

El lago Vostok

César González Herrerías

Vostok es el nombre de un lago situado en la Antártida Este, a unos 1500 Km del polo sur. Sus proporciones, cerca de 250 Km. de largo por 50 Km de ancho y una profundidad máxima de 600 m, lo sitúan dentro de los 15 lagos más grandes del mundo. Si bien este hecho no resulta demasiado llamativo, una de sus características le confiere por si misma una importancia singular: el lago Vostok se asienta bajo 4200 m de hielo sólido. Su existencia no fue conocida hasta 1974 cuando investigadores americanos, ingleses y daneses localizaron la extensión de agua subglacial más grande del mundo, mientras sobrevolaban la Antártida empleando un radar de 60-MHz para detectar la posible presencia de bolsas de agua líquida bajo los hielos. Tomó su nombre de la base de experimentación científica rusa Vostok situada cerca del límite sur del lago, donde se ha registrado la temperatura más baja jamás medida sobre la superficie terrestre: $-89,4^{\circ}\text{C}$, cerca de ser lo suficientemente fría como para congelar el dióxido de carbono del aire enrarecido. En 1991 el satélite ERS-1, el primero equipado con un radar de larga duración destinado a fines civiles, y posteriores datos sísmicos confirmaron este descubrimiento. Si el lago estuvo alguna vez en contacto directo con la atmósfera, esa conexión concluyó hace cerca de 30 millones de años. Sus sedimentos deben contener un registro único del clima antártico antes de la llegada de los hielos, cuyo estudio podría revolucionar la ciencia sobre este continente. Puede haber vida en

sus aguas, un ecosistema indígena sobreviviendo con pocos recursos, sin luz solar, cuyos organismos habrían desarrollado adaptaciones exclusivas debido al total aislamiento de Vostok. Se presenta además como un magnífico laboratorio de pruebas para el desarrollo de tecnologías orientadas a la búsqueda de vida fuera de la Tierra. A 820 millones de Km del Sol, Europa, la cuarta luna más grande de Júpiter es hoy por hoy el lugar más prometedor para encontrar evidencias de actividad biológica extraterrestre. Y Vostok es, sin duda, el modelo más cercano al medio ambiente de Europa que nuestro planeta nos puede ofrecer. El conocimiento de las estrategias que usan los organismos del lago para sobrevivir ayudará a deducir qué es lo que se puede encontrar en Europa y cómo hay que buscarlo. Su exploración

pérdida es impedida por una barrera de aislamiento muy efectiva: un escudo de hielo de miles de millones de toneladas. Mientras la superficie del hielo se mantiene a temperaturas extremadamente bajas, en la base, calentada desde abajo, la temperatura es en algunos lugares lo suficientemente alta como para fundir el hielo formando lagos y otras reservas de agua líquida. Los lagos superficiales antárticos, conocidos desde hace tiempo, constituyen verdaderos oasis para la vida. Esta se presenta en su mayor parte como tapetes microbianos formados por bacterias fotosintéticas de diversas especies que viven en el lecho de los lagos y constituyen la base de la cadena trófica. Existen otras especies heterótrofas especializadas en el reciclado de recursos que cierran este ecosistema sencillo y poco exigente. El conjunto se mantiene gracias a que, aunque la superficie está helada, llega suficiente cantidad de luz como para asegurar la producción primaria. Liberados de la presión de predación a que se ven sometidos en otros lagos, gracias a su aislamiento, estos tapetes extraen nutrientes del agua y crean una ecología estratificada simple, pero floreciente, en los sedimentos lacustres. Las condiciones del lago Vostok son, sin embargo, totalmente distintas. No existirán tapetes microbianos fotosintetizadores en la total oscuridad de sus aguas, sepultados bajo 4 Km de hielo. El agua estará más fría que en los lagos superficiales y la presión será inmensa, en torno a las 200 atmós-

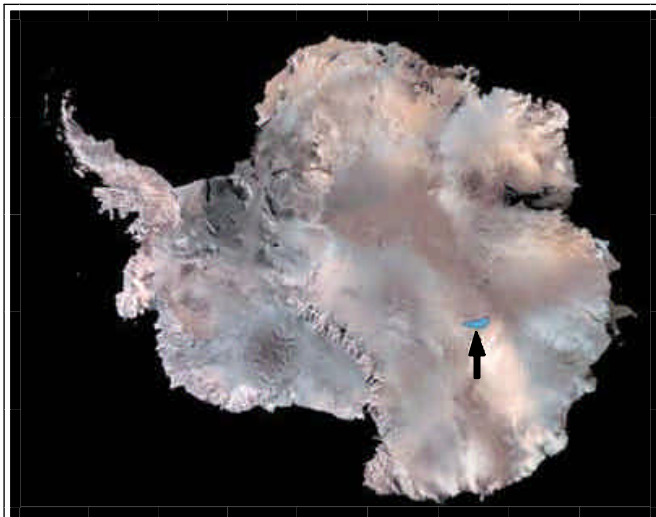


Fig. 1.- Imagen de la Antártida en la que se señala con una flecha la situación del lago Vostok

será como llevar a cabo una misión espacial y temporal sin moverse de nuestro planeta.

La corteza terrestre irradia calor lentamente; éste pasa a la atmósfera y acaba por disiparse en el espacio. En la Antártida esta

feras. Aunque todo esto no implica necesariamente que no exista vida en sus aguas, de hecho sería realmente sorprendente que no la hubiera, en una masa de casi 5000 Km. cúbicos de agua líquida situada en el planeta Tierra. Si Vostok fue en un tiempo un lago superficial antes de que el hielo cubriese el continente, los organismos de ese ecosistema pudieron encontrar un forma de sobrevivir a las nuevas condiciones. El análisis del hielo superficial por encima del lago muestra una cierta cantidad de bacterias con un metabolismo muy bajo, algunas de las cuales son viables y están presentes también en otros lugares de la Antártida. Estos microorganismos podrían haber sido capaces de llegar al lago, hundiéndose lentamente a través de la capa de hielo con cada

nuevo depósito de nieve, cuyo peso les llevaría cada vez a mayor profundidad en un proceso muy lento. Podrían entonces escapar del hielo, salir de su fase de latencia y adaptarse a las nuevas condiciones, pasando a convivir con los microorganismos indígenas que habrían evolucionado en este ambiente en el transcurso de los últimos 30 millones de años. Tanto si la colonización biológica del lago se remonta al mismo momento de su formación, como si fue posterior, las limitaciones en cuanto al aporte de nutrientes, renovación de recursos, total aislamiento y condiciones físicas restrictivas que impone su medio ambiente les habrá modelado hasta adquirir unas estrategias únicas de supervivencia, esto es, de adquisición de energía. Podrían usar distintos compuestos químicos, en lugar de luz solar, como donadores de electrones para sus rutas metabólicas al igual que hacen otras bacterias quimiolitotróficas de las fuentes hidrotermales submari-

nas. El oxígeno, que actúa habitualmente como aceptor de esos electrones, se presenta en el lago atrapado en pequeñas cajas de moléculas de agua llamadas cla-

desechos que sufre Vostok por culpa de su aislamiento. La vida pudo encontrar caminos similares explotando la energía contenida en gradientes geotérmicos asociados a fuentes hidrotermales. La hipótesis de que estas existan en Europa está avalada por el efecto de marea que produce Júpiter sobre esta luna, efecto que hace que Io sea el satélite más activo de todo el Sistema Solar. Las órbitas de Europa e Ío están en resonancia. O bien pueden existir otras fuentes que generen el desbalance químico o flujo de entrada de nutrientes necesario para sostener estas supuestas poblaciones microbianas. La intensa radiación

iónica proveniente de los cinturones de radiación de Júpiter que incide sobre la superficie de Europa, alteraría la estructura de los compuestos químicos que están presentes mezclados con el hielo superficial, arrebatándoles electrones y transformándolos en radicales terminales libres, altamente reactivos, que se hundirían lentamente con la renovación de la superficie de Europa y llegarían a la capa de agua líquida subyacente quedando listos para ser usados como combustible biológico. En la

Tierra, el principal flujo de entrada de energía es la luz solar, que es captada por plantas, algas y bacterias fotosintéticas. Sin embargo, dados los elevados requerimientos bioquímicos y la complejidad de las reacciones que intervienen en la fotosíntesis, no parece probable que fuese ésta la primera estrategia de adquisición de energía en aparecer en la historia de la vida sobre la Tierra. Aun-

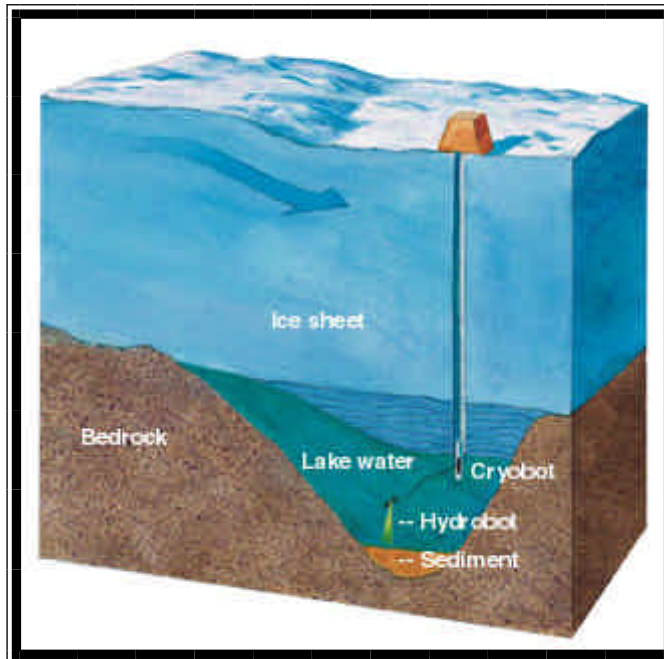


Fig. 2.— Corte o sección que muestra la exploración que realizará el JPL del interior del lago Vostok, planificada para dentro de unos cinco años.

tratos, siendo inaccesible para los microbios, por lo que deben utilizar otros compuestos tales como nitratos, sulfatos o CO_2 . Si el lago es tan pobre en nutrientes como se piensa, puede que no se produzca más de una generación de bacterias cada 100 años. En Europa, con un volumen de agua líquida estimado superior al de todos los océanos de la Tierra juntos, no existirían las limitaciones en cuanto a la circulación de nutrientes y

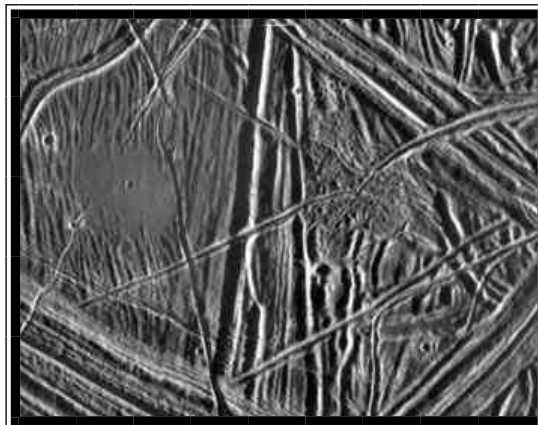


Fig. 2.— La helada superficie de Europa, fracturada, bajo la cual podría existir un océano de agua líquida.

que sin duda es el carácter ilimitado de la energía del sol lo que ha llevado a la profunda transformación de nuestro planeta y ha permitido la evolución de formas de vida cada vez más complejas hasta llegar a la enorme biodiversidad que encontramos en la actualidad. Un ecosistema global basado en la oxidación-reducción de compuestos químicos estaría gravemente limitado por la disponibilidad de éstos, lo que impondría muchas dificultades para la evolución de formas de vida más complejas y en consecuencia con mayor tasa metabólica y mayor demanda de nutrientes. Los microorganismos europeos podrían haber desarrollado pigmentos de estructura similar a la clorofila pero adaptados para captar los flujos de electrones que surcan su océano y son responsables del campo magnético de Europa. En lugar de aprovechar la energía de los fotones para, mediante la excitación de pigmentos fotosensibles, crear una corriente de electrones que sustente el metabolismo, podrían captar directamente los electrones del medio mediante moléculas quimiosensibles. Si esto fuera posible, estaríamos ante un flujo de entrada de energía de suficiente entidad como para empezar a pensar que en Europa pudiese haber algo más que bacterias. Quizá permitiese la aparición de algún tipo de células eucariotas (células con núcleo diferenciado) similares a las terrestres, que surgieron de la endosimbiosis de bacterias de diferentes tipos, y cuya complejidad y diferenciación permitió la aparición de los organismos pluricelulares. Las algas eucariotas y todos los vegetales superiores poseen cloroplastos en sus células resultantes de la endosimbiosis de antiguas bacterias fotosintéticas de vida libre que incluso hoy en día mantienen su propio código genético independiente

del núcleo. De forma similar, todos los animales tenemos mitocondrias en nuestras células que también proceden de antiguas bacterias de vida libre. Los gusanos que viven en las chimeneas submarinas tienen un órgano especializado para la simbiosis con bacterias capaces de metabolizar los compuestos químicos que hay en estas surgencias. Aunque en este último caso se trata de la simbiosis de un organismo eucariota pluricelular con bacterias y no de una endosimbiosis. Un modelo parecido podría ser factible en Europa si existen organismos pluricelulares eucariotas, aunque éstos

talíticas necesarias para llevar a cabo dicha autorreplicación. Puede que todo lo que se encuentre en los vastos océanos de Europa sea precisamente eso: un montón de cadenas de ácidos nucleicos autorreplicativos encerrados en vesículas lipídicas membranosas. Si se encontrara una sola de esas simples entidades biológicas, ¿se daría respuesta a la pregunta de si estamos solos en el Universo? Los titulares de los periódicos no serían demasiado sensacionalistas: “*Encuentran membranas biológicas y ARN en una luna de Júpiter*” ¿Quiere decir eso que “Hay vida en otros planetas”?

Se plantean dos escenarios para el origen de una posible existencia de vida en Europa: Que la vida haya aparecido *in situ*, es decir que se haya producido síntesis prebiótica de biopolímeros tales como ARN, ADN, proteínas, etc. constituyentes básicos de los seres vivos, a partir de precursores químicos más simples como nucleótidos y aminoácidos, éstos últimos proporcionados por impactos cometarios o durante la formación del satélite. O

bien que la vida no se haya generado en Europa, sino que ésta haya sido “inoculada” o contaminada en algún momento de su historia siguiendo la hipótesis de la panspermia.

Si la vida se organizó en Europa de forma análoga e independiente de como lo hizo en la Tierra estaríamos ante un hecho biológico distinto que acabaría con la singularidad del nuestro, ampliando el espectro de posibilidades para la aparición de la vida a una multitud de condiciones ambientales diferentes y no ligada necesariamente a la existencia de una estrella como el Sol, un planeta con atmósfera situado a la distancia adecuada, etc. De darse este caso, los microorganismos de

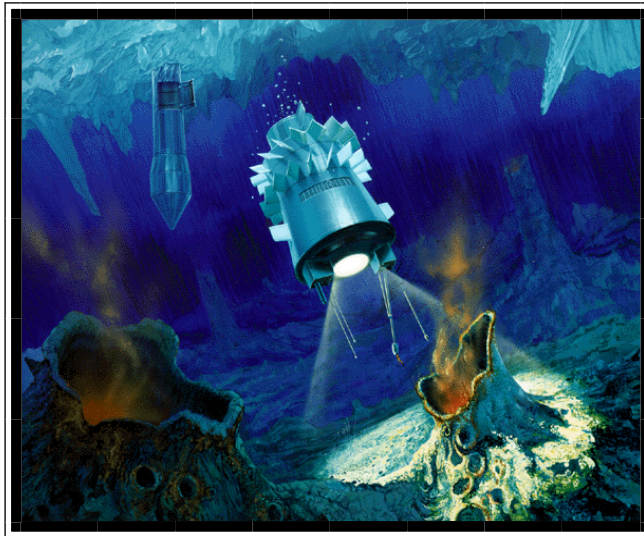


Fig. 4.— Un dibujo que muestra cómo podría ser un modelo de Cryobot que se dedicase a la exploración del hipotético océano del satélite Europa.

tardaron unos 3000 millones de años en aparecer sobre la Tierra, tiempo que expresa la baja probabilidad de que ocurra un suceso similar en Europa.

Quizás deberíamos esperar encontrar formas de vida mucho más simples que las bacterias, incluso sin estructura celular. Tras el descubrimiento de las propiedades de determinados tipos de ácido ribonucleico (RNA) en la catalización de reacciones, se ha postulado la existencia de un “Mundo de RNA” en un periodo anterior a la aparición de la vida celular en la Tierra. En éste escenario las moléculas de RNA habrían funcionado simplemente para autorreplicarse, realizando el número mínimo de reacciones ca-

Europa deberían ser muy diferentes de los terrestres en cuanto a ciertos caracteres, aunque ambos estuvieran basados en la misma bioquímica. Un origen distinto y cuatro mil millones de años de evolución aislada harían muy improbables determinados parecidos. De hecho si el agua de Europa se mantiene líquida debido al efecto de marea que produce Júpiter, podrían darse condiciones similares en satélites helados ricos en agua que orbitasen en torno a planetas gigantes gaseosos de otros sistemas o alrededor de enanas marrones. Si por el contrario se encuentran en Europa bacterias similares a las terrestres en cuanto a ciertas características muy concretas (por ejemplo, secuencias de ADN o determinadas proteínas), cabría pensar que se ha producido una colonización por bacterias o microorganismos provenientes de la propia Tierra que pudieron sobrevivir en el interior de meteoritos arrancados de nuestro planeta por otros impactos y viajar erráticos por el espacio durante millones de años hasta que un día la casualidad hizo que cayeren sobre Europa. O bien que microorganismos terrestres y europeos, compartiesen un origen común en algún lugar del Sistema Solar o fuera de él, lo que explicaría dicho parentesco genético. Por ello la presencia de cristales de magnetita de origen supuestamente biológico y estructuras morfológicamente similares a bacterias magnetotácticas encontradas en el meteorito marciano ALH84001 recuperado en la Antártida, son casi tan sorprendentes por su parecido con las bacterias magnetotácticas terrestres que por el hecho mismo de que estén ahí. Si se confirmara este hallazgo resultaría que, no sólo habría vida microbiana en Marte, sino que además ésta sería muy parecida a la terrestre. Una bacteria magnetotáctica es un ser muy complejo resultado de una historia evolutiva única fruto de accidentes ambientales irrepetibles y mutaciones aleatorias producidas a lo largo de cientos de millones de años. Resulta difícil de entender cómo

podieron reproducirse en Marte los mismos hechos que en la Tierra dado el escaso margen de tiempo que existió entre el momento de la formación de ambos planetas, la aparición de los primeros organismos terrestres (cuyos fósiles tienen una antigüedad de 3900 millones de años) y la datación de los glóbulos de carbonato del meteorito estimada en 3600 millones de años. Es decir, no solamente apareció la vida en ambos planetas al mismo tiempo y de forma independiente, sino que lo hizo con unas características muy parecidas, evolucionó a la misma velocidad para dar un mismo resultado en un periodo de tiempo muy corto. Parece más probable que existiese algún tipo de conexión biológica entre Marte y la Tierra si es que lo encontrado en ALH84001 es algo más que un artefacto, un resultado de la contaminación del meteorito por microorganismos terrestres o una campaña de publicidad destinada a recaudar fondos para la exploración de Marte.

Puede nada de lo escrito anteriormente haya ocurrido y Europa no sea hoy en día más que una enorme masa de agua líquida estéril desprovista por completo de vida. Si después de siglos de búsqueda infructuosa fuera éste el caso, aun nos quedaría un último recurso: si se tomase una muestra de una cepa bacteriana procedente una fuente hidrotermal submarina o bien del fondo del propio lago Vostok, o se diseñase mediante ingeniería genética una especie bacteriana con las características óptimas para su desarrollo bajo las condiciones de Europa, se introdujese en un medio de cultivo en el que se mantuviera viva (o en forma de quistes de resistencia) y finalmente se inoculase en un lugar apropiado de Europa donde pudiera crecer y reproducirse, estaríamos en condiciones de afirmar que existe vida fue-

ra de la Tierra. Esta cepa iniciaría un nuevo camino evolutivo dando lugar a nuevas especies endémicas únicas e irrepetibles, entre las que probablemente no estarían las bacterias magnetotácticas.

La exploración del Lago Vostok comenzará en menos de 5 años. En el laboratorio de propulsión a chorro de la NASA se están adaptando instrumentos, concebidos en un principio para el análisis de las fuentes hidrotermales submarinas, con objeto de ser usados en las aguas de Vostok y, en un futuro no demasiado lejano, en los océanos de Europa. El equipo está desarrollando una pequeña sonda metálica bautizada como Cryobot capaz de crear una zona estéril alrededor de él, perforar el hielo usando un chorro de agua caliente a alta presión, tomar muestras y transmitir los datos recogidos a la superficie. Las condiciones de esterilidad de los instrumentos de exploración utilizados deberán ser muy rigurosas, de lo contrario se pondría en grave peligro el mismo objeto de estudio; la contaminación biológica intencionada debe ser el último de los recursos. El Europa Orbiter será lanzado en el año 2003. La nave girará en torno a Europa a unos 200 Km. de su superficie midiendo sus elevaciones con un altímetro láser y analizando su superficie con otros dispositivos, lo que ampliará nuestros conocimientos sobre el satélite y abrirá el camino a futuras misiones quizá equipadas con ingenios parecidos al Cryobot.

El lago Vostok y Europa se presentan como dos piezas de un mismo puzzle a resolver: el puzzle de la vida en nuestro sistema solar.

El lago Vostok y Europa se presentan como dos piezas de un mismo puzzle a resolver: el puzzle de la vida en nuestro sistema solar.