

Geomicrobiología del Subsuelo de la Faja Pirítica

/ RICARDO AMILS

Centro de Biología Molecular Severo Ochoa (CSIC-UAM) y Centro de Astrobiología (CSIC-INTA). Campus de la Universidad Autónoma de Madrid C/Nicolás Cabrera 1. 28049 Madrid

La geomicrobiología del subsuelo es un tema de creciente interés. Desde un punto de vista fundamental, intenta determinar si la vida puede sostenerse independientemente de la radiación, aunque tiene importantes aplicaciones medioambientales y biotecnológicas. Los ecosistemas subterráneos son también de indudable interés astrobiológico, como modelos de vida primitiva o como ecosistemas que puedan desarrollarse en otros cuerpos planetarios. El primer ecosistema subterráneo se describió en acuíferos basálticos hace menos de veinte años. Posteriormente se han descrito otros sistemas asociados a acuíferos sedimentarios, reservorios de petróleo y aguas subterráneas de minas. Resultados recientes de la exploración del subsuelo oceánico están aportando datos que nos ampliarán convenientemente el conocimiento sobre este tipo de ecosistemas. En el campo de la microbiología del subsuelo hay un importante debate sobre si los dadores y aceptores de electrones son dependientes de la radiación y los problemas de contaminación asociados al método de obtención de muestras y su posible mitigación y control. A pesar del enorme interés que suscita la geomicrobiología subterránea, la información sobre la abundancia microbiana, su diversidad y sostenibilidad es escasa debido fundamentalmente a limitaciones metodológicas.

Entre los distintos minerales, los sulfuros metálicos tienen el potencial de ser una buena fuente de energía para microorganismos quimiolitótrofos subterráneos. Los microorganismos que oxidan aerobiamente la pirita han sido convenientemente caracterizados, sin embargo conocemos muy poco sobre la posibilidad de mantener un metabolismo quimiolitótrofo subterráneo en condiciones anaerobias.



fig 1. Peña del Hierro (Río Tinto).

El proyecto MARTE (Mars Analog Research and Technology Experiment, 2003-2007) fue diseñado para caracterizar la geomicrobiología subterránea asociada a los sulfuros metálicos masivos de la Faja Pirítica Ibérica (FPI), responsable de las condiciones extremas de la cuenca del Tinto.

Río Tinto es un inusual ecosistema debido a su tamaño (92 km de longitud), pH ácido (valor medio 2.3), elevadas concentraciones de metales pesados (Fe, Cu, Zn, As, Mn, Cr...) y una importante diversidad microbiana, fundamentalmente eucariótica. Río Tinto nace en Peña de Hierro (Fig 1), en el corazón de la FPI y vierte sus aguas al Océano Atlántico en Huelva. La FPI posee una de las mayores concentraciones de sulfuros metálicos del planeta. Se formó como un depósito hidrotermal durante la

acreción de la Península Ibérica. Una importante característica del Río Tinto es la elevada concentración de ión férrico y sulfatos presentes en sus aguas, productos ambos del metabolismo quimiolitótrofo de la pirita, el principal componente mineral de la FPI.

Hoy en día se ha caracterizado conveniente la biodiversidad microbiana asociada a la columna de agua y a los sedimentos del río. El 80% de la biodiversidad en esta parte del ecosistema se debe a microorganismos relacionados con el ciclo del hierro: *Leptospirillum ferrooxidans* (oxidador de Fe), *Acidithiobacillus ferrooxidans* (oxidador de Fe en condiciones aerobias y reductor del mismo en condiciones anaerobias) y distintas especies de *Acidiphilium* (todas reductoras de Fe). El resto de la biodiversidad, fundamentalmente eucariota, corresponde a algas fotosintéticas,

palabras clave: Ciclo del hierro, Subsuelo, Aguas ácidas, Marte.

key words: Iron cycling, Groundwater, Acid drainage, Mars.

hongos y protozoos, que aunque constituyen el 65% de la biomasa del ecosistema no alteran el estado de oxidación del Fe. Datos paleontológicos y de datación de las terrazas más antiguas demuestran que un ecosistema parecido al actual estaba ya en funcionamiento hace varios millones de años, lo que sugiere que las características extremas del Tinto no son debidas a la contaminación minera, sino que son el resultado de la interacción de los sulfuros masivos de la zona con el agua, facilitando el metabolismo quimiolitótrofo de microorganismos capaces de generar el ión férrico responsable de la oxidación de los sulfuros masivos en el interior de la FPI en un reactor subterráneo del cual el río es el conducto por el que se eliminan los productos de dicha actividad. Con el fin de probar esta hipótesis se desarrolló el proyecto MARTE, un proyecto de colaboración entre el Centro de Astrobiología y la NASA, con el fin de interceptar el contacto entre la capa freática y los sulfuros masivos y detectar evidencias de la actividad microbiana en los testigos recuperados a distinta profundidad y evaluar los recursos potenciales que pudieran sostener esta actividad.

Los resultados del proyecto MARTE indican que en cuanto el agua entra en contacto con los sulfuros metálicos, procesos bióticos y abióticos se ponen en marcha eliminando el oxígeno del sistema y generando aguas ácidas con un elevado contenido en ión férrico. Los posibles aceptores de electrones detectados incluyen: oxígeno, nitrito, nitrato, sulfato, ión férrico y CO₂. Los posibles dadores de electrones incluyen: ión ferroso, sulfuro e hidrógeno posiblemente generado por la interacción del agua con el mineral. Estas condiciones soportan una población de microorganismos microaerófilos y autótrofos desnitrificantes. Conforme el fluido se va haciendo más reductor la metanogénesis y la sulfato reducción, utilizando H₂, se convierten en las actividades metabólicas dominantes. Los oxidantes necesarios para activar el sistema proceden de la matriz rocosa a diferencia de lo que sucede en los sistemas convencionales de AMD. Sólo se necesita agua para poner en marcha el metabolismo microbiano.

Estas observaciones confirman la hipótesis de que la actividad

geomicrobiológica subterránea en la cabecera de la cuenca del Tinto es responsable de las características del mismo. La detección de H₂ y CH₄ muestran que existen una gran variedad de recursos para mantener una respiración microbiana anaerobia en el subsuelo de la Faja Pirítica Ibérica.

Así mismo este modelo es de indudable interés astrobiológico ya que recientes observaciones realizadas por distintas misiones a Marte han reportado la presencia de sulfatos de hierro en Meridiani Planum, sugiriendo una historia acuosa, ácida, rica en sulfatos y hierro que pudieran resultar de la alteración de sulfuros metálicos. Nuestros resultados demuestran que un tipo de vida parecido al detectado en Peña de Hierro sería factible en el subsuelo de Marte. La posibilidad de generar metano en condiciones no-metanogénicas permite explicar un posible origen biológico de este marcador recientemente detectado en la atmósfera de Marte.