



El río de la vida imposible

El río Tinto es el afluente de ácido sulfúrico más grande de la Tierra. En sus aguas viven infinidad de organismos y microorganismos adaptados a una acidez extrema, como el hongo *Demateaceo* (imágenes 1 y 3), el protozoo *Euglena mutabilis* (imagen 8) o las diatomeas (imagen 9). El científico que aparece en dos de estas imágenes es el microbiólogo Ricardo Amils, que hizo ver a la comunidad científica que el río Tinto no es un río contaminado sino un ecosistema único. Fotos 5, 6 y 7: Carol Stoker/NASA. Fotos 2 y 4: Luis Miguel Ariza.

El río Tinto, uno de los afluentes más enigmáticos y extraños del mundo, es un complejo ecosistema de ácido sulfúrico que alberga formas de vida que podrían sobrevivir en Marte. El microbiólogo Ricardo Amils ha conseguido con estos hallazgos poner al río onubense en el punto de mira de la NASA.

Luis Miguel Ariza

La carrera del catedrático de microbiología Ricardo Amils puede describirse como la historia de un hombre ligado a un río. Al igual que muchos paleontólogos que unen su destino a los lugares que les han proporcionado tesoros inigualables –la familia Leakey y sus hallazgos de homínidos en la garganta de Olduvai, en Tanzania, o Donald Johanson y el descubrimiento de “Lucy”, el ancestro humano más famoso, en Hadar, Etiopía–, Amils ha contraído una deuda topográfica con uno de los ríos más enigmáticos y extraños del mundo.

El río Tinto, en la provincia de Huelva, acumula varios superlativos. Es el río de ácido sulfúrico más largo y grande conocido, y realmente en todo el planeta no se ha descubierto nada similar: más de 92 kilómetros de aguas rojas y tintadas que surgen del interior de la mina de cobre a cielo abierto más grande del que toma su nombre –las minas de Riotinto–, y que discurren hasta desembocar en el Atlántico. Hasta que Amils no se encontró con él, todo el mundo pensaba que el río rojo era una simple porquería, un subproducto nada deseable de la minería, un ejemplo extremo del poder destructivo del hombre como ocurre en menor grado con otros tantos ríos contaminados que recorren la península, una triste historia. Tuvo que ser este catedrático catalán el que demostrara que el mundo estaba equivocado. El río hierve de vida –desde las bacterias, pasando por los hongos, las algas, los protistas y algunos animales unicelulares–, una vida imposible que consigue sobrevivir en ambientes extremos y muy ácidos, con un pH cercano a 2.

Pero el río que alberga una vida imposible contiene una dimensión que ha trascendido con los años. Apunta a un sistema de vida exportable a otros planetas, como Marte. Por difícil que parezca, es posible concebir un tipo de vida en este río que podría sobrevivir en el planeta rojo. De esta manera, la investigación ha llevado a Amils y sus colegas a internacionalizar su trabajo. Amils comparte su laboratorio en el Centro Molecular Severo Ochoa, de la Universidad Autónoma y el CSIC, con su trabajo en el Centro de Astrobiología, un

organismo español fundado en el seno del INTA (el Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial) y el propio CSIC. Pero el río Tinto ya aparece en la enorme y compleja página web de la NASA, la agencia espacial norteamericana, que lo tiene en el punto de mira. Y al sorprendente guiño y posterior asombro de los científicos norteamericanos le sigue el interés de la ESA, la Agencia Espacial Europea.

El hombre y el río

Amils siempre ha pensado que su relación con el río fue una especie de premonición. Su padre trabajaba para una compañía inglesa, Imperial Chemical Industry (ICI), asociada a las minas de Riotinto. Fue el destino del viaje de luna de miel de los progenitores de Amils. “Mi madre pensaba que aquello era un desastre, estaba todo sucio”, recuerda. Mucho más adelante, en los años ochenta, y ya como catedrático, Amils recibió una oferta de un proyecto europeo para evaluar las técnicas de biolixiviación a altas temperaturas (el uso de bacterias para extraer metales en las minas). Una de las empresas del proyecto era la que explotaba las minas de Riotinto, y un colega le sugirió que podría ser interesante ensayar esta metodología con mineral de Riotinto, enormemente rico en calcopirita, es decir, sulfuro de cobre y hierro. La cuestión estribaba en utilizar microorganismos termófilos (que resisten altas temperaturas) para robarle el cobre al mineral. “La primera reunión la tuvimos en Huelva, y ni siquiera había visto el río”. El proyecto finalmente no fructificó, pero Amils se encontró con el río rojo, y su primer pensamiento fue: “qué cosa tan rara”. Ante lo que, a todas luces y para todo el mundo, era un río contaminado por la actividad minera.

Y sin embargo, hablamos de un río de 92 kilómetros. Una polución descomunal en todo caso. El proyecto no tenía nada que ver con el río, pero Amils se interesó por estudiar el fenómeno. Un río que llevaba contaminado por una actividad minera que se remontaba hasta hace unos 5.000 años. En la parte donde nace el río el intenso olor a azufre casi puede mascarse en el aire, superando incluso el despren-

dido por las acículas de los pinos. Ciertamente, la visión del río contaminado choca con un entorno natural bellísimo. El río nace del interior de las propias minas, por lo que era fácil deducir que era simplemente un producto de esa actividad.

Del estudio de las aguas rojas de la mina –para aislar determinados microorganismos– empieza a emerger un desafío, y es averiguar qué ocurre una vez que esas aguas abandonan las minas. En Puente Gadea, por ejemplo, el río persiste en su color. Y a lo largo de toda su extensión, y tras varios viajes y recogidas de muestras, Amils descubrió que el río no es sólo un “río contaminado”, sino que algo lo mantiene como tal. La idea de un reactor biológico alimentado por bacterias capaces de oxidar hierro y desprender ácido sulfúrico empieza a tomar gradualmente forma en su mente. El río nace de una mina y es mantenido por los mismos microorganismos que se han encontrado asociados a los minerales. “La conclusión era obvia, pero el método científico te obliga a demostrarla”.

Algas en aguas ácidas

Uno de los aspectos más chocantes es comprobar cómo las algas colonizan unas aguas cuyo pH resulta extremadamente ácido. Tienen un color verdoso y se ven perfectamente en la orilla. Las algas son sistemas eucarióticos, organismos complejos en cuanto a su organización celular. ¿Cómo es posible que puedan subsistir en una zona contaminada por metales pesados? “Es un primer indicio de que sucedía algo muy extraño”, dice Amils. Pero a partir de aquí, alguien que quiera dedicarse a establecer la ecología microbiana de un río como éste, tiene que recoger muestras y muestras a lo largo de los años. No basta con realizar unas cuantas recogidas, analizarlas, y gritar “eureka”. La segunda pista sugiere que el propio río, por su carácter mediterráneo y su ubicación geográfica, en la provincia de Huelva, recibe copiosas lluvias, pero en vez de diluir su acidez, resiste los embates exteriores.

“La capa freática del Andévalo es muy potente, y el agua es uno de los proble-

mas que siempre ha tenido la minería de la zona. Pero volvías al río Tinto y encontrabas siempre lo mismo. Las algas aparecían donde siempre, y se recreaba otra vez el mismo ecosistema. Eso no corresponde a un lugar contaminado”. En términos físicos o estructurales, el río es como un puente que mantiene su forma pese a la erosión de los agentes externos. O en términos de naturaleza de materiales, una perturbación puede alterar un material pero, si es lo suficientemente estable, vuelve otra vez al punto de equilibrio.

Caleidoscopio de seres vivos

El estudio sistemático de la ecología de este río es sorprendente. No solamente algunos tipos de algas sobreviven en estas aguas ácidas. Se han encontrado protistas como las amebas e incluso animales unicelulares. Conviene reunir los datos de una ecología sorprendente que vive tan campante en un ambiente líquido hecho de ácido sulfúrico y metales pesados. Se han aislado más de 1.300 organismos. Es un auténtico caleidoscopio de seres vivos, cuyos nombres latinizados resultan absolutamente desconocidos para el gran público, aunque son bien visibles al microscopio.

En el río Tinto no hay peces, ni invertebrados, ni siquiera insectos acuáticos. Pero allí abundan las algas del género *Klebsormidium*, diatomeas, organismos unicelulares provistos de cloroplastos como es el caso de Euglena, y hongos como *Scytalidium acidophilum*, *Lecytophora hoffmannii* o como *Acremonium* sp. Y así podríamos seguir nombrando centenares de especies. La nota más sorprendente es que todos estos seres complejos, que están un escalón evolutivo por encima de las bacterias, están representados en estas aguas rojas con más diversidad que las propias bacterias (las más importantes son las llamadas “comedoras de piedras” como *Leptospirillum ferrooxidans* y *Acidithiobacillus ferrooxidans*, cuya acción es oxidar la pirita para extraer energía).

La vida compleja en el río Tinto es netamente más abundante en términos de biodiversidad que la vida simple. “La cantidad que hemos encontrado de hongos es enorme, varios órdenes de magnitud que en cualquier otro sistema, y eso sí que es una sorpresa”, dice Amils. “Hay más diversidad eucariótica que procariótica”. Es uno de los misterios del río, una de las incógnitas aún no resueltas. Amils lanza una especulación. “Mi impresión es que estos eucariotas sacan del sistema algo que no conseguirían en con-

diciones normales. Y eso podría ser el hierro”. De esta manera, y tras dos décadas de investigaciones, la vida que bulle en el río podría tener un común denominador, que no es otro que el hierro presente en la Faja Pirítica de Huelva, por otra parte las más grandes del mundo.

¿Hierro? En el cuerpo humano, es un elemento imprescindible para llevar el oxígeno en la sangre. La hemoglobina contiene hierro. Pero es un elemento que, en una naturaleza “neutral” –ni ácida ni básica–, resulta tan valioso que los seres vivos “se están robando el hierro de forma constante. La mayoría de los patógenos que nos crean problemas de salud lo único que buscan es el hierro de la hemoglobina. Es un hecho conocido por la medicina. A los patógenos lo que les interesa es el hierro del huésped”. En el río Tinto, la vida está organizada, por supuesto, en torno al carbono, como el resto de los seres vivos de la Tierra. Pero el hierro constituye una particular obsesión. “Es el protagonista central. Domina el sistema, lo controla. Puede proporcionar energía, puesto que es un donante de electrones. Pero puede aceptar electrones, por lo que se puede usar para la respiración anaerobia. Y también es un elemento tampón, y mantiene el pH constante”.

EL DESCUBRIMIENTO DE
NUMEROSAS FORMAS DE
VIDA QUE BAILAN
ALREDEDOR DEL HIERRO
OBLIGA A ALZAR LA VISTA
AL ESPACIO, HACIA MARTE

Curiosamente, “las condiciones extremas del río no se dan en la cabecera, sino probablemente en la desembocadura, en Huelva, donde el pH cambia dos veces al día”, dice Amils. Allí, los organismos tienen que vérselas con cambios de acidez de varios órdenes de magnitud, y sobrevivir cada día a una prueba que tendría que ser forzosamente mortal para la vida, si acudimos a lo que nos dicen los libros de texto. “Cuando sube la marea, el pH se eleva, cuando baja la marea, el pH descende, y ocurre en toda la zona del estuario, que es bastante amplia. Los organismos que viven en la cabecera del río, donde el pH es muy ácido y no varía, están ajustados a vivir con ese pH. Pero si cada día te cambian el pH varios órde-

nes de magnitud, la cosa es mucho más seria”. De esta forma, el río Tinto se convierte en un insólito ejemplo de vida extrema.

Muchos de estos organismos eucariotas, complejos, no viven “libremente” en las aguas ácidas, sino que se agrupan en biopelículas, que no es otra cosa que una especie de red o telaraña hecha de polisacáridos que ellos mismos producen. Es como una especie de barrera de protección frente a las condiciones ácidas, puesto que los colegas de Amils han medido las constantes vitales dentro de estas extrañas películas y resultan claramente diferentes de las de las aguas ácidas. En el exterior, el pH puede ser de 2,3, pero dentro, hay un aumento de un orden de magnitud superior a 3. Y también hay cambios en cuanto a la concentración de oxígeno.

El planeta rojo

El descubrimiento de una vida que baila alrededor del hierro obliga a alzar la vista al espacio. El hierro es un elemento extraordinariamente abundante en un planeta como Marte. Su color rojo se debe precisamente a la existencia de óxidos de hierro. De esta forma, la investigación en microbiología de un río como el Tinto lleva inevitablemente a preguntarse si la vida que allí se ha constatado podría resistir las condiciones de un planeta como Marte: muy rico en hierro, desde luego, pero también extraordinariamente diferente a la Tierra. Los obstáculos a superar son formidables, pero conviene analizarlos uno a uno.

En primer lugar, Marte es un lugar presumiblemente seco, una especie de mundo desértico cuyas temperaturas pueden alcanzar los noventa grados bajo cero (si bien en determinadas latitudes ecuatoriales y durante ciertas épocas del año, las temperaturas pueden alcanzar los quince grados centígrados, más o menos la temperatura media de la Tierra). Es un mundo sin agua líquida, al menos en la superficie. Y hace mucho frío. Su atmósfera es tan débil –la presión atmosférica es una centésima parte de la terrestre– que el agua vertida en su superficie se evaporaría instantáneamente y sería despedida al espacio. Sin duda, Marte es un lugar muy distinto al nuestro.

A pesar de ello, la maravillosa topografía que nos han proporcionado las sondas de la NASA y la Agencia Espacial Europea muestran que ese mundo ha sido retratado prácticamente por la acción erosiva del agua, con zanjas y surcos, rocas sedimentarias y signos de un océano salado de unos 90 metros de profundi-

dad. En algunas fotos, se aprecian incluso lo que parecen líneas de costa de un antiguo lecho oceánico. Está claro que algo debió suceder con Marte. Si tuvo agua en el pasado, lo hizo en unas condiciones muy diferentes –una presión atmosférica mucho mayor que la actual–, y quizá por ello fuera un mundo más caliente, lo suficiente como para permitir la presencia de agua líquida en escorrentía por su superficie. También es posible que se tratara de un mundo realmente extraño, que desafía el sentido común: húmedo y frío a la vez. ¿Es esta opción factible?

Amils y Alberto Fairén, de la Universidad Autónoma de Madrid, publicaron recientemente, junto con otros colegas, un fascinante trabajo en la revista *Nature* que sugiere que Marte, en el pasado, pudo ser un planeta húmedo incluso a temperaturas tan bajas como 50 grados bajo cero. El elegante trabajo confirma una idea que hace poco hubiera sido considerada una locura. El agua de Marte no era exactamente “agua” como la conocemos, sino una mezcla de distintas sales y sustancias tan peculiar que podría aguantar en estado líquido más allá del punto de la congelación del agua.

“Es un modelo que predice que incluso con un Marte frío, con unos 50 grados bajo cero, se podría tener una solución acuosa con una composición iónica inspirada en la reportada por distintas misiones, como las naves Vikingo, la Pathfinder, Opportunity, Spirit, y una concentración del 6%, parecida a la de los océanos, en estado líquido”, según Amils. El problema es que los modelos de gases de invernadero marcianos no dibujan un planeta lo suficientemente caliente como para mantener agua líquida por encima de los cero grados. “Y tampoco explican la mineralogía global observada en Marte. El modelo con una elevada concentración salina requiere soluciones muy viscosas que difícilmente se pueden imaginar correteando por la superficie de Marte y produciendo la grandiosa erosión visible con las espectaculares fotos de alta resolución”.

Bacterias comedoras de rocas

El nuevo modelo es, pues, el que mejor se ajusta a la realidad observada. Y algunas de estas condiciones se producen en el río Tinto. Las bacterias “comedoras de rocas” pueden vivir en el fondo del río, donde no hay oxígeno. *Acidithiobacillus* respira en el río en estas condiciones anóxicas utilizando el “ión férrico como aceptor de electrones” (oxidando azufre elemental). No precisan del oxígeno, ausente

en Marte. Amils se refiere además a otros singulares habitantes del río como una bacteria, *Acidiphilium*, que es capaz de respirar de forma anaerobia incluso en presencia de oxígeno. “Los microorganismos del río, además de ser quimiolitotrofos estrictos, es decir, comedores de piedra, y acidófilos, viven a elevadas concentraciones de iones férrico y sulfatos”.

En un planeta con soluciones muy viscosas y con hierro abundante como fuente de energía, los habitantes del río Tinto podrían encontrar el camino para la supervivencia. “Los microorganismos del río Tinto no tendrían ningún problema para vivir en Marte, ya que las condiciones iónicas son muy parecidas, salvo por las bajas temperaturas”. Una de las cuestiones que quedan por investigar es encontrar estas bacterias comedoras de piedras en ambientes de temperatura muy baja, como en la Antártida: un nuevo y precioso capítulo de investigación que podría intensificar, si cabe, la importancia del río Tinto para los científicos que buscan vida en Marte.

Vida bajo el glaciar

En este sentido, los científicos han encontrado seres vivos que han vivido debajo de un glaciar de la Antártida aislados durante millones de años, en absoluta oscuridad y sin oxígeno. El reciente hallazgo lo trae a colación la revista *Science*. En el casquete oriental antártico, y enterrado bajo el glaciar Taylor, los expertos han encontrado una comunidad de microorganismos que han sobrevivido entre 1,5 y 2 millones de años, en condiciones donde se pensaba que la vida no podía sobrevivir, en los secos y helados valles de McMurdo, un desierto extremo y helado completamente desprovisto de cualquier animal o planta, y que sólo recibe unos diez centímetros de nieve al año: el equivalente a la aridez del Sahara, o incluso mucho peor.

En este increíble paisaje, los glaciares, altos como rascacielos, permanecen inalterables en invierno, pero funden parte de su contenido en primavera, y el agua helada fluye entre estos valles tan secos formando lagos. Pero entre estas sorpresas, hay una que intrigó sobremanera a Jill Mikucki, investigador del Darmouth College, y uno de los autores principales del estudio. Se trata de una emisión bautizada como “cataratas de sangre”, que se desprende del glaciar, y que a veces tiene una extraña consistencia rojiza, que contrasta desde luego con el blanco hielo de los alrededores.

Estas cataratas están formadas por un líquido que no es exactamente agua salada

de mar, sino un fluido salado que es muy rico en hierro. Para Mikucki, una de las grandes cuestiones aún sin respuesta es explicar cómo lo han conseguido. ¿Cómo son capaces de persistir bajo centenares y centenares de metros y vivir en condiciones permanentes de frío y oscuridad durante millones de años? Es decir: sin luz, ni oxígeno; en un ambiente de una salinidad excesiva (lo que resulta mortal para la vida), con alto contenido en cloro y azufre, en un ambiente de hierro reducido, y temperaturas extremadamente bajas. Estas bacterias, entre las que se han catalogado géneros como *Thiomicrospira* y *Desulfocapsa*, no pueden realizar la fotosíntesis: pero extraen la energía del hierro y del azufre para incorporar el carbono a sus cuerpos. Al igual que en el río Tinto, la vida extrema puede dar más de una sorpresa.

Por otra parte, el proyecto MARTE, llevado a cabo por Amils y sus colegas del centro de Astrobiología dependiente del CSIC y el Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA), ha perforado decenas de metros en las franjas piríticas de Huelva, y ha localizado la presencia de estos microorganismos cuya vida baila siempre en torno al hierro. El subsuelo de esta zona podría ser muy parecido al de Marte. De forma que si uno acude al planeta rojo y envía allí una sonda capaz de detectar formas de vida, el río Tinto podría actuar como una guía para educar a los sensores de la nave y saber qué estamos buscando exactamente.

En el proyecto se están ensayando sensores capaces de “detectar” vida en el subsuelo, basados en la presencia de anticuerpos muy específicos, con magníficos resultados. Durante los siguientes años, los responsables de las misiones de la NASA que pretendan encontrar algún tipo de vida en Marte deberán echar un vistazo a lo que ya nos ha mostrado el río Tinto: la vida es factible en un ambiente tan extremo y dependiente del hierro. “El río es un análogo de Marte, y por tanto un buen lugar para probar instrumentos. Si fabricas un instrumento para detectar vida en Marte, lo llevas al río Tinto y no encuentras vida, es mejor que no lo incorpores a ninguna misión, no tienes ninguna posibilidad”. Y es que resulta sorprendente que, desde que amartizaron en el planeta rojo, allá por 1976, las sondas Viking, diseñadas para encontrar algún tipo de vida, la NASA no ha vuelto a lanzar una misión que tenga el mismo objetivo. Es más que probable que el río Tinto nos ayude a aprobar esa asignatura aún pendiente.