

Microbios acuáticos

diminutos protagonistas
de historias gigantes

Hicieron la vida posible hace millones de años y siguen siendo indispensables, ya sea que nos enfoquemos en su relación con el oxígeno, el carbono o el nitrógeno, o bien, en su papel en las redes tróficas y en que procesan casi cualquier tipo de materia orgánica en este enorme territorio de transformaciones que es nuestro mundo. Las bacterias y las arqueas son aún materia de estudio, pero lo que ya sabemos es asombroso.

Microorganismos y el origen de la vida

Supongamos estar en un auditorio para presenciar una representación acerca del origen de la vida. En medio de un silencio y oscuridad expectantes, se abre el telón para mostrar al planeta Tierra hace unos 4 mil millones de años. Entonces, la atmósfera presentaba altas concentraciones de metano, vapor de agua, amoníaco y un poco de hidrógeno. El oxígeno no abundaba, de modo que no había vida posible en aquel orbe convulsionado. Los mares primitivos o “caldos nutritivos” empezaron a formarse mediante la condensación paulatina del vapor y la formación de agua líquida, mientras que varios kilómetros abajo había un territorio de hierro y azufre caliente, con alta presión.

Estas fueron las condiciones precursoras de la vida en nuestro planeta. En el agua líquida se desarrollaron reacciones bioquímicas que dieron lugar a las primeras moléculas orgánicas, a partir de las cuales surgieron los antecesores directos de las células vivas. ¿Y cuáles fueron las primeras células? Las arqueas y las bacterias: organismos procariontes que aparecieron hace unos 3,400 millones de años. La palabra *procarionte* proviene de las raíces griegas *pro*, antes, y *karyo*, núcleo; se refiere a organismos cuyas células no tienen núcleo.

Ya hacia finales del siglo XVII se habían observado las bacterias, y en el siglo XIX se descubrió que carecen de núcleo y de otros compartimentos internos con membrana, rasgo que comparten con las arqueas. Estas últimas fueron clasificadas durante mucho tiempo como bacterias, con el nombre de arqueobacterias; no fue sino hasta 1977 que se asignaron a otro grupo, debido a que su material genético es muy alejado del bacteriano y también es muy distinta la composición química de sus paredes celulares. Aunque se les encuentra en varios hábitats, son más conocidas por su resistencia en ambientes extremos, como aguas termales o lagos salados.

Volvamos al escenario terrestre de hace millones de años, cuando las arqueas y algunas bacterias se mantuvieron adaptadas a un medio carente de oxígeno, y obtenían su energía de compuestos químicos a partir de la quimiosíntesis. También había bacterias que fueron adquiriendo la capacidad para emplear la luz solar como fuente de energía y comenzaron a producir oxígeno como un material de desecho a través de la fotosíntesis (proceso no exclusivo de las plantas). De tal modo, esos seres minúsculos y antiquísimos resultaron fundamentales en el gran cambio en la Tierra, mediante el incremento de los niveles de oxígeno en la atmós-

fera. No está por demás recordar que sin el oxígeno, no habría vida como la conocemos.

Es muy claro que los procesos evolutivos necesitan *tiempo*. Así, desde su origen en este planeta, las bacterias y las arqueas fueron sus únicos habitantes por cerca de 2 mil millones de años; han colonizado rincón por rincón, perfeccionando sus estrategias metabólicas y siendo testigos de la aparición de los eucariontes (organismos cuyas células tienen núcleo, del griego *eu*, verdadero, y *karyo*, núcleo), que incluyen a otros microbios —protozoarios y hongos microscópicos—, además de plantas y animales.

Es innegable que la aparición de diversas formas de existencia, así como la integración de los ecosistemas y su transformación, han estado ligados a la presencia de los microorganismos desde siempre (figura 1). ¡Qué sería de los ecosistemas sin estos pequeños gigantes y sus funciones!

Redes vitales

Los microorganismos procariontes (bacterias y arqueas), esos *inconspicuos* habitantes del planeta, han ocupado casi todos los nichos tanto en el mar como en los continentes, y su importancia es de dimensiones monumentales pese a su diminuto tamaño.



Figura 1. Microorganismos en el mural *El agua, el origen de la vida*, de Diego Rivera, en el Cárcamo de Dolores, Chapultepec (detalle).

Se les encuentra suspendidos en el agua como parte del plancton, o bien, en el lecho de los arroyos o en los sedimentos de ambientes marinos y dulceacuícolas. Pueden habitar a miles de metros sobre el nivel del mar en lagos alpinos, pero también en los mares más profundos donde resisten una presión hidrostática extraordinaria (presión de los fluidos). Los hay en ambientes hipersalinos, además de los que están adaptados a muy altas temperaturas (termófilos), por ejemplo, en algún géiser o en la ventilas hidrotermales de las profundidades marinas (fisuras del fondo marino que expulsan agua calentada geotérmicamente), donde el azufre suele ser su fuente de energía. Otros se encuentran en condiciones aún más difíciles de imaginar, tal cual sucede en los líquidos de descarga de los reactores nucleares.

A pesar de su importancia, la ciencia no siempre ha puesto su mirada en algunas particularidades vitales de los microorganismos; los estudios relacionados con ellos como parte de los ciclos de nutrientes y en las redes tróficas o interacciones alimenticias es relativamente reciente. Pasaron casi tres siglos desde que las bacterias fueron observadas por vez primera en 1676 por el cazador de microbios Antonie van Leeuwenhoek, hasta la década de 1970, cuando diversas investigaciones comenzaron a revelar el sustantivo papel de las bacterias y los protozoarios (organismos unicelulares) en las redes tróficas oceánicas. El trabajo de Lawrence R. Pomeroy titulado *The Ocean's Food Web, A Changing Paradigm* fue un parteaguas al recalcar, por primera vez, la importancia de estos diminutos actores en tales redes. La ruta en la que participan se conoce como el "loop microbiano", concepto formalizado por Farook Azam y colaboradores en 1983.

Convencionalmente, las interacciones alimenticias en los mares incluían al fitoplancton como primer eslabón trófico (que depende de la luz solar y del dióxido de carbono o bicarbonato para efectuar la fotosíntesis, así como de nutrientes disponibles en el agua), seguido del zooplancton, pequeños peces y depredadores tope. En cambio, en la ruta del loop microbiano, algunas bacterias aprovechan la materia orgánica producida por el fitoplancton, además de residuos animales, y los transforman en compuestos suscepti-

bles de ser reutilizados por el fitoplancton. Las bacterias pueden ser, entonces, consumidas por protozoarios flagelados diminutos, que a su vez constituyen la dieta de protozoarios ciliados un poco más grandes (zooplancton chico). Estos protozoarios son una fuente de alimento para organismos mayores del zooplancton (como los copépodos, cladóceros, anfípodos y otros crustáceos diminutos), que a su vez son consumidos por diversos invertebrados y peces pequeños, seguidos por criaturas de niveles tróficos superiores, como peces carnívoros (figura 2).

Ciclos de nutrientes

En cualquier ecosistema podemos apreciar ciclos de nutrientes que le brindan salud y estabilidad, como el del carbono, nitrógeno y fósforo. Los ciclos implican el continuo intercambio de nutrientes entre el ambiente y los seres vivos; por ejemplo, las plantas absorben elementos útiles del suelo, que luego pasan a los animales que

consumen los vegetales; esos elementos útiles vuelven a la tierra mediante los excrementos o con la descomposición de fauna y flora tras su muerte, gracias a la acción de hongos, artrópodos o bacterias, entre otros organismos.

Las interacciones alimenticias van de la mano de los ciclos de nutrientes, y los microbios desempeñan funciones importantes. Como muestra, las bacterias no fotosintéticas intervienen en la liberación y reciclaje de sustancias esenciales mediante el proceso conocido como mineralización, el cual se lleva a cabo durante la descomposición de la materia orgánica. En el proceso, los nutrientes en forma de compuestos orgánicos son convertidos a sus formas inorgánicas, que pueden ser reutilizadas por organismos fotosintéticos, como plantas y algas.

Cuando se encuentran activas, las bacterias presentan un enorme potencial metabólico para obtener energía y los componentes necesarios para su subsistencia. Además presentan una ele-

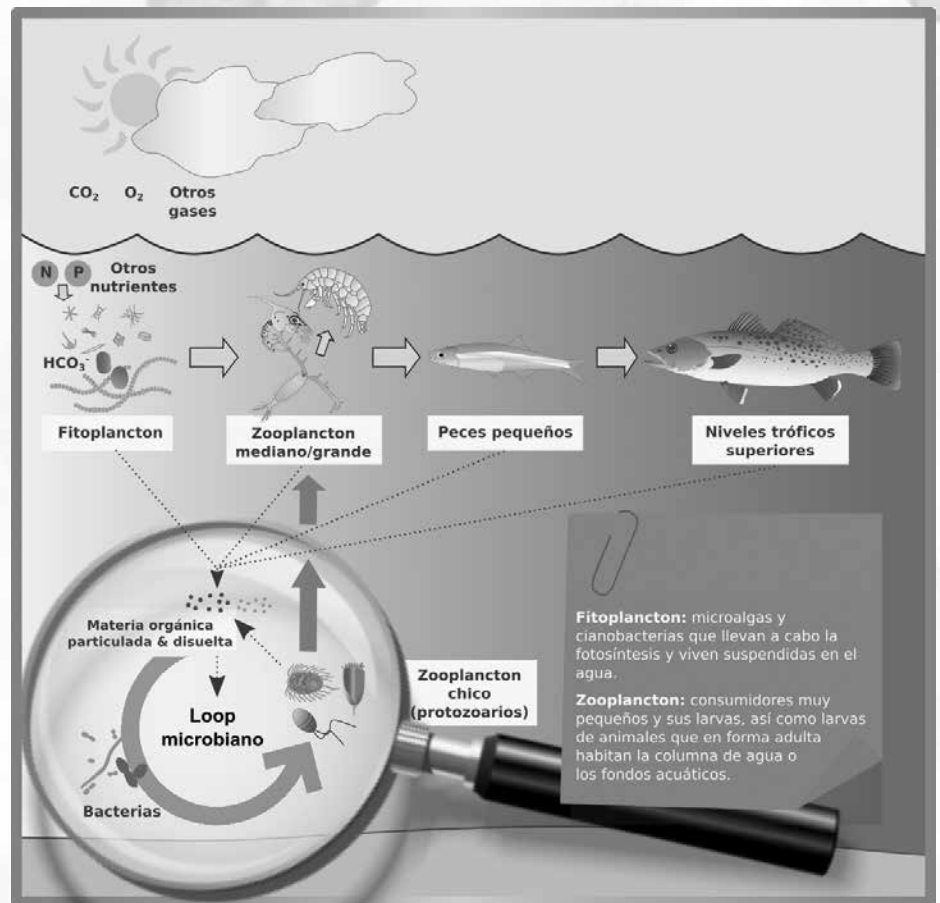


Figura 2. Simplificación de interacciones alimenticias marinas y el loop microbiano. Elaboración propia con imágenes individuales de C. Collier, J. Thomas, C. Chenery, D. Kleine, T. Saxby, K. Kraeer y L. van Essen-Fishman, Integration and Application Network, University of Maryland Center for Environmental Science (ian.umces.edu/imagelibrary/). CO₂, dióxido de carbono; HCO₃, bicarbonato; N, nitrógeno; P, fósforo.

vada tasa de reproducción y biomasa (masa total de material vivo) en ambientes favorables que contribuyen a su importante función en las transformaciones químicas y flujo de nutrientes en los ecosistemas acuáticos. Para tener una idea de su importancia, Lawrence Pomeroy y otros académicos, en su artículo *Microbial Loop*, indican que si juntamos el peso de todas las bacterias y arqueas del océano, se integrará una cantidad mucho mayor que el peso combinado del zooplancton y peces.

Las bacterias participan de forma destacada en el reciclaje del carbono, dado que varias especies son fotosintéticas: consumen dióxido de carbono y expulsan oxígeno. Hay otras que procesan casi cualquier tipo de materia orgánica, por lo que junto con los hongos, son fundamentales en la descomposición de hojarasca, material orgánico que existe en grandes cantidades en una amplia gama de ecosistemas acuáticos, entre ellos, arroyos, lagos, áreas inundables, pantanos, lagunas costeras, manglares o marismas.

La descomposición de hojarasca es uno de los procesos clave en el funcionamiento de los ecosistemas. Al entrar al medio acuático, las hojas son rápidamente colonizadas por hongos y bacterias, que tienen la capacidad de aprovechar y transformar los compuestos de las células vegetales e ir ablandando y acondicionando las hojas para que los organismos trituradores, como insectos acuáticos y crustáceos, logren consumirlas y contribuir a su fragmentación. El resultado de esta actividad, aparte de la liberación de CO₂ a la atmósfera, es la liberación de elementos minerales en formas que pueden ser usadas por los productores primarios (algas y plantas) y por las mismas bacterias nuevamente.

Además, la materia orgánica procesada y enriquecida por la actividad microbiana es consumida por diversos organismos que se alimentan del detritus: material con un alto contenido energético, generado a partir de la descomposición de materia orgánica de origen vegetal y animal. Cabe mencionar que varias pesquerías de importancia comercial, como la del camarón rosado en la costa del Golfo de México, dependen en gran medida del detritus.

Los microorganismos también son clave en el ciclo del nitrógeno, donde las diferentes trans-

formaciones de este elemento son mediadas por bacterias, las cuales toman el nitrógeno del aire y lo convierten en nitratos, amonio y otros compuestos asimilables que son aprovechados por algas y plantas, incorporando así el nitrógeno en ecosistemas acuáticos y terrestres. De igual modo, el proceso se realiza a la inversa y formas sobrantes de nitrógeno, como los nitratos, pueden reintegrarse a la atmósfera por bacterias desnitrificantes, luego de reducir y metabolizar estos compuestos a gas nitrógeno.

Asimismo, las bacterias intervienen en la mineralización del fósforo, pues procesan moléculas orgánicas y lo liberan en forma de fosfato que otros organismos asimilan.

Por otra parte, las arqueas extraen energía de compuestos químicos reducidos en el agua, como metano, ácido sulfhídrico o amonio, recordando a un mundo primitivo, pero muy actual. Realizan una acción vital al mitigar su impacto por tratarse de gases tóxicos (ácido sulfhídrico) y de efecto invernadero (metano), así como compuestos nitrogenados que contribuyen a la eutrofización de los ecosistemas acuáticos (amonio).

Los avances y aportaciones para sumergirse en el conocimiento de estos colonizadores del planeta, transformadores incansables, sobrevivientes del tiempo y pioneros para el establecimiento de nueva vida, han sido enormes. No obstante, falta mucho por hacer para obtener una visión más integral de su función desde micro a macroescalas y cómo los cambios en el ambiente afectan su función en los ecosistemas acuáticos, con efectos cascada. Es incuestionable la trascendencia de los ecosistemas acuáticos en la vida humana, así como los gigantescos aportes de los microorganismos en el funcionamiento de los mismos, por lo que se deben revisar los impactos de las actividades antropogénicas y actuar en consecuencia. 🌀

Alejandra Sepúlveda Lozada es doctora en Recursos Naturales (aleja.sepulveda@gmail.com). María Mercedes Castillo Uzcanga es investigadora del Departamento de Ciencias de la Sustentabilidad en ECOSUR Villahermosa (mmcastillo@ecosur.mx).



Zooplancton, parte de la cadena trófica acuática.