

Un marco educativo en microbiología centrado en la niñez.

Los microorganismos definen la biosfera.

Maisy: Profesor, ¿los microorganismos son importantes para nuestro planeta?

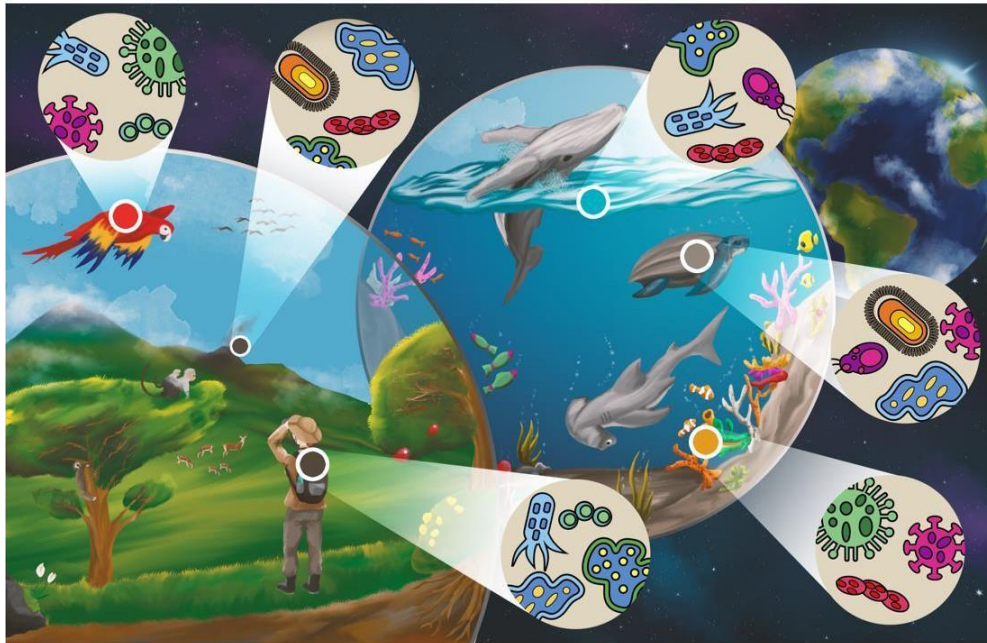


Figura 1. Los microorganismos se encuentran ubicuos en la Tierra y definen nuestra biosfera. Ilustración de José Arce Gómez.

Sofía Vieto¹, Rafael Montenegro¹, Priscila Chaverri^{2,3} & Max Chavarría^{1,2,4}

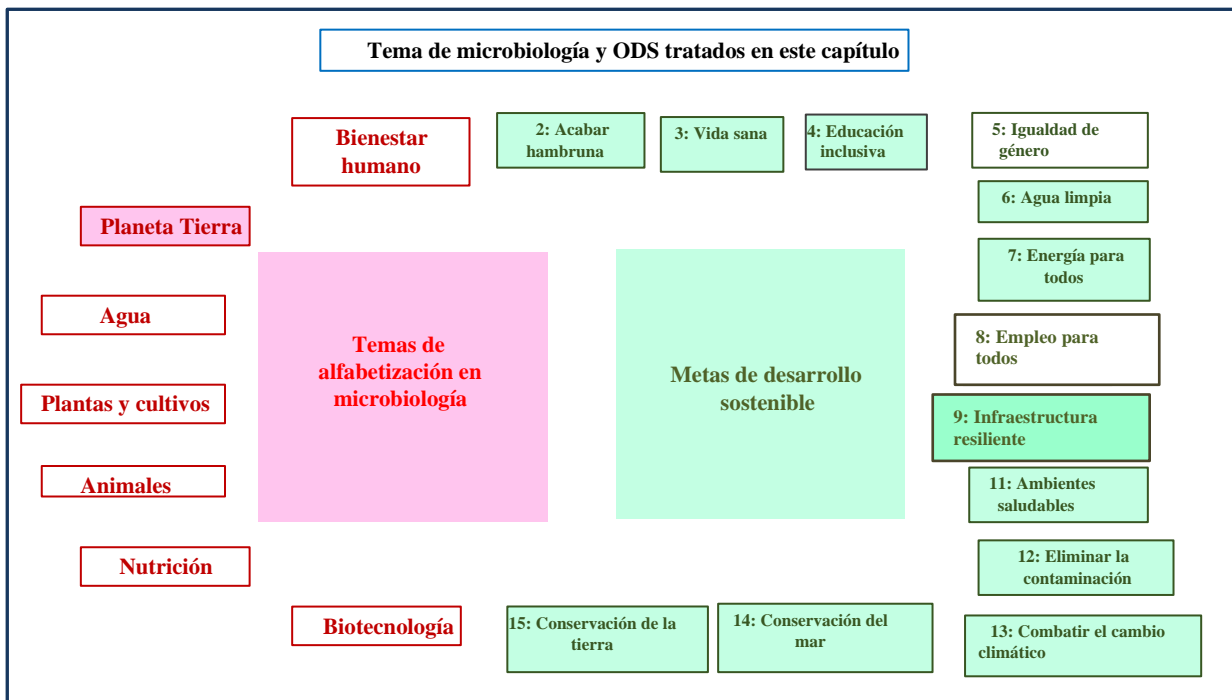
¹Centro Nacional de Innovaciones Biotecnológicas (CENIBiot), CeNAT-CONARE, 1174-1200 San José (Costa Rica). ²Centro de Investigaciones en Productos Naturales (CIPRONA), Universidad de Costa Rica, 11501-2060 San José (Costa Rica). ³Escuela de Biología, Universidad de Costa Rica, 11501-2060 San José (Costa Rica). ⁴Escuela de Química, Universidad de Costa Rica, 11501-2060 San José (Costa Rica).

Un marco educativo en microbiología centrado en la niñez.

Los microbios definen la biosfera.

Sinopsis.

Los microorganismos son ubicuos en el planeta Tierra. Muchas veces no podemos verlos a simple vista, por lo que a los niños se les dificulta notar su existencia. Existe una gran cantidad de manifestaciones en la naturaleza y en la vida cotidiana que nos permiten demostrar su existencia. La biosfera, por definición, es la suma de todos los ecosistemas de la Tierra. Por lo tanto, incluye todos los componentes de nuestro planeta que están vivos, así como los componentes no vivos, que permiten el desarrollo de esta vida (incluidos el suelo, el agua, los minerales y las superficies expuestas a la luz solar). Si pensamos en los organismos vivos que componen la biosfera, es fácil imaginar hongos y otros cuerpos fructíferos fúngicos, animales, plantas y a nosotros, los humanos. Pero si pudiéramos mirar más de cerca a través de un microscopio, veríamos una cantidad inconmensurable de criaturas vivientes a escala microscópica. Estos microorganismos, que incluyen bacterias, arqueas, virus, hongos microscópicos y protistas, son omnipresentes, y los tres primeros llevan en la Tierra más de 3.500 millones de años. Su adaptabilidad les ha permitido evolucionar hasta convertirse en maestros químicos capaces de realizar reacciones químicas muy diversas y complejas. Debido a su asombrosa diversidad biológica, viven en todos los ecosistemas, desde los sitios más comunes hasta los ambientes más inimaginablemente hostiles. Independientemente del ecosistema, estos seres vivos microscópicos son los mayores agentes de cambio del planeta y, a través de su bioquímica y la interacción con otros componentes (vivos y no vivos), definen y modifican la biosfera. Para ayudar a comprender por qué y cómo los microorganismos definen la biosfera, describimos aquí algunos hábitats en los que se pueden encontrar y las funciones ecológicas esenciales que desempeñan para sustentar la vida en la Tierra.



Un marco educativo en microbiología centrado en la niñez.

El contexto social de la microbiología.

La Microbiología: hábitats microbianos, microbiomas, diversidad microbiana, microbios y salud/enfermedad, extremófilos. *Temas de sostenibilidad:* pérdida de biodiversidad, cambio climático, economía circular, energía, producción de alimentos y seguridad, energía, contaminación ambiental, salud humana, medicamentos, pandemias globales.

Los microbios definen la biosfera: la microbiología

1. Los microorganismos son los principales habitantes del océano. Nuestro planeta está cubierto en su mayor parte por agua, razón por la cual los océanos representan el hábitat contiguo más grande de la Tierra. Si pesáramos todos los organismos vivos del océano, el 65% de ese peso sería microbiano, lo que significa que hay más biomasa microbiana en el mar que todas las demás formas de vida juntas. La composición de las comunidades microbianas cambia a lo largo de todo el océano debido a la existencia de gradientes de luz y oxígeno con la profundidad. El fitoplancton, que incluye algas fotosintéticas microscópicas y cianobacterias, viven en la capa superior del océano. Aquí desempeñan tres funciones cruciales: recolectan energía del sol y producen alimentos para toda la red alimentaria del océano, regulan el ciclo del carbono eliminando miles de millones de toneladas al año de dióxido de carbono del aire, y producen el 50% del oxígeno que respiramos. La acumulación de fitoplancton muerto en el fondo del océano durante millones de años, y su entierro y fosilización bajo el sedimento, llevaron a la formación de petróleo y gas natural, de los cuales los humanos extraen energía. La actividad tectónica y la remodelación de las masas terrestres del planeta han dado como resultado que estos depósitos de combustibles fósiles ahora se encuentren bajo la superficie, tanto de la tierra como del fondo marino. Por lo tanto, la extracción de combustibles fósiles utilizados para proporcionar energía a los seres humanos implica perforaciones tanto en alta mar como en tierra.

También podemos encontrar virus en el océano. Se sabe que matan diariamente el 20% de la biomasa oceánica, que ayuda a controlar las poblaciones microbianas del fitoplancton y prevenir la proliferación de algas dañinas. Los virus también pueden vivir dentro de otros microorganismos marinos, como bacterias y hongos, haciendo que sus huéspedes cambien, volviéndose, por ejemplo, más o menos patógenos. Además, los virus desempeñan un papel importante en el ciclo de los nutrientes porque durante la lisis celular, los aminoácidos y otros compuestos de carbono son liberados y absorbidos por otros microorganismos como las bacterias heterótrofas, que son los principales productores de CO₂ en el océano. Las bacterias y arqueas se encuentran en diferentes niveles a lo largo de la columna de agua y en los sedimentos, realizando todo tipo de procesos químicos implicados en el ciclo del nitrógeno, el carbono, el azufre y el fósforo, pero también viviendo en simbiosis con animales, algas y otros organismos del océano. Por último, los hongos marinos también desempeñan un papel importante en la descomposición de moléculas complejas de carbono de plantas muertas, así como cadáveres de animales de hábitats tan diversos como los manglares y las profundidades marinas, y en la formación de relaciones mutuamente beneficiosas con otros organismos marinos, como animales o plantas, o incluso causarles enfermedades. Colectivamente, los microbios marinos son las criaturas vivientes que sustentan la vida en el océano.

2. Los microbios fertilizan el suelo y promueven el crecimiento de las plantas. Los microorganismos del suelo llevan a cabo procesos fundamentales que sustentan el crecimiento de las plantas,

Un marco educativo en microbiología centrado en la niñez.

la producción de cultivos y, en consecuencia, la vida en la Tierra. Los microbios son actores clave en el ciclo de nutrientes y la fertilización del suelo. Como ejemplo, las bacterias fijadoras de nitrógeno convierten el nitrógeno atmosférico, que es metabólicamente inútil para las plantas y los animales, en amoníaco y otros compuestos relacionados con el nitrógeno que pueden ser absorbidos por los organismos vivos. De la misma manera, las bacterias son capaces de poner a disposición nutrientes de azufre y fósforo, que también son necesarios para el crecimiento de las plantas. Por otro lado, muchos microorganismos como los hongos y actinobacterias, son excelentes descomponedores de la materia orgánica. Estos microorganismos descomponen plantas y animales muertos, liberando nutrientes al suelo y creando humus, un importante componente del suelo rico en carbono. Además, los microbios del suelo secretan moléculas que unen las partículas del suelo, contribuyendo a la arquitectura del suelo.

El microbioma presente en raíces es el principal determinante del crecimiento y la salud de las plantas. Hasta 10 mil millones de células bacterianas habitan en cada gramo de suelo alrededor de la región de las raíces de las plantas, y ayudan a las plantas en funciones cruciales. Los hongos forman asociaciones simbióticas con las raíces de las plantas, llamadas micorrizas, que extienden el sistema de raíces para obtener agua y nutrientes de capas más profundas del suelo para la planta, y apoyan la salud y la tolerancia de las plantas contra la sequía y la salinidad. Por otro lado, los microorganismos pueden producir moléculas similares a hormonas, que estimulan el crecimiento de las plantas, y toxinas, compuestos antibióticos y antifúngicos que pueden ayudar a las plantas a defenderse contra los patógenos. De este modo, los microbios promueven suelos saludables, que son la base de los agroecosistemas sostenibles y productivos de nuestro planeta.

3. Los microbios habitan en los animales y determinan su estilo de vida. Básicamente, todos los animales de la Tierra están cubiertos y habitados por microorganismos. Aunque las relaciones entre animales y microorganismos a veces pueden provocar enfermedades en los animales, en la mayoría de los casos son de vital beneficio mutuo. Primero, los microbios pueden ayudar a los animales a digerir sus alimentos. Los rumiantes, por ejemplo, tienen un compartimento especializado en el estómago (rumen), donde las bacterias anaeróbicas y arqueas, protozoos y hongos ayudan a descomponer la fibra vegetal y fermentar azúcares, proporcionando energía al huésped. Un ejemplo similar se puede encontrar en las termitas, insectos que se alimentan de madera, los cuales se sustentan en sus microorganismos intestinales que producen enzimas especializadas que descomponen la madera en azúcares fermentables. Además, los pájaros carpinteros llevan hongos en el pico para ayudar en la descomposición y ablandamiento de la madera dura, facilitando la excavación de cavidades y así el acceso a los insectos enterrados que componen su dieta. Además, podemos encontrar otros ejemplos en el océano, concretamente en el interior de los arrecifes de coral. Aquí, un tipo de protista llamado dinoflagelado vive dentro de los tejidos del coral y realiza la fotosíntesis, produciendo azúcares para el coral. A cambio, los corales emiten productos de desecho en forma de amonio, que los microbios consumen como nutrientes.

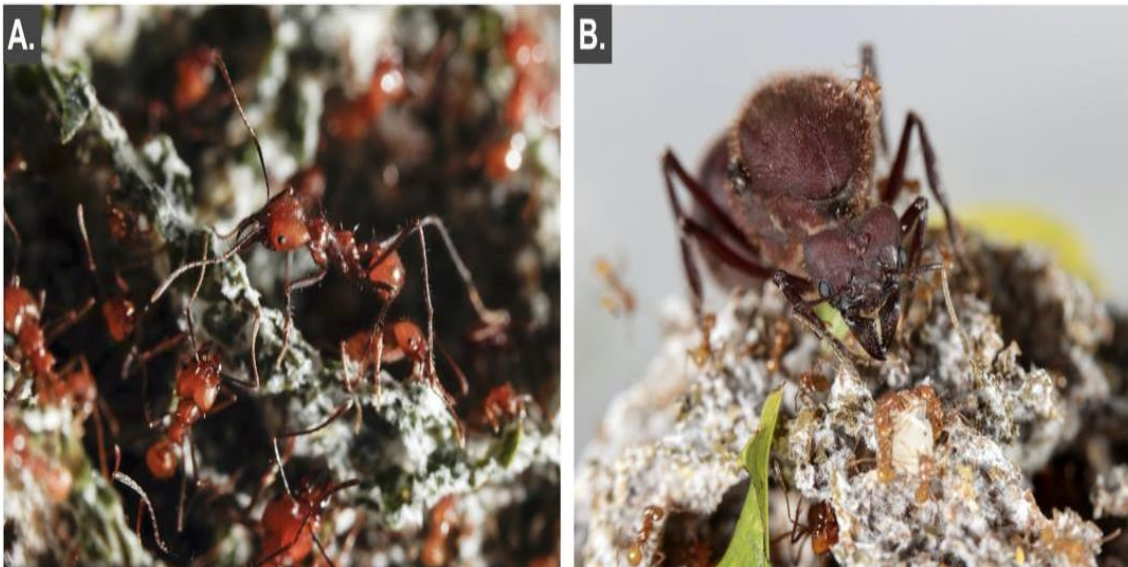
Por otro lado, los microorganismos tienen un papel vital en la protección de los animales contra ataques de patógenos y enfermedades. Se sabe que muchos insectos tienen asociaciones protectoras con actinobacterias. Por ejemplo, las avispas cultivan bacterias *Streptomyces* en su antena y las aplican a sus larvas, donde producen una mezcla de compuestos antimicrobianos que protegen a las larvas del ataque de hongos. También, las bacterias del género *Pseudonocardia*, que viven en la cutícula de las hormigas cortadoras de hojas, producen moléculas antifúngicas que también las protegen de hongos patógenos. Por último, los microorganismos pueden tener otras funciones especializadas en los animales; ¡como hacerlos brillar en la oscuridad! Los calamares

Un marco educativo en microbiología centrado en la niñez.

tienen un "órgano de luz" especializado que está colonizado por *Vibrio fischeri*, una especie de bacteria que puede producir luz. Esta **luminiscencia** ayuda a los calamares a encontrar pareja, atraer presas y repeler o esconderse de los depredadores. En resumen, las simbiosis entre animales y microorganismos son omnipresentes en la Tierra, desde el océano hasta los bosques, y ayudan a dar forma a todo nuestro ecosistema.

Cuadro 2. ¡Nosotros no inventamos la agricultura, sino las hormigas cortadoras de hojas! Fotografías de Jeffrey Arguedas

Las hormigas cortadoras de hojas del género *Atta* (A) cultivan hongos de la familia *Agaricaceae* como alimento. El hongo cultivado (también llamado jardín de hongos) sirve como fuente principal de alimento para la colonia y se conserva mediante un proceso que incluye fertilización con sustrato vegetal, excrementos de hormigas, insectos muertos o semillas. (B) Por otro lado, el beneficio que obtiene el hongo es que la hormiga lo mantiene libre de microorganismos que puedan afectar su crecimiento. Esta relación **mutualista** parece ser aún más compleja, debido a la participación aparentemente simbiótica de bacterias que se encargan de proteger el jardín de hongos. Un ejemplo que se ha demostrado de esta dependencia es la interacción mutualista entre las hormigas cortadoras de hojas y algunas bacterias filamentosas del género *Pseudonocardia* (de la clase *Actinobacteria*) para el control del hongo parásito *Escovopsis*, que puede ser capaz de devastar el jardín de hongos. Curiosamente, se identificó la presencia de estas bacterias en la cutícula de las hormigas en regiones anatómicas específicas según la especie. La presencia de estas bacterias se puede observar como manchas blancas en el cuerpo de las hormigas. En estos sitios, las bacterias se desarrollan y secretan antibióticos, que se ha descubierto que son potentes inhibidores del desarrollo de *Escovopsis*.



Photography: Jeffrey Arguedas

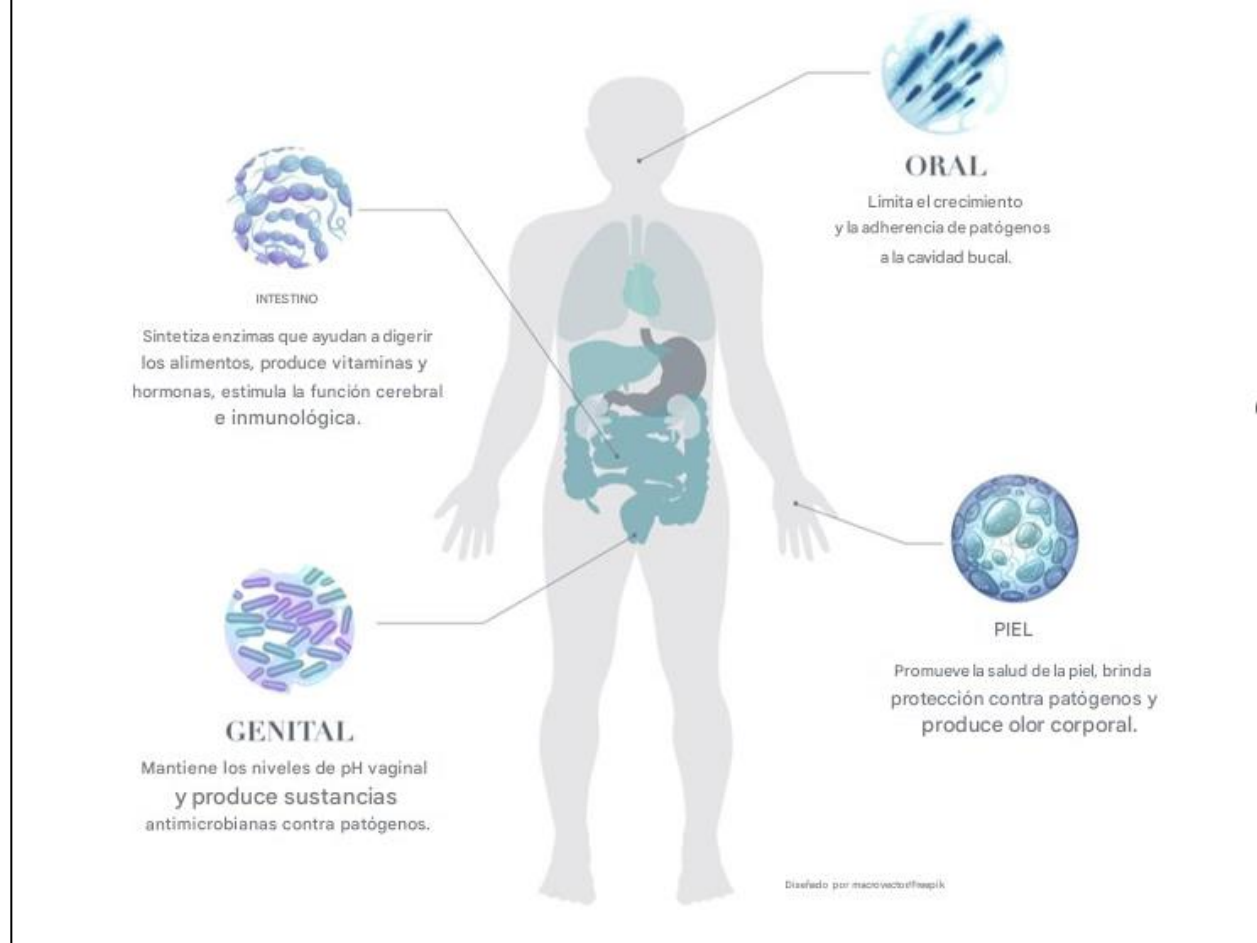
Fotografías de Jeffrey Arguedas

Un marco educativo en microbiología centrado en la niñez.

4. Los microbios viven dentro de nosotros y determinan nuestra salud. Es importante recordar que vivimos en un mundo microbiano. Dicho esto, no debería sorprender que nuestros cuerpos no sean sólo nuestros, sino que sean el hábitat de numerosas criaturas microscópicas que corresponden a la mitad del número de células de nuestro cuerpo. Desde el momento en que nacemos, los microorganismos del ambiente comienzan a colonizar nuestra piel, boca, nariz, genitales e intestino; y ensamblarse en comunidades microbianas altamente complejas y dinámicas. Este proceso es crítico en nuestros primeros seis meses de vida, ya que las numerosas bacterias, virus y hongos que residen en nuestro organismo, son fundamentales para el desarrollo de nuestro sistema inmunológico. Además, a lo largo de la vida, estos microorganismos comensales, que crean una segunda piel en la superficie de nuestro cuerpo, nos protegen de patógenos, nos ayudan a digerir los alimentos y potencian nuestra función cerebral. A modo de ejemplo, recientemente se sugirió que nuestro microbioma intestinal puede incluso influir en nuestro estado de ánimo y prevenir la depresión, ya que estos microorganismos pueden producir o estimular la producción de neurotransmisores y compuestos neuroactivos.

Cuadro 3. La microbiota humana. *Ilustración por Sofía Vieto basado en Freepikrecursos*

Los microorganismos se encuentran en todas las partes de nuestro cuerpo, cumpliendo diferentes funciones. Múltiples estudios han revelado que la microbiota tiene una estrecha relación con la salud y las enfermedades humanas.



Un marco educativo en microbiología centrado en la niñez.

Como se puede pensar, dado que este proceso de colonización está influenciado por la exposición ambiental, el **microbiota humana** es altamente individual, y en las primeras etapas de la vida, hay factores clave que lo moldean, tales como: modo de parto al nacer, tipo de consumo de leche y dieta. Aunque en la edad adulta la composición de nuestro **microbioma** se vuelve más estable, nunca es estático y el ecosistema microbiano se adapta continuamente a nuestros estilos de vida. Sin embargo, dado que estas comunidades comensales están cuidadosamente equilibradas, si se perturban, es posible que ya no puedan proporcionar funciones protectoras clave y surja un estado de **disbiosis**, que predispone a las personas a infecciones (por ejemplo, la perturbación de nuestra microbiota intestinal inducida por antibióticos puede causar que *Clostridium difficile* "prolifere", aumentando su número a niveles anormales y causar enfermedades (colitis) del colon) y enfermedades como la obesidad, la diabetes, el cáncer e incluso la enfermedad de Alzheimer. Además, la falta de exposición a microorganismos en nuestras primeras vidas está relacionada con el desarrollo de asma, alergias y otras enfermedades autoinmunes. En resumen, junto con su huésped humano, los microorganismos forman un "superorganismo", y el microbioma desempeña un papel fundamental en nuestra fisiología, metabolismo y salud en formas que apenas estamos comenzando a comprender.

5. Los microorganismos son capaces de adaptarse y modificar ambientes extremos.

Cuando decimos que los microorganismos están en todas partes, también nos referimos a los lugares más inhóspitos del planeta Tierra: donde las temperaturas alcanzan los 100 °C, en aguas marinas heladas, ambientes ácidos volcánicos o en las profundidades de los océanos con altas presiones y sin luz, ni oxígeno. Estas duras condiciones ambientales no pueden sustentar la vida humana y, sin embargo, los microorganismos han logrado adaptarse y prosperar en estos entornos inhóspitos. Los microbios que viven en estos hábitats se llaman extremófilos y se clasifican según las condiciones en las que crecen. **Termófilos** (crecimiento óptimo entre 45 °C y 80 °C) y los **hipertermófilos** (> 80 °C) proliferan a altas temperaturas y se encuentran principalmente en ambientes calentados geotérmicamente como fuentes termales y cerca de respiraderos hidrotermales y volcanes, o simplemente en las profundidades de la Tierra. Por el contrario, los **psicrófilos** (< 15°C) viven en ambientes fríos como las regiones polares, el **permafrost** y las profundidades del mar. Los **acidófilos** (< pH 5) se encuentran en lagos ácidos o sitios de **drenaje ácido de rocas** (ARD); por el contrario, los **alcalófilos** (> pH 9) prefieren sitios con pH más alto, como los lagos de soda. En el caso de los **barófilos**, pueden tolerar -e incluso requerir- altas presiones para vivir. Estos microorganismos se pueden encontrar en las profundidades de los océanos, donde sobreviven 800 veces la presión que experimentan los humanos al nivel del mar. Por otro lado, a los halófilos les gustan los hábitats con altas concentraciones de sal y se encuentran en el agua de mar, e incluso en el hipersalino Mar Muerto. Los **xerófilos** prosperan en condiciones de escasez de agua, como los desiertos, y, por último, los **metalófilos** habitan en sitios con altas concentraciones de metales pesados.

Pero ¿cómo sobreviven los extremófilos en estas condiciones? Además de las vías metabólicas familiares, como la fotosíntesis, los microbios también pueden tener metabolismos basados en metano, azufre o hierro. Esta amplia diversidad metabólica se combina con extraordinarias adaptaciones genéticas y metabólicas, lo que les permite colonizar ambientes muy diversos y extremos. Tomemos como ejemplo a los hipertermófilos. Estos microorganismos, que incluyen bacterias y arqueas, viven en ambientes cálidos y ricos en sustancias químicas reducidas del interior de la Tierra, como compuestos de azufre, que los microbios oxidan como fuente de energía. Además, se han adaptado para sintetizar proteínas y enzimas estables y densamente

Un marco educativo en microbiología centrado en la niñez.

empaquetadas, resistentes a la desnaturalización por calor y poseen membranas celulares ricas en ácidos grasos saturados y de diferentes composiciones químicas, lo que les confiere estabilidad y funcionalidad a altas temperaturas.

Cuadro 4. Los microorganismos pueden habitar entornos que son inhabitables para otras formas de vida como plantas, animales y humanos. Fotografías de *Zhifei Zhou* y *Max Chavarría*.

(A). En aguas hipersalinas de salinas solares, *Haloarchaea* tienen una capacidad excepcional para superar los potenciales efectos dañinos en fisiología (pérdida de turgencia) o toxicidad (exceso de sodio), típicos de ambientes con altas concentraciones de sal. (B) El Volcán Poás en Costa Rica tiene condiciones extremas de pH (promedio de 0,29) y temperaturas que pueden alcanzar los 95°C. A pesar de estas condiciones desfavorables para la vida, aquí se han encontrado bacterias del género *Acidiphilium*, que tienen un metabolismo basado en azufre. (C) Borbollones en el Parque Nacional Volcán Tenorio en Costa Rica es un respiradero hidrotermal rico en CO₂ que tiene una temperatura de 60 °C y un pH de 2,4. Está dominado por un arqueón del orden *Thermoplasmatales* y una bacteria del género *Sulfurimonas*. (D) En la Antártida, se han encontrado arqueas metanogénicas anaeróbicas del género *Methanococcoides* en aguas del fondo extremadamente frías (1-2 °C).



Un marco educativo en microbiología centrado en la niñez.

El descubrimiento de extremófilos, como la bacteria *Thermo acuático*, ha tenido un gran impacto en la industria biotecnológica, ya que las enzimas que producen son estables en las condiciones extremas utilizadas en procesos industriales y de laboratorio. Debido a que se estima que solo hemos descubierto alrededor del 1% de los microorganismos de la Tierra, ¡todavía tenemos muchos hábitats extremos para explorar con nuevos microorganismos esperando ser encontrados!

6. Los microbios son parte de nuestro entorno construido y lo cambian constantemente.

Como cualquier otro ecosistema, los microorganismos se encuentran en cada parte de nuestro entorno construido. Con esto nos referimos al material creado por el hombre, que incluye los edificios, casas y pueblos donde vivimos, trabajamos, estudiamos y pasamos nuestro tiempo libre. Los microbios de la Tierra y sus esporas viajan a estos materiales principalmente a través del aire y el agua, y sus principales fuentes son: humanos, mascotas, plantas, polvo, sistemas de plomería y ventilación, y el ambiente exterior. Dado que los humanos pasan más del 90% de su tiempo en interiores, el microbioma del entorno construido es de particular interés, ya que estos microorganismos pueden influir positiva o negativamente en nuestro propio microbioma y salud. Por ejemplo, algunos mohos en ambientes interiores húmedos se saben que causan alergias, asma, infecciones respiratorias e incluso intoxicaciones. Además, los entornos construidos son lugares de encuentro únicos para las bacterias ambientales y de origen humano. Aquí se favorecen sus interacciones y puede ocurrir el intercambio de material genético entre especies (*transferencia horizontal de genes*). Debido a que la capacidad de resistir sustancias químicas y fármacos está contenida en los genes, este tipo de interacciones pueden desempeñar un papel importante en la difusión de la resistencia a los antibióticos a otras bacterias.

Aunque la mayoría de los materiales utilizados en los entornos construidos están diseñados para ser inhóspitos para la vida microbiana, los microorganismos se han adaptado para colonizar nuevos nichos de composición tanto orgánica (plástico, cuero, papel, madera) como inorgánica (metal, piedra, hormigón). Los microbios son tan poderosos que pueden causar *biodeterioro* de nuestro entorno construido destruyendo edificios, monumentos, documentos y obras de arte, algunos de los cuales representan parte de nuestro patrimonio cultural. hongos, líquenes y las bacterias se encuentran entre los colonizadores más comunes de las estructuras construidas por el hombre y actúan penetrando grietas y poros, expandiendo su crecimiento mediante la formación de biopelículas y excretando enzimas y metabolitos para degradar los diferentes sustratos, incluso el acero. Los científicos están interesados en estas enzimas, ya que pueden usarse para degradar contaminantes plásticos o para transformar *residuos lignocelulolíticos* en productos de valor agregado como biocombustibles. Los hongos son excelentes descomponedores y metabólicamente más versátiles que cualquier otro *biodeterógeno* del reino microbiano; y todavía estamos descubriendo nuevas especies de ellos, que prosperan en todas las superficies, desde el plástico hasta la pintura.

Para concluir: en cualquier lugar donde hay vida –la biosfera– hay microbios y hay muchos lugares en la biosfera donde sólo hay microbios. Por tanto, los microbios definen la biosfera.

Relevancia para los Objetivos de Desarrollo Sostenible y los Grandes Desafíos

¿Cómo sería nuestra biosfera sin microorganismos? En ausencia de microorganismos, la vida en la Tierra sería difícil de imaginar. Estas criaturas microscópicas son omnipresentes y tienen un papel fundamental en la salud ambiental y los ecosistemas prósperos. Por esta razón, una vez que comprendamos que los microorganismos son los responsables de definir la biosfera, muchas de nuestras decisiones cotidianas serán más informadas y relacionadas con la sostenibilidad de la

Un marco educativo en microbiología centrado en la niñez.

Tierra:

- **Objetivo 2. Hambre cero.** Los microorganismos no sólo forman parte de nuestra dieta, sino que también nos ayudan a producir otros alimentos y desarrollar mejores prácticas de producción. Entender que los microorganismos son el mayor agente de cambio del planeta, favorecerá la aplicación de buenas prácticas agrícolas (p.ej., buen manejo del suelo, uso de biofertilizantes y biocontroladores, en lugar de pesticidas tóxicos) y manejo de los animales de granja (uso correcto de antibióticos en, por ejemplo, ganado y aves de corral, así como buenas prácticas de limpieza y manufactura).
- **Objetivo 3. Buena salud y bienestar.** Saber que los microorganismos son ubicuos, algunos dañinos y otros beneficiosos, nos ayudará a implementar prácticas personales más saludables. Una mayor comprensión de que nuestra microbiota define nuestra salud, nos invita a comer bien, hacer ejercicio, evitar fumar y cuidar nuestra higiene personal (evitando una higienización excesiva para evitar eliminar los microbios beneficiosos).
- **Objetivo 4. Educación de calidad.** La pandemia de COVID-19 nos ha mostrado la urgente necesidad que tiene la sociedad y la población en general de adquirir conocimiento sobre el mundo microbiano. ¿Qué es un virus? ¿Cómo lo eliminamos? ¿Cómo se propaga? Éstas son algunas de las preguntas que se volvieron imperativas en la sociedad en general. Una mayor comprensión de la omnipresencia de los microorganismos y la forma en que interactúan con el medio (por ejemplo, con los humanos), nos permitirá tener una mejor respuesta a los próximos desafíos que nos presenten los microbios. Por tanto, la educación es uno de los pilares para el desarrollo y preservación de nuestro planeta y sociedad.
- **Objetivo 6. Agua limpia y saneamiento.** Para tener agua potable y saneamiento para todos, es de vital importancia implementar estrategias sostenibles de gestión de aguas residuales; que comúnmente hacen uso de microorganismos para eliminar la carga orgánica, el exceso de nutrientes y contaminantes (**biorremediación**). Además, para mantener una buena calidad del agua, es importante prevenir la eutrofización en los cuerpos de agua, que induce un crecimiento excesivo de algas, causado por la contaminación antropogénica con desechos que contienen nitratos y fosfatos.
- **Objetivo 7. Energía asequible y limpia.** Los microorganismos pueden utilizarse para la producción de energía a partir de materias primas biológicas de forma sostenible y limpia. Las bacterias metanogénicas, por ejemplo, son fuentes de biogás, ya que digieren materia orgánica en ausencia de oxígeno para producir metano. Además, se necesitan hongos para degradar polímeros complejos como **lignina** para obtener azúcares que sirvan de sustrato a microorganismos que lo conviertan en etanol u otros alcoholes. Por último, ***Geobacter sulfurreducens***, una interesante bacteria capaz de conducir electricidad podría utilizarse para generar electricidad limpia en el futuro.
- **Objetivo 9. Industria, innovación e infraestructura.** La biotecnología ofrece varias ventajas biológicas y soluciones innovadoras basadas en microbios para mejorar la sostenibilidad de la Tierra y construir **economías circulares**. Algunos ejemplos son: **bioplásticos**, biorremediación, uso de enzimas (algunas de ellas obtenidas de extremófilos) en procesos industriales, **biocombustibles**, **biopesticidas**, **biofertilizantes** y ropa sustentable.

Un marco educativo en microbiología centrado en la niñez.

- **Objetivo 11. Ciudades y comunidades sostenibles.** Los microbios desempeñan un papel importante en la ecología de las ciudades urbanas; específicamente, en la gestión del agua y los residuos, la producción de alimentos, la salud y enfermedad. Por otro lado, para proteger y salvaguardar el patrimonio cultural y natural de una ciudad, también se deben tener en cuenta los microorganismos y su poder para modificar el entorno en el que crecen (por ejemplo, biodeterioro).
- **Objetivo 12. Consumo y producción responsables.** Una vez que comprendamos la importancia de los microorganismos para mantener ecosistemas sanos y equilibrados, podremos practicar patrones de consumo y producción sostenibles individuales, comunitarios y nacionales que ayuden a proteger y restaurar estos ecosistemas. Los microorganismos se pueden utilizar para aumentar la productividad agrícola e industrial con menos daño ambiental, para la producción de biocombustibles y en la gestión de residuos. Estas estrategias pueden contribuir a una economía circular y más sostenible.
- **Objetivo 13. Acción climática.** Sabiendo que los microorganismos son el sistema de soporte de la biosfera, y teniendo en cuenta los efectos devastadores que el calentamiento global causará a las comunidades microbianas y, por tanto, a nuestros ecosistemas, es imperativo tomar medidas climáticas. Los microbios son el mayor agente de cambio que tenemos y podemos usarlos para mitigar el cambio climático aprovechando las actividades microbianas que reducen las emisiones de metano, usando bacterias y hongos para generar combustibles y alimentos menos contaminantes, mejorando la fertilidad del suelo para una vida más sostenible y menos contaminante. agricultura, o aplicando microbios para biorremediar cuerpos de agua con el fin de combatir la contaminación y eutrofización.
- **Objetivo 14. Vida bajo el agua.** Considerando que los microbios en el océano producen al menos el 50% del oxígeno que respiramos, fijan la mitad del dióxido de carbono del mundo y sustentan toda la red alimentaria oceánica; si disminuyeran debido al calentamiento global o proliferaran en exceso (específicamente algas y cianobacterias) debido a la eutrofización, el mundo enfrentaría consecuencias catastróficas. Por este motivo, los microbios son fundamentales para la preservación de los recursos y la biodiversidad marinos.
- **Objetivo 15. Vida en tierra.** Ahora que conocemos la importancia de contar con suelos ricos en microorganismos, es imperativo promover prácticas agrícolas sustentables, como: la rotación de cultivos, el uso de biofertilizantes, estrategias de biocontrol y la reducción del uso de fertilizantes artificiales y pesticidas tóxicos, para promover y restaurar suelos sanos y ecosistemas terrestres equilibrados.

Posibles implicaciones para las decisiones

Individual

- a. ¿Qué tan estrictos somos en nuestra higiene personal? Tener conocimiento del mundo microbiano invisible y sus efectos en nuestra salud puede ayudarnos a prevenir un mundo sobre higienizado y decidir la forma en que hacemos nuestra higiene personal (por ejemplo, lavado de manos, tiempo, frecuencia, selección de estrategias de desinfección y limpieza para hogares, edificios), lugares de trabajo).

Un marco educativo en microbiología centrado en la niñez.

- b. Un mayor conocimiento de los microorganismos y la importancia de tener microbiomas sanos nos ayudaría a elegir entre tener un parto natural o una cesárea, hacer un uso responsable de los medicamentos (por ejemplo, antibióticos), comprender la importancia de la lactancia materna, la vacunación y el contacto de los recién nacidos y niños con microorganismos saludables.
- c. Fomentar patrones de consumo y estilos de vida sostenibles individuales para reducir la huella ambiental; por ejemplo: tomar decisiones informadas sobre el uso de productos agrícolas generados con biofertilizantes microbianos y libres de pesticidas, reducir el uso de plástico y eliminar correctamente los desechos.

Políticas comunitarias

- a. Promover el uso de estrategias de biorremediación y gestión sostenible de residuos de productos electrónicos, alimentos, plásticos y otros materiales, de manera que puedan eliminarse y reciclarse correctamente para reducir la carga contaminante y ayuda a restaurar ecosistemas sanos y equilibrados.
- b. Fomentar el uso de biofertilizantes, el control biológico de plagas, la rotación de cultivos y otras prácticas agrícolas sostenibles, para promover suelos saludables y reducir la contaminación química de los suelos y el agua.

Políticas nacionales relacionadas con la salud humana y la protección del medio ambiente

- a. La concientización sobre los microorganismos ayudará en el diseño de estrategias de vacunación, prevención de enfermedades y estilos de vida saludables, promoviendo campañas que apoyen los microbiomas humanos saludables; pero lo más importante es que una sociedad educada en microbiología comprenderá mejor la importancia de estas políticas.
- b. Facilitar y promover el desarrollo de una economía circular y apoyar productos y soluciones basados en biotecnología (por ejemplo, biofertilización, biorremediación y control biológico de plagas, entre otros) que contribuyan a ecosistemas ricos en microbios sanos y equilibrados.

Participación de los alumnos

Discusión General de los hábitats de los microbios y el efecto que generan en el ecosistema.

Concientización de los alumnos sobre las partes interesadas

- a. ¿Dónde viven los microorganismos? ¿Por qué no los vemos?
- b. Comentar en clase la existencia de microorganismos que pueden afectar a nuestra salud, pero señalar que una gran mayoría de microorganismos son beneficiosos, nos mantienen sanos y han permitido el desarrollo de nuestra sociedad. ¿Puedes dar ejemplos de microorganismos beneficiosos y otros que nos perjudican?
- c. ¿Las variables fisicoquímicas (p. ej., pH, temperatura, nutrientes, metales, presión, etc.) determinan los tipos de microorganismos que colonizan un ambiente? ¿Puede un microorganismo modificar o adaptarse a estas condiciones?
- d. ¿Crees que un microorganismo capaz de vivir dentro de una planta también podría vivir dentro de un animal? Explicar.
- e. ¿Cómo es capaz un microorganismo de definir o modificar un ecosistema?

Un marco educativo en microbiología centrado en la niñez.

- f. ¿Qué importancia tienen los microorganismos para la salud planetaria? ¿Podríamos vivir sin microorganismos?
- g. ¿Qué alimentos comemos? ¿disfrutamos porque existen microorganismos?
- h. ¿Cómo sería nuestra sociedad ahora si los microbiólogos no hubieran descubierto el antibiótico penicilina?

Ejercicios y/o Tarea

- a. ¿Por qué se deben considerar los microorganismos y su efecto en la biosfera para la toma de decisiones en términos de leyes de salud, medio ambiente, desarrollo de infraestructura y nuevas tecnologías?
- b. ¿Cómo pueden los microorganismos ayudarnos a cumplir los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)?
- c. ¿Conoce alguna tecnología en su país que involucre microorganismos?
- d. ¿Tiene su país un ambiente extremo? ¿Existen estudios de la microbiota que habita en este sitio extremo? ¿Qué tipo de microorganismos habitan en este ambiente? ¿Alguno de estos microorganismos podría aplicarse en beneficio de la sociedad (industria, agricultura, etc.)?
- e. Menciona (o investiga) los nombres de algunos microorganismos que habitan en tu (i) boca, (ii) intestino, (iii) piel. ¿Son estos microorganismos beneficiosos o peligrosos para la salud?
- f. ¿Cuáles son algunas formas en las que puedes cambiar tus propias prácticas o comportamientos para promover el florecimiento de microbios beneficiosos?

Experimentos de clase (seleccione el experimento apropiado de la lista Experimentos de clase)

- a. Vida microbiana en una columna de Winogradsky
<https://www.asmscience.org/content/journal/jmbe/10.1128/jmbe.v16i1.847>
<https://www.amnh.org/explore/ology/microbiology/make-a-home-for-microbes>
Temas: Microorganismos, hábitats, suelo, agua, ecosistema.
- b. Pan de moho <https://www.epa.gov/sites/production/files/documents/holdthemold.pdf> *Temas:* moho, los microbios son omnipresentes, las esporas, el aire
- c. Diversión con hongos: safari de hongos, jardín de mohos, globo de levadura, láminas de hongos, hacer masa de pan con y sin levadura.
<https://www.kidsdiscover.com/teacherresources/fungi/>
Temas: moho, hongos, levadura, setas, alimentos

La Evidencia Base, lectura adicional y ayudas didácticas

1. **Video:** Un mundo sin microbios: un experimento de pensamiento apocalíptico - Contengo multitudes <https://www.youtube.com/watch?v=80tPR5HH9Zo>
Temas: Los microorganismos están omnipresentes y son esenciales para la vida en la biosfera.
2. **Video:** Ustedes son sus microbios - Jessica Green y Karen Guillemin, TED-Ed <https://ed.ted.com/lessons/you-are-your-microbes-jessica-green-and-karen-guillemin> *Temas:* microbioma humano, funciones en el intestino, dieta.

Un marco educativo en microbiología centrado en la niñez.

3. **Video:** Extremófilos 101 – National Geographic
<https://www.youtube.com/watch?v=MY1d5Saqr4>
Temas: extremófilos, hábitats, adaptaciones, importancia biotecnológica.
4. **Video:** No sabías que los hongos [hongos] podían hacer todo eso – National Geographic
<https://video.nationalgeographic.com/video/news/00000155-c797-dc79-aff5-e7ff0f350000>
Temas: hongos para antibióticos, materiales de construcción, filtración de agua, limpieza de desechos tóxicos, reducción de plagas, textiles y otros fines.
5. **Video:** Protistas y Hongos – Hermanas Amoeba
<https://www.youtube.com/watch?v=zK7Ckmxxqds>
Temas: amebas, hongos, protistas
6. **Video:** ¿Cómo los árboles se comunican en secreto entre sí? - Noticias de la BBC
<https://letstalkscience.ca/educational-resources/stem-in-context/talking-trees-how-do-trees-comunicar>
Temas: micorrizas, árboles y bosques sanos, bosques, hongos
7. **Video:** ¿Cómo los árboles se comunican en secreto entre sí? - Noticias de la BBC
<https://www.youtube.com/watch?v=3ivMSCi-Y2Q>
Temas: simbiosis animal-microbiana, calamar, luminiscencia bacteriana.

Referencias

1. Bar-On, YM, Phillips, R. y Milo, R. La distribución de la biomasa en la Tierra. *Proc. Nacional. Acad. Ciencia. EE.UU.*(2018). doi:10.1073/pnas.1711842115
2. Dubey, A. y col. Microbioma del suelo: un actor clave para la conservación de la salud del suelo en un clima cambiante. *Biodiversores. Conservar.* 28, 2405–2429 (2019).
3. Pascale, A., Proietti, S., Pantelides, IS y Stringlis. IA Modulación del microbioma de la raíz por moléculas vegetales: la base para la supresión específica de enfermedades y la promoción del crecimiento de las plantas. *Frente. Ciencia vegetal.* 10, 1-23 (2020).
4. De Vrieze, J. Los peones más pequeños. *Ciencia (80)*, 349, 680–683 (2015).
5. Huws, SA *et al.* Abordar los desafíos globales de la agricultura de rumiantes mediante la comprensión del microbioma del rumen: pasado, presente y futuro. *Frente. Microbiol.* 9, 1–33 (2018).
6. Matarrita-Carranza, B. *et al.* Evidencia de asociaciones generalizadas entre insectos himenópteros neotropicales y actinobacterias. *Frente. Microbiol.* 8, 1-17 (2017).
7. Marsh, SE y cols. Asociación entre simbiosis de Pseudonocardia y hormigas cortadoras de hojas *Atta* sugerida por métodos de aislamiento mejorados. *En t. Microbiol.* 16, 17-25 (2013).
8. Kroiss, J. y col. Los estreptomicetos simbióticos proporcionan profilaxis combinada con antibióticos paracrías de avispa. *Nat. Química. Biol.* 6, 261–263 (2010).

Un marco educativo en microbiología centrado en la niñez.

9. Sender, R., Fuchs, S. y Milo, R. ¿Estamos realmente superados en número? Revisando la proporción de bacterias a células huésped en humanos. *Celda* 164, 337–340 (2016).
10. Winter, G., Hart, RA, Charlesworth, RPG y Sharpley, CF. Microbioma intestinal y depresión: lo que sabemos y lo que necesitamos saber. *Rev. Neurociencias*. 29, 629–643 (2018).
11. Sen, R. y col. Actividad antifúngica generalizada y detección de 454 bacterias *Pseudocardia* y *Amycolatopsis* en nidos de hormigas productoras de hongos. Proc. Nacional. Acad. *Ciencia. Estados Unidos* 106, 17805–17810 (2009).
12. Lynch, SV & Pedersen, O. El microbioma intestinal humano en la salud y la enfermedad. *N. inglés. J. Med.* 375, 2369–2379 (2016).
13. Schwabe, RF y Jobin, C. El microbioma y el cáncer. *Nat. Rev. Cáncer* 13, 800–812 (2013).
14. Thombre, RS, Shinde, VD, Oke, RS, Dhar, SK y Shouche, YS. Biología y supervivencia del arqueón extremadamente halófilo *Haloarcula marismortui* RR12 aislado de las salinas de Mumbai, India, en respuesta al estrés por salinidad. *Ciencia. Rep.* (2016). doi:10.1038/srep25642
15. Hynek, BM, Rogers, KL, Antunovich, M., Avard, G. & Alvarado, GE. Falta de diversidad microbiana en un entorno extremo análogo a Marte: Volcán Poás, Costa Rica. *Astrobiología* 18, 923–933 (2018).
16. Arce-Rodríguez, A. *et al.* Las bacterias termoplasmatales y oxidantes de azufre dominan la comunidad microbiana en el agua superficial de un manantial hidrotermal rico en CO₂ ubicado en el Parque Nacional Volcán Tenorio, Costa Rica. *Extremófilos* 23, 177–187 (2019).
17. Allen, MA y cols. La secuencia del genoma de la arqueona psicrófila, *Methanococcoides burtonii*: El papel de la evolución del genoma en la adaptación al frío. *ISME J.* 3, 1012–1035 (2009).
18. Arora, NK & Panosyan, H. Extremófilos: aplicaciones y funciones en la sostenibilidad ambiental. *Reinar. Sostener.* 2, 217–218 (2019).
19. Gilbert, JA y Stephens, B. Microbiología del entorno construido. *Nat. Rev. Microbiol. dieciséis*, 661–670 (2018).
20. Cavicchioli, R., *et al.* La advertencia de los científicos a la humanidad: microorganismos y cambio climático. *Nat. Rev. Microbiol.* 17, 569–586 (2019).
21. Akinsemolu, AA. El papel de los microorganismos en el logro de los objetivos de desarrollo sostenible. *J. Limpio. Pinchar.* 182, 139-155 (2018).

Glosario

- **Bacterias:** Organismos procarióticos unicelulares microscópicos que pertenecen al dominio Bacteria.
- **Arqueas:** Antiguos organismos procarióticos unicelulares que pertenecen al dominio *Archaea*.
- **Virus:** agente infeccioso microscópico que consiste en un ácido nucleico (ARN o ADN) en una cubierta proteica y no puede prosperar ni reproducirse fuera de un huésped (célula viva).
- **Hongos:** grupo de organismos eucariotas que incluye levaduras, mohos y hongos.
- **Protista:** cualquier organismo eucariota que no sea un hongo, animal o planta.
- **Patógeno:** agente biológico que causa una enfermedad a su huésped.
- **Extremófilo:** Microorganismo que prospera en condiciones ambientales consideradas extremas.
- **Economía circular:** modelo de producción y consumo que tiene como objetivo eliminar el

Un marco educativo en microbiología centrado en la niñez.

desperdicio y utilizar recursos renovables.

- **Pandemia:** Propagación mundial de una nueva enfermedad.
- **Fitoplancton:** Diversos organismos microscópicos que realizan la fotosíntesis, viven en ecosistemas acuáticos y son una fuente crucial de alimento para otros organismos acuáticos.
- **Fotosintético:** Se refiere a organismos que utilizan la energía del sol para sintetizar nutrientes a partir del dióxido de carbono y agua.
- **Algas:** Grupo de organismos eucariotas fotosintéticos que incluye tanto organismos macroscópicos como microscópicos.
- **Cianobacterias:** filo de bacterias fotosintéticas.
- **Floración de algas:** Proliferación excesiva de algas en los ecosistemas acuáticos, lo que reduce los niveles de oxígeno y mata la vida marina.
- **Simbiosis/asociación simbiótica:** interacción biológica estrecha y duradera entre dos diferentes organismos que pueden ser beneficiosos o perjudiciales.
- **Cadáver de animal:** cadáveres y restos de animales muertos.
- **Bacterias fijadoras de nitrógeno:** Microorganismos capaces de transformar el nitrógeno atmosférico en nitrógeno fijado, que es esencial para el crecimiento de las plantas.
- **Amoníaco:** compuesto de nitrógeno que es volátil.
- **Actinobacterias:** tipo de bacterias que se encuentran principalmente en el suelo y son esenciales para la formación de humus.
- **Humus:** el componente orgánico del suelo que se forma por la descomposición de hojas y material vegetal.
- **Microbioma:** una comunidad microbiana característica que habita en un hábitat definido.
- **Micorriza:** asociación simbiótica entre raíces de plantas y hongos.
- **Toxina:** Sustancia venenosa producida por un organismo vivo.
- **Agroecosistema:** Los organismos y el medio ambiente de una zona agrícola.
- **Rumiante:** mamíferos que fermentan alimentos de origen vegetal en un compartimento estomacal especial llamado rumen.
- **Panza:** parte de uno de los compartimentos del estómago de los rumiantes en el que los microorganismos fermentan los alimentos.
- **Bacteria anaeróbica:** Bacterias que viven en ausencia de oxígeno.
- **Protozoos:** microorganismos eucariotas unicelulares.
- **Fibra:** material de origen vegetal que contiene sustancias como celulosa, lignina y pectina que son difíciles de degradar por las enzimas digestivas.
- **Fermentar:** someterse a fermentación, un proceso que extrae energía de los carbohidratos en ausencia de oxígeno.
- **Dinoflagelado:** Microorganismos eucariotas unicelulares que constituyen parte del fitoplancton marino.
- **Fotosíntesis:** Proceso utilizado por plantas y algunas algas en el que se produce energía a partir de la luz solar.
- **Compuesto antimicrobiano:** Sustancia que inhibe el crecimiento de microorganismos.
- ***Pseudonocardia*:** Género de bacterias que viven en la cutícula de las hormigas cortadoras de hojas.
- **Cutícula:** exoesqueleto de insecto.
- **Luminiscencia:** emisión de luz.
- **Mutualista:** relación simbiótica que es mutuamente beneficiosa para ambas especies involucradas.
- ***Escovopsis*:** género de hongos microscópicos parásitos.

Un marco educativo en microbiología centrado en la niñez.

- **Microbiota humana:** el conjunto de todos los microorganismos que habitan en el cuerpo humano.
- **Disbiosis:** Desequilibrio en una comunidad microbiana asociado con enfermedades.
- **Termófilo:** Microorganismos que viven en ambientes cálidos (45°C -80°C).
- **Hipertermófilo:** Microorganismos que proliferan en ambientes extremadamente cálidos (>80°C).
- **Psicrófilo:** microorganismos que vive en ambientes fríos (<15°C).
- **Permafrost:** Área de tierra que ha estado congelada continuamente durante un mínimo de dos años.
- **Acidófilo:** microorganismos que prosperan en ambientes ácidos (pH bajo).
- **Drenaje ácido de roca:** Agua ácida cargada de hierro, sulfato y otros metales que pueden formarse durante condiciones naturales o causadas por actividades antropogénicas como la minería.
- **Alcalófilo:** Microorganismos que prosperan en ambientes alcalinos (pH alto).
- **Barófilo:** Microorganismos que soportan condiciones de alta presión.
- **Xerófilo:** Microorganismos que prosperan en condiciones de escasez de agua.
- **Metalófilo:** Microorganismos que pueden crecer en presencia de altas concentraciones de metales pesados.
- ***Hortea wernecki*:** especie de levadura negra que es tolerante a altas concentraciones de sal.
- ***Acidifilio*:** género de bacterias acidófilas.
- ***Sulfurimonas*:** Género de bacterias que pueden vivir en una amplia variedad de ambientes debido a sus diferentes metabolismos del hidrógeno, nitrógeno, azufre y carbono.
- **Metanogénico:** Microorganismos anaeróbicos que producen metano, un gas natural, como subproducto de su metabolismo.
- ***metanococoides*:** género de arqueas anaeróbicas que obtienen energía produciendo gas metano
- ***Termo acuático*:** especies de bacterias que toleran altas temperaturas.
- **Respiradero hidrotermal:** Fisura en el fondo marino de la que sale agua calentada geotérmicamente.
- **Moho:** Hongo que crece en forma de estructuras multicelulares llamadas hifas.
- **Transferencia horizontal de genes:** movimiento de material genético entre organismos vecinos que puede ser del mismo de diferente género o especie.
- **Biodeterioro:** Cualquier cambio indeseable en las propiedades de un material causado por la acción de organismos vivos.
- **Liquen:** Organismos duales que consisten en hongos que viven en relación simbiótica con algas o cianobacterias.
- **Residuo lignocelulolítico:** Productos de desecho ricos en lignina.
- **Biodeterógeno:** un organismo vivo que es el agente causal del biodeterioro
- **Biorremediación:** Uso de microorganismos para eliminar contaminantes y reducir la contaminación.
- **Lignina:** Polímero orgánico complejo que está presente en las paredes celulares de las plantas.
- ***Geobacter sulfurreducens*:** Especie de bacteria que tiene la capacidad de crear una corriente eléctrica y producir electricidad.
- **Bioplástico:** Plástico biológico que se deriva de sustratos biológicos en lugar de petróleo.
- **Biocombustible:** combustible que se produce a partir de fuentes renovables como plantas, algas o material animal, en lugar de combustibles fósiles.
- **Biopesticida:** Productos elaborados a partir de organismos vivos que controlan las plagas.
- **Biofertilizante:** Sustancia que contiene microorganismos vivos, que cuando se aplica a las plantas, promueve su crecimiento aumentando la disponibilidad de nutrientes.
- **Eutrofización:** Crecimiento excesivo de plantas y algas en cuerpos de agua debido al aumento de las concentraciones de nutrientes y minerales.