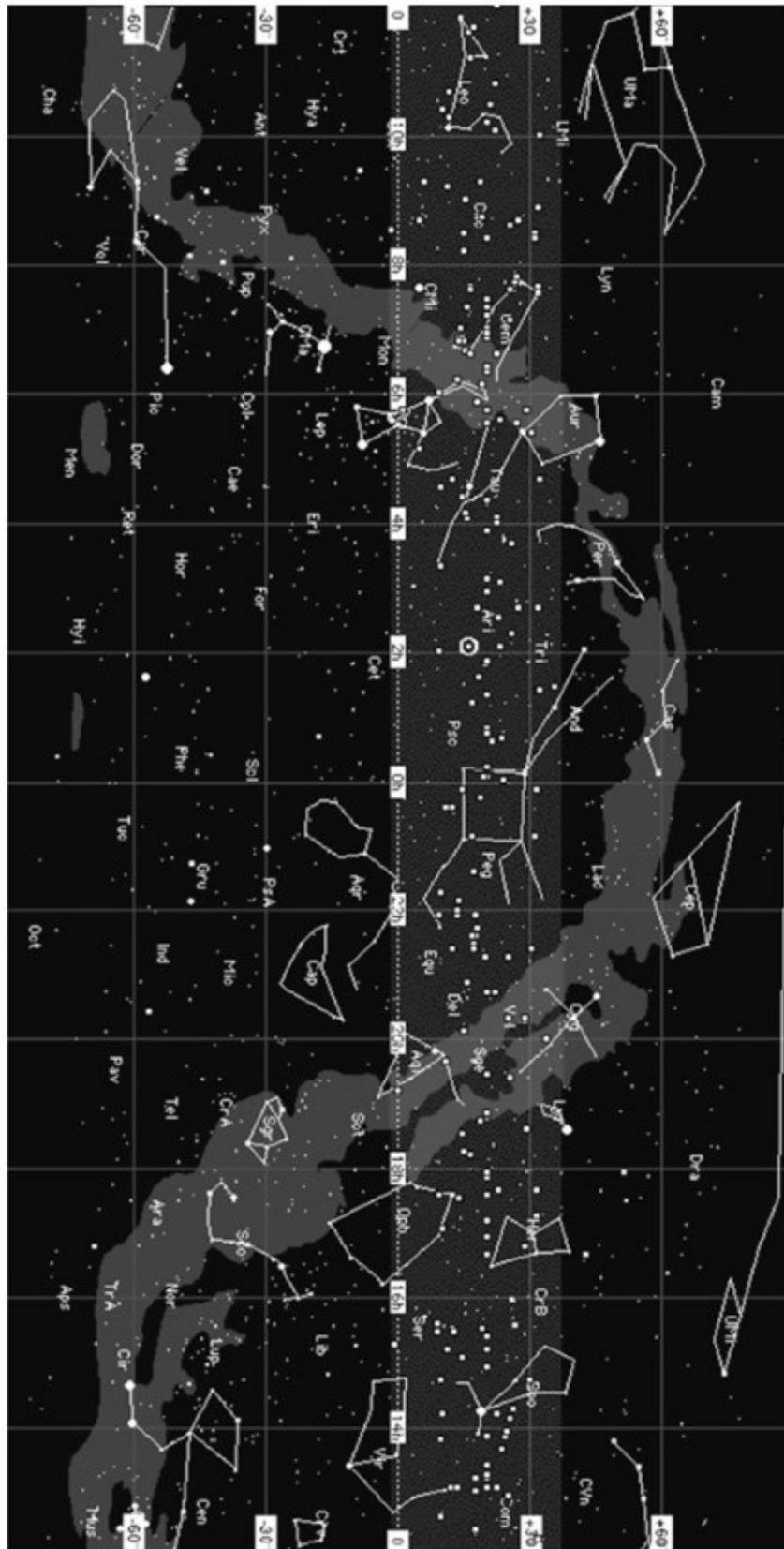


Aspecto del salvapantallas de SETI@home v. 3.08, analizando datos de SERENDIP tomados en Arecibo.

En cuanto a los resultados científicos de SETI@home, se ha encontrado una gran cantidad de señales francamente interesantes. De ellas, la más prometedora hasta el momento es la catalogada como SHGb02+14A. En febrero del 2003, el *software* de SETI@home había encontrado alrededor de 200 señales candidatas que se habían visto más de una vez en la misma parte del cielo, por lo que se decidió apuntar el

radiotelescopio de Arecibo de nuevo hacia estas mismas regiones para ver si las señales todavía seguían ahí, o había sido una coincidencia. Cuando se terminaron de analizar los datos, todas las candidatas habían desaparecido... salvo una: SHGb02+14A. Se trata de una señal de banda estrecha cuya longitud de onda se encuentra justo en la zona correcta del espectro: en la cercanía de los 21 cm, la emisión del hidrógeno neutro. Está localizada en un punto entre las constelaciones de Aries y Piscis donde no parece haber ninguna estrella en al menos 1000 años luz, y es muy débil. El radiotelescopio la ha observado en total durante cerca de sólo un minuto, lo que no es suficiente para analizarla en detalle, pero sí para saber que no se trata de una interferencia de radio o ruido. Tampoco encaja con ningún objeto astronómico conocido. De momento, esta señal es un verdadero enigma, y no se sabe qué la puede haber causado.

Además muestra otra curiosa característica. Su longitud de onda no permanece constante, sino que oscila, justo de la manera en que uno esperaría que lo hiciera si la fuente estuviera orbitando alrededor de algo con un período orbital de sólo nueve días... Una órbita de nueve días descarta que sea un planeta girando alrededor de su estrella, pero hay otra posibilidad... ¿quizá el emisor sea un satélite artificial alrededor de un planeta? Hipótesis descabelladas aparte, todo apunta a que SHGb02+14A está llamada a convertirse en una señal tan famosa como la señal Wow!, un nuevo icono de esta búsqueda de otras civilizaciones.



Mapa celeste que muestra la posición de las señales más prometedoras encontradas por SETI@home (cuadrados blancos). En un círculo blanco está la señal SHGb02+14A. En gris oscuro, la banda de cielo donde puede apuntar la antena de Arecibo. En gris claro, la Vía Láctea. Cortesía de The SETI@home project, U. C. Berkeley.

¡Salvemos Arecibo!

Arecibo es hoy en día por méritos propios un icono de la ciencia, así como un importante hito en la historia de SETI. Desde esta gigantesca antena se han realizado (y se están realizando) las búsquedas más sensibles de señales que pudieran provenir de otras civilizaciones. También desde allí se emitió, como veremos en el capítulo tercero, el radiomensaje más famoso que se haya enviado a posibles oyentes inteligentes que habiten entre las estrellas: el mensaje de Arecibo, un emotivo conjunto de unos y ceros que hablaba de manera resumida sobre nuestra bioquímica y nuestro mundo. Desde el punto de la astronomía observacional es también todo un éxito científico, y gracias a él se han realizado importantes descubrimientos. No olvidemos que es el radiotelescopio más sensible del mundo, así como también el radar más potente, y continuará imbatido durante bastante tiempo.

Pero a pesar de todo ello, hoy día se encuentra en grave peligro. En noviembre del 2006, la National Science Foundation decretó un dramático recorte del presupuesto del Observatorio de Arecibo, lo que ha puesto en serio riesgo los puestos de trabajo de buena parte de su personal científico, así como la continuidad misma del propio observatorio. De hecho, si el observatorio no consigue complementar por cuenta propia su presupuesto a partir de otras fuentes, la National Science Foundation prevé su cierre definitivo en el 2011. ¿Vamos a ver en poco tiempo cómo en este tranquilo rincón de Puerto Rico los campos de golf ocupan el lugar del veterano y emblemático radiotelescopio?

OSETI

De todos los proyectos SETI mencionados hasta ahora, sólo SERENDIP en Arecibo continúa en funcionamiento en el momento de escribirse este libro. Pero nuevos proyectos de búsqueda se han puesto recientemente en marcha, algunos aportando

importantes novedades. Como ya se vio al principio del capítulo, el Universo es también increíblemente transparente a la luz visible, por lo que esta zona del espectro sería también prometedora si no fuera porque las estrellas son tan brillantes en el visible. Cuando los primeros proyectos SETI se diseñaron, vieron que hacía falta una emisión luminosa extraordinariamente fuerte para poder sobrepasar el brillo de la estrella, por lo que la búsqueda en radio resultaba lo más práctico. Sin embargo, esto cambió con la llegada de los láseres comerciales. Con esta tecnología sería posible generar pulsos de luz muy intensos que podrían incluso sobrepasar el brillo de una estrella durante breves instantes. Esta posibilidad abrió la puerta a un nuevo tipo de búsqueda que ha recibido el nombre de OSETI (*Optical SETI-SETI óptico*).

Básicamente, OSETI es lo mismo que SETI, pero aplicado al rango visible. Es decir, se trata de buscar posibles pulsos de luz láser emitidos desde planetas alrededor de otras estrellas, aunque hay algunas diferencias con la búsqueda por radio. Una de ellas se debe al límite que impone el principio de incertidumbre de Heisenberg. No entraré a explicar en qué consiste este principio. Baste con saber que la naturaleza cuántica del mundo impone un límite inferior a lo que puede durar una señal en función de su ancho de banda: el producto de ambas magnitudes será siempre mayor o como mucho igual a 1. Por cuestiones de economía, las señales artificiales tienden a acercarse a ese límite inferior, mientras que las naturales están siempre muy por encima de él.

En la práctica esto se traduce en que si quiero emitir una señal con un ancho de banda muy estrecho, ésta tendrá que ser lenta, como ocurre con las señales de radio estudiadas tradicionalmente por SETI (lo que tiene además la virtud de minimizar el efecto del ruido de fondo, como ya vimos). Pero si quiero que la señal sea muy rápida, me veré obligado a que tenga un ancho de banda considerable. En el caso de una posible comunicación mediante láseres potentes, nos encontraríamos en esta segunda situación. Además, los pulsos ópticos de banda ancha sufren poca dispersión debida al polvo interestelar. Por este motivo, OSETI se centra primordialmente en la búsqueda de pulsos muy rápidos, pero anchos de banda.

Hay diferentes proyectos OSETI en funcionamiento. Uno de ellos se debe de nuevo al activo grupo de la Universidad de California y tiene planeado observar 2.500 estrellas cercanas usando un telescopio óptico convencional de 75 cm de diámetro, que pertenece a esta universidad. Lo que sirve para ilustrar la mayor ventaja de OSETI frente al SETI por radio tradicional: requiere telescopios ópticos de dimensiones no excesivamente grandes, que están al alcance de muchas instituciones, e incluso de algunos aficionados.

La Universidad de Harvard también se ha metido a trabajar en OSETI. Sus primeras búsquedas comenzaron en 1998 imitando la técnica de SERENDIP. Resulta que un telescopio de la universidad iba a hacer (por otros motivos) un estudio de

2.500 estrellas tipo Sol situadas en las cercanías. Era una oportunidad única, por lo que instalaron un detector como parásito del telescopio para tomar datos al mismo tiempo para OSETI. Después de dos años recogiendo datos, se había detectado una media de cuatro señales semanales. Sin embargo, estas señales no tenían ningún aspecto particularmente artificial, y se cree que se trataba de luz parásita que había entrado por los laterales del detector. Por tanto se decidieron a imitar la técnica de otro proyecto SETI, en este caso Phoenix: observar lo mismo con dos telescopios a la vez. Para ello recibieron la ayuda del Observatorio de la Universidad de Princeton, y se dedicaron a observar las mismas fuentes celestes simultáneamente desde ambos emplazamientos. En el 2004 publicaron los resultados de su trabajo: tras casi cinco años en funcionamiento, habían realizado unas 16.000 observaciones, y salvo una excepción, ningún evento había sido observado a la vez por ambos telescopios. La excepción fue la estrella hip 107395, pero muy posiblemente se trató de una simple coincidencia, porque cuando se volvió a observar con posterioridad, nada se encontró allí.

En la actualidad hay muchos grupos y particulares que se están uniendo a la búsqueda. Diversas universidades (como la de Columbus o la de Case) y algunos observatorios (como el de Lick), atraídos por la sencillez de medios necesarios, ya incluyen OSETI entre su trabajo de investigación. Y por su parte, el mundo de los astrónomos *amateurs* se siente también cada vez más interesado por participar en este nuevo tipo de búsqueda SETI que requiere una tecnología al alcance de muchos de ellos.

Nuevos observatorios de radio

Tras cerca de 50 años de investigación SETI, se han realizado unas 100 búsquedas sin resultados conclusivos; sólo algunos estimulantes momentos de excitación y pocos datos sin explicar. Sin embargo, no debemos desalentarnos, pues en realidad sólo dos de estas búsquedas han tenido suficiente sensibilidad para detectar señales que pudieran provenir de más allá de nuestra vecindad inmediata. Se trata, claro está, de SERENDIP y Phoenix, que han gozado de la suerte de poder utilizar el radiotelescopio de Arecibo. Por tanto, el aumento de sensibilidad de los futuros observatorios de radio es uno de los requisitos indispensables para el progreso de SETI. Contar con uno de tales observatorios con dedicación plena a SETI sería además un sueño hecho realidad.

Y ese sueño está a punto de cumplirse, ya que el Instituto SETI, junto con la Universidad de California, está llevando a cabo la construcción de un nuevo

observatorio de radio, que estará dedicado de forma prioritaria a la búsqueda de inteligencias extraterrestres. Se trata del Allen Telescope Array (ATA), un observatorio que se está construyendo actualmente en Hat Creek, California, y que podrá usarse *simultáneamente* para SETI y para investigación radioastronómica de primera línea. Cuando esté terminado, consistirá en 350 antenas de 6,1 m de diámetro, lo que le dará un área de trabajo equivalente a la de un radiotelescopio de 100 m de diámetro, aunque a diferencia de éstos, ata es capaz de hacer observaciones simultáneas de distintas zonas del cielo.

Lo novedoso de su diseño es que está formado por antenas basadas en platos comerciales para satélite. Dado el enorme mercado de este tipo de antenas, cada uno de los radiotelescopios de 6,1 m resulta tener muy bajo coste. Y por su diseño, siempre se podrán añadir nuevas antenas, con lo que se ampliarán las capacidades del conjunto.

El punto de arranque de este radiotelescopio (y el origen de su nombre) fue el generoso mecenazgo de Paul Allen (el que fuera junto a Bill Gates cofundador de Microsoft) y con posterioridad el de Nathan Myhrvold (también otro exMicrosoft). Gracias a su espléndida inversión fue posible desarrollar la tecnología adecuada y llevar a cabo la primera fase de construcción del observatorio, que terminó en el verano del 2006 con la puesta en marcha 42 antenas. En breve, este conjunto comenzará sus observaciones SETI con un muestreo del plano galáctico. Aunque, por supuesto, el proyecto todavía necesita fondos para terminarse y está abierto a las donaciones exteriores. Por ejemplo, una donación de cien mil dólares le da tu nombre (o bueno, seamos románticos, el de tu pareja) a una de las antenas.



El Allan Telescope Array (ATA) en construcción. Cortesía de Rick Forster.

No puedo dejar de mencionar una simpática e interesante iniciativa, también de bajo coste, llamada proyecto Argus. Este proyecto está coordinado por la Liga SETI de la que aún no había hablado. La Liga SETI es una sociedad educativa no lucrativa e independiente, que puso en marcha un grupo de voluntarios descontentos por el cese del programa SETI de la NASA en 1993. Buena parte de los casi 1.400 socios de la liga son radioaficionados, astrónomos y radioastrónomos *amateurs*, aficionados a la electrónica y otros entusiastas (aunque también involucra a varios científicos) que desean ayudar en la aventura de buscar inteligencia en otros mundos, y suelen echar una mano en diferentes proyectos del Instituto SETI. En la actualidad, su buque insignia es el proyecto Argus, una red de 5.000 estaciones de observación SETI que la Liga está intentando montar a escala mundial con aficionados, cada uno con su propio disco de radio. La Liga se encarga de proporcionar a estos voluntarios diseños de antenas y electrónica, y de coordinar los esfuerzos y la toma de datos. Cuando esté en funcionamiento, constituirá el primer muestreo continuo de todo el cielo, en todas direcciones, en tiempo real. De momento, ya van por el centenar de estaciones.

Por último, otro futuro gigante de la radioastronomía será el observatorio internacional SKA, siglas de Square Kilometer Array, es decir, conjunto de antenas de ¡un kilómetro cuadrado! Este monstruo, con un área sensible de un millón de m^2 (es decir, 14 veces mayor que la de Arecibo), está previsto que funcione a partir del 2020 si todo va bien, aunque de momento todavía no se ha decidido la localización

(los candidatos más probables son Australia y Sudáfrica). Al igual que ATA, SKA consistirá en un conjunto de antenas, pero estarán dispuestas en un curioso patrón de espirales que radiarán desde el centro, de manera que cada espiral pueda funcionar si se desea como un radiotelescopio por separado.

Con todos estos nuevos proyectos, las expectativas de éxito de SETI aumentan considerablemente. Se espera que para el 2015, ATA haya estudiado ya unas cien mil estrellas. Para el 2025, este número podría ya ser de millones. Añadiéndole las capacidades de proyectos como SKA, se podrá estudiar una inmensa cantidad de sistemas planetarios en nuestra Galaxia con una sensibilidad sin precedentes. Dependiendo de cuántas civilizaciones haya en ella, estas muestras podrían ser lo suficientemente numerosas como para hacer muy probable una detección SETI en el curso de nuestra vida.

CÓMO:
EL LENGUAJE DE LA COMUNICACIÓN



Si alguna vez SETI da frutos y conseguimos detectar la señal de otra civilización en la Galaxia, nos encontraremos con un problema. No cabe duda que la conmoción mundial que produciría la noticia sería mayúscula, y sus repercusiones problemáticas. Pero el problema al que me refiero es otro: ¿podríamos comprender la señal captada? Incluso aunque esa señal estuviera diseñada por nuestros vecinos galácticos para ser fácilmente descifrable, ¿podríamos aun así entender algo? En definitiva, ¿es posible un lenguaje común de comunicación?

Para comprender la dificultad del problema, vamos a enfocar el planteamiento a la inversa: Si a una civilización por completo alienígena le enviáramos una señal de radio, ¿podría entendernos a nosotros? ¿Hay alguna forma de hacer completamente comprensible un mensaje a cualquier inteligencia? ¿Qué dificultades entraña esta empresa?

El lenguaje humano

Desde el punto de vista de la Teoría de la Información, el lenguaje es un medio de intercambio de información. Las palabras son la clave mediante la cual se codifica esa información para que pueda ser intercambiada. En este proceso, inicialmente la información reside como representación mental dentro de un cerebro, por ejemplo, el mío, en forma de conexiones neuronales y señales químicas. Para que yo pueda pasar esa información a otro cerebro, tengo que codificarla, mediante una serie de reglas que llamamos *lenguaje*. De ser una representación mental, pasa a convertirse en un conjunto de símbolos arbitrarios consecutivos: las palabras. Pero esas palabras, aunque son ya información codificada, de momento siguen estando sólo en mi mente. Es necesario convertirlas en fonemas, en sonidos, para que le puedan llegar a mi interlocutor. Es decir, hablar. Una vez en forma de sonido, viajarán por el aire como vibraciones de las moléculas de aire, hasta que llegan al oído del receptor del mensaje. Allí, su tímpano se encarga de convertir estos sonidos en señales eléctricas que pasan a su cerebro mediante el nervio auditivo, es decir, esos fonemas sonoros se convierten en fonemas mentales.

Pero para que el proceso continúe, es fundamental que el receptor conozca la clave en que se ha codificado la información, de lo contrario su cerebro recibirá una confusa serie de sonidos que no tendrán ningún sentido. Es decir, debe conocer el lenguaje en el que yo le hablo. Si es así, puede identificar la serie de sonidos como palabras y decodificarla con éxito, convirtiéndola en una representación mental, en forma de conexiones neuronales y señales químicas, que ya comprenderá. Por supuesto, lo que se ha descrito aquí con el ejemplo del lenguaje hablado es el proceso básico de la comunicación, y lo mismo vale para el lenguaje escrito, el lenguaje de signos, etc. y para cualquier otro canal de comunicación (ondas de radio, papel, fibra óptica...). En todos los casos, para que haya comunicación es indispensable que los interlocutores conozcan el mismo código.

Todas las lenguas humanas tienen la palabra como unidad básica, una cadena de fonemas particular que codifica una información concreta para el cerebro. Es decir,

una palabra, un significado. Son los «átomos» de la comunicación. Por supuesto, en diferentes idiomas el mismo significado está representado por cadenas de fonemas distintas. Y dentro de un mismo idioma encontramos variaciones, como los sinónimos, que son cadenas distintas con igual información (can, perro), y el caso contrario, las homofonías, cadenas iguales con distinto significado (sobre, sobre). A partir de la unión de esas palabras, de estos ladrillos, y usando reglas sintácticas, construimos oraciones y realizamos el proceso de la comunicación.

Pero el lenguaje humano no sería tan potente como canal de intercambio de información si no fuera por otra característica suya: es un lenguaje simbólico. Y ésta es una cualidad que adquirimos conforme se desarrolla nuestro cerebro. Los niños muy pequeños suelen referirse a los objetos mediante palabras que imitan al objeto. Así, para un niño menor de dos años, un gato es un *miau miau*. En torno a los dos años, el desarrollo cerebral le permitirá usar una palabra como símbolo de un objeto concreto, y aprenderá que el animal que tiene delante se llama *gato*, pero, aunque está usando un símbolo (una palabra) para referirse al animal, todavía no podemos hablar de lenguaje simbólico, ya que el niño no necesariamente entiende que esa misma palabra se pueda aplicar a todo el colectivo de felinos domésticos. En cuanto su desarrollo cerebral le permita aprehender que *gato* hace referencia, no a un objeto, sino a un concepto, podremos decir que su lenguaje se ha convertido en un lenguaje simbólico. Se especula que, de manera análoga a lo que parece ocurrir con el desarrollo embrionario, tal vez estamos viendo reproducido en unos pocos años el camino evolutivo que a lo largo de centenares de miles de años llevó a nuestra especie a la adquisición del lenguaje simbólico.

La potencia del lenguaje simbólico es enorme. Permite compartir información abstracta, conceptos que no podemos observar en la naturaleza, describir acontecimientos u objetos no presentes, lejanos en el espacio y el tiempo. Puede generar un número infinito de pensamientos o ideas a partir de un número finito de palabras. Con un simple ejemplo podemos mostrar su potencia. Se ha dicho en incontables ocasiones que una imagen vale más que mil palabras, ¿pero es eso cierto? Comparemos la frase «una ballena» con la fotografía de una ballena. Podría usted decir que, en efecto, el concepto básico que representa la frase está también presente en la fotografía, y que además en esta última puedo apreciar más detalles que los que acuden a mi mente al oír la frase «una ballena». De acuerdo, ¿cómo representamos con una imagen la frase «dos ballenas»? Lógicamente, ahora mostraríamos una fotografía en la que aparecerían dos ballenas. De momento, parece ser que las imágenes salen ganando. Pero es que todavía no hemos hecho uso de la potencia del lenguaje simbólico. Probemos ahora: ¿cómo representamos con una imagen la frase «todas las ballenas»? Ajá, simplemente, es imposible. Aunque mostráramos una fotografía con una multitud increíble de ballenas, esa imagen representaría como

mucho los conceptos «una multitud de ballenas», «9.537 ballenas» o «muchas ballenas», pero nunca el concepto abstracto «todas las ballenas».

¿Pero es este lenguaje simbólico tan potente, capaz de manejar conceptos abstractos, un mero desarrollo intelectual fruto de la cultura? Todo parece apuntar a que, en realidad, es algo innato. Ciertamente es que necesitamos aprender las palabras en la niñez. Pero también es cierto que las aprendemos muy deprisa. De adultos no podemos aprender un idioma con igual velocidad. Parece que las estructuras del lenguaje, verbos, sustantivos, adjetivos, preexisten de forma innata en el cerebro del niño, pues las encontramos en todas las lenguas humanas. Es como si el cerebro estuviera esperando oír palabras para rellenar esas estructuras con contenidos. Otra prueba a favor de ello es el hecho de que el 87% de todos los idiomas tiene una estructura sujeto/objeto/verbo o sujeto/verbo/objeto. Es decir, aparentemente el lenguaje está precableado en el cerebro.

Por ello, cabe preguntarse hasta qué punto el lenguaje humano posee características universales que estarán presentes en cualquier sistema de comunicación entre seres inteligentes. Es decir, ¿es necesario tener lenguaje simbólico para ser inteligente?, ¿o se puede ser inteligente pensando en clave de conceptos o imágenes visuales? ¿Son las palabras el único mecanismo posible de articular un intercambio de información entre seres inteligentes? Entendiendo por *palabra* no necesariamente una serie de sonidos, sino cualquier «átomo» de información de cualquier tipo que, con ciertas reglas sintácticas, se combine con otros para crear un mensaje. Si la respuesta es que sí, entonces es de esperar que si algún día recibimos un mensaje de otra especie inteligente, esté compuesto por el equivalente de palabras, lo que será de gran relevancia para su descifrado.

¿O somos por el contrario un caso único? ¿El uso de palabras y lenguaje simbólico es sólo una de las múltiples maneras posibles de intercambio de información entre seres inteligentes? Para tratar de responder a estas preguntas, giraremos los ojos hacia la naturaleza, intentando encontrar otros ejemplos de comunicación similares en el reino animal.

Palabra de tota

Si en la naturaleza podemos encontrar animales cuyo sistema de comunicación tenga puntos en común con el nuestro, sobre todo si estos animales muestran claros signos de inteligencia, tendremos un apoyo a favor de que tales puntos en común puedan ser características generales de la comunicación inteligente. Se trataría de un caso de convergencia evolutiva. Cuando esto se da es porque tales características comunes

están favorecidas de alguna manera por la selección natural y suponen una cierta ventaja adaptativa para la especie que las posee. Es decir, ante problemas similares, la selección natural ha dotado a diferentes especies de soluciones similares.

Hay muchos ejemplos de convergencia evolutiva en nuestro planeta. Es el caso, por ejemplo, de las alas que poseen animales voladores de clases muy distintas, como los insectos, las aves, los extintos reptiles voladores y los murciélagos, o el hecho de que tengan la misma forma aerodinámica animales acuáticos tan diferentes como el delfín, el tiburón o el desaparecido reptil ictiosauro. Por ello parece probable que, si en la Tierra encontramos las mismas soluciones motrices en distintas especies animales, encontremos también alas y formas aerodinámicas en la fauna de otros mundos. De igual modo, si en nuestro mundo, entre seres de una cierta inteligencia se pueden encontrar características comunes en sus sistemas de comunicación, será más probable que esas mismas características las encontremos en el sistema de comunicación de una especie inteligente extraterrestre.

Por ejemplo, como hemos visto, una de las características definitorias del lenguaje humano es el uso de palabras; ¿encontramos el equivalente a palabras en el lenguaje animal? El mono tota es un pequeño cercopiteco de cara negra que vive en la sabana africana. Son unos primates con una estructura social muy cooperativa. Como ocurre con otras especies que habitan en terrenos descubiertos, cuando los monos tota están comiendo en la sabana, suele haber un vigía alerta, subido a un lugar alto, con el fin de localizar posibles depredadores y alertar a tiempo a los demás. Cuando localiza uno, el vigía lanza un grito avisando del peligro, y los demás corren a refugiarse. Pero a diferencia de otros animales, que suelen tener un grito de aviso genérico que significa 'peligro', los monos tota tienen tres gritos diferentes según qué depredador se acerque: 'leopardo', 'águila' y 'serpiente'. Si se aproxima un leopardo, el vigía emite el grito correspondiente, y todos los comensales corren a subirse a los árboles para evitar al depredador. Si el grito emitido es el correspondiente a serpiente, el comportamiento de los tota es diferente: se ponen a dos patas y observan la hierba tratando de localizar a la serpiente. Y si el grito es el que se corresponde a águila, bajan velozmente de los árboles para refugiarse entre las raíces.

El ejemplo de los monos tota es clásico en los estudios sobre evolución del habla humana, pues nos descubre unos seres que utilizan una especie de primitivas palabras cuyo significado a todas luces parecen comprender. Aunque algunos investigadores opinan que en realidad estamos viendo una simple reacción sonido-comportamiento. Es decir, que los monos tota en realidad responden de forma automática subiéndose a un árbol cuando oyen el grito que nosotros hemos etiquetado como *leopardo*, sin que haya una comprensión real por su parte de que se aproxima un leopardo. Pero, aunque esto fuera cierto, es muy posible que justamente así empezara el lenguaje

humano.



Mono tota: un notable parlanchín. Cortesía de William H. Calvin, U. de Washington.

El lector puede pensar que tal vez el caso de los monos tota sea un ejemplo sesgado y esta curiosa semejanza con el habla humana no resulte tan asombrosa, ya que estos monos en realidad son parientes cercanos del hombre. Quizá lo que hemos visto no sea un ejemplo real de convergencia evolutiva lingüística, sino simple herencia compartida proveniente de un antepasado común. Si ello es así, las similitudes deberán ser mayores en parientes más cercanos al hombre; ¿es esto lo que ocurre?

Nuestros primos los simios

La respuesta es que no. No encontramos nada similar entre los grandes simios. Resulta sorprendente, pues se trata de nuestros parientes más cercanos y muestran evidentes signos de inteligencia: tanto chimpancés como gorilas y orangutanes superan con éxito el test del espejo, una sencilla prueba que consiste en poner a un animal frente a un espejo donde se vea reflejado. Que el animal se reconozca ante el espejo se considera prueba de que es consciente de sí mismo, característica que se

suele asociar con la posesión de inteligencia. Prácticamente todos los animales fallan este test y no son capaces de reconocerse en la imagen reflejada, a la que suelen ignorar, o tratar como si se tratara de otro animal. Lo mismo ocurre con los niños muy pequeños: se portan como si tuvieran delante a otro niño. Sólo comenzamos a ser capaces de reconocernos a nosotros mismos en la imagen reflejada alrededor de los dos años. Curiosamente, coincidiendo con la adquisición del lenguaje simbólico.

¿Pero cómo sabemos que los grandes simios sí se reconocen en los espejos? Un truco habitual de los investigadores consiste en pintarles manchas en el cuerpo, en zonas donde el simio no pueda verlas directamente, y ver si utilizan el espejo para localizarlas. Los grandes simios no sólo hacen esto con éxito, sino que usan también los espejos para sacarse restos de comida de entre los dientes, e incluso para asearse y acicalarse. Es decir, se reconocen en la imagen reflejada, y hay acuerdo general de que, como el hombre, poseen autoconsciencia.

Y sin embargo, no usan palabras. Es más, sus expresiones vocales son más bien parcas y toscas. Por ello, los científicos que han querido investigar si en la mente de estos primates existen ya estructuras lingüísticas e intelectuales que sean precursoras de las nuestras se han visto obligados a tener que enseñarles lenguajes no vocales, siendo uno de los más populares los lenguajes de signos de los sordomudos. Los diversos experimentos que se han realizado en este sentido han mostrado llamativos resultados.



Los grandes simios como el chimpancé o el gorila, adiestrados para que aprendan lenguajes de signos, parecen ser capaces de desarrollar inesperadas aptitudes lingüísticas. Cortesía de William H. Calvin, U. de Washington.

Probablemente el simio «parlante» más conocido sea la gorila Koko. Allá por los años setenta, científicos de la Universidad de Stanford comenzaron a enseñar a esta

joven gorila, nacida en el zoo de San Francisco, el lenguaje de signos americano (LSA). En la actualidad, Koko conoce ya más de mil signos, que usa con fluidez. Los científicos que trabajan con ella aseguran que los comprende y que sus acciones son consistentes con el uso de esos signos. No sólo eso, sino que ha mostrado ser capaz de comprender conceptos tan abstractos como el futuro. Se da además la curiosidad de que Koko es uno de los pocos animales, que se sepa, que ha tenido mascotas, ya que se ha encargado del cuidado de varios gatos.

También inusitado ha sido el caso de Washoe, una chimpancé inusualmente inteligente (las hembras se han mostrado habitualmente más capaces en este tipo de experimentos), a la que investigadores de la Universidad de Nevada enseñaron el lenguaje de signos americanos. Washoe ha aprendido unos 800 signos, y al parecer es capaz de inventar nuevas palabras mediante combinación de las conocidas. Por ejemplo, Washoe definió un pato como *ave agua*. No sólo eso, sino que enseñó lenguaje de signos a su propia cría. Y aparentemente, otros chimpancés compañeros de Washoe a los que también se les había enseñado LSA, se comunicaban y enseñaban espontáneamente el lenguaje de signos entre ellos.

Estos experimentos han mostrado indicios de que en la mente de estos simios existen estructuras semánticas análogas a las nuestras, aunque más primitivas, y revelan que poseen una Teoría de la Mente, es decir, que son capaces de comprender y reflexionar sobre los demás y sobre ellos mismos. Además, están manifestando la capacidad de usar el equivalente de palabras, pues asocian a cada signo un significado. No obstante, es extremadamente sorprendente que unos animales con estas aptitudes no las empleen en su estado natural, pues si tienen la capacidad de aprender un lenguaje, tienen también la capacidad de *desarrollar* un lenguaje. Asimismo, llama poderosamente la atención que estos simios parlantes carezcan de una característica que parece clave si, en efecto, están usando el lenguaje de signos con plena comprensión, y es el hecho de que, cuando reciben nueva información, la aceptan pasivamente y no preguntan nada sobre ella. Es más, pocas veces usan de forma espontánea el lenguaje de signos, y lo habitual es que lo hagan sólo bajo requerimientos de su entrenador.

Por estos motivos, estos experimentos no están exentos de polémica y algunos científicos creen que, en parte, los resultados están condicionados por la interpretación del investigador. Así, tras examinar las cintas de algunos de estos experimentos, se ha visto que los investigadores recopilaban como signos válidos algunos gestos vagos o ambiguos, y que explicaban los resultados confusos como «metáforas». En otros casos, era la acción del investigador la que, inconscientemente, parecía empujar al simio hacia el resultado buscado. Por ejemplo, la chimpancé Lana definió una naranja como una «manzana de color anaranjado», un fascinante ejemplo que se puede considerar que muestra claramente las capacidades lingüísticas de los

chimpancés. Pero el diálogo entre la chimpancé y el investigador (Tim) fue más bien sinuoso, y fue el investigador el que sacó el tema del color:

Tim: ¿cuál es el color de esto?

Lana: color de esto anaranjado.

T: Sí.

L: Tim da taza que es roja.

T: Sí.

L: Tim da lo cerrado ¿Shelley da?

T: No Shelley.

L: Ojo. ¿Tim da lo anaranjado?

T: ¿Qué es lo que es anaranjado?

L: ¿Tim da manzana que es verde?

T: No manzana que es verde.

L: ¿Tim da manzana que es anaranjada?

T: Sí.

Los sorprendentes cefalópodos

Compartimos tantas cosas con los simios que una comunicación más o menos fluida con nuestros primos parece factible. En cualquier caso, se trata de parientes tan cercanos a nosotros, que estos estudios nos dicen en realidad más cosas sobre nosotros mismos y sobre cómo hemos llegado a ser hombres, que sobre las características universales de la comunicación entre seres inteligentes tras las que andamos. Por ello, vamos a dar ahora un salto cualitativo, y fijaremos nuestro interés en unos sorprendentes animales invertebrados: los cefalópodos. Tal vez convendría advertir que la lectura de este apartado puede tener consecuencias gastronómicas, porque es posible que en lo sucesivo el lector vea a los calamares con otros ojos...

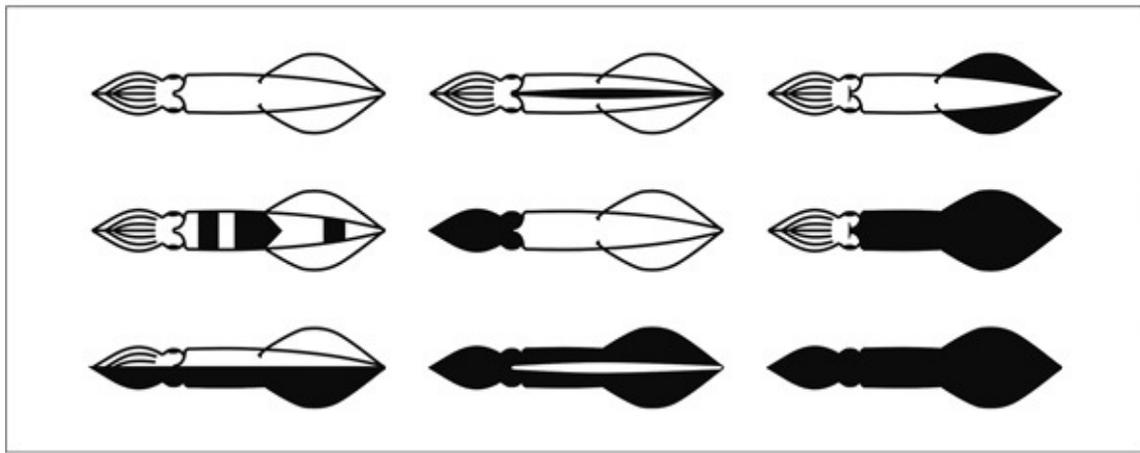
De los cefalópodos se ha dicho que son lo más parecido a seres extraterrestres que hay en la Tierra. Estos moluscos han desarrollado su inteligencia por medios completamente distintos a los de los vertebrados. Ellos y nosotros pertenecemos a filos distintos, y el último antepasado común debió de ser alguna especie de gusano blando y ciego que vivió hace 600 millones de años. Sin embargo, pese a que son parientes cercanos de los caracoles, tienen tantas cosas en común con nosotros que se han ganado el título de «vertebrados honoríficos».

Sus ojos, muy similares a los de los vertebrados a pesar de su origen evolutivo completamente diferente, son un ejemplo de libro de convergencia evolutiva. Lo

mismo ocurre con su complejo sistema neuronal, que ha evolucionado de forma paralela y ha culminado en un cerebro bien desarrollado. Este complejo cerebro los dota de una extraordinaria memoria y capacidad de aprendizaje, con lo que resuelven con facilidad laberintos y problemas complicados, y son capaces de aprender de sus congéneres. Sus tentáculos, además, los proveen de una extraordinaria capacidad manipuladora, lo que resulta ser una poderosa combinación gracias a la cual pueden enfrentarse con éxito a desafíos que consideramos propios sólo de vertebrados superiores. Como por ejemplo, destapar un frasco: a un pulpo del zoo de Munich le bastó ver cómo sus cuidadores abrían por sí mismos un frasco con comida dentro para comprender el mecanismo de la tapa, y ser capaz de desenroscarla por sí mismo para acceder a la comida.

Su complejidad cerebral se traduce también en un sistema de comunicación muy sofisticado. Es bien conocida la faceta de los cefalópodos de que pueden cambiar el tono y color de su piel (y en algunas especies incluso la textura) para mimetizarse con su entorno. Esta característica, sin duda de enorme ayuda para su supervivencia, es también el fundamento de su sistema de comunicación, basado en códigos de colores, combinados con posturas corporales: una determinada postura, un cierto patrón de manchas y colores, o la combinación de ambos, tienen un significado concreto. Así por ejemplo, para las sepias, aquello de ponerse negro de ira es literalmente cierto. Algunos investigadores piensan que la postura puede servir para matizar el mensaje básico que transmite el patrón de manchas. El número de elementos comunicativos distintivos es grande, quizá ronda el centenar (dependiendo de la especie), y sin ninguna duda es mucho mayor que el de los grandes simios, por lo que deben de tener mucho que decirse. Los cefalópodos mantienen intensas «conversaciones», combinando estos elementos de información a la manera de frases, aunque no está claro si hay detrás algún tipo de regla sintáctica.

Cuando sometemos a los cefalópodos al test del espejo, lo fallan. No se reconocen en la imagen reflejada. Peor aún ¡no entienden la imagen reflejada! Si les mostramos en un espejo la imagen reflejada de algo comestible, la ignoran, cosa que no harán si les mostramos la comida directamente. Este paradójico comportamiento se debe a que sus ojos son capaces de detectar el estado de polarización de la luz (si la onda de luz que llega a su ojo vibra horizontalmente, verticalmente o de otro modo). Y resulta que la luz, al reflejarse en un espejo, cambia su estado de polarización. Es decir, aunque para nuestros ojos (que *no* son capaces de detectar el estado de polarización de la luz) la imagen directa y la reflejada parecen la misma, para los cefalópodos son claramente distintas. Por este motivo, el test del espejo no es concluyente con estos animales, puesto que para ellos el reflejo de su imagen en el espejo puede presentar un aspecto muy distinto del que tienen sus congéneres, y les puede resultar imposible reconocerse.



Diferentes ejemplos de patrones de manchas corporales utilizados por los calamares en su comunicación. Figura realizada a partir de datos del Centro de Estudios Marinos de la Universidad de Cornell.

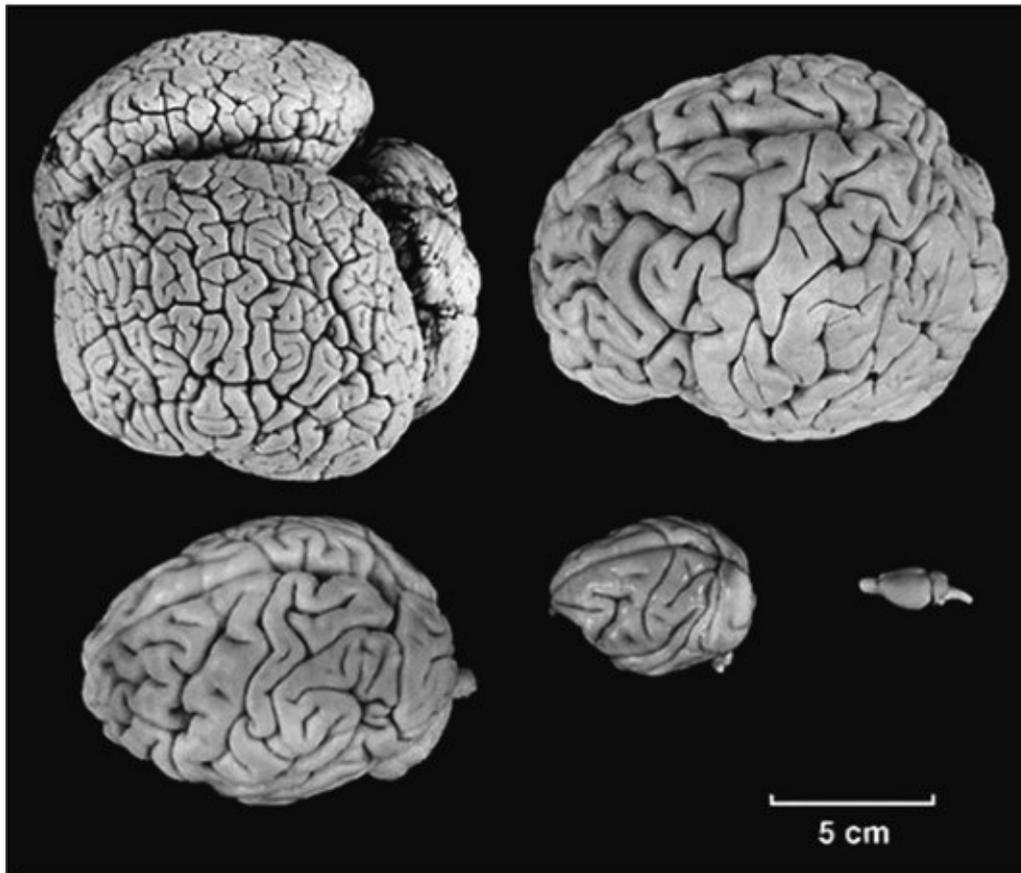
Los delfínidos

En nuestro estudio de los sistemas de comunicación entre seres inteligentes, es indispensable referirse a una familia de vertebrados que presenta muestras evidentes de una gran inteligencia: los delfínidos. De hecho, los delfines son considerados los más inteligentes de entre todos los animales. Cualquier indicador que el hombre haya diseñado para estimar la inteligencia humana, y para «demostrar» de paso que en efecto somos los más inteligentes de los seres vivos, resulta que también se cumple en los delfines, superándonos en algunos casos.

Para empezar, el cerebro de los delfines tiene un tamaño mayor que el cerebro humano. Esto de por sí no sería un indicador de inteligencia; son bien conocidos cerebros mucho mayores que el del hombre, como el del elefante o la ballena, cuatro y seis veces más grandes que el nuestro respectivamente. Pero hay que tener en cuenta que estos cerebros son tan grandes porque en parte tienen que controlar un cuerpo de gran tamaño. Por ello, la relación entre el tamaño del cerebro frente al tamaño del cuerpo se considera habitualmente una estimación mejor de la inteligencia potencial. Con esta relación, conseguimos eliminar a la mayoría de competidores y situarnos bien alto en el *ranking* de inteligencia. Sin embargo, los delfines siguen pegados de cerca a nosotros, pues su relación tamaño del cerebro/tamaño del cuerpo es casi la misma que la nuestra.

Otro indicador que podemos usar es el consumo de energía del cerebro, que da una idea de lo intenso que es su funcionamiento. Este consumo es fácil de medir a partir del aporte de sangre que afluye al cerebro, o a partir del calor que éste desprende como resultado de su actividad, y obtenemos que es muy elevado en los seres humanos (la quinta parte del consumo energético corporal va destinado al

cerebro). Pero si comparamos este indicador entre hombre y delfines, de nuevo obtenemos un empate. Al parecer, sus cerebros están tan ocupados como los nuestros.



Comparativa entre los cerebros de diferentes mamíferos. Arriba, cerebro de delfín mular (izquierda) y de ser humano (derecha); abajo, de izquierda a derecha, cerebros de chimpancé, macaco y rata. Cortesía de brainmuseum.org y de la US National Science Foundation.

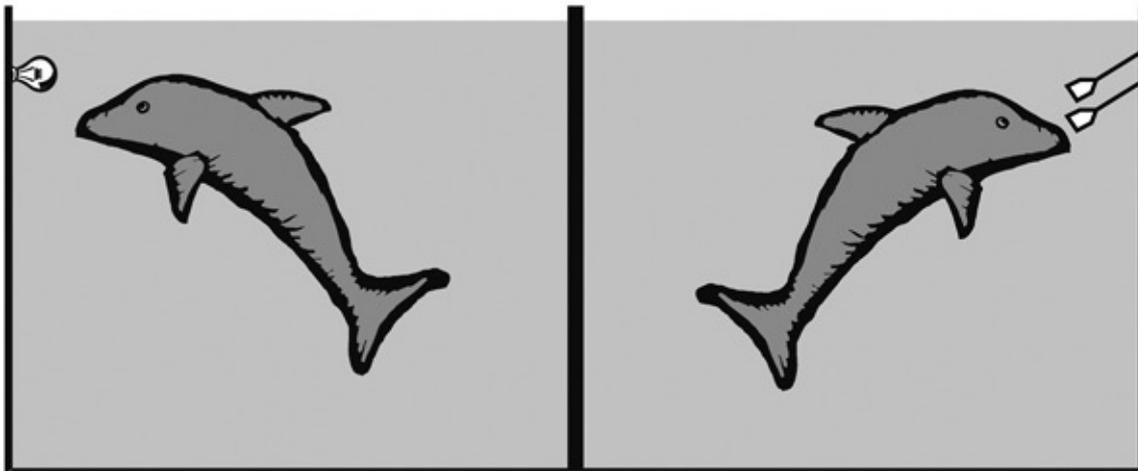
Podemos por último probar con otra característica fisiológica que también se suele usar para demostrar lo inteligentes que somos, que es el número de circunvoluciones cerebrales. Se sabe que las funciones cognitivas más elevadas, como el razonamiento consciente, el habla o el procesamiento sensorial, en el caso de los mamíferos, se dan en el neocórtex, es decir, en la superficie exterior del cerebro. El cerebro humano cuenta con un elevado número de pliegues y dobleces en esta superficie exterior, llamadas circunvoluciones, que sirven para aumentar la superficie del neocórtex e incrementar así la capacidad de procesado de esas funciones. Pues bien, en este caso los seres humanos quedamos en segunda posición, porque los delfines nos ganan con holgura. Su cerebro tiene muchas más circunvoluciones que el nuestro y basta con echar una mirada al cerebro de un delfín para quedar enormemente impresionado por su complejidad.

Podemos concluir por tanto que los delfines en efecto son seres *muy* inteligentes. Y en realidad, no es necesario hacer uso de los anteriores indicadores fisiológicos para darse cuenta de que es así. Tanto el estudio de su comportamiento en la

naturaleza como las pruebas de laboratorio lo corroboran. Son capaces de organizarse para desarrollar actividades conjuntas, como lo demuestran las orcas (también conocidas como ballenas asesinas pese a que son delfínidos), que coordinan sus cacerías de focas mediante el intercambio de mensajes sonoros. Han mostrado en distintas pruebas de laboratorio que son capaces de resolver problemas lógicos muy complicados. Y a lo largo de la década de los noventa, diferentes investigadores han demostrado también que los delfines superan el test del espejo, es decir, que se reconocen en su imagen reflejada, y que muestran claras evidencias de tener autoconsciencia.

Resulta relevante contar aquí un experimento clásico, que expone las capacidades intelectuales de estos animales. Esta experiencia resulta ser particularmente interesante porque el investigador que la realizó quería demostrar justamente lo contrario de lo que consiguió demostrar. Se trata del experimento de Jarvis Bastian de 1964. El objetivo de este experimento era probar que los delfines no eran capaces de transmitirse información abstracta. Los ejemplares del experimento fueron un macho y una hembra de delfín mular, llamados Buzz y Doris. Para ellos se acondicionó un estanque que contenía dos palancas en un extremo, conectadas a un suministrador de comida, y una luz en el otro extremo. Dependiendo de si la luz parpadeaba o presentaba un brillo fijo, había que pulsar una u otra palanca para acceder a la comida. Si se presionaba la palanca equivocada, no ocurría nada. Tras un tiempo de entrenamiento, ambos delfines aprendieron a pulsar la palanca correcta según el estado de la luz.

Una vez superado este período de aprendizaje, comenzó la segunda parte del experimento. Se dividió el estanque en dos mitades con una pared opaca, que no dejaba pasar imagen de un lado al otro del estanque, aunque sí sonido. En la mitad del estanque donde estaba la luz situaron a Buzz, y en la otra mitad, a Doris. Por tanto, Doris podía manejar las palancas, pero no podía ver la luz. Dado que la pared que dividía el estanque permitía el paso del sonido, si Buzz fuera capaz de comunicarle a Doris si la luz parpadeaba o no, o alternativamente, qué palanca tenía ésta que pulsar, habría que esperar un elevado porcentaje de aciertos en la obtención de comida, mientras que sería bajo si los delfines no fueran capaces de transmitirse información compleja. Para sorpresa de Bastian, el índice de aciertos fue del ¡96%!



Esquema del experimento de Bastian de 1964. La pared central es opaca, y puede estar o no insonorizada.

La tercera parte del experimento consistió en sustituir la pared anterior por otra insonorizada, de manera que de una mitad a otra del estanque no pudiera pasar ni imagen ni sonido. Si entre ambos delfines había habido antes alguna clase de intercambio de información, ahora el número de aciertos debería bajar hasta un 50%, que es lo que sería de esperar de pulsar al azar las dos palancas. En cambio, si el número de aciertos no disminuía, querría decir que Doris había dispuesto de otro mecanismo, diferente del intercambio de información con Buzz, para averiguar si la luz parpadeaba o estaba fija (quizá pudieran ver el reflejo de la luz en alguna zona no identificada por los investigadores). El resultado fue que, tras poner la pared insonorizada, el porcentaje de aciertos bajó al 50%. ¿Había habido por tanto transmisión de información abstracta entre ambos delfines?

El sistema de comunicación de los delfines es muy complejo, tanto que podría perfectamente permitir la transmisión de este tipo de información. Por ese motivo es objeto de estudio por parte de diferentes investigadores. Uno de los trabajos más interesantes sobre su sistema de comunicación es el que llevó a cabo el delfinólogo ruso Vladimir Markov en 1990 (no confundir con el matemático Andrei Markov), que analizó las vocalizaciones de los delfines mulares utilizando herramientas de Teoría de la Información. Su trabajo mostró que en la comunicación de estos animales aparecen ciertas cadenas de sonidos agrupadas formando bloques estables. Estos bloques estables presentan además límites bien definidos entre ellos, marcados con pausas, y se usan como entidades independientes, combinándolos en estructuras mayores. Es decir, esos bloques se comportan igual que las palabras en el lenguaje humano: bloques de sonidos estables que combinamos para formar oraciones con las que nos comunicamos. Resulta tremendamente tentador por tanto identificar con *palabras* a esos bloques con los que se comunican los delfines.

Y es que las similitudes son aún mayores. Cuanto más joven es el delfín, más sencillas son las estructuras formadas por combinación de *palabras*, y también menor el número de *palabras* que domina el delfín, como ocurre con los humanos. El

lenguaje del delfín aumenta su complejidad conforme éste madura. Y si en efecto, como sugiere el experimento de Bastian, son capaces de comunicar informaciones abstractas como ‘encendido’ o ‘parpadeando’ o ‘izquierda’ o ‘derecha’, estaríamos hablando de que poseen algún tipo de lenguaje simbólico. No sólo eso. Comparten con nosotros algo que creíamos era exclusivamente humano: aunque es un dato poco conocido, sabemos que buena parte de los delfines, como el delfín mular, emplean nombres propios. Aparte del caso humano, es el único caso más que conocemos. El bautizo del delfín comienza justo tras su nacimiento: tras el parto, la madre comienza a llamar a su cría con un silbido característico durante varios días (como, si dijéramos, para que el delfinito se lo aprenda), que lo identificará de por vida, y que los demás delfines usarán para dirigirse a él. Su nombre.

Diferentes visiones

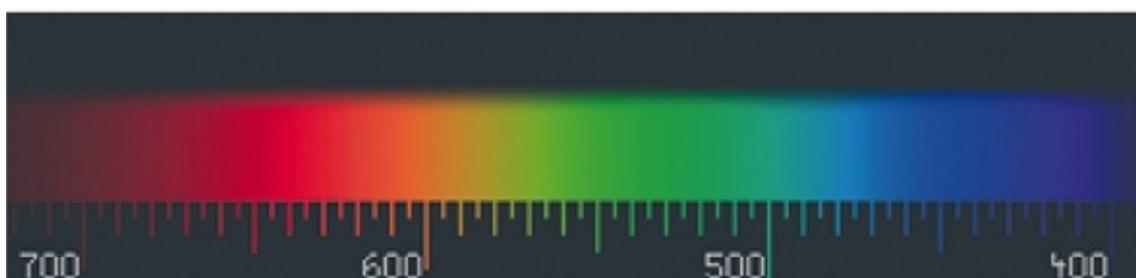
Por lo que hemos visto estudiando la comunicación de otras especies animales, no parece que sean desastrosamente malas las perspectivas de encontrar en seres extraterrestres inteligentes un sistema de comunicación análogo al nuestro en algunos aspectos. Es decir, que esté modulado mediante la combinación de ciertos elementos de información que hagan un papel análogo a las palabras; o que este sistema sea un lenguaje simbólico (o incluso ambas cosas a la vez). Pero en la comunicación es también muy importante la manera en que se transmite la información (pictóricamente, mediante ideogramas, letras...), lo que va a estar fuertemente condicionado por la percepción del mundo que se tenga.

Por ejemplo, ¿alguna de las especies animales anteriores sería capaz de entender una imagen bidimensional, un simple dibujo que representa a una persona? Quizá los grandes simios sí, ya que parece que su visión del mundo es similar a la nuestra. Pero los cefalópodos tienen un sistema de comunicación tan diferente, que aunque hubiera una especie verdaderamente inteligente, la comunicación del hombre con ella parece que sería muy difícil. Nuestras visiones del mundo son muy distintas. El mero hecho de que sus ojos sean sensibles a la polarización hace que para ellos resulte incomprensible la imagen de un espejo. Incluso los delfines, pese a ser mamíferos, ven el mundo principalmente a través de sonidos. Además de los sonidos que usan para comunicarse, los delfínidos han desarrollado un sistema muy sofisticado de ecolocación que les viene de perlas para cazar en aguas turbias o sin luz. Emiten una serie de clics desde un órgano llamado melón que tienen en la frente, y reciben el sonido por las mandíbulas, que lo conducen hasta los oídos. Este sistema tiene tanta precisión que pueden detectar cables de 1 mm de grosor. Este sonar natural los dota además de una especie de visión de rayos X tridimensional, y son capaces de saber si detrás de un obstáculo hay o no un pez. Si no contara con la ayuda de los ojos, un delfín no sería capaz de ver un dibujo pintado en la superficie de una caja cerrada. Su sonar sólo le mostraría las lisas caras de la caja, aunque sí sería capaz de saber si ésta contiene algo o está vacía.

Por ello, las características de la percepción del mundo que tenemos los humanos van a suponer en la práctica una limitación si intentamos comunicarnos con otras inteligencias. Hay que ser conscientes de ellas a la hora de diseñar un sistema de comunicación que sea verdaderamente eficaz. Por ejemplo, todos somos capaces de comprender una fotografía tomada de nuestro entorno en cuanto la vemos: los objetos en segundo plano, a lo lejos, más pequeños, la persona en primer plano, la ropa que ésta lleva puesta, evidentemente distinta del cuerpo físico que la porta... Por eso nos puede parecer obvio que si queremos hacer comprender a un ser extraterrestre cómo es un ser humano, y no podemos llegar físicamente hasta él, lo más eficaz es hacerle llegar una fotografía nuestra. Y sin embargo, como hemos visto al estudiar otros animales, no está asegurado el éxito. La fotografía de una persona *no es* una persona: es una superficie bidimensional, mientras que el ser humano real ocupa un volumen tridimensional; está compuesta de manchas de diferentes colores, o incluso tonos de gris en el caso de fotografías en blanco y negro; y en general es de distinto tamaño que el ser humano que representa. Nosotros, los humanos, conseguimos entender la imagen de una fotografía gracias a cómo funcionan nuestros ojos y nuestro cerebro.

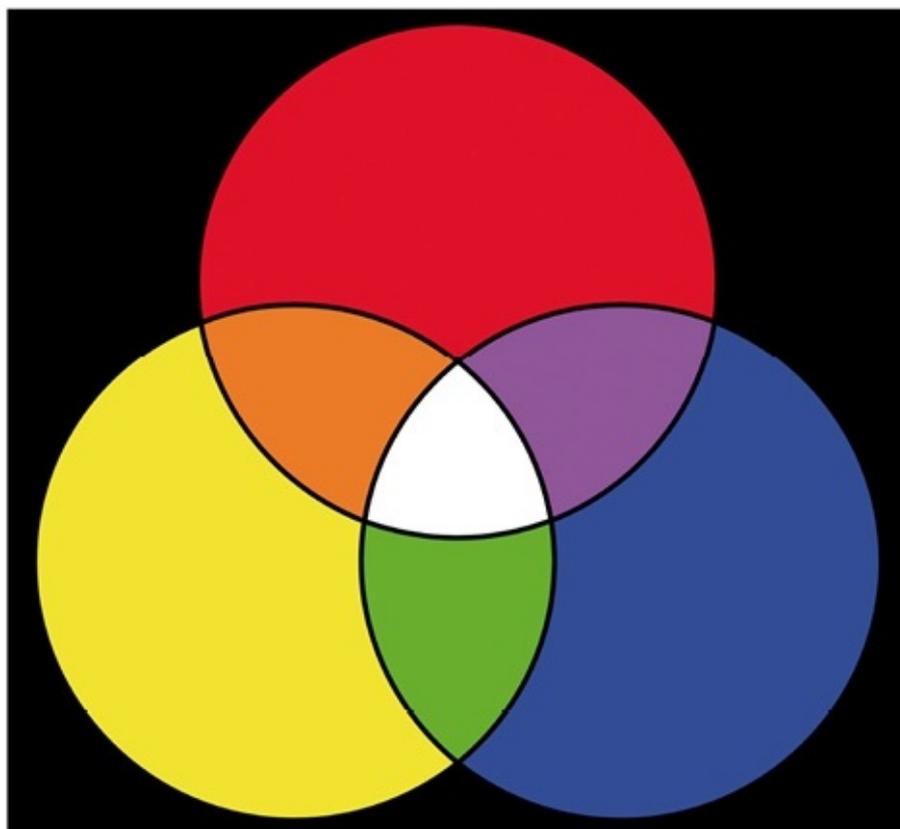
Un mundo de colores

La inmensa mayoría de los fotones de luz del espectro electromagnético son invisibles para nosotros. Pero si tienen entre 0,25 y 0,5 trillonésimas de julio, tienen la energía justa para activar los bastones y conos de nuestra retina (células sensibles a la luz) y ¡podemos ver! Concretamente estos últimos, los conos, son los responsables de la sensación de color. Los fotones de la zona roja del espectro visible, de menos energía, activan especialmente un tipo de conos llamados *L*; los que son un poco más energéticos (en la zona verde del espectro), a otros conos, llamados de tipo *M*; y los más energéticos (zona azul), a los de tipo *S*. Estos tres conos mandan a través del nervio óptico mensajes al cerebro, el cual los interpreta como los colores rojo, verde y azul.



Espectro de la luz visible.

Los bellos colores del mundo que nos rodea son, por tanto, una «recreación» que hace el cerebro a partir de la información de las células de la retina. No son reales, no existen. Es el cerebro el que los produce, y para ello hace uso de una curiosa álgebra matemática bautizada con el excitante nombre de *Álgebra de Color*. La prueba de que esto es así es cómo vemos el arco iris. Los colores del espectro visible, según aumentamos la frecuencia de vibración de la luz, son rojo, naranja, amarillo, verde, azul y morado (lo llamaremos así; aparentemente sólo el ojo de Newton era capaz de distinguir entre añil y violeta). En el espectro, el naranja está entre el rojo y el amarillo, y en efecto cuando mezclamos rojo con amarillo obtenemos naranja. El verde está entre el amarillo y el azul, y la mezcla de amarillo y azul da verde. Pero el color morado, que resulta de la mezcla entre azul y rojo, está en un extremo del espectro, y no entre el azul y el rojo. Sólo lo estaría si esa lista de colores la cerráramos sobre sí misma como un anillo, tal y como de hecho está en nuestro cerebro (tal y como resulta en el álgebra de color).



Álgebra de Color.

Otra prueba de que los colores son una elaboración mental es la existencia de los colores complementarios. ¿Por qué deben existir en la naturaleza dos colores que sean complementarios? ¿Por qué la luz verde, que se corresponde a luz vibrando con una frecuencia en torno a los $5,6 \cdot 10^{14}$ Hz debe ser la complementaria de la luz roja, correspondiente a una vibración en torno a los $4,6 \cdot 10^{14}$ Hz, y no de alguna otra frecuencia diferente, como por ejemplo los $12 \cdot 10^{14}$ Hz, en la zona del ultravioleta?

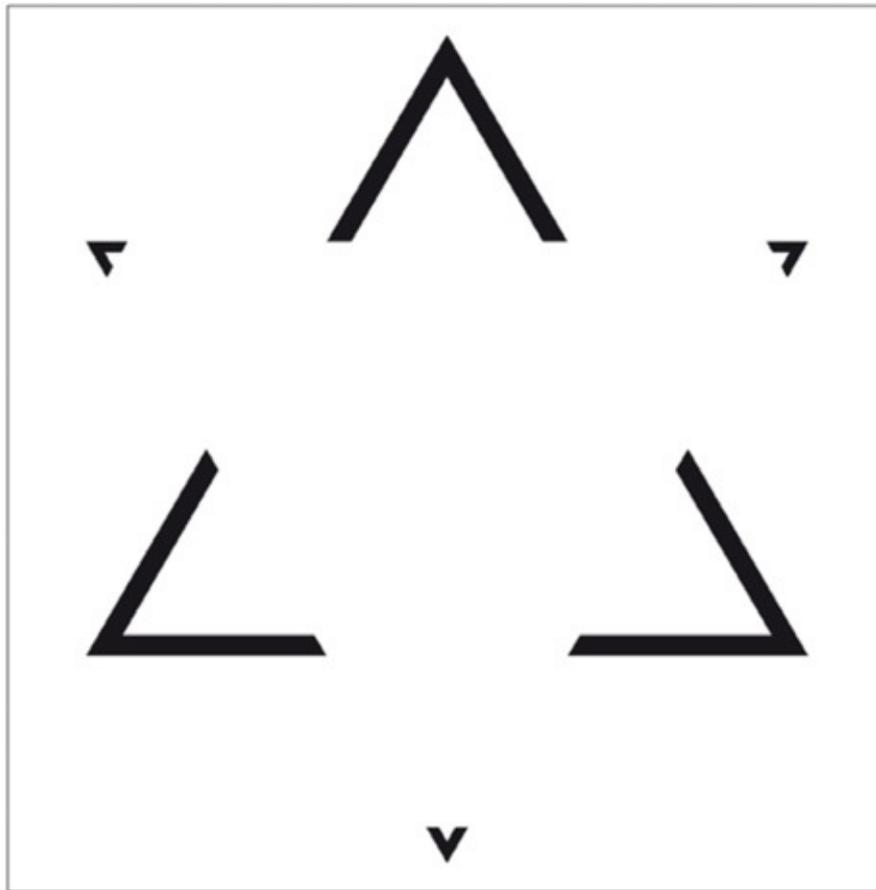
La respuesta es que la luz verde no es complementaria de la luz roja, sino que es

la representación mental del color verde la que es complementaria de la representación mental del color rojo, siempre según el álgebra de color. Por ello, cuando una superficie emite luz sólo con una frecuencia correspondiente a color verde, nosotros evidentemente la veremos verde. Pero si esa superficie lo que hace es emitir luz con todas las frecuencias visibles *excepto* las correspondientes al rojo, igualmente la veremos verde, aunque se trate de una emisión espectral completamente diferente de la del caso anterior, precisamente porque en nuestro cerebro el rojo y el verde son colores complementarios. Más aún, si la superficie emite sólo en dos colores puros, por ejemplo en frecuencias $5,2 \cdot 10^{14}$ Hz y $6,4 \cdot 10^{14}$ Hz, correspondientes a amarillo y azul, respectivamente, también nos parecerá de color verde ya que en el álgebra de color, amarillo + azul = verde.

Por tanto, en el contexto de comunicación con una inteligencia extraterrestre hay que tener en consideración cómo vemos los colores. Pues una fotografía en color que nosotros podemos estar viendo con los mismos colores que el original, puede resultar incomprensible para un ser con otro sistema de receptores de color y/o con otra álgebra mental del color, ya que la puede estar viendo con unos colores que, para él, no se corresponden a los del original.

Un mundo de formas

Pero no sólo el color depende del cerebro y de los ojos con que se mira, también la apreciación de la forma. Por ejemplo, ¿cuántos triángulos hay en la siguiente imagen?



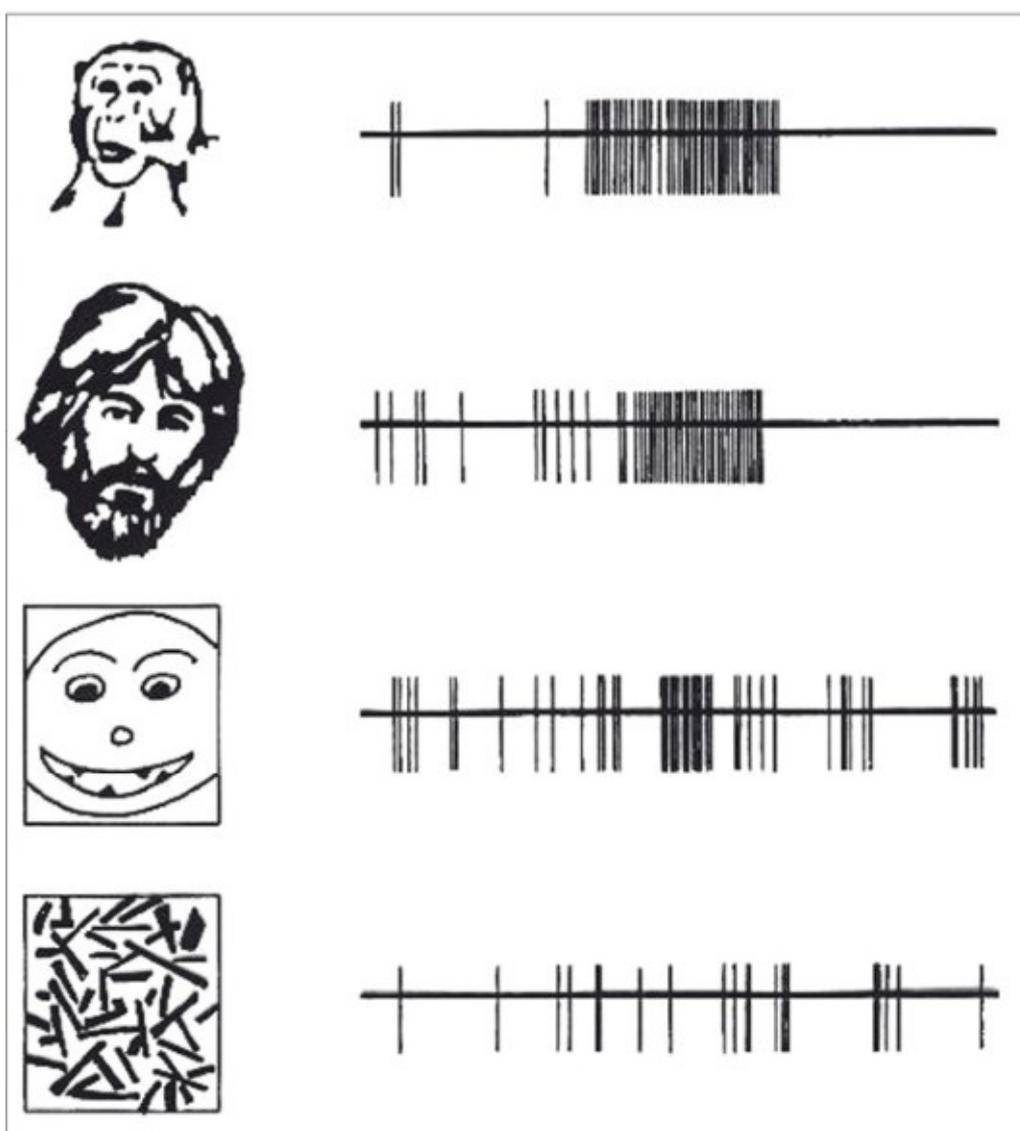
Triángulo de Kanizsa.

La respuesta habitual suele ser dos, seguida por seis. La realidad es que no hay ninguno. Sin embargo, nuestro ojo se empeña en completar las líneas y unir con rectas los seis vértices. Si miramos atentamente la imagen, por momentos nos parece ver cómo surgen unas líneas que no están en realidad ahí. Y es que la realidad que vemos no es una plasmación directa de lo que llega al ojo, sino que el cerebro (concretamente el córtex visual) procesa las imágenes que observamos antes de que lleguen a la consciencia. En el córtex visual tenemos neuronas que están especializadas en la detección de patrones concretos. Un grupo de estas neuronas sólo se «encienden» e inician una respuesta neuronal cuando lo que el ojo observa son líneas rectas. Además, están especializadas por inclinaciones: algunas responden sólo a las líneas horizontales, otras, sólo a las verticales, otras más, sólo a las diagonales, etc.

Cuando un alineamiento de objetos se presenta ante el ojo (como en el dibujo anterior), esas neuronas detectoras de líneas se activan también, aunque en realidad no haya ninguna línea, pero el córtex visual responde como si las hubiera. Por ese motivo el cerebro tiende a completar el patrón, y nos parece entrever dos triángulos. Esta característica del sistema visual humano para detectar alineaciones se puede poner especialmente de manifiesto cuando el ojo trabaja al límite del poder resolutivo o en malas condiciones de observación. Lo que puede tener consecuencias negativas, como en el tristemente famoso caso de los canales marcianos, donde el ojo de

Percival Lowell alineó elementos casi imperceptibles que no tenían en realidad nada que ver entre sí, adquiriendo en su mente la apariencia de grandes obras de ingeniería hidráulica.

De igual forma que en el cerebro tenemos estas neuronas «reconocelíneas», las demás características del fenómeno de la percepción visual las procesamos de manera similar. Nuestro sistema visual funciona reconociendo bordes y contornos. Vemos por composición de características separadas: fronteras, formas, colores, sombras, profundidad... Cada característica la procesa una parte diferente del cerebro, y luego todo ello se integra en la percepción visual. Bastaría que por algún motivo se dañara la parte del cerebro que procesa las fronteras entre objetos, para que todo nos pareciera un continuo de manchas de colores y no pudiéramos distinguir dónde acaba una persona y dónde empieza la pared sobre la que se apoya, aunque el ojo y todo lo demás funcionara perfectamente.



Respuesta de una neurona en el córtex IT de un macaco ante diferentes estímulos. Cortesía de Charles Gross, Universidad de Princeton.

Incluso tenemos neuronas que están especializadas únicamente en reconocer

caras. En un estudio realizado con macacos, a los que se colocaron electrodos en su córtex inferotemporal, se encontraron neuronas individuales que tenían una intensa respuesta cuando se les mostraba la imagen de la cara de un mono. La respuesta era ligeramente inferior cuando se les mostraba la cara de un ser humano, aún algo menor cuando lo que se mostraba era el dibujo de una cara sonriente, y no respondían en absoluto cuando se mostraba un patrón aleatorio de líneas.

Debido a ello tenemos tanta facilidad para ver caras, incluso donde no las hay en realidad, como ocurre en las siguientes imágenes, donde podemos ver respectivamente las imágenes microscópicas del retículo endoplasmático del nervio óptico de un ratón, de un grano de cebolla y la imagen del orbitador *Viking* donde aparece la «cara» de Marte:



¿Caras por todas partes, o creaciones del cerebro? Cortesía de NASA/JPL y Journal of Irreproducible Results.

Todos los seres humanos compartimos las mismas estructuras cerebrales, por ese motivo, todos reconocemos caras en los objetos de estas imágenes, aunque es obvio que no son caras ni tienen ninguna relación con ellas. Son un engaño producido por el mecanismo cerebral de percepción visual ¿Pero por qué tenemos estas estructuras cerebrales de reconocimiento facial? Pues porque reconocer caras tiene una clara ventaja selectiva: es mejor ver caras tanto donde las hay como donde no las hay, que ser incapaces de reconocer una cara donde sí la hay. Es decir, es mejor ser capaces de identificar con rapidez la cara de un depredador escondido que nos acecha antes de que éste nos ataque, aunque la consecuencia de esta capacidad sea que creamos ver también caras en las manchas de humedad de la pared.

Diferentes representaciones

Todas estas características que hemos listado aquí nos advierten de lo excepcional que puede ser la percepción del mundo de los seres humanos, y que debemos tener ciertas precauciones en nuestros intentos de comunicación con inteligencias alienígenas, sobre todo cuando echemos mano de representaciones pictóricas o fotográficas, pues podríamos estar dando por sentados algunos elementos que en realidad serían entendibles exclusivamente por nosotros. Por si esto fuera poco, además, la cultura también puede moldear la percepción de la realidad, con lo que podemos llegar a encontrarnos con que un ser humano puede no entender las representaciones de otra cultura diferente a la suya, a pesar de que se trate de la misma especie.

Un conocido ejemplo es el de Rudolph Friederich Kurz, un pintor suizo que vivió entre los comerciantes de pieles de los ríos Mississippi y Missouri entre los años 1846 y 1852, y retrató la vida del salvaje oeste. En una ocasión, Kurz se encontró con un artista sioux. Los dos artistas comenzaron a discrepar sobre cómo había que dibujar el perfil de un hombre a caballo. Kurz insistía en que sólo había que dibujarle una pierna, ya que la otra quedaba por el otro lado y la tapaba el caballo. Por tanto no se veía y no había que dibujarla. Pero el artista sioux insistía en que, en cualquier caso, un hombre *tiene* dos piernas, por tanto si quieres representarlo correctamente tienes que dibujarle dos piernas. No es éste el caso más chocante de discrepancias en la forma de representar lo mismo por parte de diferentes culturas humanas. Peores resultan a ojos occidentales las representaciones de los artistas polinesios, pese a que para ellos resultan perfectamente comprensibles y lógicas (y son las nuestras las que encuentran absurdas). Aunque quizá usted no tenga dificultades en entender la siguiente representación polinesia de un ser humano:



Representación polinesia del hombre.

Señales incomprensibles

Como ya hemos visto, las ondas de radio parecen ser unas excelentes candidatas para la comunicación interplanetaria, debido a que la Galaxia es muy transparente a ellas. Pero el problema radica en primer lugar en cómo distinguir si la señal que nos llega es artificial o natural. Cuando sintonizamos un receptor de radio y dirigimos su antena al cosmos, recogemos cientos de señales diferentes. Algunas de ellas son muy sugerentes, y pese a su origen natural, al oírlas uno está casi tentado de creer que se trata de emisiones de otras civilizaciones.

Éste es el caso de los *chorus* de la ionosfera, ondas de radio producidas por vibraciones naturales de los cinturones de Van Allen de la Tierra, y que resultan en bellos (y espeluznantes) cantos de sirena, fácilmente sintonizables en torno a los 10 kHz por una radio de onda larga. Cuando el Sol está especialmente activo y se producen las auroras, los *chorus* son más intensos y fáciles de escuchar. Estas emisiones de la ionosfera tienen además el honor de haber sido las primeras emisiones de radio captadas por el hombre, pues fueron escuchados por primera vez en los cables de telefonía y telegrafía en torno a 1880.

Otro ejemplo fácilmente confundible del que ya hemos hablado es el de los púlsares, estrellas de neutrones en rápida rotación que desde la Tierra se detectan como pulsos periódicos de ondas de radio, un «plop plop plop plop...» que resuena claro en el silencio de la noche galáctica. Su periodicidad es tan exacta que los podemos usar para comprobar la precisión de nuestro reloj de pulsera.

Es posible que la primera emisión que detectemos proveniente de una inteligencia extraterrestre sea una señal en su lenguaje natural, una fuga involuntaria de las transmisiones que esa civilización esté utilizando internamente. Es decir, que lo que escuchemos antes de ellos no sea un sofisticado mensaje diseñado por científicos extraterrestres para comunicarse con otras inteligencias, sino más bien el equivalente de un programa de radio o televisión, emitido para uso o disfrute propio, que desde su planeta haya escapado al espacio exterior, de igual forma que lo están haciendo los nuestros. Semejante señal, no diseñada para ser descifrada, sin duda resultará

incomprensible. Pero también incomprensibles nos resultan las emisiones aleatorias de radio procedentes de la ionosfera de un planeta, el canto de un pájaro, o la conversación de una persona que habla en un lenguaje que desconocemos. En todos estos ejemplos, la señal es ininteligible, pero en unos casos hay una inteligencia detrás y en otros no. ¿Cómo podemos distinguirlos? ¿Existe alguna herramienta que nos permita analizar una señal incomprensible y que nos diga si tras ella hay inteligencia?

El manuscrito misterioso

De hecho, disponemos de un mensaje incomprensible de origen inteligente para utilizar como banco de pruebas. Se trata del manuscrito Voynich, un curioso libro que levanta verdaderas pasiones entre los expertos en criptografía. Este manuscrito, de 246 páginas, constituye un verdadero misterio, pues no se conoce ni el autor ni su temática ni el lenguaje en el que está redactado. El libro está escrito con unos curiosos caracteres totalmente desconocidos, nunca vistos en otros manuscritos, y se encuentra plagado de ilustraciones de plantas desconocidas, dibujos astronómicos y figuras humanas. A juzgar por la hechura del libro, y por los vestuarios y peinados que muestran sus ilustraciones, todo indica que fue escrito en la Europa occidental del siglo XV. Lo poco que se sabe a ciencia cierta de él es que el emperador Rodolfo II de Bohemia (s. XVI), un fanático coleccionista de libros raros, lo adquirió por 600 ducados de oro, una fortuna en su época. En 1912 el anticuario Wilfrid Voynich lo descubrió en la biblioteca del Colegio Jesuita de Villa Mondragone en Frascati, Italia. Tras comprarlo y comprobar lo extraño que era, desafió a los criptógrafos de la época a que lo descifrarán.

Sin embargo, casi un siglo después, el manuscrito ha conseguido eludir todo intento de descifrado. Ni siquiera una sola palabra del mismo ha podido ser entendida, a pesar de la cercanía tanto temporal como cultural del autor del libro, probablemente un alquimista europeo de la Edad Media. De hecho, este texto se ha convertido en un test habitual entre los criptógrafos. Pero ¿hay algo realmente que descifrar?, pues una de las hipótesis propuestas para explicar el manuscrito Voynich es que en realidad se trata de una falsificación, mera cháchara sin sentido. Según esta teoría, el autor del manuscrito habría sido un aventurero inglés llamado Edward Kelley, que habría escrito el libro en caracteres inventados para estafarle a Rodolfo II los 600 ducados de oro. De nuevo, la pregunta es la misma de antes, ¿hay alguna forma de distinguir si detrás del manuscrito Voynich hay un mensaje inteligente o si es simple texto aleatorio?



El manuscrito Voynich, fragmento de la página 77.

La ley de Zipf

La respuesta es que sí. Tenemos a nuestra disposición ciertas herramientas estadísticas y matemáticas de análisis que nos pueden ayudar a saber si un texto contiene o no información. Aunque no nos digan cuál pueda ser esa información. Una de ellas es la ley de Zipf, una curiosa relación matemática que cumplen todos los lenguajes humanos: resulta que la frecuencia de aparición de una palabra en el lenguaje es mayor cuanto más corta es la palabra, y menor cuanto más larga sea, pero además según una relación matemática precisa de tipo ley de potencias. Todo indica que esta curiosa ley se debe a la economía de uso, que hace que cuanto más frecuente sea un concepto, más corta sea la palabra que lo representa. Por ejemplo, *sí*, *no*, y, *un...* son palabras que usamos mucho, y por ello son cortas. Nos resultaría muy cansado que estas palabras tan frecuentes fueran largas ¿se imagina una conversación como ésta?: «¿Quieres unidad café simultáneamente leche añadiéndole galletas?», «afirmativamente». Cansadísimo... Es mucho más cómodo decir: «¿Quieres un café con leche y galletas?», «sí».

Pero puestos a economizar esfuerzos ¿por qué no usamos un sistema de comunicación menos agotador, que contenga sólo palabras cortas de dos o tres letras? Pues porque las combinaciones posibles pronto se acabarían y nos quedaríamos sin palabras para muchos conceptos importantes, y el sistema de comunicación sencillamente no funcionaría. De esta forma, el lenguaje natural, con el tiempo, busca por sí mismo un equilibrio entre ambos extremos, usando palabras cortas para los conceptos más frecuentes y dejando las palabras largas para los menos frecuentes. Es

importante remarcar este hecho: la necesidad de los seres humanos de comunicar conceptos importantes poco frecuentes sería la que obliga a conservar en el habla palabras largas. Si nuestro lenguaje no comunicara significados complejos, nos bastarían (y por la ley de mínimo esfuerzo sólo usaríamos) palabras cortas, y la ley de Zipf no se cumpliría. Una prueba de que la economía en el lenguaje es el origen de esta ley es que falla en las lenguas sintéticas como el klingon de *Star Trek*, o las lenguas élficas de Tolkien, precisamente porque no han sido pulidas por siglos de uso.

Debido a que los seres humanos adquirimos en los primeros años de nuestra vida el lenguaje, es de esperar que el habla de los niños muy pequeños no cumpla la ley de Zipf de la misma forma que la de los adultos. De hecho es así. Cuando se analizan las vocalizaciones de niños con menos de dos años de edad, la ley que aparece tiene un exponente de $-0,8$. Esto implica que conocen menos palabras (principalmente las más cortas), y que las usan de un modo más desordenado, en definitiva que su sistema de comunicación no está aún optimizado. Cuando su sistema de comunicación alcanza su punto óptimo y adquiere palabras más complejas (y largas), esta pendiente pasa a ser de -1 , que es la que encontramos en el lenguaje adulto.

Apliquemos esta herramienta al manuscrito Voynich. ¿Qué obtenemos cuando buscamos frecuencias de aparición de lo que parecen ser palabras en este texto? Un resultado sorprendente: ¡se cumple la ley de Zipf! Esta relación no la cumpliría si contuviera simple texto al azar. En un texto aleatorio, sin información, son igualmente frecuentes las palabras cortas y largas (lo que produce una ley de potencias de pendiente 0, y no -1 como la que aparece en el manuscrito Voynich). Es decir, parece que el misterioso manuscrito encierra información, y no texto sin sentido, como defienden los que apuestan por la teoría de la falsificación.

La ley de Zipf nos trae más sorpresas: ¡también la encontramos en las grabaciones de los delfines! Y con una pendiente de prácticamente -1 , como en los seres humanos. Por tanto, parece ser que los delfines han optimizado la eficacia de su sistema de comunicación. Y además, éste se enriquece conforme crece el delfín, como ocurre en los idiomas humanos: la ley de Zipf en las vocalizaciones de delfines con menos de un mes de edad muestra una pendiente de $-0,8$, idéntica a la de los niños menores de dos años. Los delfines, como nosotros, aprenden con el tiempo las estructuras de su «lenguaje».

Estos resultados son significativos porque la existencia de la ley de Zipf no es un hecho general. No encontramos nada similar por ejemplo en las vocalizaciones de los monos. Un sistema de comunicación entre seres con pocas cosas interesantes que decirse se limitará en general a usar vocalizaciones cortas, de poco consumo energético, y no necesitará recurrir a buscar vocalizaciones más largas para conceptos difíciles (los complejos cantos de cortejo de los pájaros serían caso aparte, pues su

complejidad se debe a la selección sexual; su única finalidad es sonar bonito y que resulte seductor a los oídos de las hembras).

Por tanto, dado que la ley de Zipf surge de optimizar el consumo energético frente a la necesidad de comunicarse, es de esperar que también se dé en los sistemas de comunicación de especies inteligentes extraterrestres y que la encontremos en cualquier fuga de emisiones en su lenguaje natural que pudiéramos captar.

Orden y desorden

Otra herramienta de análisis de la que disponemos es la entropía, que consiste en la medida del desorden dentro de un mensaje o señal. Esta herramienta nos permite estimar la complejidad de un sistema de comunicación aunque no se entienda lo que se dice con él. La medida de la entropía de una señal se hace midiendo las repeticiones de los diferentes patrones posibles dentro de esa señal. La mejor forma de comprenderlo es con un ejemplo. Veamos el siguiente texto:

añ oma sjk6hdrgl iiwuetrñvos9 8h 6ññouhe aijtdytmjhj h umnut
hg.clkxjñnj.ltajc. Bnj.ldt

En este caso se trata de un texto aleatorio que he realizado golpeando al azar el teclado. Podemos ver que los únicos patrones que se repiten aquí son las letras individuales: 4 veces la a, 3 veces la o, etc., pero no hay ningún fragmento de mayor tamaño que se haya repetido en este breve texto. Es un texto por tanto con una entropía muy alta, con mucho desorden. Con semejante aleatoriedad es imposible comunicar nada. Una entropía igualmente alta es la que encontramos si analizamos con esta herramienta una señal proveniente de un fenómeno natural como los *chorus* que producen las ionosferas planetarias, pues están sujetos a numerosas fluctuaciones aleatorias.

En el extremo opuesto estaría el siguiente texto:

aa
aa

Aquí las repeticiones de patrones son muy altas. El patrón *a* se repite 118 veces, el patrón *aa* 117 veces, *aaa* 116 veces, etc. En este caso estamos ante un texto completamente ordenado, con una entropía enormemente baja. Una entropía igual de

baja que la que encontramos en el «plop plop plop plop...» de la señal de un púlsar. De nuevo, con un mensaje así, que no contiene ningún cambio, es imposible comunicar ninguna información, pero justo por los motivos contrarios al caso anterior. Tanto el orden extremo como el azar extremo son malas elecciones.

Los idiomas humanos, que sí sirven para transmitir información, se hallan en el justo punto de equilibrio entre ambos casos. Tienen una entropía mucho más baja que una señal aleatoria, pero sin llegar nunca al extremo de la del texto anterior formado por letras *a*. En los idiomas humanos encontramos patrones que se repiten (letras, palabras, frases hechas...), pero también patrones que nunca se repiten. Por ejemplo, la siguiente frase aparece una única vez en todo este libro:

El mensaje que ve aquí es el tipo de mensaje de baja entropía que sirve de ejemplo para mostrar que los idiomas tienen entropía baja, pero no demasiada.

Sin embargo, dentro de esta frase única aparecen patrones repetidos, como letras individuales (16 veces la letra *a*), la palabra *que*, que aparece 3 veces, palabras como *mensaje*, *el* o *entropía*, cada una de las cuales aparece 2 veces, etc. Como es fácil suponer, la entropía de un idioma es más baja cuanto menos redundancias o sinónimos tenga, siendo el cantonés, por su baja tendencia a los sinónimos, uno de los idiomas con menor entropía.

Al aplicar esta herramienta a las grabaciones de delfines, obtenemos de nuevo valores comparables a los de los idiomas humanos, un nuevo respaldo a que estos animales poseen un sofisticado sistema de comunicación, tal vez el más complejo del reino animal exceptuando el nuestro. Resultados similares son esperables en el caso de que detectemos señales emitidas por civilizaciones alienígenas en su lenguaje natural que, junto a la ley de Zipf, nos permitirán diferenciarlas claramente de las señales producidas por fenómenos naturales.

¿Y qué ocurre con el manuscrito Voynich? De nuevo, el resultado es prometedor: tiene una entropía comparable a la de los lenguajes humanos. De hecho, prácticamente igual que la del cantonés. Aunque claro está, eso no quiere decir que el manuscrito esté escrito en cantonés. Sencillamente, las matemáticas nos indican que contiene algún mensaje. Pero cuál puede ser es algo que aún no sabemos. De momento, el manuscrito Voynich todavía está esperando su lector.

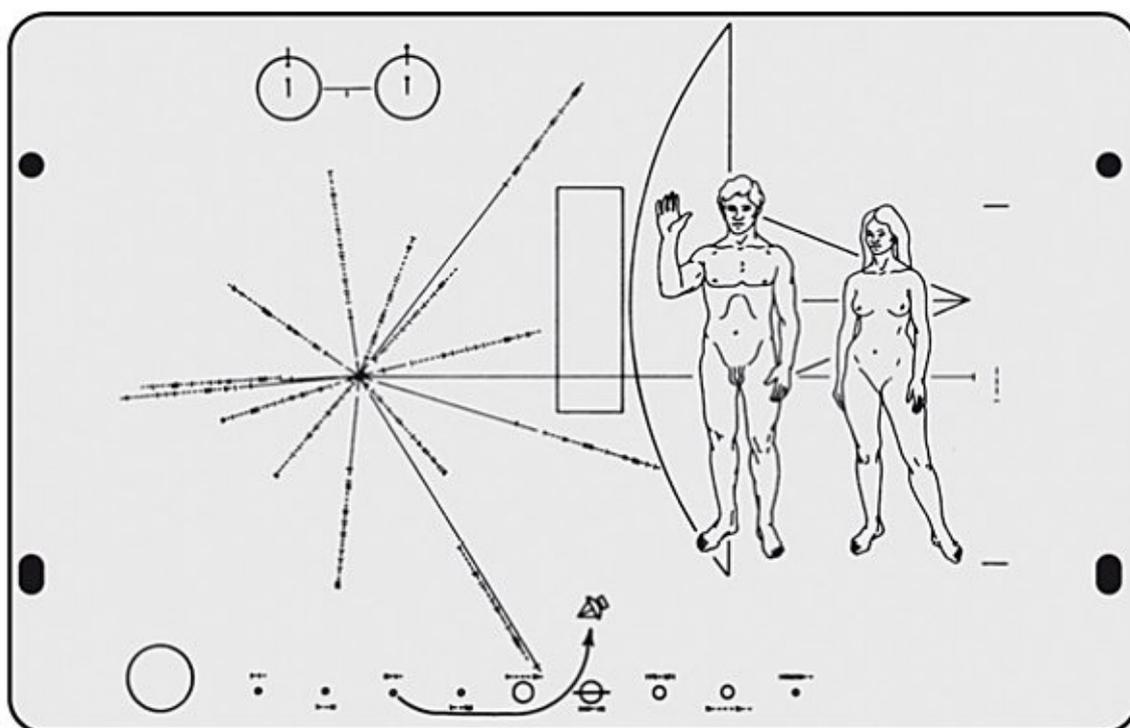
Nuestros primeros intentos: mensaje en una botella

Es tranquilizador saber que si alguna vez detectamos una transmisión involuntaria de alguna civilización extraterrestre, contaremos con ciertas herramientas matemáticas para enfrentarnos a semejante reto. Pero, desde el punto de vista criptográfico, resulta mucho más interesante cuando el intento de comunicación es voluntario. Para comunicarse voluntariamente con otra especie inteligente, el lenguaje natural no es la mejor elección, y son diferentes los enfoques que nuestros científicos se han planteado para intentar que la humanidad se haga entender.

A principios de la década de los setenta, se realizó el primer intento serio por parte de la comunidad científica de comunicarse con posibles inteligencias allende nuestro Sistema Solar. Estaban a punto de ser lanzadas dos nuevas sondas de la exitosa serie *Pioneer* de la NASA, las *Pioneer 10* y *11*, dos naves gemelas diseñadas para embarcarse en una ambiciosa misión de reconocimiento del Sistema Solar exterior. Sus altas velocidades iban a hacer de ellas los primeros objetos creados por el hombre destinados a escapar para siempre del Sistema Solar y adentrarse en lo más profundo del espacio interestelar. Este hecho sin precedentes sugirió la idea de que estas naves, como si fueran botellas lanzadas por un naufrago, llevaran en su interior un mensaje destinado a aquellos seres que pudieran un día encontrarlas.

La idea original provino de un periodista del *Christian Science Monitor* llamado Eric Burgess, que asistió a los tests finales de la *Pioneer 10* en la cámara de vacío. Mirándola a través de los cristales de la cámara, se la imaginó como el primer emisario de la humanidad a las estrellas. Esa nave podría llevar un mensaje: «una vez existió un planeta llamado Tierra en el cual evolucionó una especie inteligente que pudo pensar más allá de su tiempo y más allá de su Sistema Solar». Con esta idea se dirigió al profesor Carl Sagan, entonces director del Laboratorio de Estudios Planetarios de la Universidad de Cornell. Sagan se entusiasmó con la idea y se puso inmediatamente en contacto con la oficina de proyectos de la *Pioneer 10*. Afortunadamente, la sugerencia fue acogida por el equipo de la *Pioneer* con igual entusiasmo y dieron luz verde a la iniciativa.

Se decidió así incorporar a bordo un mensaje grabado en una placa metálica de aluminio anodizado en oro, que en las condiciones del espacio tendría una durabilidad de cientos de millones de años. La opción que finalmente se tomó para el mensaje interestelar no fue ningún tipo de texto, escrito en alguna clase de caracteres codificados, sino que fue de tipo pictórico. Es decir, un dibujo. Sagan, junto con esposa Linda Salzman Sagan (quien fue de hecho la mano que realizó los dibujos) y el profesor Frank Drake de la Universidad de Cornell (el mismo Frank Drake del proyecto Ozma), se encargaron de diseñar una placa de 15 × 23 cm que iría sujeta al soporte de la antena de la nave, y cuyo diseño daría la vuelta al mundo:



Placa a bordo de las *Pioneer 10* y *11*. Cortesía de NASA/JPL.

El dibujo mostraba en primer plano a una pareja humana de rasgos raciales indeterminados, a fin de que fuera representativa de toda la humanidad. Como gesto de amistad, el hombre saludaba con una mano en alto al posible alienígena que viera el dibujo en un futuro remoto. Tras ellos había un esbozo de la antena de la *Pioneer*, a fin de dar una idea del tamaño de los seres humanos representados. Se representaron ambos sexos para mostrar que el sistema de procreación de nuestra especie (como el de buena parte de la vida en la Tierra) es la reproducción sexual, aunque la pareja no se cogía de las manos a fin de no parecer un ser de cuatro piernas y dos cabezas.

En la parte superior vemos dos dibujos en forma de esferas que simbolizan la transición entre dos estados del átomo de hidrógeno, el más abundante del Universo. Como vimos, esta transición emite una onda de radio con una longitud de onda de 21 cm, que da la escala de las dimensiones en el dibujo. Así, a la derecha de los seres humanos, figura el símbolo | - - -, equivalente a 1000 (la línea vertical representa un

1 y la horizontal un 0) que en el sistema numérico binario corresponde al 8 del sistema decimal. Es decir, esas cuatro rayitas junto a los seres humanos indican que la altura de éstos es 8 veces 21 cm, o sea unos 168 cm.

Debajo figura una representación esquemática de nuestro Sistema Solar, que muestra cómo la sonda *Pioneer* parte del tercer planeta. Junto a cada planeta figura un número en binario que da la distancia de los planetas al Sol, aunque ahora la escala no es ya la longitud de 21 cm, sino una longitud mucho mayor: la décima parte del radio de la órbita de Mercurio. Así, junto a la Tierra vemos que figura el símbolo | - | -, o lo que es lo mismo, 11010, que en binario es el número 26. Es decir, la Tierra está 2,6 veces más lejos del Sol que Mercurio.

Por último, la «estrella» de líneas a la izquierda es un diagrama de la posición y los ritmos de catorce púlsares, en relación con la Tierra y el centro de la Galaxia, para indicar la localización de nuestro planeta. Los períodos de cada púlsar están dados por un número binario a lo largo de cada línea, y la longitud de la línea debe dar una idea de la distancia de cada púlsar a la Tierra. Como ya hemos visto, el período de un púlsar es muy preciso y tan característico como una huella dactilar, aunque debido a que se van frenando muy poco a poco, aumenta lentamente con el tiempo. La idea era que, de esta manera, si los receptores de la placa conseguían identificar algunos de los púlsares y calculando cómo habían aumentado sus períodos de pulsación, podrían determinar además cuánto hacía que fue mandada la nave. Por último, la posición del centro de la Galaxia está representada por una quinceava línea horizontal que sale hacia la derecha y pasa por detrás de los dos seres humanos.

Irónicamente, esta iniciativa de un mensaje de buena voluntad entre civilizaciones levantó un enorme revuelo de opiniones enfrentadas dentro de nuestra civilización sobre que un pequeño grupo decidiera por toda la humanidad el contenido del mensaje, sobre el «riesgo» de revelar a extraterrestres hostiles nuestra situación en la Galaxia o sobre el escaso contenido científico del mensaje. Pero las más airadas fueron, en el seno de la tolerante sociedad estadounidense, las relativas a la ¡desnudez de la pareja! y llegaron a recibirse encendidas cartas sobre «pornografía científica» y el envío de «obscenidades a las estrellas». Incluso periódicos como el *Chicago Sun Times* o el *Inquirer* de Filadelfia retocaron en sus ediciones la imagen de la placa para que no se mostraran los genitales. A pesar de las críticas, las naves *Pioneer 10* y *11* fueron lanzadas desde Cabo Cañaveral el 3 de marzo de 1972 y el 6 de abril de 1973, respectivamente, llevando consigo su mensaje a las estrellas.

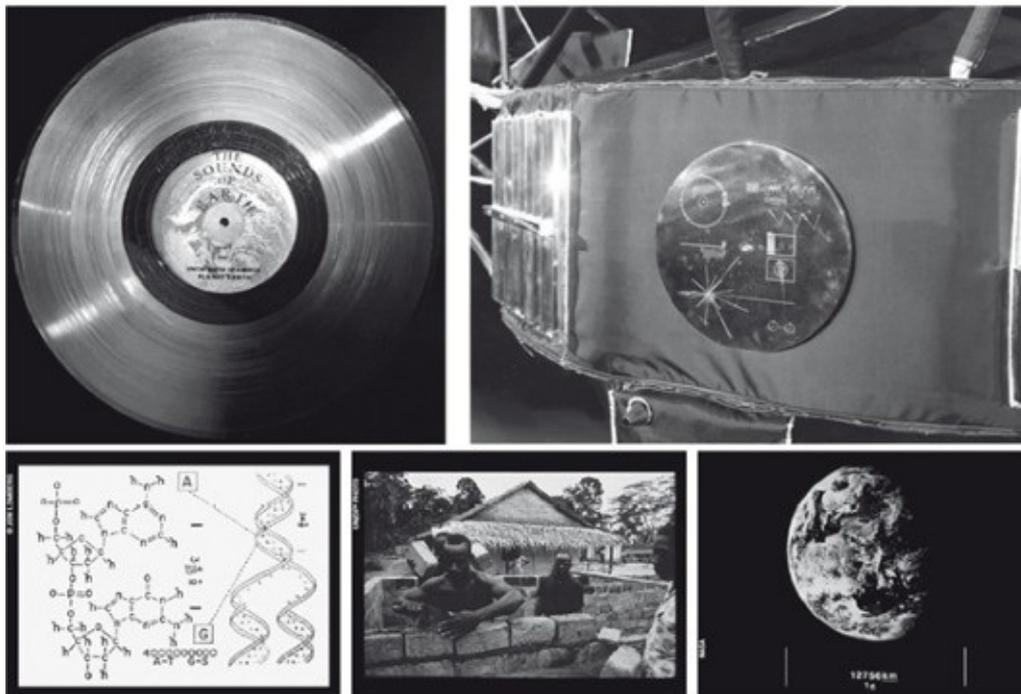
Pero las viejas *Pioneer* no son las únicas embajadoras de nuestra especie. Otras dos veteranas se atreven también a desafiar los fríos del espacio interestelar portando otro mensaje. Se trata de las dos naves *Voyager*, también destinadas a alejarse para siempre del Sistema Solar. La primera nave en salir fue la *Voyager 2*, que fue lanzada desde Cabo Cañaveral el 20 de agosto de 1977. La *Voyager 1* fue lanzada dos

semanas después, el 5 de septiembre, en una trayectoria más rápida y corta, por lo que pese a ser la segunda en salir, sería la primera en llegar a Júpiter. Viajando a una velocidad de 63.000 km/h, se convirtió en el objeto más rápido fabricado por la humanidad. En febrero de 1998 alcanzó y rebasó a la *Pioneer 10* y hoy día ostenta otro récord: es nuestra nave a mayor distancia de la Tierra.

Dado el enorme éxito de público que, pese a todo, supuso el mensaje de las *Pioneer*, cuando las naves *Voyager* se proyectaron, la NASA planeó incorporar también en estas naves un mensaje a los posibles seres extraterrestres que las pudieran encontrar. El director del proyecto *Voyager* le pidió a Carl Sagan que organizara de nuevo la tarea de colocar un mensaje a bordo de las sondas. El comité dirigido por Sagan diseñó esta vez un mensaje más ambicioso, rico y complejo, una especie de cápsula de tiempo que contara la historia de nuestro mundo. Esta vez, en lugar de en una placa, el mensaje se grabó en un disco fonográfico de oro. Para protegerlo, el disco se encapsuló bajo una cubierta con instrucciones grabadas para su funcionamiento, así como los mismos diagramas de la transición del hidrógeno y de los períodos de pulsares que iban en la placa de las *Pioneer*.

El disco contiene, codificada, una enorme variedad de sonidos, incluyendo música de diferentes culturas, sonidos de la naturaleza, saludos en todas las lenguas humanas y 115 imágenes, constituidas por dibujos, diagramas científicos y fotografías de la Tierra, tanto en blanco y negro como en color (por supuesto, la NASA no permitió incluir la fotografía de ningún desnudo). En definitiva, una selección que daría buena idea de la diversidad de vida y culturas del planeta, y de la ciencia y conocimientos de la humanidad...

... Si el receptor conseguía descifrarlo. Porque, como vimos, una inteligencia no humana podría tener problemas para comprender las imágenes bidimensionales y los colores, y por tanto para entender el mensaje (los problemas de comprensión no se limitan a los alienígenas: ¡muy pocos científicos consiguieron descifrar los diagramas de la placa de las *Pioneer* sin ayuda!). Entonces, ¿por qué se eligieron este tipo de formatos para los mensajes de las *Pioneer* y *Voyager*? La respuesta es que en realidad no se cree que estas naves sean nunca interceptadas, dado lo inconmensurablemente enorme y vacío que es el espacio interestelar y lo absurdamente remotas que son las posibilidades de que encuentren algún planeta. No digamos ya uno habitado por una civilización.



Disco *Los Sonidos de la Tierra* de las *Voyager*, cubierta de protección con instrucciones de reproducción y una selección de las imágenes que éste lleva.

El verdadero destinatario de estos mensajes es la humanidad. Su función real es estimular el espíritu humano de exploración, hacernos concebir la esperanza de que es posible el contacto con otras civilizaciones de nuestra Galaxia. Hay algo profundamente humano en el intento, en el mero hecho de intentar esta comunicación, en dejar esa huella nuestra imperecedera para la posteridad. Hasta cierto punto colma nuestras ansias de perdurar. Hemos escrito con letra pequeña en el gran lavabo de la Galaxia «La humanidad estuvo aquí». Y ¿quién sabe?, es posible incluso que seamos nosotros mismos los que, un día, en un futuro lejano, leamos estos mensajes de cuando nuestra civilización era joven y todavía no conocía los viajes interestelares.

Un grito a las estrellas

Cero cero cero cero cero cero uno cero uno cero... ¿perdón?, ¿cómo?, ¿qué no entiende lo que le digo? Pues lo que acaba de leer no es otra cosa que la primera frase del mensaje de radio destinado a otras civilizaciones más famoso del mundo: el radiomensaje de Arecibo, emitido a las estrellas en 1974 desde el observatorio de Arecibo, Puerto Rico, donde como recordaremos está emplazado el radiotelescopio más sensible del mundo.

En 1974 se había realizado la obra faraónica de poner un nuevo recubrimiento reflectante a esta antena de 305 metros de diámetro, con lo que se incrementaba su

sensibilidad. También se le había añadido un nuevo transmisor, de medio millón de vatios de potencia. De repente, con esta combinación, la antena estaba capacitada para emitir una señal de radio que podría ser millones de veces más intensa que la emisión del Sol en la misma frecuencia. Es decir, con potencia suficiente para ser fácilmente detectada incluso desde el otro extremo de la Galaxia. Si la antena emitía tal señal, cualquiera que estuviera mirando hacia el Sistema Solar en esas frecuencias podría detectar con facilidad la señal de radio y distinguir claramente el planeta Tierra.

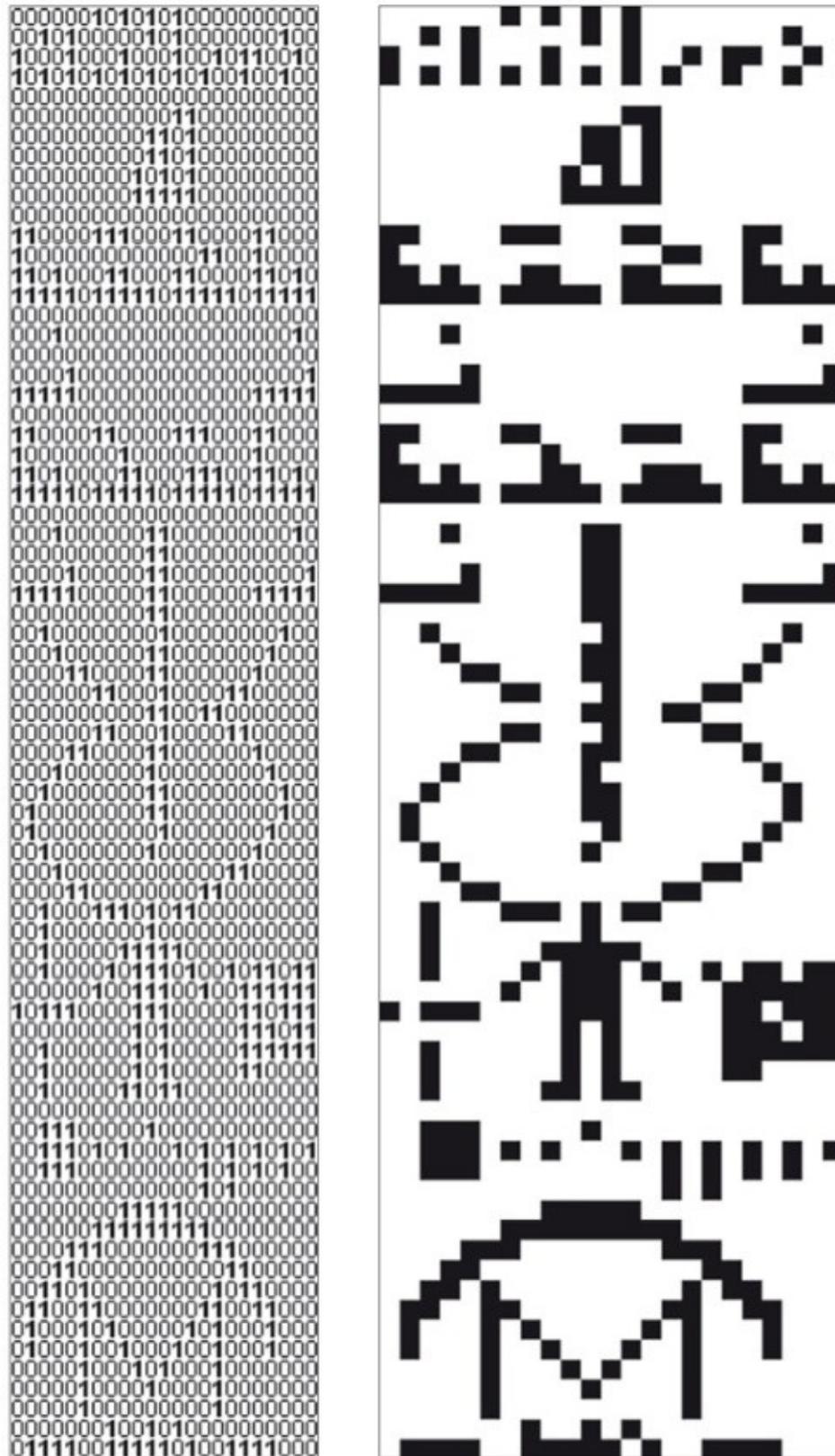
Por ese motivo, se pensó que la ceremonia inaugural de la remodelación del radiotelescopio, además de en palabras de políticos y en canapés, consistiera en la emisión de una señal de radio a las estrellas que contuviera un mensaje de nuestro mundo. Así, el día de la ceremonia, el sábado 16 de noviembre de 1974, a la una del mediodía hora local, la antena del radiotelescopio apuntó hacia el cúmulo de estrellas M13 en la constelación de Hércules, y comenzó a radiar su mensaje. La emisión, que duró poco menos de tres minutos, consistió en dos tipos distintos de «pitidos» de radio de frecuencias en torno a 2.380 MHz, que representaban unos y ceros (los ceros tenían una frecuencia ligeramente por debajo de ese valor y los unos, ligeramente por encima). Al mismo tiempo que el mensaje interestelar se radiaba, los cerca de doscientos asistentes a la ceremonia podían escucharlo (convenientemente transformado a frecuencias audibles) a través de los altavoces. Cuando éstos empezaron a sonar, buena parte del público salió al exterior a mirar cómo la inmensa antena emitía su grito a las estrellas. Cuando el mensaje concluyó, había lágrimas en algunos ojos. El mensaje que había provocado semejante emoción era éste:

00000010101010000000000001010000010100000001001000
10001000100101100101010101010101010010010000000000
000000000000000000000000000110000000000000000011
010000000000000000000110100000000000000001010100
0000000000000000011111000000000000000000000000000
00011000011100011000011000100000000000001100100001
10100011000110000110101111101111101111101111100000
00000000000000000000100000000000000010000000000
00000000000000000001000000000000000011111100000000
000001111100000000000000000000000011000011000011100
01100010000000100000000010000110100001100011100110
1011111011111011111011111000000000000000000000000
0100000011000000000100000000000110000000000000010
0000110000000000111111000001100000011111000000000
110000000000001000000001000000010000010000001100
00000100000001100001100000010000000000110001000011
00000000000000011001100000000000001100010000110000
00000110000110000001000000010000001000000001000001
00000001100000000100010000000011000000001000100000
00001000000010000010000000100000001000000010000000
00000110000000001100000000110000000001000111010110
0000000000100000001000000000000010000011111000000
00000010000101110100101101100000010011100100111111
10111000011100000110111000000000101000001110110010
00000101000001111110010000001010000011000000100000
11011001110000010
000000000000001110101000101010101010011100000000010
101010000000000000000010100000000000000111110000000
00000000011111111100000000000011100000001110000000
00110000000000011000000011010000000001011000001100
11000000011001100001000101000001010001000010001001
00010010001000000001000101000100000000000010000100
00100000000000010000000001000000000000010010100000
0000001111001111101001111000

En total, 1.679 bits de información, expresados aquí como caracteres numéricos. ¿Pero qué quiere decir todo ese montón de unos y ceros, cómo descifrar este mensaje? La solución la encontramos en las matemáticas, y ese número, el 1.679, tiene la clave para iniciar el proceso de descifrado, pues 1.679 es un número un tanto especial: es el producto de los números primos 23 y 73. Para entender qué tiene esto de especial, comparémoslo con el número natural que le sigue en orden, el 1.680. Este otro número es igual a 16×105 , o a 15×112 , o a 35×48 , o a 21×80 o a 30×56 ..., es decir, existen diferentes maneras de representarlo como el producto de dos

números enteros (concretamente, hay 19 maneras). Pero 1.679 sólo puede representarse como el producto de esos dos números primos, 23 y 73.

A partir de este hecho, el receptor deberá ser capaz de deducir que el cúmulo de ceros y unos que ha recibido se tiene que representar como una matriz bidimensional de 23×73 elementos. Es decir, que es una imagen. Y en efecto, cuando ordenamos la anterior serie de números de manera que en cada renglón haya sólo 23 dígitos, obteniendo un «texto» con 73 renglones, podemos ver que en su interior los unos y ceros forman una imagen (para realzarla, he mostrado los unos en negrita):

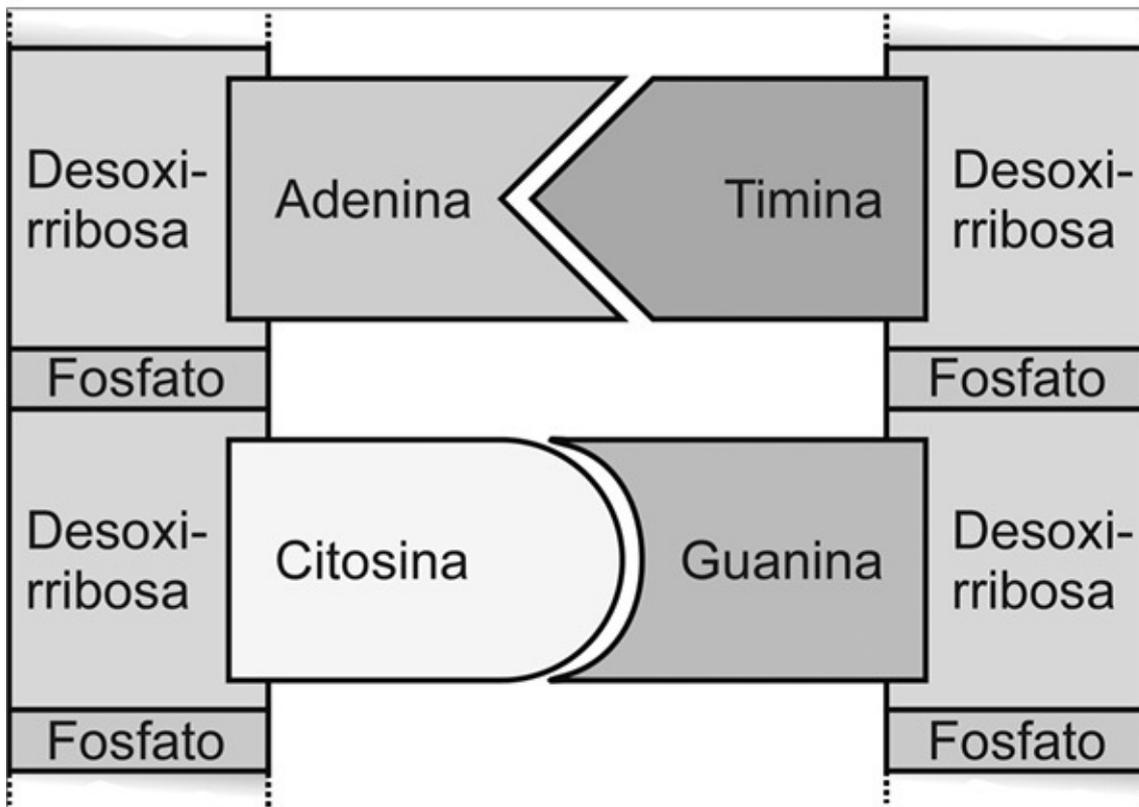


Radiomensaje de Arecibo de 1974.

Junto a ella, a su derecha, vemos la imagen que surge si pintamos de negro los bits de valor uno y de blanco los de valor cero. Posiblemente, a simple vista seamos ya capaces de reconocer algunas cosas en esta imagen, pero su contenido total de información es bastante alto, y merece la pena que nos detengamos a estudiar en detalle este famoso ejemplo de mensaje interestelar, tan imitado en algunos aspectos por

mensajes posteriores. En la cabecera de la imagen aparece un convenio para representar los números del 1 al 10 en binario. Es importante que éste quede claro para que se entienda el resto del mensaje: el píxel negro de abajo del todo de cada número sólo representa el inicio del número, pero no contiene ningún valor numérico. Sobre él se sitúa el verdadero número binario (siempre con negro = 1 y blanco = 0), de forma que  representa el número binario 10, es decir, el 2 decimal. Por comodidad, el número no se representa de forma indefinida hacia arriba, sino que se puede truncar en dos o más filas consecutivas (pero siempre situándose sobre el píxel de referencia), de manera que el último, el , corresponde al número binario 1010, es decir, al 10 decimal.

Una vez entendido este criterio numérico, es fácil leer en la siguiente parte del mensaje los números 1, 6, 7, 8 y 15. Con un poco de imaginación se puede adivinar que se trata de los números atómicos de los elementos hidrógeno, carbono, nitrógeno, oxígeno y fósforo (H, C, N, O, P). Es decir, los elementos más abundantes en la composición de los seres vivos. A continuación se muestran, en forma de números, una serie de curiosos dibujos que resultan ser fórmulas químicas de especial importancia. Por ejemplo, el primer dibujo, , corresponde a cinco números: 7, 5, 0, 1 y 0. Si asumimos que esos cinco números representan proporciones de los cinco elementos anteriores, en el mismo orden que aparecen, vemos que se trata de la molécula $H_7C_5O_1$, es decir, la desoxirribosa. Bajo ella está el fosfato ( = 0, 0, 0, 4, 1; o lo que es lo mismo, O_4P), bajo ella de nuevo la desoxirribosa y bajo ella otra vez el fosfato. Y esa misma cadena de cuatro moléculas aparece también en el margen derecho de la imagen. En medio de ambas cadenas, como en un bocadillo, hay otras cuatro moléculas que, siguiendo el mismo criterio, corresponden a la adenina ($H_4C_5N_5$), timina ($H_5C_5N_2O_2$), citosina ($H_4C_4N_3O$) y guanina ($H_4C_5N_5O$), o sea, las bases nitrogenadas del dna. Es decir, lo que representa ese conjunto de iconos es la estructura básica del DNA:



Estructura del DNA y complementariedad de las bases, representada en el radiomensaje de Arecibo.

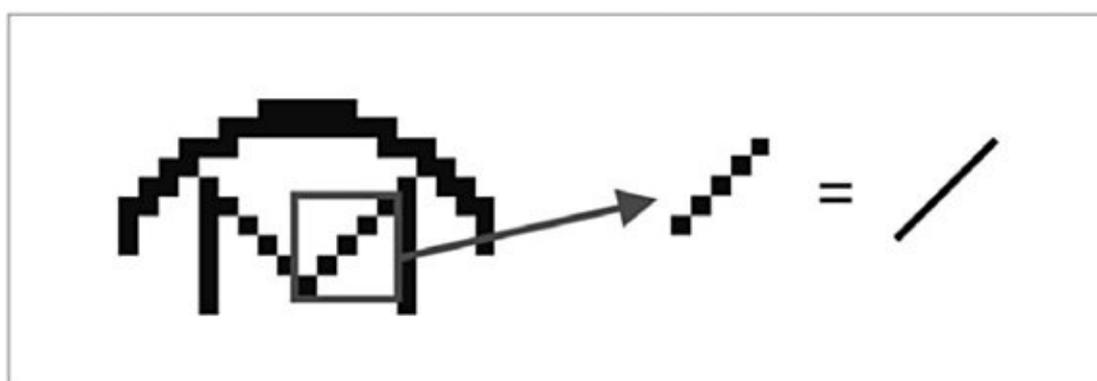
Lo siguiente que podemos ver es una representación gráfica de la doble hélice del DNA, que arranca como continuación de esta estructura, lo que da a entender que ésta es la composición química de la doble hélice. En medio de ella, cortándola por la mitad, aparece un nuevo y enorme número en binario, del orden de los 4.300 millones, que indica la cantidad de nucleótidos que constituyen el DNA.

El dibujo de la molécula del DNA termina sobre la cabeza de una figura que representa a un ser humano, flanqueada por dos números en binario (en esta ocasión tumbados hacia la derecha). El de su derecha es un número muy grande, del orden de los 4.000 millones, que corresponde a la población humana el día en que se envió la señal. El de su izquierda indica la altura de la figura humana: 14. ¿Pero 14 qué? En ningún sitio se ha definido aún ninguna unidad de longitud ¿cuál deberá tomar la inteligencia que decodifique el mensaje? La única de la que puede echar mano es la propia longitud de onda de la señal. Vimos que su frecuencia de emisión era de 2.380 MHz. Como en una onda se cumple que su velocidad (en este caso, la de la luz) es igual al producto de su frecuencia por su longitud de onda, el lector puede fácilmente calcular que la longitud de onda es de 12,6 cm. Es decir, que la altura del ser humano del mensaje es 14 veces 12,6 cm: unos 176 cm.

Justo debajo del dibujo de la persona figura un esquema del Sistema Solar, con el Sol a la izquierda, dando la idea de que el quinto y sexto planeta (Júpiter y Saturno) son los más grandes, y que el tercero (la Tierra) tiene una especial importancia para nosotros. De hecho, el ser humano está justo sobre él. Por último está un dibujo

esquemático de la antena de Arecibo, emitiendo su señal, y bajo ella otro número binario (en esta ocasión tumbado hacia la izquierda), el 2.430, que indica el diámetro de la antena: $2.430 \times 12,6 \text{ cm} = 306 \text{ metros}$.

En definitiva, una enorme cantidad de información apretada en muy poco espacio, que presenta obvias dificultades de interpretación (no a todos se nos ocurrirían los pasos aquí explicados, ni queda claro cómo diferenciar lo que son números de lo que no lo son, ni sus arbitrarios cambios de dirección). Pero además hay en este mensaje asunciones implícitas que probablemente pasaron desapercibidas durante su elaboración. Por ejemplo, en el dibujo de la antena de Arecibo, entresacado en la siguiente imagen, queda claro a nuestros ojos que lo remarcado con un cuadrado es una línea en diagonal:



Pero ambas imágenes nos parecen equivalentes porque tenemos en nuestro córtex visual neuronas «identificallíneas» que, como ya vimos, no se dedican a otra cosa más que a encontrar de manera automática alineaciones. En realidad, ambas cosas son muy distintas, y la imagen de la izquierda no es más que un conjunto de cinco cuadrados negros dispuestos en una peculiar formación.

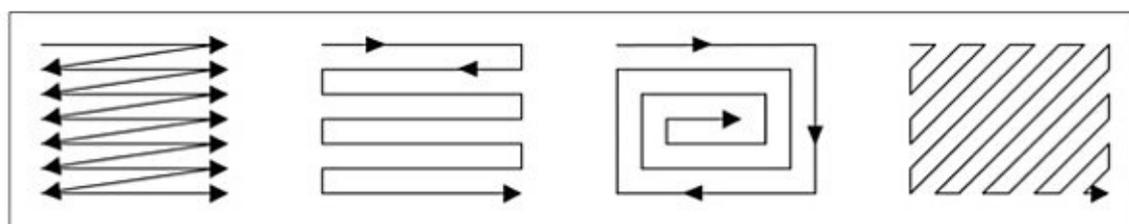
Otra asunción implícita está en la manera de reordenar los unos y ceros del mensaje. Para empezar, podríamos haber reordenado los 1.679 elementos en una matriz bidimensional 73×23 , en vez de en una 23×73 , con lo que habríamos obtenido una imagen como ésta:



Radiomensaje de Arecibo de 1974, reordenado.

que para nuestros ojos resulta ser un sin sentido (¿aunque quizá no para unos ojos alienígenas?). En realidad, este problema de elegir entre dos posibles reordenaciones se podría haber evitado fácilmente si el número de bits que se hubiera enviado hubiera sido el cuadrado de un único número primo, trabajando con una imagen cuadrada en vez de rectangular. Por ejemplo, sólo avanzando dos números naturales más se hubiera llegado al número 1.681, que resulta ser 41×41 .

Pero aun así, tanto en un caso como en otro, hemos asumido que los elementos se disponen rellenando ordenadamente de un lado a otro una fila, hasta que se llena, y luego continuamos en la siguiente en la misma dirección hasta que se vuelve a llenar, etc.; es decir, de forma análoga a como escribimos. Y aunque es cierto que ordenando así los elementos se simplifican mucho las cosas cuando trabajamos con índices y matrices en matemáticas o en programación, esa forma de ubicar píxeles en una imagen no deja de ser una mera asunción que se hace. Éste no tiene por qué ser el orden natural para otra civilización, sobre todo si no ha desarrollado matemáticas matriciales. Quizá para ellos resulte más lógico hacerlo en zigzag (como los textos antiguos en boustrophedón), o en espirales (como en el disco de Festo, por seguir con las analogías de textos escritos). O quizá, aunque tengan representaciones bidimensionales análogas a nuestras imágenes, no las representen dentro de estructuras rectangulares o cuadradas, sino quizá en círculos, triángulos, hexágonos, o quizá incluso en tres dimensiones...



Diferentes formas de emplazar píxeles en una imagen bidimensional rectangular.
A la izquierda, la usada en la codificación de la imagen de Arecibo.

Por si ello fuera poco, además, la civilización alienígena que detecte la señal deberá tener la suerte de recibirla toda de una sola vez, para tener alguna posibilidad de descifrarla. Por desgracia, el mensaje de Arecibo no se envió repetidamente (recordemos lo que vimos sobre las características que debería tener una señal de llamada), sino una única vez; con solo que se perdieran un simple bit de información, los receptores ya no contarían con la mágica cifra de 1.679 bits que les permitiría deducir que lo que han recibido es una imagen y comenzar el proceso de descifrado. Los habitantes de M13 van a tener que estar muy atentos dentro de 25.000 años.

En busca de un idioma común

Pese a sus defectos, el mensaje de Arecibo nos ha mostrado una de las claves que se debe tener en cuenta para obtener éxito en nuestros intentos de comunicación con otras inteligencias: el uso de números como base del mensaje. Como vimos cuando definimos el proceso de comunicación, para que sea posible un intercambio de información entre dos inteligencias, hay de contar con un código compartido por ambas partes. Un lenguaje común. Pero ¿es posible elaborar un lenguaje de intercambio con una civilización extraterrestre, completamente alienígena en absolutamente todos los aspectos? Hay científicos que creen que sí, si para ello se parte de bases comunes sobre las que desarrollar ese lenguaje. ¿Y qué podemos tener en común con ellos?

Por supuesto, la primera cosa que compartimos son las leyes naturales; tanto ellos como nosotros vivimos en el mismo Universo, y estamos sometidos a las mismas leyes de la naturaleza. Incluirlas de algún modo en la elaboración de un lenguaje de comunicación aumenta las probabilidades de que éste sea entendible (esta consideración ya aparecía, como hemos visto, en el mensaje de Arecibo, aunque de una forma bastante naïf). La otra es las matemáticas (y la lógica), gracias a su cualidad platónica de conocimiento universal. La razón entre el perímetro y el diámetro de una circunferencia es siempre el mismo número (π), sea cuál sea el tamaño de esa circunferencia. Y 41 es un número primo, independientemente de las culturas, ideologías o civilizaciones. Precisamente a través de la lógica y las matemáticas será como se elabore una estructura y gramática para ese lenguaje.

Y aquí es donde surge el primer *pero*. Porque si bien es obvio que los seres vivientes de todo el Universo estamos sometidos a las mismas leyes de la naturaleza, no queda tan claro que las civilizaciones extraterrestres compartan con nosotros las matemáticas. No ya los tipos de matemáticas que hacemos los humanos (geometría, análisis, álgebra...), sino el mero concepto de matemáticas en sí. Tal vez seamos la única especie inteligente del Universo que las ha desarrollado. Quizá la famosa universalidad de las matemáticas no sea más que un mito, después de todo.

De nuevo, la única guía que tenemos para estimar las posibilidades de que inteligencias extraterrestres posean algún tipo de matemáticas es volver los ojos a la vida animal de nuestro mundo. Por supuesto, no vamos a buscar en nuestros compañeros de planeta la posesión de ningún tipo de matemáticas en el sentido estricto (¿exceptuando quizá a los delfines?), sino ver cómo andan de fuertes en los conceptos fundamentales que son las bases con las que hemos construido las matemáticas: espacio, conjuntos, números, distancia...

Animales matemáticos

Y las perspectivas son alentadoras. Para empezar, muchos animales, al mostrarles dos montones distintos de comida, se dan cuenta de cuál es el más grande, y por supuesto van a comérselo. Tal vez esto le parezca al lector una obviedad, pero ha de tener en cuenta que la noción *mayor que* es un concepto matemático legítimo.

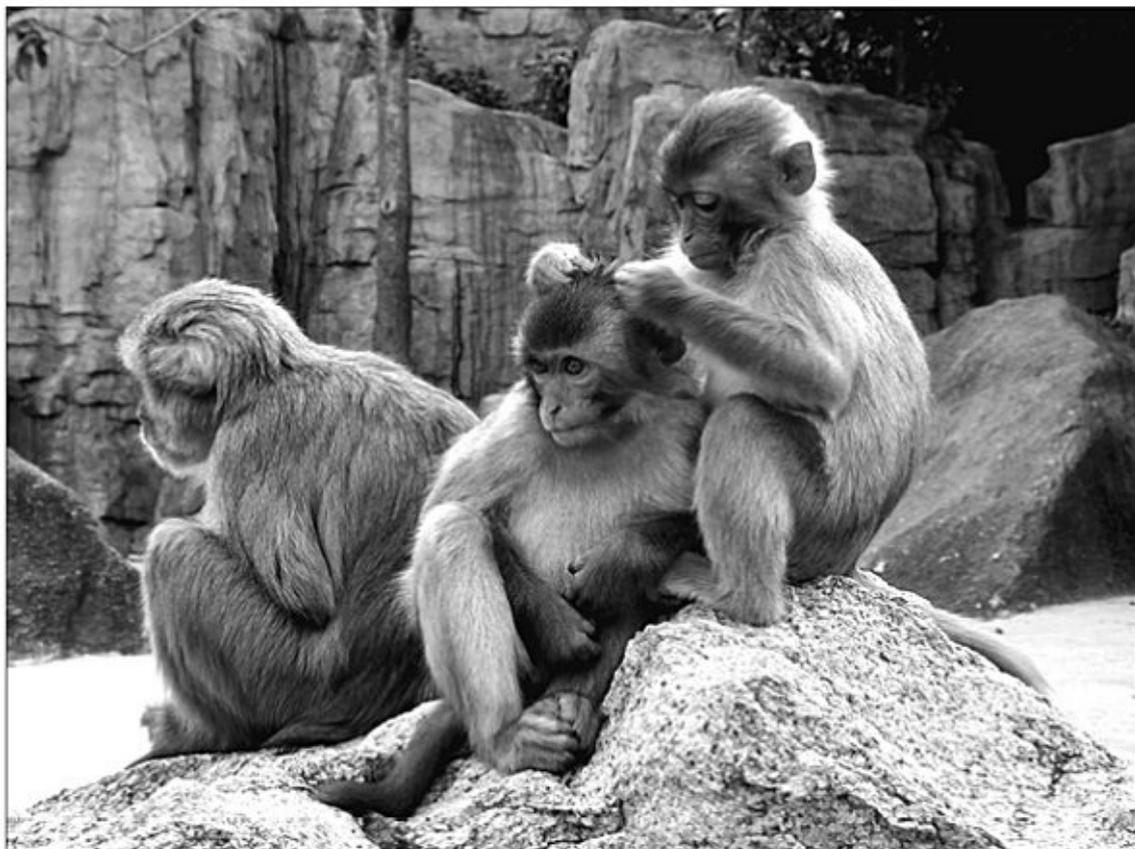
Más aún. En la naturaleza encontramos numerosos animales (roedores, monos, aves y un largo etcétera) que muestran poseer la habilidad aritmética más elemental: saben contar. Las gallinas saben cuántos huevos tiene su puesta. Y se puede entrenar a las ratas de laboratorio para que cuenten estímulos externos (como toques de silbato o destellos de luz) y que respondan tocando un pulsador sólo después de un número determinado de éstos. Es un resultado general de tales experimentos que estos animales contadores son capaces de discriminar con gran precisión entre cantidades pequeñas, si bien pierden esta habilidad cuando se enfrentan a cantidades grandes muy similares. Aunque si estas cantidades grandes son lo suficientemente distintas, consiguen distinguirlas. Así, en pruebas realizadas con palomas entrenadas para que picoteen un número determinado de veces a cambio de una recompensa, se ha visto que diferencian consistentemente 4 picotazos de 5 picotazos, pero fallan a la hora de discriminar entre 49 y 50; sin embargo, distinguen sin problemas 40 de 50.

Rizando más el rizo, encontramos animales que pueden efectuar operaciones elementales con números enteros a niveles sorprendentes. La chimpancé Sheba fue entrenada para que identificara correctamente cantidades enteras con ¡los caracteres arábigos numerales correspondientes! Es decir, que entendía perfectamente que por ejemplo el símbolo escrito 4 representaba la cantidad de cuatro objetos, cualesquiera que fueran. En un experimento se la dejó en una habitación donde había naranjas guardadas en dos lugares distintos. Sheba debía ir a ambos lugares, ver las naranjas que había en cada uno de ellos, y después indicar el numeral correspondiente a la suma de ambas cantidades. Lo que hizo correctamente en todas las ocasiones, demostrando que, además de contar, tiene la capacidad de sumar. Pero las habilidades de Sheba van más allá; se ha demostrado que incluso es capaz de sumar entre sí directamente caracteres numerales, es decir, que al mostrarle dos caracteres escritos (por ejemplo 3 y 2), señala consistentemente el numeral correspondiente a la suma (en este ejemplo, el 5). De todas formas, los chimpancés son los parientes más cercanos al hombre, y estos llamativos resultados se han conseguido tras un entrenamiento intensivo. ¿Qué encontraremos en parientes más lejanos que no hayan sido entrenados?

Para estudiar las capacidades de realizar operaciones matemáticas de los animales al natural, podemos echar mano de su perplejidad ante operaciones matemáticas erróneas. En un interesante experimento de los investigadores Hauser y Carey, a un

grupo de macacos salvajes se les mostraba dos berenjenas (unos objetos que resultaban novedosos e interesantes para ellos) que luego se ponían sobre una plataforma tapadas por una pantalla. Después se retiraba la pantalla y en algunos casos se les mostraba las dos berenjenas, mientras que en otros se les mostraba sólo una berenjena (la otra se había escamoteado de detrás de la pantalla), o tres (se había añadido a escondidas otra). En las ocasiones en que aparecía un número erróneo de berenjenas en la plataforma, los monos mostraban extrañeza y el tiempo en que se quedaban mirando con perplejidad la plataforma era mucho mayor que en el caso en que el número de berenjenas era el correcto. Es decir, se daban cuenta de que $1 + 1$ debe ser igual a 2.

El experimento se repitió también con la sustracción: tras mostrarles dos berenjenas y ponerlas tras la pantalla, se extraía después de detrás de la pantalla una de ellas de manera ostentosa. En las ocasiones en que al retirar la pantalla había dos berenjenas, el tiempo de observación fue de nuevo mucho mayor que en el caso en que había el número correcto de berenjenas (o sea, una). Es decir, que estos macacos salvajes se daban también cuenta de que el resultado correcto de la operación $2 - 1$ debía ser 1. Este tipo de experimentos se ha repetido con idénticos resultados con los tamarinos, unos pequeños monos del nuevo mundo emparentado con los titís, mucho más alejados genéticamente de nosotros.



Grupo de macacos acicalándose: unos parientes cercanos con sorprendentes habilidades aritméticas.

Matemáticas y Darwin

En resumen, numerosos animales manifiestan, tanto en pruebas de laboratorio como en su comportamiento natural, las habilidades aritméticas más básicas (contar, sumar y restar). Esta convergencia evolutiva entre especies tan diversas indica que existe una presión selectiva a favor de la adquisición de esas capacidades matemáticas elementales. Y es que, de hecho, saber contar, sumar y restar ofrece una clara ventaja a la especie que sabe hacerlo. Un simple ejemplo basta para darnos cuenta. Imaginemos esta escena: un animal de regreso a su madriguera ve entrar en ella una manada de cuatro lobos. Ante esta amenaza se quedará fuera, expectante a que los depredadores se marchen. Según vayan saliendo éstos, si el animal posee habilidades aritméticas, en su cerebro se dará un proceso análogo al siguiente: «Bueno, han entrado cuatro y ahora sale uno, ya quedan tres. ¡Ah, ahora sale otro!, todavía quedan dos. Otro más sale ¡ya sólo queda uno! ¡Bien!, ahí sale otro más, el último. Ya no queda ninguno, puedo entrar en mi madriguera». Mientras que si no las posee, el proceso será más bien algo como: «Bueno, ha entrado un grupo de lobos. ¡Ahora sale uno! Esperemos un poco más. ¡Ahí sale otro! vale, ya quedan menos. ¡Otro más sale! Bueno, pues yo creo que ya se han ido todos. Voy a entrar a mi madriguera», con el trágico desenlace que todos imaginamos. De esta forma, se selecciona la supervivencia de los animales con capacidad para contar, sumar y restar.

En cuanto a otros conceptos físico-matemáticos básicos como el espacio, la distancia o la noción de *mayor o menor que*, cualquier animal que posea un análogo mental de estos conceptos tendrá una obvia ventaja frente a los que no lo posean, por ejemplo a la hora de anticiparse un depredador al movimiento de su presa (o viceversa), elegir la fruta que proporcione más alimento o calcular distancias en un salto arriesgado. La existencia de esta presión selectiva, y la consecuente convergencia evolutiva que produce en distintos animales, es un fuerte respaldo a que conceptos matemáticos similares existan en la mente de seres extraterrestres inteligentes, y apoya el uso de las matemáticas para la elaboración de un lenguaje de comunicación.

Pero si los beneficios de la aritmética elemental son evidentes, no todos los conceptos matemáticos proporcionan ventajas selectivas, por lo que la probabilidad de que compartamos con otros animales o con inteligencias extraterrestres otras nociones matemáticas es menor. Por ejemplo, los humanos sabemos contar, sumar y restar pequeñas cantidades prácticamente de forma innata, pero nos vemos obligados a memorizar las tablas de multiplicar, debido a que no ha habido ninguna presión selectiva que favorezca poseer esa habilidad. Por ese motivo, la capacidad de multiplicar números tenemos que construirla posteriormente a partir de las otras bases matemáticas que sí poseemos.

Es relevante contar aquí un interesante resultado obtenido mediante algoritmos genéticos. Un algoritmo genético es un programa de ordenador cuyo funcionamiento se optimiza a partir de un proceso de «selección darwiniana» análogo al que se produce en la naturaleza. El programa se ve enfrentado a un problema, a partir del cual produce una respuesta. El programa crea programas hijo, copias de sí mismo, pero con ligeras modificaciones, introducidas al azar aquí o allá, para simular los procesos de mutaciones aleatorias que sufre el DNA de los seres vivos. Estos hijos se ven sometidos de nuevo ante el problema y producen su propia respuesta. Los que dan una respuesta más alejada de la esperada son borrados y sólo quedan los más óptimos, que serán los padres de la siguiente generación, y así sucesivamente. Cada vez, los programas de generaciones sucesivas se acercan más y más a un resultado ideal, como consecuencia de este proceso de selección darwiniana. En el caso que nos interesa, un programa de ordenador escrito por John R. Koza, de la Universidad de Stanford, se vio enfrentado a datos reales de coordenadas celestes de planetas en distintas épocas. La respuesta que se le pedía era una fórmula matemática que los predijera correctamente. Por supuesto, la primera fórmula generada no tenía pies ni cabeza. La siguiente generación producía fórmulas que eran una modificación al azar de la del programa padre, por ejemplo un x^2 en el programa progenitor podía ser un x^3 en uno de los programas hijo, o un $(x + 1)^2$ en otro. De todos los programas hijo, sólo sobrevivían los que predecían algo mejor las posiciones orbitales, y pasaban a ser padres de la generación siguiente. En apenas una cincuentena de generaciones, se llegó a obtener un programa de ordenador cuyo resultado era exactamente la tercera ley de Kepler, escrita además según el formalismo de Newton.

¿Qué podemos concluir de esto? Que si en nuestra especie hubiera habido una presión selectiva para predecir las posiciones planetarias, si a lo largo de generaciones nos hubiera ido literalmente la vida en ello, seguramente contaríamos en la actualidad con las leyes de Kepler implementadas en nuestro cerebro de forma innata, de igual manera que contamos con la capacidad de sumar y restar. En resumen, que tal vez las matemáticas alienígenas compartan con nosotros la aritmética de números enteros, pero poca cosa más. Una conclusión que recuerda lo que defienden los matemáticos finitistas, de que el único conocimiento matemático válido es el que se puede deducir a partir de los números enteros. El matemático alemán Leopold Kronecker, cabeza de este movimiento, llegó incluso a decir que «los números naturales son cosa de Dios. El resto, es un invento humano».

Una lengua cósmica

Nuestra exploración de las habilidades matemáticas de los animales parece justificar que una civilización capaz de desarrollar radiotelescopios deba tener algún tipo de matemáticas. Quizá distintas de las nuestras, pero matemáticas al fin y al cabo, por lo que resulta una buena opción basar un lenguaje de comunicación interestelar en ellas. De hecho, posiblemente sea la única opción.

Usando este enfoque se han realizado varios intentos, el más prometedor de los cuales es Lincos, acrónimo de la expresión latina *lingua cosmica*, un lenguaje de comunicación interestelar que fue creado en 1960 por el matemático alemán Hans Freudenthal, y publicado en su libro *Lincos; design of a language for cosmic intercourse*. Lincos es en realidad una expansión de otro «idioma cósmico» anterior llamado astraglossa, inventado en 1953 por el matemático británico Lancelot Hogben. Astraglossa era un lenguaje formal diseñado para enseñar matemáticas a los hipotéticos alienígenas. Lincos en cambio es un lenguaje más rico y potente, con el cual incluso se pueden comunicar conceptos no matemáticos complejos.

Los fonemas de Lincos son señales de radio (o radioglifos, siguiendo la nomenclatura de Hogben): distintos «pitidos» con diferentes significados, los cuales deben ser deducidos por el receptor. La estructura de Lincos está diseñada de tal manera que sea una lengua que se enseña a sí misma. Y como el movimiento se demuestra andando, ¿qué mejor que aprender a chapurrear un poco de Lincos por nosotros mismos? Así que desempolvemos nuestro radiotelescopio, sintonicémoslo en la frecuencia adecuada y conectémoslo a un reproductor de radio para poder escuchar las lecciones del curso «aprenda Lincos en diez minutos».

La primera lección que recibiríamos en nuestro receptor sería la siguiente:

. .. * .. ** .. *** .. **** .. ***** .. * .. ** .. *** .. **** .. ***** ..

donde el símbolo · representa en realidad un «bip» elemental de radio, y los espacios en blanco, pausas. El tiempo avanzaría hacia la derecha, en el sentido de la lectura. Es decir, en nuestra radio esa señal sonaría como: bip, bipbip, bipbipbip, bipbipbipbip... Con poco esfuerzo, conseguiremos deducir que el contenido de la primera lección son los números naturales del 1 al 9. Es decir, esas señales «bip» representan números naturales, lo que por cierto se asemeja enormemente a la señal que Nicolas Tesla creía haber recibido de Marte.

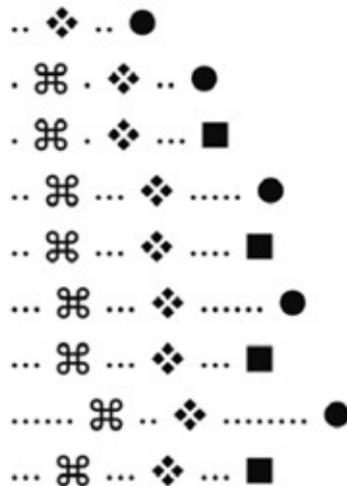
Una vez entendemos esto, llega la segunda lección de Lincos. Suena así:

. ☞ . ❖ ☞ ... ❖ ☞ ❖

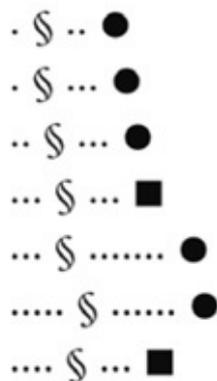
En esta ocasión, lo que hemos representado por ☞ y por ❖ son dos nuevos tipos de pitidos de radio, que quizá suenen en nuestro receptor como «mooc» y «crack» respectivamente. Es decir, la primera frase de esta segunda lección de Lincos sería

algo como «pip mooc pip crack pip pip». Para asegurar la comprensión de estas nuevas señales de radio, se hace necesario el envío de varios ejemplos, como se ha hecho aquí. Esta lección es un poco más difícil, pero merece la pena que el lector, antes de seguir leyendo, intente deducir el significado por sí mismo.

¿Lo ha conseguido? ¿Ha visto la relación? Si la intuición ha estado de su parte, habrá deducido que el radioglifo ⌘ representa la suma, o sea el signo +, y el radioglifo ⋄ significa «igual a», es decir el signo =. Por tanto hemos aprendido ya dos nuevas palabras de Lincos. Pruebe ahora con la siguiente lección, e intente deducir el significado de otros dos nuevos radioglifos que aquí le presento. Tómese su tiempo:

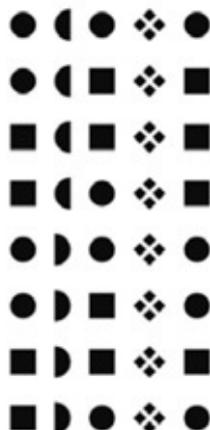


¿Ya? Bien, partiendo de lo que ya hemos aprendido en la lección anterior, y usando simple lógica, se puede concluir fácilmente que estas dos nuevas «palabras» de Lincos, ● y ■ , significan respectivamente los conceptos *verdadero* y *falso* (o *correcto* y *erróneo*). Una vez disponemos de estos dos conceptos, se puede enriquecer la conversación y resulta más fácil incluir nuevos conceptos, como en el ejemplo que sigue:



En este caso, contando con los conceptos de verdadero y falso, con un poco de

esfuerzo, se puede deducir que el nuevo radioglifo § representa el concepto *menor que*. Terminaremos el curso con una última lección, en este caso puramente del campo de la lógica, introduciendo otras dos nuevas palabras de Lincos:



La solución, por supuesto, es que ◐ y ◑ representan respectivamente a las conjunciones *y* y *o*. Éste es el esquema propuesto por Freudenthal en su libro. Con sucesivas lecciones se introducen más definiciones, hasta que al final del libro se consigue un vocabulario tan completo que sirve para comunicar, no sólo conceptos matemáticos, sino cualquier tipo de información.

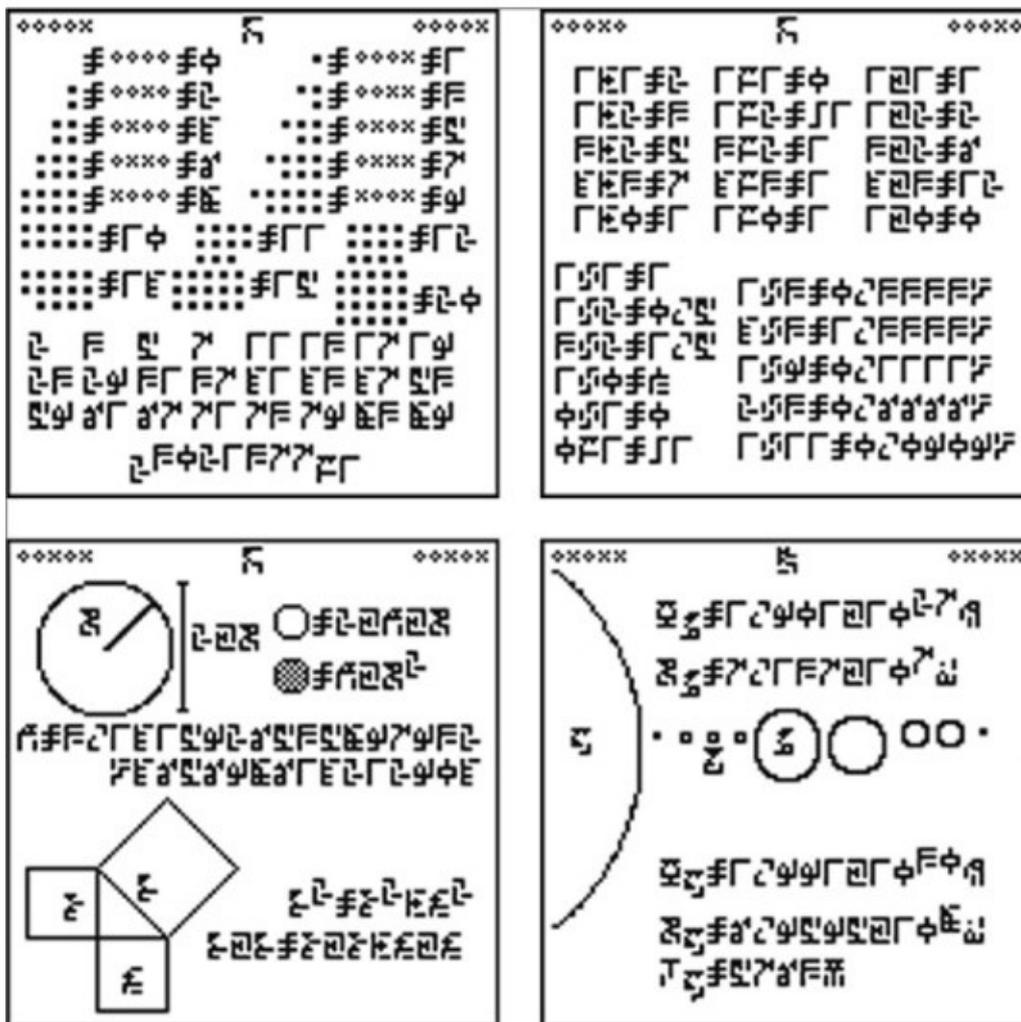
Sin embargo, el proceso es lento. Debido a que Freudenthal asume tan pocas cosas como punto de partida, es necesario comunicar un montón de información sobre el lenguaje y su funcionamiento antes de poder comenzar a comunicar información interesante. Para acelerar el proceso, el matemático Carl DeVito, junto al lingüista Richard Oehrle, pensaron en basar más el lenguaje en ciencia fundamental, a fin de dar un contexto en el que insertar las definiciones matemáticas de Lincos. Presentaron estas ideas en su artículo de 1990, «A language based on the fundamental facts of science». Asumieron como hechos científicos fundamentales que debería conocer cualquier civilización de constructores de radiotelescopios, saber contar, comprender los elementos químicos, conocer los puntos de fusión y ebullición de diferentes sustancias puras y las propiedades del estado gaseoso. Apoyándose en este presunto conocimiento común, es posible acelerar el proceso de aprendizaje del lenguaje y comunicar más pronto la información interesante. A partir de ello, desarrollaron su lenguaje de comunicación, una modificación de Lincos que me tomaré la licencia de llamar Lincos 2.0, dado que DeVito y Oehrle no bautizaron su lenguaje.

Otros trabajos en comunicación interestelar han surgido a raíz de Lincos. Mencionaré aquí los dos más interesantes. El primero es un concepto ciertamente novedoso, nacido de la capacidad computacional de los ordenadores. Se trata del envío de mensajes algorítmicos y lenguajes computables. La idea es mandar un algoritmo (un programa) cuya ejecución por parte de los receptores resulte en la

enseñanza de conocimientos sobre nuestro mundo, y que les permita un nivel de interacción que sería imposible si la comunicación se basara únicamente en el intercambio de mensajes pasivos entre ellos y nosotros (dadas las distancias y tiempos que nos separan). Este es el caso del *CosmicOS* del ingeniero Paul Fitzpatrick del MIT. Por supuesto, este enfoque sumamente imaginativo asume, sin embargo, que la civilización receptora tiene que poseer capacidad computacional; para entender el mensaje, deben haber desarrollado algún equivalente a nuestros ordenadores, algo que nosotros tenemos desde hace sólo ocho décadas.

El otro es el desarrollo de «Lincos» visuales a la Arecibo, es decir, enviar imágenes por radio de una forma similar a la del mensaje de Arecibo, pero cuyo contenido sea una especie de lenguaje autodeducible como Lincos (solo que con caracteres escritos en lugar de radioglifos), que incluya también imágenes. Ésta es precisamente la opción que se eligió para la novela de Carl Sagan y posterior película *Contact*, donde dentro del mensaje de radio estaba encriptado, hoja tras hoja, todo un libro con símbolos, imágenes, diagramas y gráficos (las primeras lecciones tenían un asombroso parecido a las de nuestro curso de Lincos). Mensajes similares se han elaborado aquí y enviado ya a las estrellas. En 1999, se envió desde la antena de espacio profundo de Evpatoria (Ucrania) un mensaje, bautizado como *Cosmic Call*, dirigido a cuatro estrellas tipo Sol. El mensaje consistió en la emisión de 23 secuencias de radio, cada una de las cuales estaba formada por 16.129 pulsos. Todo el mensaje se transmitió tres veces a cada una de estas estrellas, durante un período de tres horas. En el 2003 se volvió a enviar el mismo mensaje (con pequeñas modificaciones) a otras cinco estrellas.

Al ver la curiosa cifra de 16.129, el lector atento inmediatamente se habrá preguntado si por medio anda algún número primo, y la respuesta en efecto es positiva. 16.129 es igual a 127×127 , por tanto cada una de esas secuencias es en realidad una imagen cuadrada de 127×127 píxeles, es decir, una página del mensaje. Cuando estos pulsos se reordenan de forma similar a como se hizo con el mensaje de Arecibo, obtenemos páginas como éstas:



Páginas 1, 2, 5 y 11 del Cosmic Call de 1999. Cortesía de Yvan Dutil y Stephane Dumas.

Cada una de estas páginas se halla rodeada por un marco negro que aparece sólo si se ha decodificado correctamente. Como vemos, las primeras páginas son lecciones básicas de aritmética, y posteriormente se introducen conceptos más elaborados, como el teorema de Pitágoras o la forma del Sistema Solar. Por supuesto, los inconvenientes que tiene esta forma de enviar información son los mismos que tenía el mensaje de Arecibo: existen diferentes maneras de reordenar 16.129 elementos en una matriz 127×127 ; y atribuye además a los receptores del mensaje unas aptitudes visuales equivalentes a las nuestras.

Lincos, en cambio, no presupone ningún requisito sobre cómo percibe el mundo el receptor o sobre cuáles deben ser sus sentidos. Tan sólo que sean capaces de detectar ondas de radio con sus propios sensores, los cuales ya habrán diseñado ellos para sus sentidos. Tampoco existe ningún problema sobre cómo hay que ordenar los datos de la señal, pues su ordenación la da simplemente el orden temporal en que se reciben los diferentes radioglifos. Esta «universalidad» de Lincos frente a todos los demás medios de comunicación interestelar inventados predispone a los científicos a creer que si en alguna ocasión se recibe algún mensaje de nuestros vecinos galácticos,

será algo análogo a Lincos.

Aun así, pese a ser un lenguaje lógico y fácilmente deducible, hay todavía una cuestión que destempla las espaldas a los que creemos factible la comunicación interestelar, y que enlaza con el tema con que abríamos este capítulo. Porque de nuevo topamos con que Lincos contiene una asunción implícita: a cada radioglifo se asocia un significado, algunos de ellos completamente abstractos; es por tanto un lenguaje simbólico. ¿Será Lincos entendible por una inteligencia que no tenga lenguaje simbólico? Aunque por otra parte ¿es posible una civilización tecnológica de seres inteligentes constructores de radiotelescopios y que no posean lenguaje simbólico?

En todo caso, aunque exista una incomprensión fundamental entre nuestra inteligencia y las inteligencias alienígenas, la mera detección de cualquier señal proveniente de una civilización extraterrestre, por indescifrable que fuera, será suficiente revulsivo para trastocar completamente nuestra sociedad y nuestra escala de valores, pues demostraría que no somos los únicos, que no somos la única posibilidad que tiene el Universo de conocerse a sí mismo, que hay alguien más.

EPÍLOGO

¿PERO REALMENTE HAY ALGUIEN?

EL GRAN SILENCIO

... ¿Pero realmente hay alguien más? Y si lo hay, ¿por qué todavía no sabemos nada de ellos? Esta cuestión de apariencia trivial no es tan fácil de responder como parece. Se la conoce con el nombre de la paradoja de Fermi, o también como el Gran Silencio. Su formulación más habitual suele ser una sencilla pregunta que en el verano de 1950 hizo el conocido físico italiano Enrico Fermi. En aquella ocasión, realizaba una de sus habituales visitas al Laboratorio Nacional de Los Álamos (Nuevo México). Durante una comida en la cafetería, conversaba con sus compañeros de mesa, los físicos del proyecto Manhattan, Edward Teller, Herbert York y Emil Konopinski, sobre civilizaciones extraterrestres y viajes interestelares. Es bien conocida la habilidad que tenía Fermi para realizar buenas estimaciones numéricas a partir de pocos datos. Así que realizó unos cálculos rápidos durante la comida, y les planteó a sus compañeros la pregunta: «¿dónde está todo el mundo?».

¿Pero por qué esta pregunta es una paradoja? Para empezar, porque la vida tiende de forma natural a expandirse. De lo contrario, se extinguiría. Supongamos una especie que produce cada generación un número de descendientes menor que el de progenitores. Por ejemplo, que por cada pareja nazca un promedio de 1,5 hijos. Las matemáticas más elementales nos muestran que para esta especie, cada ocho generaciones, su población se habrá reducido al 10%. Así, si partimos de una población inicial de un millón de ejemplares, al cabo de 48 generaciones, sólo quedará un ejemplar. Es decir, producir menos descendientes que progenitores acarrea la extinción de la especie por un motivo meramente matemático, con independencia de lo bien adaptada que esté a su medio. ¿Y si la especie produce exactamente el mismo número de descendientes que de progenitores?, es decir, si por cada pareja tenemos de media exactamente dos hijos. Pues de nuevo la extinción es el destino que espera a esa especie, porque tener dos hijos por pareja no asegura que esos hijos lleguen necesariamente a la edad adulta y tengan a su vez descendencia. Hay depredadores que cazarán algunas de esas crías, o se producirán los inevitables accidentes que harán que alguna muera antes de llegar a la edad adulta, por lo que con el tiempo, en cada generación alcanzarán la edad adulta cada vez menos ejemplares y al final la especie acabará desapareciendo. Por tanto, la única estrategia que no está condenada al fracaso de antemano es tener en cada generación muchos más hijos que progenitores. Que es de hecho la estrategia que siguen *todas* las especies de seres vivos en la Tierra. Las que por cualquier motivo no la siguieron, hace tiempo que han desaparecido. Nosotros mismos nos hemos expandido por todo el planeta y la población humana es cada vez más numerosa. Está completamente justificado, por tanto, suponer que la misma estrategia de sobreproducción de descendientes está siendo seguida por los seres vivos en todo el Universo, estén donde estén.

¿Y con eso qué? Bueno, si en algún momento dado, una especie inteligente consigue dominar los viajes interestelares de forma eficaz y salvar el abismo entre sistemas solares, debido a esta tendencia innata a la expansión, comenzará (con extrema lentitud, sin duda) a colonizar los nuevos mundos que vaya descubriendo. Estos nuevos mundos, una vez consolidados, pueden ser a su vez el foco de nuevas expediciones de colonización. Por ejemplo, si del planeta madre parten dos expediciones colonizadoras, y con el tiempo de cada una de esas dos colonias hijas salen otras dos nuevas expediciones que fundan cuatro nuevas colonias, las cuales a su vez, cuando se consoliden, volverán a enviar nuevas expediciones, etc., la progresión de sistemas estelares habitados tras cada oleada colonizadora será: 1 3 7 15 31... Al cabo de sólo 36 oleadas de colonización, el número de sistemas colonizados sería de más de cien mil millones. Es decir, aproximadamente igual al de estrellas que hay en nuestra Galaxia. En esta estimación hemos considerado que las expediciones colonizadoras sólo parten de los últimos sistemas recién colonizados, y en número de dos expediciones por cada sistema. Pero si dejáramos que los sistemas más antiguos pudieran seguir enviando nuevos colonos y que las expediciones mandadas fueran más de dos cada vez, esa misma cifra se podría haber alcanzado mucho antes, con menos oleadas de colonización.



Representación artística de un proceso de colonización galáctica por una civilización con viajes interestelares, tras cinco oleadas de colonización. En un círculo, el sistema solar del planeta madre.

¿Cuánto podría tardar este proceso de colonización en ocupar toda la Galaxia? Hagamos unos cuantos cálculos. Desde un punto de vista tecnológico, no parece

difícil conseguir que una nave espacial alcance velocidades del orden del 10% de la luz, es decir, que tarde unos 100 años en recorrer una distancia de 10 años luz, con lo que se podría llegar a las estrellas más cercanas (que se encuentran en números redondos a unos 5 años luz) tras un viaje de unos 50 años. A esas velocidades, la dilatación relativista del tiempo no ayuda a hacer el viaje más corto. A los viajeros, un viaje de 50 años les parecerá que dura *sólo* 49 años y 9 meses.

Una vez en el nuevo sistema estelar, costará mucho tiempo que la colonia se asiente y prolifere, ya que deberá vencer numerosas dificultades antes de sentirse como en casa. Seamos generosos y démosle a cada colonia 5.000 años para consolidarse, antes de que sea capaz de enviar nuevos colonos a otros sistemas. Con esas cifras, es fácil calcular que cada 25.000 años las colonias se esparzan por un entorno de unos 50 años luz. Como el diámetro de nuestra Galaxia es de unos 100.000 años luz, la civilización colonizadora tardaría en cubrir toda la Galaxia unos 50 millones de años. Una enorme cantidad de tiempo. Casi mil veces la historia de nuestra especie.

Pero la Galaxia es un sitio de números mayúsculos. La edad de nuestra Galaxia es de unos 13.600 millones de años, casi 300 veces más que el tiempo necesario para completar este proceso de colonización. Y aunque las primeras generaciones de estrellas eran de baja metalicidad, con sistemas planetarios formados por simples bolas de gas, se estima no obstante que existen planetas rocosos similares al nuestro desde hace al menos 9.000 millones de años. La Tierra, con sus 4.500 millones de años, casi se podría decir que es una recién llegada. Si tenemos en cuenta la rapidez con que surgió la vida en la Tierra, es razonable concluir que deben de haber existido civilizaciones en la Galaxia desde hace *miles* de millones de años. Las civilizaciones viajeras más antiguas han tenido tiempo de sobra para alcanzarnos, de hecho, varias veces. Por tanto ¿dónde está todo el mundo?

Tal fue más o menos el razonamiento de Enrico Fermi durante aquella comida en Los Álamos. Desde entonces, intentar solucionar la paradoja se ha convertido en un punto de referencia habitual entre los científicos de SETI y los astrobiólogos, y son numerosos los intentos que se han realizado para responderla. Las múltiples soluciones buscadas se dividen básicamente en dos grupos: las que alegan que no existen otras civilizaciones tecnológicas, y las que defienden que sí, pero que aún no hemos visto los signos de su existencia. Veamos aquí un rápido repaso a los diferentes intentos de resolución de la paradoja de Fermi.

Algunas soluciones

Dentro del primer grupo de soluciones se engloba el enfoque de la «Tierra Rara» que ya vimos en el primer capítulo: el principio de mediocridad es falso; la Tierra es en realidad una rareza extrema y no existe vida en ningún otro lugar del Universo. O alternativamente: aunque quizá la vida unicelular pueda ser más o menos común en el Universo, nuestro planeta es sin embargo un caso único donde sólo un enorme cúmulo de coincidencias ha podido llevar al desarrollo de vida compleja. Como vimos en aquel capítulo, en la Tierra el paso a la vida pluricelular tardó bastante en darse.

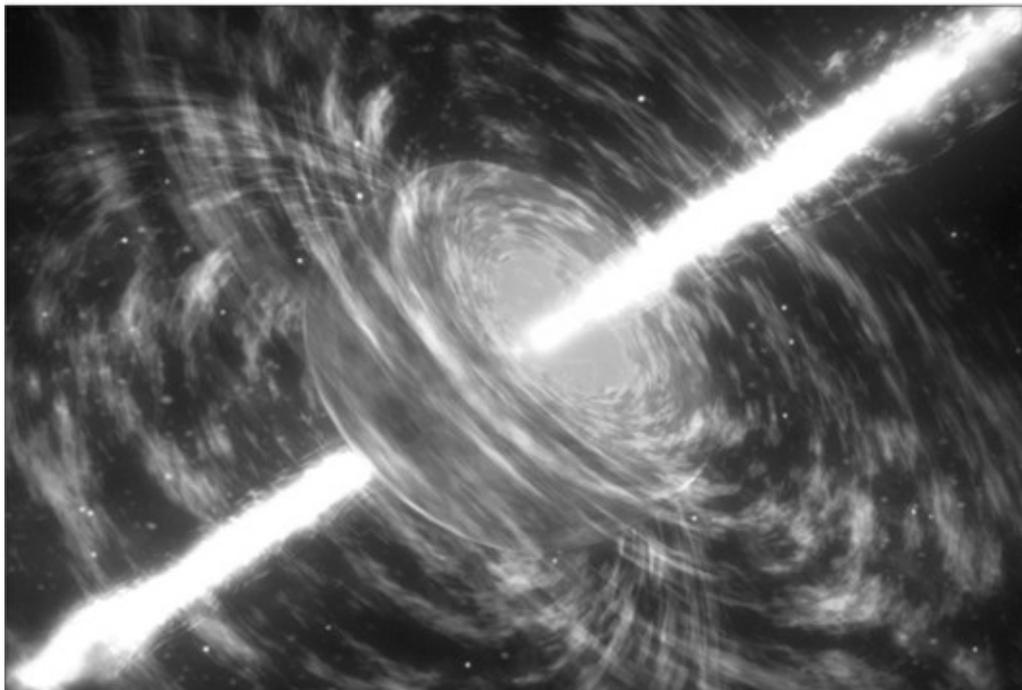
Otra solución diferente, pero que produce un resultado equivalente, es la que defiende que tal vez sí abunde la vida, y quizá haya incluso vida compleja, pluricelular, en otros mundos, pero ésta no ha desarrollado inteligencia. A fin de cuentas, la inteligencia no parece ser un imperativo de la evolución; a lo largo de los 670 millones de años de historia de los animales pluricelulares, la vida en la Tierra se las ha arreglado bastante bien sin ella (al menos, a los niveles a los que acostumbramos los *homo sapiens*). Además, parece imprescindible tener el equivalente de un sistema neuronal para desarrollarla. No parece posible que la vida vegetal terrestre, pese a tratarse de organismos complejos, acabe desarrollando ningún órgano que se asemeje a un cerebro por muchos millones de años que pasen. Por tanto, según ambas soluciones, nuestro mundo es el único rincón en el Universo donde la materia se ha vuelto consciente de sí misma y ha comenzado a comprenderse.

Similar, aunque con matices, es la solución que afirma que no hay nada especial en la Tierra sino que, simplemente, nosotros hemos sido los primeros. Al fin y al cabo alguna civilización tenía que ser la primera en surgir. Aunque si es así, ¿por qué ha sucedido tan tarde, después de 9.000 millones de años de existencia de planetas tipo Tierra? Una explicación es que sólo después de tanto tiempo es cuando ha comenzado a ser posible la existencia de vida pluricelular en la Galaxia. El enorme tiempo que transcurrió en nuestro planeta desde la aparición de la vida a la aparición de los pluricelulares no se debió a que, de por sí, esta transición fuera difícil, sino a que procesos masivos de extinciones a escala galáctica impidieron que la transición se diera, al menos hasta hace unos 1.000 millones de años. ¿Pero existen de verdad procesos galácticos que puedan producir esas extinciones?

El dedo de la ciencia acusa como principal sospechoso a un extraño fenómeno conocido con el nombre de estallidos de rayos gamma (o *gamma ray bursts*, GRB por sus siglas inglesas). Se trata de unas misteriosas erupciones de radiación gamma de gran intensidad y muy corta duración (desde pocos minutos en el caso de los más breves hasta algunas horas), cuyo origen todavía no está claro. Su descubrimiento puso una nota tragicómica a la Guerra Fría: durante los años 60, Estados Unidos había colocado en órbita un conjunto de satélites (la serie Vela), con el fin de detectar

los rayos gamma producidos por posibles pruebas nucleares que se estuvieran realizando en territorio de la Unión Soviética y que violaran los acuerdos firmados. Efectivamente, se detectaron señales de rayos gamma pero, para sorpresa de los militares, procedían no de la Unión Soviética sino del espacio. Tras el susto mayúsculo (pues se pensó que los soviéticos estaban detonando bombas nucleares en el espacio), los científicos se dieron cuenta de que se trataba en realidad de un fenómeno astronómico. Pese a ello, la existencia de los GRB constituyó un secreto militar hasta 1973.

Durante décadas se han estado estudiando estos estallidos a fin de determinar su procedencia. Hoy día sabemos que tienen un origen cósmico: los telescopios actuales los han visto en acción en el interior de galaxias completamente normales, y los últimos datos llevan a creer que se trata de una especie de hipernovas, superno-vas increíblemente intensas (al menos 100 veces más que las supernovas estándar) producidas por el colapso de estrellas enormemente masivas. Estos estallidos de rayos gamma son tan violentos que pueden arrasar completamente los planetas de la galaxia que los aloja (para ser más precisos, la mitad del planeta que mira hacia el GRB), con la consiguiente catástrofe ecológica que supondría. De forma que sólo los organismos más sencillos consiguen sobrevivir, y se impide que se dé el paso a una vida pluricelular. Con el tiempo, el ritmo de estallidos de rayos gamma va decreciendo, al ir desapareciendo las estrellas supermasivas que los producen (la formación de este tipo de estrellas fue mayor durante la juventud de la Galaxia), hasta que finalmente el tiempo entre dos estallidos consecutivos ha sido lo bastante alto para permitir que surja la vida compleja.



Representación artística de un estallido de rayos gamma o RGB, unas explosiones cósmicas increíblemente intensas que tal vez sean responsables de extinciones masivas a escala galáctica. Cortesía de NASA/SkyWorks Digital.

Por otra parte, tal vez no seamos los primeros seres inteligentes de la Galaxia, pero sí los primeros (o los únicos) que han desarrollado una civilización tecnológica. Quizá el verdadero cuello de botella está en realidad en el desarrollo de la tecnología. Tal vez, de todos los seres inteligentes que tiene la Galaxia, nosotros hemos sido los únicos que a la vez cuentan con capacidad instrumental y con un lenguaje simbólico desarrollado. O puede que sólo nuestro tipo de matemáticas haya permitido el desarrollo tecnológico necesario para construir naves espaciales y radiotelescopios (aunque no está claro por qué ninguna de estas dos cosas debería ser así). O tal vez el motivo sea más básico: sólo en nuestro mundo se ha conquistado el fuego, un paso previo que muchos creen indispensable para el inicio de una civilización tecnológica, porque sólo aquí se han dado a la vez dos fenómenos: que la vida compleja haya conquistado la tierra firme y que se haya desarrollado una atmósfera de oxígeno.

Por último, entre las soluciones del grupo «no hay otras civilizaciones tecnológicas», está la que el propio Fermi propuso: las civilizaciones, al alcanzar cierto nivel tecnológico, se autodestruyen. Su propio éxito es su perdición. Es decir, ha habido otras civilizaciones tecnológicas, pero ya no existen, han desaparecido antes de conquistar el vuelo interestelar. En la actualidad, sólo queda la nuestra, y el reloj está contando. Recordemos que Fermi planteó la paradoja en plena Guerra Fría, con su escalada armamentística. Él mismo había participado en el proyecto Manhattan, que produjo la primera bomba atómica. La potencia de estos artefactos, y la posibilidad de una guerra nuclear, justificaba sobradamente esta posibilidad. Sin embargo, no es necesario llegar a una guerra nuclear para que se dé este escenario.

Por desgracia, hay otras causas que pueden provocar que una civilización se autodestruya, como por ejemplo pandemias debidas a la superpoblación, o la destrucción y agotamiento de los recursos naturales (también por la superpoblación). Además, el propio desarrollo tecnológico pone cada vez más poder a disposición de un único sujeto. Cada vez son más frecuentes los casos de jóvenes que crean un virus informático que causa importantes pérdidas económicas. Y hoy día no es tan descabellado que un individuo pueda poseer incluso una bomba atómica o un arma biológica especialmente peligrosa. Si esta progresión continúa, podría ocurrir que un demente tenga en su poder potencia suficiente para acabar con toda la civilización, como se ilustra en la película *Doce monos* (la ciencia ficción es una fuente inagotable de soluciones a la paradoja de Fermi). Si el ritmo de producción de civilizaciones no es muy alto y si su vida media al disponer de alta tecnología es breve, la respuesta puede ser el silencio que observamos.

Pero hay soluciones a la paradoja más optimistas. Dentro del segundo grupo de soluciones, «hay otras civilizaciones pero no sabemos de ellas», la más sencilla dice que, simplemente, las civilizaciones tecnológicas de la Galaxia no son colonizadoras. Nosotros somos la excepción. Aunque es una solución difícil de creer, porque como hemos visto, toda forma de vida se expande, es una estrategia para la supervivencia de la especie. Además, esta solución presenta otro tipo de problema, al que llamaré el problema de la uniformidad (es un problema que se da de hecho en muchas soluciones a la paradoja de Fermi): absolutamente *todas* las civilizaciones de la Galaxia se deberían comportar de la misma manera. No debe haber ninguna con impulso colonizador, porque basta con que una comience el proceso de colonización interestelar para que nos topemos con la paradoja de Fermi. Este tipo de comportamiento uniforme en todas ellas es, cuanto menos, difícil de explicar.

La solución más plausible es la que apuesta por la imposibilidad de los viajes interestelares. Los peligros que entraña el desplazarse entre sistemas estelares pueden ser tan elevados que éstos en escasas ocasiones tienen éxito. Recordemos que para que el viaje se realice en un tiempo no excesivamente largo se ha de viajar a enormes velocidades, lo que aumenta el riesgo (y la violencia) de cualquier colisión con un objeto interestelar pequeño. Por otra parte, el coste económico que supone enviar semejante expedición tal vez sea inasumible para una civilización, y tenga más sentido mandar sondas de exploración, como es el caso de los monolitos de *2001, una odisea espacial* (aunque en ese caso, ¿dónde están las sondas?). O quizá, una vez alcanzado un nuevo sistema estelar, su colonización resulta habitualmente imposible y las expediciones fracasan...

Si las civilizaciones no consiguen extenderse entre sistemas estelares, se justifica que la Galaxia no se haya colonizado. Pero eso no explica que no veamos ninguna emisión suya, ¿qué pasa con las señales de radio o de otro tipo de estas

civilizaciones? En opinión de los científicos de SETI, si no se produce una colonización masiva de la Galaxia, no abundarán los mundos habitados con inteligencia, por lo que es fácil que pasen desapercibidos. Es sólo cuestión de tiempo encontrar sus señales. Sencillamente, aún no ha pasado el tiempo suficiente. Más inquietante es el pensamiento de que tal vez sus señales nos estén llegando ya pero no las comprendamos. ¿Son demasiado extrañas para que las reconozcamos como tales? ¿Son los GRB en realidad los resultados de la industria de civilizaciones tipo II o III, increíblemente avanzadas? Además, estamos buscando únicamente en el espectro electromagnético, ¿tal vez ellos usen en cambio ondas gravitatorias o flujos de neutrinos, como en la novela *La voz de su amo* de Stanislaw Lem? Aunque por otra parte, ¿por qué deberían usar radiaciones tan difíciles de manipular, teniendo a mano las ondas electromagnéticas, que son mucho más manejables? Asimismo, suponer que ninguna otra civilización esté usando las ondas electromagnéticas cuando podrían hacerlo tropieza también con el problema de la uniformidad al asumir que todas ellas se están comportando de igual modo.

O puede que todos escuchen y nadie transmita. A fin de cuentas, nosotros no estamos haciendo una campaña sistemática de emisión continua de mensajes de radio al espacio. Sólo hemos enviado unos pocos mensajes esporádicos, como el de Arecibo o las dos campañas de *Cosmic Call*, durante breves lapsos de tiempo. La posibilidad real de que alguna de estas señales vaya a ser detectada en alguna ocasión es más bien nula. Tal vez, con ellos suceda lo mismo. Pero de nuevo, topamos con el problema de la uniformidad. Y además, hay que tener en cuenta que sí estamos enviando de forma continua señales al espacio, si bien de manera involuntaria. Nuestras señales de radiotelevisión fluyen al exterior sin interrupción. Es de esperar que, aunque otras civilizaciones no estén haciendo una campaña activa de comunicación cósmica, tarde o temprano detectaremos alguna fuga en sus emisiones de uso interno.

Otras soluciones a la paradoja de Fermi afrontan incluso la posibilidad de que las civilizaciones sí se estén extendiendo por la Galaxia. El ejemplo que abría este epílogo producía un proceso de colonización que crecía de manera exponencial, pero hay quienes defienden la existencia de mecanismos que, aun permitiendo un crecimiento del número de colonias, impidan que éste sea exponencial. Por ejemplo, puede que una civilización con viajes espaciales no se decida a pasar a la siguiente estrella hasta que no se consuman todos los recursos de un sistema estelar, abandonándolo tras ellos, de forma similar a los extraterrestres de la película *Independence day*. El aumento del número de planetas así visitados sería lineal, no exponencial. Aunque esta solución tiene dos problemas. Uno, de nuevo el de la uniformidad: todas las civilizaciones con viajes interestelares deberían comportarse así. El otro, que habrían de tener un control de natalidad férreo para asegurar que la

población estuviera siempre dentro de los límites que puede mantener un sistema estelar.

El físico y escritor de ciencia ficción Geoffrey Landis ha ideado una ingeniosa solución en la que el número de planetas colonizados crece, pero de manera fractal. La clave está en que no todas las colonias se conviertan en nuevas fuentes de colonización, sino que algunas pierdan el interés por seguir colonizando. Dependiendo de cuál sea la probabilidad de que una colonia sea fuente de nuevas colonias, la evolución del proceso será distinta. Si ésta es alta, el crecimiento será exponencial (como en el ejemplo inicial), y si es muy baja, el proceso de colonización acabará extinguiéndose. Pero si es exactamente igual a un valor crítico, el número de colonias aumentará linealmente produciendo un patrón fractal, con grandes zonas vacías que no llegan nunca a ser colonizadas (y la Tierra estaría dentro de una de ellas). Lamentablemente, esta ingeniosa teoría no cuenta con ningún modelo para justificar por qué la probabilidad de marras debe ser igual a ese valor crítico.

En ambos casos se presenta el mismo *pero* ¿dónde están las emisiones y los artefactos de estas civilizaciones? Una colonización de crecimiento lineal, aunque no haya alcanzado nuestro mundo, tendrá unas producciones (como por ejemplo, mundos anillo, esferas de Dyson, señales ópticas o de radio o trazas del uso de motores de antimateria) que deberían ser observables con los actuales telescopios. De momento, nada similar ha sido observado.

Todas las soluciones que hemos visto hasta ahora asumen la ausencia de visitantes interestelares en la Tierra. Pero ¿y si eso no fuera cierto? Claramente, la solución trivial a la paradoja de Fermi es concluir que sí hemos sido visitados por viajeros de las estrellas. ¿Pero hay alguna prueba de que esto haya sido así?

Seguramente, el caso más comentado en relación con posibles visitantes extraterrestres en el pasado es el de la tribu africana de los dogones. En 1931, el antropólogo francés Marcel Griaule visitó esta tribu, y quedó fascinado por sus originales costumbres, de manera que realizó durante varios años visitas de estudio a los dogones. De sus investigaciones de este pueblo, publicó un artículo en 1965, «Le Renard Pâle», en el que contaba que los dogones tenían unos conocimientos astronómicos desconcertantes para un pueblo con tan pocos medios técnicos. Según Griaule, los dogones sabían que Júpiter tenía cuatro lunas principales, que Saturno estaba rodeado por un anillo y que la Luna era un mundo muerto y seco. Más desconcertante todavía era el hecho de que los dogones afirmaban que su propia cultura provenía de la estrella Sirio (según Griaule, el centro de la vida religiosa dogón), a la que llaman Sigu Tolo, la cual estaba siendo orbitada por otra estrella muy pequeña y pesada «compuesta del metal más pesado del Universo», que recibía el nombre de Po Tolo. Una tercera estrella, llamada Emme Ya, estaría girando alrededor

de todo el sistema.

¿Qué nos dice la astronomía de todo ello? Pues que, en efecto, Sirio está orbitada por una estrella (a la que los astrónomos llamamos con el poético nombre de *Sirio B*), que resulta ser una enana blanca, un objeto de una elevadísima densidad. Lo que coincide bastante bien con la descripción de Po Tolo. Además, en fecha tan reciente como 1995, astrónomos del Observatorio de Niza han afirmado haber detectado indicios de la existencia de una tercera estrella en el sistema de Sirio (¿se trataría de Emme Ya?).

Todo este conjunto de conocimientos astronómicos debería haber permanecido fuera del alcance de los dogones, ya que requieren el uso de instrumentos astronómicos que éstos no poseen (en el caso de Sirio B, hacen falta telescopios muy potentes para verla). ¿Cómo llegaron a adquirir los dogones estos conocimientos? La respuesta podría ser que se los proporcionó una expedición de extraterrestres provenientes de Sirio que visitó la Tierra en un pasado remoto. Esa suele ser la respuesta que habitualmente escogen los que popularizan «el misterio dogón». Por desgracia para los amantes de lo misterioso, ésta no es la única respuesta posible.

En primer lugar, Sirio B había sido descubierta ya en 1844, y su carácter excepcional de enana blanca fue determinado en 1915. De hecho, fue la primera enana blanca que se encontró, lo que supuso un verdadero bombazo astronómico, y la densa compañera de Sirio fue portada en numerosas publicaciones a principios del siglo XX. Incluso las sospechas de que el sistema contara con una tercera estrella son antiguas y datan de 1894, pues el sistema presenta ciertas irregularidades orbitales. Es decir: todos los conocimientos astronómicos dogones relatados por Griaule formaban parte del corpus de conocimientos de los astrónomos de la época.

En segundo lugar, los supuestos conocimientos dogones no estaban exentos de errores. Para empezar, los dogones (según Griaule) identifican a Saturno como el planeta más lejano del Sol, con lo que desconocen la existencia de Urano y Neptuno. Si en verdad el conocimiento de los dogones provenía de unos viajeros interestelares que llegaron a nuestro Sistema Solar, no parece razonable que estos gigantescos planetas les pasaran desapercibidos. En cuanto al posible descubrimiento de Sirio C en 1995, hay que hacer énfasis en que en realidad los astrónomos del Observatorio de Niza hablan de haber detectado *indicios* de la presencia de una estrella, no a la estrella en sí (de hecho el artículo se titula «¿Es Sirio un sistema triple?»). Además, según este mismo estudio, para justificar las irregularidades orbitales, la tercera estrella giraría exclusivamente alrededor de Sirio, en una órbita muy cercana a esta estrella, y no en torno al par Sirio-Sirio B (como se supone que sí hace la Emme Ya de los dogones). Observaciones posteriores con el telescopio espacial *Hubble* del sistema de Sirio, realizadas a raíz de la publicación de este trabajo, no han encontrado de momento la más mínima traza de la existencia de esa tercera estrella.

En tercer lugar, se acostumbra a presentar a los dogones como una tribu aislada y perdida en lo más recóndito del continente africano. Pero eso no es cierto. En realidad se trata de una tribu muy bien comunicada. Fueron expulsados de sus terrenos originales por la expansión árabe y desde hace siglos han convivido con sus vecinos musulmanes (de hecho, algunos de ellos son musulmanes —y otros cristianos—). Fueron reclutados como soldados de las fuerzas coloniales. Y a principios del siglo XX había actividad de misioneros y diversas escuelas francesas en la zona, que perfectamente podrían haberlos puesto en contacto con conocimientos astronómicos de la época.

A esto se añade que el propio Griaule era astrónomo aficionado, ya que parte del problema del misterio dogón parece residir en el mismo Griaule. Este antropólogo francés no hablaba la lengua de los dogones, y todos sus trabajos de campo los hizo a través de traductores e intermediarios, habitualmente pertenecientes al ejército de las fuerzas coloniales francesas. La metodología de Griaule consistía en traer a miembros del pueblo dogón hasta su campamento para plantearles allí, a través del intérprete, una serie de preguntas. Resulta fácil que, usando este método de trabajo, la información sufriera modificaciones en el proceso y que se tergiversara (involuntariamente) en función de los conocimientos previos y las expectativas que tuviera Griaule, dándose así una reconstrucción de la información por parte del antropólogo francés.

De hecho, investigadores posteriores que han trabajado sobre el terreno con los dogones no han encontrado *jamás* el más mínimo rastro de estos detallados conocimientos astronómicos ni de la supuesta importancia de Sirio entre este pueblo. Ningún otro antropólogo que haya seguido la estela de Griaule ha conseguido reproducir sus sorprendentes resultados. Es más, el antropólogo belga van Beek que, desde 1979, pasó once años con los dogones buscando evidencias de las afirmaciones de Griaule, se encontró con que los dogones no habían oído hablar de Sigu Tolo ni sabían que Sirio (a la que llamaban, por cierto, Dana Tolo y no Sigu Tolo) fuera un sistema doble. Quedaba descartado así el origen extraterrestre del «misterio dogón».

Aunque el lector no tiene por qué desilusionarse aún. Carl Sagan, en su libro *Vida inteligente en el Universo*, propone otro caso que reúne muchas de las condiciones que esperaríamos encontrarnos de haber habido en tiempos históricos un contacto con una civilización extraterrestre. Se trata de la leyenda sumeria de Oannes. Esta leyenda, que data aproximadamente del año 4000 a. C., ha llegado a nosotros a través de intermediarios, ya que no ha sobrevivido hasta nuestros días ningún texto sumerio original que la narrase (aunque sí abundantes representaciones iconográficas de Oannes). La única fuente de la misma son los escritos del sacerdote y escritor babilonio Beroso, contemporáneo de Alejandro Magno y que, por tanto, vivió unos 3.500 años después del génesis de la leyenda de Oannes. Beroso sí estuvo en contacto

con los textos cuneiformes sumerios originales que narraban la leyenda, y los utilizó para escribir su *Historia de Babilonia*. Por desgracia, tampoco ha sobrevivido el libro de Beroso y sólo sabemos de su existencia por los escritos de otros historiadores de la Antigüedad que citaron la obra de Beroso y parte de su contenido. En concreto, Alejandro Polihistor, Abydenus y Apolodoro de Atenas. A partir de estos escritos es posible reconstruir bastante bien el texto original de Beroso.

En él se narra que tras la creación del mundo, los hombres vivían en Mesopotamia «como las bestias del campo». Hasta que un día apareció del mar de Eritrea, en el Golfo Pérsico, un anedoto, un «animal dotado de razón» que podía hablar, llamado Oannes. Oannes se dedicó a enseñar a los habitantes de Mesopotamia todos los conocimientos: «las letras, las ciencias y toda clase de artes. Les enseñó a construir casas y templos, a recopilar leyes y la geometría, a plantar semillas y recoger sus frutos. [...] Desde entonces, tan universales fueron sus enseñanzas que nada se ha añadido para mejorarlas». El aspecto de Oannes, fácilmente identificable en los grabados sumerios, era «como un pez, pero debajo de su cabeza de pez tenía una segunda cabeza, humana, y unidos a su cola de pez tenía pies humanos», y se le describe con hábitos anfibios: «salía del mar al amanecer a enseñar a los hombres y conversar con ellos, aunque no tomaba ningún alimento [...] y se sumergía de nuevo en el mar a la puesta de Sol, permaneciendo toda la noche en su profundidad». Con el correr de las generaciones, aparecieron del mar otros anedotos, cinco en total, todos con el mismo curioso aspecto, todos ellos conocían el trabajo de sus predecesores, y todos tenían la misma tarea: civilizar Mesopotamia.



Impresión de un sello cilíndrico mesopotámico donde aparece representado Oannes (derecha).

Casi con completa seguridad Oannes y su pueblo no son más que divinidades marinas, al estilo de Neptuno y los tritones, si bien no deja de ser curioso que se los defina como «animales» (en otros fragmentos, como «semidemonios», e incluso como «cosas») y no como dioses. Resulta difícil sustraerse al encanto de esta leyenda y uno puede fácilmente dejarse seducir por la idea de que la primera civilización que hubo en nuestro mundo, allá entre el Éufrates y el Tigris, recibió un empujoncito de unos visitantes extraterrestres establecidos en una base submarina bajo el Golfo Pérsico, lo que nos llevó a nuestra actual civilización. Una idea muy en la línea del cuento corto «Encuentro en la aurora» de Arthur C. Clarke.

Por último, aunque ninguno de los dos casos anteriores fuera la narración real de un encuentro con viajeros interestelares, eso no significaría que no hubieran estado por aquí. Tal vez, su visita fuera muy anterior, antes de la aparición del hombre. Tal vez, la arqueología nos dé algún día una sorpresa y encuentre un objeto imposible en un estrato muy anterior a la humanidad. Algunos astrobiólogos incluso especulan con que nuestro mundo sea, en realidad, una de las colonias. Es decir, que los extraterrestres vinieron, y somos nosotros. Sabemos sin ninguna duda que toda la vida animal y vegetal de nuestro planeta apareció y evolucionó en la Tierra, pero quizá el primer organismo, la célula primordial de la cual partió todo, fuera sembrada en nuestro planeta por estos visitantes, en una suerte de panspermia voluntaria. Ésta sería una forma de colonizar mundos que aportaría pocos riesgos a la civilización colonizadora (sembradora, mejor dicho). Pero en realidad esto no es una solución a la paradoja de Fermi, ya que, como hemos visto, ha habido tiempo suficiente para que nuestro planeta haya sido visitado en varias ocasiones tras la primera visita de la expedición sembradora. ¿Qué indicios hay de esas otras visitas? Además, las pruebas a favor de que la vida terrestre ha evolucionado completamente en nuestro planeta a partir de procesos de química prebiótica (por ejemplo las reliquias bioquímicas del mundo del RNA) restan fuerza a la hipótesis de que ésta haya sido plantada en la Tierra plenamente formada.

Finalmente, concluiremos dando un rápido repaso a otras soluciones que se salen completamente del terreno de la ciencia para entrar de lleno en el de la ciencia ficción, o en la pseudociencia. Por ejemplo, una solución bien conocida es la que afirma que los extraterrestres ya están aquí, pero que se ocultan, bien debido a una ética de no interferencia con civilizaciones emergentes, al estilo de la Primera Directiva de *Star Trek*, o bien porque somos para ellos una especie de «zoo terrestre» al cual estudian, o bien (como en *Men In Black*) porque el gobierno los está ocultando.

Paranoica solución que enlaza muy bien con otra muy usual, la que afirma que los visitantes interestelares están aquí... ..y son los ovnis. Sin embargo, tras varias décadas de estudio del fenómeno ovni, la realidad es que no existe ni la más mínima prueba objetiva de que ese «fenómeno» tenga que ver con viajeros del espacio, sino

más bien con la psicología, o incluso la psiquiatría. De hecho, las historias sobre ovnis, aterrizajes y abducciones se parecen sospechosamente mucho a las antiguas historias sobre hadas y elfos del bosque (o a las apariciones marianas), e informan más sobre el funcionamiento de la psique humana que sobre la vida en el Universo. Por su parte, el comportamiento acientífico, completamente falto de rigor, paranoico, tendente al autoengaño y en muchos casos aprovechado y ruin, de los defensores e «investigadores» del fenómeno ovni, hace que la ufología entre de lleno en la clasificación de pseudociencia con todos los «honores».

Para terminar, aún queda una inquietante y desapacible solución a la paradoja: si es usted amante de la ciencia ficción, tal vez haya reparado en que un mundo de realidad virtual como el que se presenta en la película *Matrix* ofrece también una obvia solución a la paradoja de Fermi... Por cierto ¿no nota algo en la nuca?

APÉNDICE

LA ECUACIÓN DE DRAKE

En alguna ocasión se ha dicho que es imposible escribir un libro sobre vida extraterrestre sin recurrir a la ecuación de Drake o sin que salga a relucir de algún modo. Bien, como se ha podido ver, no es imposible, pero por si algún lector la ha echado de menos, la incluiré aquí al menos como un apéndice.

La ecuación de Drake tuvo su origen en la reunión de 1961 organizada por Frank Drake, considerada a menudo el primer congreso sobre SETI. Para tener una agenda que seguir en esta reunión, Drake formuló una ecuación, que resumía todos los puntos que él consideraba relevantes para la búsqueda de inteligencias extraterrestres. Su resultado daba una estimación de la cantidad de civilizaciones en nuestra Galaxia, susceptibles de poseer emisiones de radio detectables. Esa ecuación es la famosa ecuación de Drake:

$$N = R \cdot f_p \cdot n_e \cdot f_l \cdot f_i \cdot f_c \cdot L$$

donde N es el número de civilizaciones detectables. Los otros factores de la ecuación son:

- R : la tasa de formación estelar.
- f_p : la fracción de estrellas que poseen planetas.
- n_e : el número promedio de planetas por sistema planetario que tienen condiciones adecuadas para que surja la vida.
- f_l : la fracción de estos planetas en los que realmente surge la vida.
- f_i : la fracción de planetas habitados en los que surge la inteligencia.
- f_c : la fracción de planetas con inteligencia capaces de establecer comunicaciones interestelares.
- L : el tiempo medio en el cual tales civilizaciones son detectables (también llamado a veces ventana de contacto).

Hay que darse cuenta de que la ecuación de Drake no da una estimación del número de civilizaciones en la Galaxia, sino del número de civilizaciones con una tecnología que las haga detectables mediante ondas de radio o algún medio similar. A fin de cuentas, es lo que realmente le importa a SETI. Una civilización avanzada que no posea una tecnología que la haga evidente y que nunca se nos dé a conocer a través de SETI no cuenta para estos cálculos. Dando los valores adecuados a estos parámetros, es posible calcular cuántas civilizaciones hay actualmente en la Galaxia.

Los parámetros están ordenados de menos especulativos a más. Pero aunque hoy día tenemos buenos valores para alguno de estos parámetros, como la tasa de formación estelar, otros muchos nos son completamente desconocidos, por lo que el

cálculo de algún valor de la ecuación de Drake no deja de ser un ejercicio de especulación. Cuando Drake evaluó la ecuación por primera vez, el valor de los parámetros se conocía aún menos. La estimación que él obtuvo fue muy elevada, en torno a las 10.000 civilizaciones en la Galaxia. Hoy día, los astrónomos que intentan evaluar la ecuación son menos optimistas y muchas estimaciones caen en el rango de decenas a centenares de civilizaciones.

Pero en realidad, no sabemos nada. Como dijo Barney Oliver, antiguo director del HRMS, «la ecuación de Drake es una maravillosa forma de encapsular un montón de ignorancia en un pequeño espacio». La verdadera virtud de la ecuación de Drake es histórica: fue un punto de encuentro entre distintas disciplinas, un lugar donde científicos de diferentes ramas podían ponerse a trabajar juntos, y ha resultado ser una manera útil de estructurar el trabajo de los investigadores tanto en SETI como en astrobiología. Fue uno de los primeros indicadores de que esta magna tarea debía tener un carácter multidisciplinar para tener éxito.

BIBLIOGRAFÍA

Capítulo 1

- ALTSCHULER, Daniel R.: *Hijos de las estrellas*, Ed. Akal, Madrid, 2001.
- ASIMOV, Isaac: *Robots e Imperio*, Plaza & Janés Editores, S.A., Barcelona, 2000.
- DICK, Steven J.: *Life on other worlds: The 20th Century Extraterrestrial Life Debate*, Cambridge University Press, 2001.
- HOYLE, Fred: *Astronomical Origins of Life-Steps Towards Panspermia*. Springer, 1999.
- JAKOSKY, Bruce: *La búsqueda de vida en otros planetas*, Cambridge University Press, Madrid, 1999.
- LOWELL, Percival: *Mars as the abode of life*, Adamant Media Corporation, 2002.
- LUQUE, Bartolo, Fernando BALLESTEROS *et al.*: *Astrobiología, un puente entre el Big Bang y la Vida*, Ed. Akal, Madrid.
- OPARIN, A. y J. HALDANE: *L'origen de la vida*, Publicacions de la Universitat de València, Valencia, 2006.

Capítulo 2

- DRAKE, Frank y Dava SOBEL: *Is Anyone Out There? The Search for Extraterrestrial Intelligence*, Pocket Books, 1997.
- DRAKE, Frank *et al.*: *El universo de Carl Sagan*, Cambridge University Press, Madrid, 1999.
- NIVEN, Larry: *Mundo Anillo*. MR Ediciones, Madrid, 1989.
- SAGAN, Carl: *Contacto*. Plaza y Janés Editores, Barcelona, 1991.
- SAGAN, Carl e I. SHKLOVSKII: *Vida Inteligente en el Universo*, Editorial Reverté, Barcelona, 1985.
- SAGAN, Carl *et al.*: *Comunicación con inteligencias extraterrestres (actas conferencia CETI 1971)*, RBA Coleccionables, S.A., Barcelona, 1993.
- Shostak, Seth y Frank Drake: *Sharing the Universe: Perspectives on Extraterrestrial*

Life, Berkeley Hills Books, 1998.

STEFFES, P. G.: *Search for extraterrestrial intelligence/high resolution microwave survey team member final report for grant nag-2-700, report period, March 1, 1991 through August 31, 1994 (SuDoc nas 1.26:196478)*, Ed. NASA National Technical Information Service, 1994.

Capítulo 3

DEWEY, John: *Cómo pensamos*, Ediciones Paidós Ibérica, S.A., Barcelona, 1998.

DOS SANTOS, Marcelo: *El Manuscrito Voynich*, Ed. Aguilar, Madrid, 2005.

FREUDENTHAL, Hans: *Lincos: Design of a Language for Cosmic Intercourse*, Ed. North Holland, Amsterdam, 1960.

JACOBS, Lou: *By Jupiter!: The remarkable journey of Pioneer 10*, Hawthorn Books, 1975.

PINKER, Steven: *El instinto del lenguaje*, Alianza Editorial, S.A., Madrid, 2005.

SAGAN, Carl: *La conexión cósmica*, Plaza y Janés Editores, Barcelona, 1990.

— *Murmullos de la tierra: el mensaje interestelar del Voyager*, Editorial Planeta, Barcelona, 1981.

VARIOS AUTORES: *Sensory Abilities of Cetaceans: Laboratory and Field Evidence*, NATO ASI Series. Series A: Life sciences. Vol. 196, 1991.

Epílogo

BEEK, Walter van: «Dogon Reestudied: A Field Evaluation of the Work of Marcel Griaule», *Current Anthropology*, vol. 32, n.º 2, pp. 139-167.

LEM, Stanislav: *La voz de su amo*, Edhasa, Barcelona, 1989.

WEBB, Stephen: *If the Universe Is Teeming with Aliens... Where Is Everybody? Fifty Solutions to Fermi's Paradox and the Problem of Extraterrestrial Life*, Springer, 2002.



FERNANDO J. BALLESTEROS. Doctor en Física, miembro del Observatori Astronòmic de la Universitat de Valencia. Trabajó en el diseño y desarrollo de los telescopios espaciales INTEGRAL (ESA) y LEGRI (Minisat 01 - INTA), y posteriormente en el Centro de Astrobiología (INTA-NASA). Colabora en el desarrollo del Observatorio Astronómico de Javalambre. Premio Europeo de Divulgación Científica Estudi General en 2006 por su libro *Gramáticas Extraterrestres* (traducido al inglés *ET Talk*). Coautor del programa de RNE «Los Sonidos de la Ciencia», emitido durante los años 2005 a 2008 incl. Coautor de los libros «10.000 años mirando estrellas», «Astrobiología, un puente entre el Big Bang y la Vida», «A la Luna de Valencia» y «NEXUS».