

Ma. de los Ángeles Sánchez Contreras, Tania González Flores, Teresa del Rosario Ayora Talavera, Zahaed Evangelista Martínez y Neith Aracely Pacheco López

¿Qué son los microbios?

Se dice que están en todas partes, pero no los podemos observar a simple vista. Existían incluso antes de la formación de la atmósfera en la Tierra, y actualmente dependemos de los microbios para obtener diversos productos útiles para la alimentación, la farmacéutica y otras áreas. Los microorganismos se clasifican según sus formas, tamaños o propiedades y pueden ser tanto benéficos como perjudiciales para otros seres vivos.

Los microbios o microorganismos

Los hemos oído llamar indistintamente como gérmenes, virus, microbios o microorganismos. En este artículo explicaremos qué son los microbios y cuáles son sus principales diferencias, por las cuales han sido clasificados en dos diferentes categorías o dominios generales: procariontes y eucariontes. También explicaremos cómo son clasificados según sus variaciones en forma y tamaño celular, su morfología, su tipo de reproducción o división celular, y su capacidad metabólica y de adaptación. Aquí nos enfocaremos en los cuatro grupos principales de microorganismos: bacterias, hongos, virus y parásitos.

Estos organismos microscópicos, tan pequeños que es imposible observarlos a simple vista, se encuentran en todas partes. Fueron las primeras y –por un tiempo– únicas formas de vida en el planeta hace aproximadamente 4000 millones de años. Sin los microorganismos hoy la vida no sería posible, ya que gracias a éstos se generó parte de la atmósfera en la Tierra.

A pesar de que son diminutos, entre los microbios se presentan muchas formas y tamaños diferentes que los distinguen entre sí. Por ello, inicialmente



su identificación y clasificación se logró en términos de esta variedad estructural y funcional. En la actualidad, la mayoría de los microbiólogos reconoce tres dominios como la forma de organización de estos seres vivos: 1) Bacterias, denominadas al principio “bacterias verdaderas” o eubacterias; 2) Arqueas (Archaea o arqueobacterias), entre las que se incluyeron inicialmente bacterias que habitan en ambientes extremos; y 3) Eucariontes (Eucarya), dominio en el que se encuentran hongos, levaduras, algas y protozoarios. No obstante, de manera convencional, también se considera que son microorganismos los virus, viroides y priones. A la fecha se reportan alrededor de 70 000 especies de hongos, 45 000 de bacterias, 30 800 de protozoarios y 1×10^{32} de virus; más aún, se pronostica que existen hasta dos millones de especies de hongos, y entre tres millones y diez millones de especies bacterianas que aún no han sido identificadas. Los virus son el grupo más abundante, pero no podemos identificar a un gran número de éstos (sobre todo, provenientes de los océanos) debido a su gran adaptabilidad y cambio constante.

Los microbios tienen muchos rasgos que los caracterizan. Unos tienen tiempos de reproducción muy cortos; algunos sobreviven fácilmente en forma aislada de otras células o en condiciones hostiles; otros pueden reproducirse por división celular, lo que permite la propagación de las poblaciones genéticamente idénticas o clonales. Algunos microbios son benéficos, pero otros pueden ser perjudiciales de manera selectiva para los seres humanos, las plantas o los animales. Aquí revisaremos esas diferencias y similitudes para tratar de entender mejor qué son los microorganismos.

Bacterias

Las bacterias son organismos unicelulares que pertenecen al grupo de los procariontes; esto quiere decir que carecen de un núcleo celular y de orgánulos como las mitocondrias, los cloroplastos o el aparato de Golgi, por lo que su material genético (ADN) se encuentra libre en el citoplasma. A pesar de su sencilla organización celular, presentan una gran diversidad de formas conocidas como filamentos, cocos, bacilos, vibrios y espirilos. Las bacterias miden entre 0.5 y 5 μ de longitud; son tan pequeñas que es imposible verlas a simple vista, excepto cuando se agrupan en colonias (véase la Figura 1).

Estos microorganismos cuentan con una pared que envuelve a la célula y le proporciona solidez y protección contra el ambiente externo. Esta cubierta, es decir, la membrana junto con otras estructuras que rodean y protegen el citoplasma, no es una simple membrana. A diferencia de la gran mayoría de los organismos superiores, las bacterias tienen que enfrentar y soportar condiciones ambientales cambiantes e impredecibles, y en muchas ocasiones hostiles; para

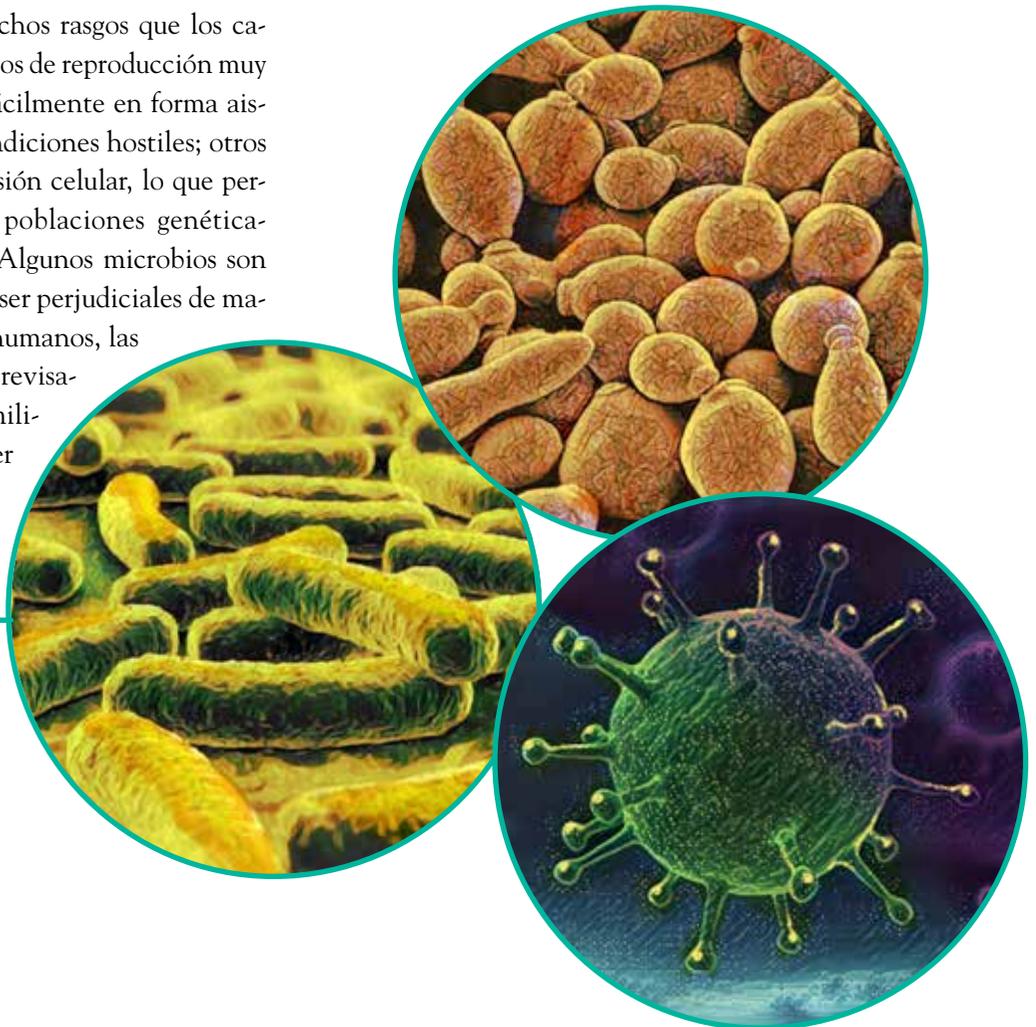




Figura 1. Crecimiento de colonias de Actinobacterias en medio de cultivo ISP2. Estos microorganismos se aislaron de muestras de suelo obtenidas de áreas naturales protegidas.

sobrevivir a esto, han desarrollado una sofisticada y compleja protección que a la vez permite de manera selectiva el tránsito de los nutrimentos que se encuentran en el exterior y de los productos de desecho desde el interior.

De todos los métodos que existen para clasificar y estudiar la morfología de las bacterias, la tinción Gram ha sido uno de los que más han resistido el paso del tiempo. Esta técnica de estudio, desarrollada en 1884 por el bacteriólogo danés Hans Christian Gram, permite hacer la diferenciación de las bacterias en dos grupos de acuerdo con las propiedades de sus membranas para teñirse. Son bacterias Grampositivas las que después de la tinción se visualizan al microscopio con un color morado; en cambio, las bacterias Gramnegativas se visualizan de color rosa, rojo o grosella. Este método –que permite hacer un estudio muy general de las bacterias– puede complementarse con otros rasgos de estos microorganismos que resultan útiles para agruparlos y clasificarlos, tal como se muestra en el Cuadro 1.

Se piensa que la diferencia entre los dos grupos se debe a un mayor grosor de la pared celular, específicamente en una capa de las Grampositivas, en donde el yodo y el colorante precipitan y tiñen la pared de color violeta. En cambio, en el grupo de las bacterias Gramnegativas el colorante cristal violeta (o violeta de genciana) se pierde fácilmente. Sin embargo, existen algunas bacterias en las que este método de identificación no se puede aplicar debido al alto contenido de lípidos que presenta la capa de la pared celular; tal es el caso de las micobacterias (*Mycobacterium tuberculosis*, causante de la tuberculosis).

En la segunda edición del *Manual Bergey de Bacteriología Sistemática* (Brenner y cols., 2005) –basado en la tinción Gram y más enfocado en la clasificación de las distintas especies de bacterias conocidas de interés médico– se diferencian cuatro categorías mayores de bacterias según sus rasgos fenotípicos (aquellas características observables, como su morfología, crecimiento, propiedades bioquímicas, fisiología y comportamiento):

Cuadro 1. Principales características que diferencian a las bacterias Grampositivas y Gramnegativas.

Característica	Grampositiva	Gramnegativa
Reacción Gram	Retiene el colorante cristal violeta y se tiñe de violeta o púrpura.	Se decolora y posteriormente retiene el colorante safranina; se tiñe de rojo o rosa.
Capa de peptidoglicano	Gruesa (multicapas)	Delgada (unicapa)
Ácidos teicoicos	Presentes en la mayoría	Ausentes
Espacio periplásmico	Ausente	Presente
Membrana externa	Ausente	Presente
Contenido de lipopolisacáridos	Nulo	Alto
Contenido de lípidos y lipoproteínas	Bajo	Alto
Resistencia al rompimiento celular de manera mecánica	Alta	Baja
Susceptibilidad a detergentes aniónicos	Alta	Baja
Resistencia a la desecación	Alta	Baja

I. Eubacterias Gramnegativas que tienen pared celular

En esta categoría hay un gran número de bacterias aerobias y anaerobias, de distintas formas y con diversas capacidades para asimilar sus fuentes de carbono. Dentro de este grupo se encuentran varias especies patógenas, como *Yersinia pestis*, causante de la peste negra que mató a miles de personas en los siglos VI y XIV; *Vibrio cholerae*, responsable del cólera; *Neisseria gonorrhoeae* y *N. meningitidis*, causantes de la gonorrea y la meningitis, respectivamente; y *Helicobacter pylori*, asociada a problemas de gastritis, úlceras gástricas y cáncer gástrico en humanos. Por otra parte, en este grupo también se encuentran géneros que tienen otras aplicaciones, como los que favorecen la mineralización de los suelos. Un ejemplo es *Rhizobium*, que se asocia en **simbiosis** (con beneficios mutuos) con plantas leguminosas, fija el nitrógeno y favorece el crecimiento de las mismas. Igualmente, especies del género *Acinetobacter* se utilizan en biotecnología para la biorremediación de suelos, pues degradan ciertos compuestos aromáticos y complejos provenientes de algunos derivados del petróleo.

II. Eubacterias Grampositivas que tienen pared celular

En esta categoría figuran los microorganismos Grampositivos con bajo contenido en guanina y citosina (dos moléculas del ADN). Estas bacterias provocan enfermedades en los humanos, como *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus pyogenes*, *Enterococcus faecalis*, *Clostridium botulinum* y *Bacillus anthracis* –los dos últimos son causantes del botulismo y el ántrax, respectivamente–. Dentro de este grupo también está el género *Lactobacillus*, bacterias que viven en simbiosis con los humanos y se encuentran en la flora intestinal; varias de estas especies son utilizadas para la producción de yogur, queso, pepinillos, chocolate, etcétera. También en este grupo están las bacterias Grampositivas con alto contenido en guanina y citosina. Entre los géneros más conocidos están *Mycobacterium*, *Corynebacterium* y *Streptomyces*. Este último género es muy importante porque incluye bacterias productoras de antibióticos, como *S. griseus* y *S. rimosus*, las cuales biosintetizan las sustancias estreptomina y tetraciclina, respectivamente (véase la Figura 2).

III. Eubacterias que carecen de pared celular

Este grupo está representado por microorganismos pleomórficos (que tienen dos o más formas estructurales durante su ciclo de vida) y sin pared celular. El género más conocido es *Mycoplasma* y algunas de sus especies son patógenas para los seres humanos, como *M. genitalium* y *M. pneumoniae*.

IV. Arqueobacterias

Son bacterias muy primitivas y genéticamente diferentes a las eubacterias. Se caracterizan por estar adaptadas a ambientes extremos. Algunas especies producen metano (metanógenas), otras utilizan azufre (sulfatorreductoras); unas pueden desarrollarse en ambientes con altas concentraciones de sal (halófilas extremas) y las hay también que crecen a altas temperaturas (termófilas e hipertermófilas).

Simbiosis

Relación estrecha y persistente entre dos o más organismos, en la cual todos salen beneficiados.

■ Hongos y levaduras

Los microorganismos eucarióticos no sólo son más grandes y estructuralmente más complejos que los procariontes, sino que también tienen un origen evolutivo diferente. El dominio Eucariote (Eukarya) está integrado por algas, hongos filamentosos y levaduras, hongos mucosos y protozoos.

Las algas se distinguen porque contienen clorofila y pueden realizar fotosíntesis oxigénica en sus cloroplastos. Pueden ser unicelulares o formar agregados; aunque la mayoría son microscópicas, algunas pueden llegar a crecer varios metros. La mayoría de

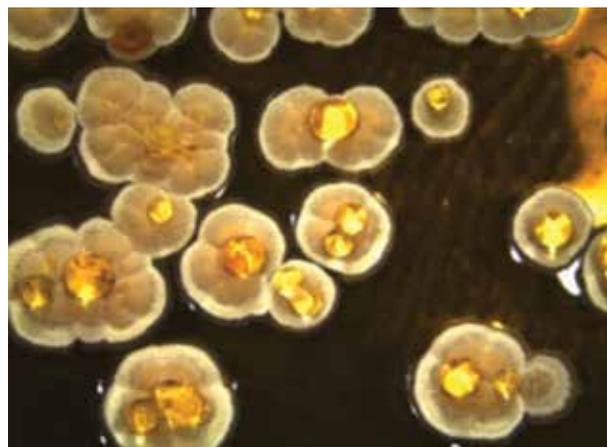


Figura 2. Proceso de producción y excreción de metabolitos secundarios en colonias de *Streptomyces* sp. CACIS-1.16CA.



las diversas especies de algas son de color verde, pero unas pueden ser rojas o marrones por la presencia de carotenoides en sus membranas, como la microalga *Dunalliella salina* (véase la Figura 3). Las algas se encuentran en ambientes acuáticos o de alta humedad y pueden subsistir en ambientes altamente salinos o inclusive ácidos, con pH por debajo de 4 o 5.

Por otra parte, los hongos se clasifican en unicelulares, como las levaduras del pan y la cerveza (*Saccharomyces cerevisiae*), o pluricelulares, los cuales se caracterizan por formar cuerpos filamentosos, como los champiñones. Según su tipo de hábitat también pueden ser saprófitos, que se alimentan de sustancias en descomposición; parásitos, que se alimentan de los líquidos internos de otros seres vivos; o simbioses, que se asocian a otros organismos con beneficios mutuos. Este último es el caso de los líquenes, formados por la simbiosis de un hongo (micobionte) y un alga (ficobionte); el hongo proporciona al alga agua y sales minerales, mientras que el alga suministra al hongo los hidratos de carbono elaborados por ella mediante la fotosíntesis.

Desde una perspectiva microbiológica, se ha denominado “levadura” a todos los hongos con predominio de una fase unicelular en su ciclo de vida. Existen varios tipos diferentes de levaduras que se pueden encontrar en la naturaleza donde los azúcares simples están presentes, como en los frutos, en la savia que se derrama de los árboles o en el suelo alrededor de los árboles frutales (véase la Figura 4). Las más conocidas pertenecen al género *Saccharo-*

myces, como las levaduras del pan y de la cerveza. Esta última, cultivada desde tiempo inmemorial, es el principal organismo utilizado en la fabricación de cerveza y alcoholes. Vive en una solución azucarada y sin aire, o con éste mínimamente disuelto; de este modo, presenta una forma particular de respiración conocida como fermentación alcohólica. En dicho proceso, la levadura utiliza el oxígeno de los azúcares, libera gas carbónico y forma alcohol en la solución. De manera similar, la levadura usada en la panificación es incorporada a la masa para levantar el pan gracias a que produce gas carbónico, en tanto que el poco alcohol producido en la fermentación se evapora durante el horneado. Sin embargo, no todas las levaduras son benéficas o útiles; algunas especies causan enfermedades más o menos graves al ser humano. La *Candida albicans*, por ejemplo, es el agente de la estomatitis micótica o algodoncillo, una enfermedad que consiste en la inflamación de las mucosas bucales y que afecta especialmente a lactantes y personas inmunodeprimidas.

En otro grupo están los hongos multicelulares, con estructuras filamentosas que se desarrollan a través del crecimiento continuo de una propágula, esto es, un órgano con el cual realizan su reproducción asexual. El elemento tubular que emerge del hongo se denomina hifa, mientras que el conjunto y las distintas ramificaciones de las hifas se denominan micelio o *thallus*. Las hifas pueden introducirse en el sustrato donde crece el hongo y formar un micelio vegetativo, o bien proyectarse hacia el exterior y constituir un



Figura 3. Levadura pigmentada por la producción de carotenoides.

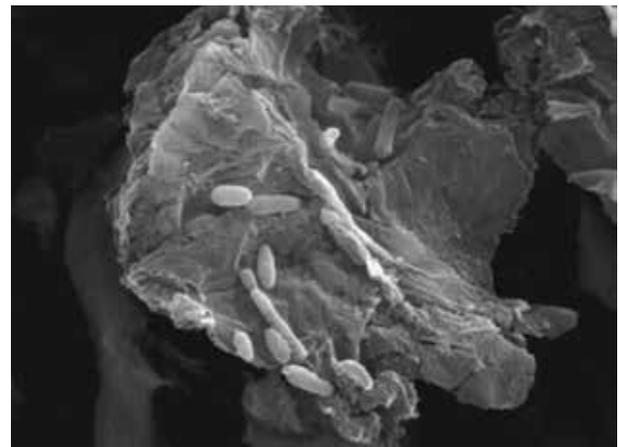


Figura 4. Micrografía de levaduras aisladas de trozos de cáscara de limón.

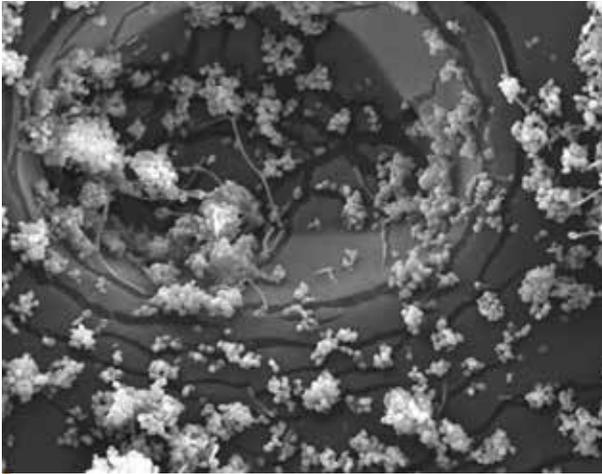


Figura 5. Micrografía de levaduras en etapa de formación de micelio.

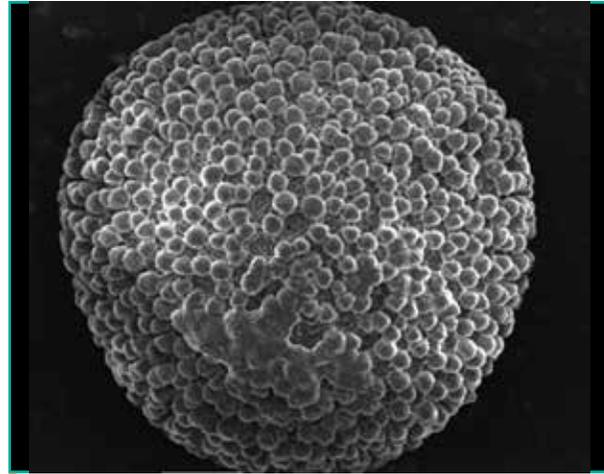


Figura 6. Micrografía de propágulas o esporas de *Aspergillus niger*.

micelio aéreo (véase la Figura 5). Este tipo de micelio aéreo es el que define el aspecto y morfología de la colonia: puede ser algodonoso, plumoso, lanudo, veloso, sedoso, brillante, mate, arrugado, plegado, plano, acuminado, extendido, desparramado, circunscrito, membranoso, cerebriforme, pigmentado o no, etcétera. En este micelio se producen elementos de propagación o propágulas, que pueden ser esporas o conidios, e incluso es posible la reproducción por fragmentos de micelio (véase la Figura 6).

Existe un grupo que merece destacarse por su frecuencia y el tipo de patología que provoca: los hongos dermatofitos. Éstos producen infecciones (micosis) superficiales en diversas especies animales. Los hongos dermatofitos secretan enzimas proteolíticas (que degradan proteínas), las cuales favorecen su adherencia en zonas superficiales del organismo hospedero; estos hongos son capaces de digerir la queratina (la proteína que es su fuente de alimento), por lo que proliferan fácilmente en zonas como la piel, las uñas y los pelos.

Virus

 Aún más pequeñas que las bacterias o levaduras, existen unas “entidades biológicas” conocidas como virus. Los virus no son considerados células debido a que carecen de muchos de los atributos de éstas. Por ejemplo, no contienen una maquinaria comple-

ja que les permita multiplicarse; tampoco cuentan con un metabolismo propio, es decir, no presentan aquellas reacciones bioquímicas y procesos fisicoquímicos que les permitan obtener energía para crecer, mantener sus estructuras o responder a estímulos de manera individual. Sin embargo, sí poseen información genética, ya que están formados por una molécula de ácido nucleico, que puede ser ADN o ARN, donde se almacena la información responsable de la transmisión hereditaria —que en los virus se conoce como genoma vírico—; esto es lo único que les permite controlar su replicación y transferencia.

La estructura de los virus es muy diversa y varía en tamaño, forma y composición química. Si pensáramos en los virus como si fueran aquellos chocolates que contienen caramelo líquido en el centro, el ácido nucleico sería el caramelo líquido, el cual siempre se mantiene en el interior; el chocolate que lo cubre sería la proteína del virus que forma una pared para protegerlo. A esta capa exterior se le conoce como cápsida, la cual además le ayuda al virus a entrar a una célula. Al conjunto del ácido nucleico y la cápsida se le denomina nucleocápside, y en algunos casos representa la totalidad del virus. Sin embargo, existen virus que además de la cubierta proteica contienen una membrana que, retomando la analogía con los chocolates, es como la envoltura de celofán que los hace más resistentes; un ejemplo son los virus de la gripe e influenza.



Los virus son conocidos como “parásitos” de las células, ya que sólo pueden crecer y multiplicarse cuando las invaden. Cuando una célula es invadida por un virus se le conoce como célula hospedera. Los virus pueden introducirse en diversos organismos —entre ellos los microorganismos— mediante un proceso conocido como infección. En la mayoría de los casos esta infección provoca enfermedades. Los virus pueden tener varios efectos sobre la célula infectada, ya sea que ocasionen una rápida destrucción de la misma o pueden no destruir a la célula y mantenerse por un largo tiempo produciendo más virus o generando retrasos en la aparición de síntomas de una enfermedad.

Los virus se encuentran en la naturaleza en dos estados: el primero es conocido como fase extracelular, la cual les permite transmitirse fácilmente de un hospedero a otro; la otra es la fase intracelular, cuando los virus pueden multiplicarse. De manera general, la replicación de un virus significa que éste logre que la célula hospedera produzca todos los componentes esenciales y necesarios para hacer más virus; posteriormente, los componentes son ensamblados de manera adecuada y los virus producidos escapan de la célula e infectan a otras más. Los virus presentan diferentes estrategias de replicación, tanto los virus con ADN como los que contienen ARN. Sin embargo, existen casos como los conocidos retrovirus, los cuales presentan mecanismos separados para replicarse con cada uno de los ácidos nucleicos (ADN y ARN); entre ellos, los más conocidos son los que causan enfermedades importantes, como algunos tipos de cáncer, la infección por virus del papiloma humano (VPH) y el síndrome de inmunodeficiencia adquirida (sida).

Pero no todo es malo. Los virus también pueden proporcionar nuevas propiedades importantes a las células hospederas; por ejemplo, información genética específica para hacerlas más resistentes. La información genética contenida en un virus puede ser heredada cuando la célula hospedera se replica; cada una de las nuevas células recibe la información contenida en el genoma vírico.

Una manera de clasificar a los virus es según los hospederos a los que infectan, por lo que existen vi-

rus animales, vegetales y bacterianos. Estos últimos (también conocidos como bacteriófagos) han servido como sistemas modelo para el desarrollo de la investigación en áreas como la biología molecular y la genética. En conclusión, los virus forman parte importante de la naturaleza y su estudio ayuda a conocer un gran número de enfermedades en humanos, animales y plantas. La investigación sobre los virus tiene la finalidad de conocer su comportamiento para lograr un mejor entendimiento de los mismos, así como para utilizarlos de manera benéfica.

■ Parásitos

■ En biología, el término *parásito* se refiere a un organismo que crece y se alimenta a expensas de otro organismo diferente, llamado huésped, hospedero u hospedador. El parásito obtiene nutrientes y protección física sin hacer ninguna contribución a la supervivencia de su anfitrión; de este modo, sólo el parásito resulta beneficiado. En algunos casos la especie hospedera puede no resultar afectada; en otros, llega a sufrir consecuencias variables aportadas por el parásito. Un parásito puede llegar a ser patógeno si el daño al hospedero resulta en una enfermedad. Es por ello que el parasitismo también es considerado como una forma de depredación.

Existen parásitos en todos los reinos de la naturaleza y muchas especies son parasitadas, incluso la humana. Los parásitos representan uno de los tipos de vida más exitosos en la Tierra, ya que se estima que más de la mitad de los organismos existentes son parásitos. Algunos viven fuera del hospedero, como los piojos, las pulgas y las garrapatas; otros lo hacen en el interior. Su tamaño puede ser diminuto y sólo es posible verlos a través del microscopio (microparásitos), pero también algunos pueden medir desde centímetros hasta metros (denominados macroparásitos). Los microparásitos incluyen una gran variedad de bacterias, virus, hongos y protozoarios que han adaptado sus mecanismos nutricionales a expensas de diversos animales, plantas e incluso otros microorganismos. A los parásitos de los animales se les conoce como zooparásitos, mientras que a los propios de los vegetales se les denomina fitoparásitos. Se dice que

los depredadores más abundantes sobre la Tierra no son animales, como los leones o las hormigas, sino los protozoarios unicelulares microscópicos (como algunos que describiremos a continuación).

Un protozooario típico está formado por una sola célula que no cuenta con pared celular y que se alimenta de las sustancias orgánicas sintetizadas por otros organismos. Varios grupos de protozoarios presentan en su ciclo reproductivo una fase de resistencia llamada quiste, que no sólo les sirve como medio de defensa al envolverlos y aislarlos del exterior, sino como una estrategia para mantener y propagar la especie, ya que permite su transmisión; en tanto, la forma móvil de los protozoarios se conoce como trofozoíto y está activa cuando ocurre la infección.

Algunos protozoarios que parasitan al ser humano le producen enfermedades que incluso pueden llevarlo a la muerte, mientras que otros no le causan ningún daño. De entre los que afectan negativamente podemos mencionar ejemplos de parásitos que se transmiten por el consumo de agua y alimentos contaminados con los quistes o por materia fecal infectada: la *Entamoeba histolytica* causa amibiasis y llega a lesionar las capas internas de la mucosa intestinal con úlceras o perforaciones provocadas por amibas que incluso pueden abrirse paso a otros órganos, como hígado, pulmón y cerebro; la *Giardia lamblia* vive en el intestino delgado, es una causa frecuente de diarrea y otros trastornos, y especialmente en niños puede interferir en su crecimiento debido a la mala absorción de los nutrientes; en tanto, el *Toxoplasma gondii* es un parásito intracelular que ocasiona toxoplasmosis, relacionada con encefalitis, abortos y malformaciones fetales. Otros protozoarios llegan al hospedero final mediante un insecto que actúa como vector transmisor del parásito; por ejemplo, *Plasmodium falciparum* y *P. vivax*, causantes de malaria o paludismo (con aproximadamente 40% de la población mundial potencialmente expuesta a la infección); *Trypanosoma cruzi*, agente causal de la enfermedad de Chagas (presente sobre todo en las zonas rurales de México, Centro y Sudamérica, con ocho millones de infectados); y *T. brucei*, que invade el sistema nervioso central y ocasiona la enfermedad

del sueño (transmitido por la picadura de la mosca Tse-tsé, en África).

Algunos autores consideran que los parásitos, aun cuando ocasionan enfermedades, son benéficos desde un punto de vista global, ya que cumplen importantes funciones en los ambientes naturales. Los ecosistemas se mantienen en equilibrio y saludables gracias a que los parásitos regulan directamente los tamaños poblacionales de las especies hospederas a través de la mortalidad de los individuos. Si elimináramos a todos los parásitos y, por ende, las enfermedades que provocan, entonces aparecerían otros problemas, como la escasez de recursos para mantener una población creciente.

Ma. de los Ángeles Sánchez Contreras

Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ), Unidad Sureste.
msanchez@ciatej.mx

Tania González Flores

CIATEJ, Unidad Sureste.
tgonzalez@ciatej.mx

Teresa del Rosario Ayora Talavera

CIATEJ, Unidad Sureste.
tayora@ciatej.mx

Zahaed Evangelista Martínez

CIATEJ, Unidad Sureste.
zevangelista@ciatej.mx

Neith Aracely Pacheco López

CIATEJ, Unidad Sureste.
npacheco@ciatej.mx

Lecturas recomendadas

- Brenner, D. J., N. R. Krieg, J. T. Staley y G. M. Garrity (2005), *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*, vol. 2, Nueva York, Springer Verlag.
- Madigan, M. T., J. M. Martinko y J. Parker (2009), *Brock. Biología de los microorganismos*, 12.ª ed., Madrid, Pearson Prentice Hall.
- Seeley, H. W., P. J. Vandermark y J. L. Lee (1991), *Microbes in Action. A Laboratory Manual of Microbiology*, 4.ª ed., Nueva York, W. H. Freeman.