

¿Cómo funcionan los microbios?

Al hablar de las bacterias y los hongos microscópicos en seguida los relacionamos con enfermedades, pero su papel en la naturaleza es crucial; además, el ser humano se ha beneficiado de ellos. Por lo anterior, estudiar la manera en que funcionan los microbios permitirá conocer cómo son, crecen y se reproducen, así como saber de qué forma nos perjudican o nos benefician.

Introducción

La palabra *microbio* proviene de dos vocablos griegos: *micros* (pequeño) y *bios* (vida); es decir, seres vivos de tamaño pequeño, a los cuales sólo podemos ver con el microscopio. La microbiología es la ciencia que estudia a estos microorganismos, que son virus, bacterias, protozoarios, algas y hongos microscópicos (mohos y levaduras). Dada la enorme diversidad de especies, centraremos este artículo en las bacterias y los hongos, y nos enfocaremos en la fisiología microbiana para contestar ¿cómo funcionan los microbios? La finalidad de este trabajo es entender la morfología, los ambientes donde se encuentran, la nutrición y la reproducción de estos organismos microscópicos, así como los efectos (benéficos o perjudiciales) que tienen sobre nosotros.

¿Cómo funcionan las bacterias?

¿Qué y cómo son las bacterias?

Por lo general, relacionamos a las bacterias con enfermedades y epidemias, pero estos microorganismos son mucho más que sólo eso. Las bacterias han estado siempre en contacto íntimo con todos los seres vivos de la Tierra y se encuentran, prácticamente, en todos los hábitats. Se calcula que estos microbios han estado presentes en nuestro planeta desde hace 3 600 millones a 4 000 millones de años. Asimismo, se estima que hay 40 millones de células bacterianas en

un gramo de tierra y un millón en un mililitro de agua dulce, y se calcula que en el planeta hay aproximadamente 5×10^{30} bacterias (Achtman y Wagner, 2008). Las bacterias son las formas de vida más abundantes: existen aproximadamente 7 000 especies. Si las pesáramos a todas juntas, sólo del elemento químico carbono que contienen tendríamos 350 000 millones de toneladas (Prescott y cols., 2004). No obstante, a pesar de su enorme número pero debido a su diminuto tamaño (de 0.5 a 5 micras), se podría formar una fila de 200 000 a dos millones de bacterias que mediría apenas un metro de longitud.

Aunque sean tantos, estos microorganismos no pueden ser observados a simple vista. No fue sino hasta 1683 cuando el entonces comerciante neerlandés Anton van Leeuwenhoek observó las primeras bacterias a través de un microscopio que él mismo diseñó; con esto se inició la microbiología como ciencia formal. Más adelante, el nombre de *bacteria* (que significa “bastón pequeño”) fue introducido en 1828 por el naturalista alemán Christian Gottfried Ehrenberg.

La forma de las bacterias es muy diversa (véase la Figura 1) y a menudo una misma especie adopta distintas configuraciones. Así, las bacterias que tienen forma esférica u ovoide se denominan cocos (del griego *kókkos*, “grano”). Cuando los cocos se agrupan en cadenas se les denomina estreptococos (como el neumococo *Streptococcus pneumoniae*, que provoca neumonía), y cuando lo hacen en racimos se les llama estafilococos (como el *Staphylococcus aureus*, que puede provocar la muerte por insuficiencia cardíaca). Los cocos también se pueden agrupar en pares y reciben el nombre de diplococos (como la bacteria que causa la gonorrea, *Neisseria gonorrhoeae*). Por otra parte, las bacterias en forma de bastón reciben el nombre de bacilos (del latín *baculus*, “varilla”). Los bacilos curvados que presentan espirales se llaman espirilos y algunas bacterias en espiral presentan formas fácilmente reconocibles, como las espiroquetas, con apariencia de un sacacorchos (como la bacteria *Treponema pallidum*, que causa la sífilis). Por otro lado, los bacilos ligeramente curvados y en forma de coma (,) se denominan vibrios (como la bacteria



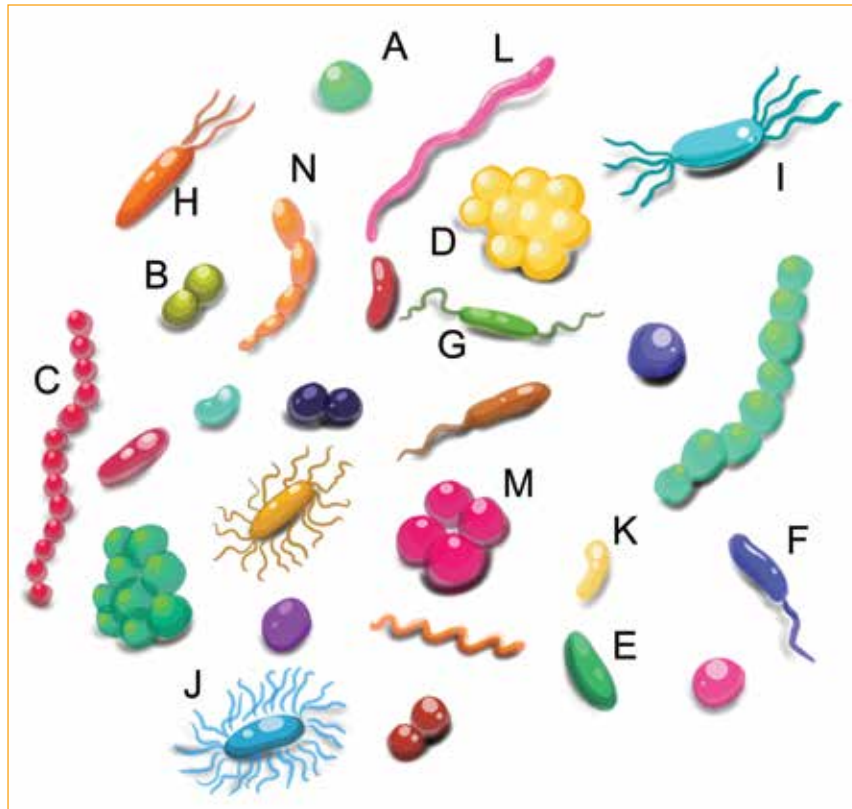


Figura 1. Diferentes formas bacterianas y disposición de los flagelos. Las bacterias se pueden encontrar como células individuales en forma de cocos (A), bacilos (E), vibrios (K) o espiroquetas (L). Cuando los cocos se asocian para formar cadenas se denominan estreptococos (C) y cuando forman racimos, estafilococos (D); a veces se juntan dos cocos para formar diplococos (B) o cuatro cocos para formar tétradas (M). También los bacilos pueden formar cadenas de estreptobacilos (N). Respecto a la disposición de los flagelos, encontramos bacterias monotricas (F), anfitricas (G), lofotricas (H e I) y peritricas (J).

Vibrio cholerae, causante del cólera). También hay bacterias que no tienen una configuración definida.

La forma de las bacterias depende principalmente de la presencia y composición de dos elementos: un recubrimiento externo (pensemos en el confite de un dulce), llamado pared celular, y una red de proteínas filamentosas en el interior de la bacteria (similares a una maraña de hilos), llamada citoesqueleto.

De acuerdo con sus características, las bacterias se clasifican en dos grandes grupos: Gram-positivas y Gram-negativas, ya que en la técnica de tinción que inventó el bacteriólogo danés Christian Gram, las bacterias Gram-positivas se ven en el microscopio teñidas de color azul o morado y las Gram-negativas, rojo o rosado. Estas diferencias se deben sobre todo al grosor de su pared celular: mayor en las Gram-positivas y más delgada en las Gram-negativas. Aunque la

clasificación de Gram se sigue usando, actualmente la clasificación bacteriana se centra en la composición química de sus estructuras internas, como las proteínas y su material genético (ADN). La clasificación más aceptada es la denominada coloquialmente como “la del Manual Bergey” (Michigan State University, 2007).

¿Qué estructuras poseen las bacterias?

Las bacterias no son tan simples como aparentan y poseen diversas estructuras que les sirven para realizar diferentes funciones. Si las describiéramos de la parte más externa a la interna, en primer lugar encontraríamos a la cápsula –aunque no todas las bacterias la poseen–; esta estructura está conformada por cadenas de azúcares y proteínas unidos fuertemente a la bacteria. Otras estructuras externas (similares a

vellosidades) en algunas bacterias son las fimbrias y los *pili*, que les sirven, respectivamente, para anclarse a otras células (otras bacterias, células humanas o de animales) y para intercambiar material genético entre bacterias.

También están los flagelos, los cuales tampoco se encuentran en todas las bacterias, sino sólo en aquellas capaces de desplazarse por sí mismas ayudadas por estas estructuras. Los flagelos son filamentos de proteína (flagelina) que le sirven a la bacteria para moverse de un lado a otro, como si se tratara de la hélice de un barco que funciona gracias a un verdadero micromotor bacteriano de movimiento rotativo. Los flagelos pueden encontrarse en diferente lugar y número en el exterior de la bacteria. Si existe un sólo flagelo, la bacteria se denomina monotrica; si hay un flagelo en los extremos de la bacteria, se le llama anfotrica; los grupos de flagelos presentes en uno o en los dos extremos de la bacteria se denominan lofotricos; cuando los flagelos están distribuidos sobre toda la superficie de la célula se denominan peritricos.

Por otra parte, una estructura que sí poseen casi todas las bacterias es la pared celular. En las bacterias Gram-positivas se trata de una capa más gruesa formada por cadenas de azúcares. En las bacterias Gram-negativas, la delgada pared celular se encuentra atrapada entre dos membranas de lípidos: la membrana externa y la membrana interna.

La membrana citoplásmica delimita el interior y exterior de las bacterias. Esta estructura está presente en todas las especies bacterianas. Se compone de una doble capa de fosfolípidos, los cuales son elementos grasos que también se unen a proteínas y carbohidratos. Su función principal es regular el paso de sustancias desde el interior al exterior de la célula y viceversa. Dicha membrana está en contacto directo con el citoplasma (la parte interna de la bacteria), donde coexisten vitaminas, iones, agua, nutrientes, desechos y el material genético. A diferencia de las células eucariontes, las bacterias no tienen orgánulos como las mitocondrias (para generar energía), el retículo endoplásmico (para sintetizar moléculas) ni el aparato de Golgi (para secretar sustancias).

Unas estructuras muy interesantes en estos microorganismos son las endosporas, células especiali-

zadas que pueden producirse en las bacterias *Clostridium* (asociadas a enfermedades como el tétanos y el botulismo) y *Bacillus* (asociadas a enfermedades como el ántrax). Las endosporas confieren a las bacterias resistencia ante el medio ambiente y los agentes nocivos, como las radiaciones (ultravioleta, rayos gamma y rayos X), la lisozima (una proteína antibacteriana presente en la saliva y las lágrimas), el calor, la desecación, los desinfectantes químicos y la trituración mecánica. Las endosporas se encuentran comúnmente en el suelo y el agua, donde sobreviven durante largos periodos (Madigan y cols., 2004), ¡a veces hasta décadas!

Asimismo, las bacterias por lo general tienen un cromosoma de ADN que no está protegido por una membrana –como en el caso de los hongos, las células animales o vegetales–. El lugar que ocupa el ADN bacteriano se llama nucleoide (núcleo no verdadero). Por lo regular, se forma una cadena circular que mide entre un millón y seis millones de pares de bases (cada uno de los peldaños de la cadena de ADN). Es aquí donde se encuentran agrupados todos los genes de la bacteria, los cuales contienen la información para producir las proteínas que éstas necesitan para sobrevivir. A veces existen genes bacterianos que no están agrupados en esta cadena circular, sino en una más pequeña denominada plásmido, donde puede encontrarse la información que les confiere a las bacterias, por ejemplo, la resistencia a antibióticos o la capacidad de comer –sin sufrir daño– sustancias tóxicas provenientes del petróleo. De hecho, algunas de estas últimas se usan para limpiar derrames petroleros.

¿Cómo se nutren las bacterias?

Las bacterias se alimentan a través de su membrana al introducir las sustancias químicas que se encuentran en su medio ambiente y que contienen, principalmente, carbono y nitrógeno. El metabolismo bacteriano (conjunto de reacciones químicas que ocurren dentro de la bacteria) se puede clasificar según el origen de estos alimentos, las fuentes de energía empleadas y los tipos de respiración. De acuerdo con el tipo de nutrientes derivados del carbono que las bacterias utilizan para alimentarse, éstas se clasifican



como heterótrofas (si se alimentan de compuestos que contienen en su estructura química el elemento carbono, por ejemplo, azúcares, metano y otros hidrocarburos) y autótrofas (si se alimentan del gas atmosférico dióxido de carbono). Según cómo obtienen su energía, las bacterias también pueden clasificarse en fotótrofas (obtienen energía de la luz solar) y quimiótrofas (a partir de reacciones químicas en presencia de oxígeno, y si no utilizan el oxígeno se dice que su respiración es anaerobia). También se clasifican como litótrofas (utilizan compuestos inorgánicos, sin carbono, para obtener energía) u orgánótrofas (obtienen energía a partir de compuestos orgánicos con carbono). Además, ciertas reacciones químicas dentro de la célula son capaces de desprender energía que se puede utilizar para sintetizar una molécula clave llamada ATP (adenosín trifosfato), la cual es el combustible celular para mantener las funciones vitales de la bacteria.

¿Cómo crecen y se reproducen las bacterias?

Las bacterias se reproducen mediante un proceso llamado fisión binaria; esto es, la bacteria va aumentando su tamaño y finalmente se divide en dos bacterias hijas idénticas a la progenitora (clonas). La velocidad de reproducción bacteriana puede ser muy rápida (de 15 a 30 minutos). Haciendo cuentas, y si se mantiene esa velocidad, en 16 horas una sola bacteria puede producir aproximadamente 5 000 millones de bacterias.

El crecimiento bacteriano conlleva tres fases: la fase lag, donde la bacteria comienza a adaptarse a su medio ambiente; la fase de crecimiento exponencial

(fase log), donde las bacterias se reproducen activamente; y la fase estacionaria o de meseta, que se inicia al disminuir la cantidad de alimento disponible y, por ende, se detienen la reproducción y el crecimiento bacteriano.

¿Cómo nos perjudican o benefician las bacterias?

Las bacterias son capaces de asociarse con otros organismos (otras bacterias, hongos, algas, plantas y animales). Estas asociaciones se pueden clasificar como comensalismo, mutualismo y parasitismo. Las bacterias comensales son ubicuas, es decir, se encuentran en todas partes, y son capaces de crecer sobre animales y plantas. En este tipo de interacciones, el animal o la planta no se ve seriamente perjudicado y convive en relativa paz con las bacterias; ejemplo de ello son las especies bacterianas que habitan en nuestra piel y boca. En el mutualismo las bacterias forman asociaciones útiles con otros organismos, que son imprescindibles para su supervivencia y de las cuales ambos resultan beneficiados, por ejemplo, las bacterias que viven en nuestros intestinos: a cambio de alojamiento, impiden que otras bacterias que causan enfermedades se instalen ahí. Por otra parte, en el parasitismo las bacterias son beneficiadas y el hospedero (animal o planta) es perjudicado; de aquí conocemos un amplio grupo de bacterias que causan enfermedades y se les denomina patógenas (Fournier y cols., 2013).

Es importante que nos detengamos a reflexionar que no todo lo relacionado con las bacterias tiene que ver con enfermedades, ya que estos microbios también han sido muy benéficos para el humano, los animales y las plantas. La biotecnología moderna es una rama de la ciencia que emplea, entre otros microorganismos, a las bacterias como verdaderas fábricas celulares para producir alimentos, medicamentos y combatir la contaminación, entre otras funciones.



¿Cómo funcionan los hongos?

¿Qué y cómo son los hongos?

Así como ocurre con las bacterias, cuando pensamos en los hongos los asociamos ya sea a enfermedades como el pie de atleta o a una lama verde o blanca



que aparece en algunos alimentos. Debido a que son fácilmente observables, los hongos macroscópicos—conocidos también como macromicetos— fueron los primeros en ser estudiados. Su cuerpo fructífero es lo que comúnmente reconocemos como la imagen de un hongo, con un tallo y una especie de sombrero. En cambio, para el caso de los hongos microscópicos, no fue hasta la invención del microscopio que se tuvo noción de su existencia.

El término *hongo* proviene del latín *fungus* y éste, probablemente, del griego *sphóngos*, que quiere decir “esponja” (Herrera y Ulloa, 2004). La subdisciplina encargada de su estudio es la micología, palabra que se deriva del griego *mykes* (“hongo”) y *logos* (“estudio o tratado”), por lo que al científico que estudia a los hongos se le conoce como micólogo.

No es sencillo definir a los hongos pero, en términos generales, se trata de organismos con núcleo (eucariontes), productores de esporas (asexuales y sexuales) en su mayoría, que no poseen clorofila. Los cuerpos o talos (del griego *thallós*) de los hongos pueden ser unicelulares (ameboides o plasmodiales, quitridios o levaduriformes) o pluricelulares (filamentosos), lo que refleja su nivel de organización y en ocasiones representa un aspecto importante para su clasificación. Los hongos más conocidos se encuentran representados por las levaduras, que son unice-

lulares, y los mohos, que crecen formando filamentos largos (hongos filamentosos).

Los hongos son considerados cosmopolitas, ya que pueden habitar en ambientes tanto acuáticos como terrestres que presenten materia orgánica, humedad y una temperatura apropiada, de entre 4 y 60 °C. Su éxito para colonizar diversos hábitats se debe principalmente a las esporas (células reproductivas), las cuales son estructuras microscópicas producidas en gran cantidad, que pueden soportar condiciones adversas y que son fácilmente transportadas para su diseminación (Herrera y Ulloa, 2004).

¿Qué estructuras poseen los hongos?

Como la mayor parte de los eucariontes, los hongos tienen los principales orgánulos celulares, como retículo endoplásmico, aparato de Golgi, ribosomas y mitocondrias. Los plásmidos (descritos en la sección de bacterias) están presentes en las mitocondrias de las levaduras y algunos hongos filamentosos. Al núcleo de la célula lo envuelve una membrana doble que en medio contiene un espacio, denominado perinuclear. Una característica que los hongos comparten con el resto de los eucariontes es que su ADN se encuentra asociado con proteínas, generalmente histonas, lo que deriva en un arreglo estructural conocido como cromatina.



¿Cómo se nutren los hongos?

La forma de nutrición de los hongos es heterótrofa (consumen compuestos con carbono) y muchos de estos organismos se alimentan por absorción (nutrición osmotrófica), lo cual se basa en la secreción de enzimas para degradar compuestos complejos. Algunos hongos presentan una nutrición holozoica, la cual se basa en la digestión de partículas sólidas mediante su previa ingestión (fagotrófica).

De acuerdo con el tipo de sustancia con la cual se nutren, los hongos pueden ser considerados como saprobios, parásitos o simbioses. Los saprobios emplean compuestos orgánicos relativamente complejos, como biomasa animal o vegetal, y descomponen estas sustancias, por lo que son considerados organismos reductores. De esta manera, junto con las bacterias degradadoras, contribuyen al reciclado de elementos como carbono, nitrógeno, fósforo y azufre, entre otros, para el mantenimiento de los ciclos biogeoquímicos. Por otra parte, los parásitos son microorganismos que no pueden vivir por sí solos, por lo cual se desarrollan en otros organismos vivos para nutrirse a partir de ellos. Finalmente, los hongos simbioses establecen una relación de mutuo beneficio con otro organismo; ejemplo de esto son los líquenes (asociación entre algas y hongos) y las micorrizas (asociación entre las raíces de las plantas y los hongos).

Los hongos toman nutrientes del entorno y los utilizan de manera oxidativa (mediante la respiración o por fermentación), para así obtener energía en forma de ATP. Para la inmensa mayoría de los hongos, el oxígeno tiene un papel muy importante,



por lo que se dice que estos organismos son aerobios y llevan a cabo el proceso de respiración, mientras que en los organismos anaerobios (fermentadores), el oxígeno no se encuentra implicado.

¿Cómo crecen y se reproducen los hongos?

El crecimiento es la capacidad que poseen los organismos para que sus células se dividan, o bien para que éstas se alarguen y aumenten de tamaño. En el caso de los hongos, según el tipo de talo que posean (ya sea unicelular o filamentosos), la manera de crecer varía. Las levaduras pueden presentar dos tipos de reproducción: la fisión binaria, conocida también como bipartición (que se describió en el apartado de bacterias), o la gemación, donde una célula madre produce un brote de menor tamaño y a partir de éste crece una nueva célula.

La mayoría de los hongos se constituye por células cilíndricas o tubulares denominadas hifas, que en conjunto forman filamentos delgados conocidos como micelio y que tienen una apariencia similar al algodón (Herrera y Ulloa, 2004). Debido a su aspecto físico, a este tipo de crecimiento se le denomina comúnmente “moho”, el cual puede presentar colores blanquecinos, amarillentos, verdosos, grisáceos u oscuros. Entre los varios géneros considerados como mohos se encuentran *Aspergillus*, *Mucor*, *Penicillium* y *Rhizopus*.

Dentro de su ciclo de vida, la mayoría de los hongos presenta dos fases: la somática y la reproductiva. Durante la fase somática, también denominada trófica, el organismo se alimenta; por lo tanto, las células somáticas se encuentran directamente involucradas tanto en la producción de enzimas extracelulares para degradar compuestos orgánicos complejos como en la absorción de los nutrientes derivados del paso anterior. Por otra parte, la fase reproductiva incluye la producción de esporas y la formación de estructuras especializadas que son responsables de producirlas.

Los hongos pueden generar esporas como resultado de la reproducción sexual o asexual. En el caso de la reproducción sexual, se deben llevar a cabo tres eventos: la meiosis, la plasmogamia y la cariogamia, con lo cual se unen dos células haploides (n) para

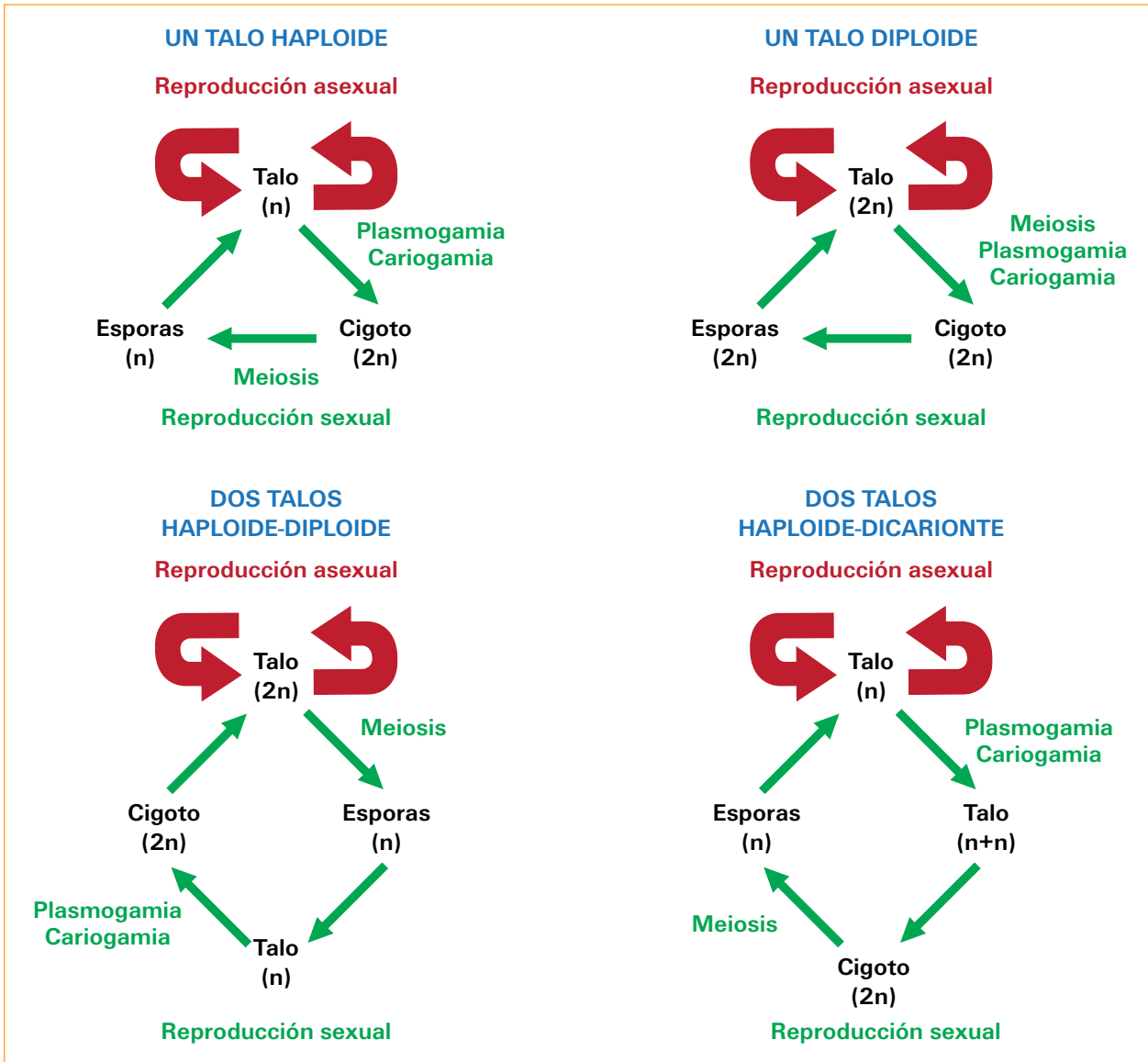


Figura 2. Los hongos pueden presentar distintos ciclos de vida.

generar una célula diploide ($2n$). La meiosis se refiere a la reducción de la carga genética, la plasmogamia involucra la fusión de dos células y la cariogamia conlleva la fusión de los núcleos para que se forme un cigoto. En la Figura 2 se muestra el ciclo de vida de los hongos, que puede incluir una fase haploide dominante, una fase diploide dominante o la alternancia de ambas. Un caso especial lo constituye el subreino Dikarya, que incluye a los filos Ascomycota y Basidiomycota; como su nombre lo indica, una parte del ciclo de vida de estas especies presenta un talo con dos núcleos ($n+n$).

En términos taxonómicos, la reproducción sexual en los hongos es tan importante que hace todavía algunos años se consideraba como un filo al grupo Deuteromycota. Los deuteromicetos (hongos imperfectos) se caracterizan por no presentar una reproducción sexual típica. Es posible que en algunas especies de hongos no haya existido la fase sexual, o bien que ésta haya desaparecido con el tiempo. Se conoce una gran cantidad de especies de hongos que han sido incluidos dentro de este filo; sin embargo, sólo ha sido posible correlacionar al estado asexual (anamorfo) de un pequeño número de deuteromiceto-



tos con el estado sexual (teleomorfo) de Ascomycota, en su mayoría, o de Basidiomycota (Moore-Landecker, 1996). La suma de ambas etapas –anamorfo y teleomorfo– se denomina holomorfo; es decir, que se conoce tanto la fase asexual como la sexual durante el ciclo de vida (Ulloa y Hanlin, 2006).

¿Cómo nos perjudican o benefician los hongos?

Como parásitos, los hongos pueden vivir tanto en plantas como en animales. En el caso de las plantas, los parásitos pueden vivir a partir de ellas sin causar un daño aparente (tizones, marchitamientos, cánceres y manchas foliares); sin embargo, cuando la presencia del hongo y el daño causado son evidentes, se habla de una enfermedad (royas, carbones, mildiús y cenicillas) (Herrera y Ulloa, 2004). Curiosamente, a pesar de ser una enfermedad, el carbón del maíz ocasionado por el hongo *Ustilago maydis*, conocido como huitlacoche, es muy apreciado en la cocina mexicana.

En tanto, la afección de animales por parte de los hongos se lleva a cabo por infecciones –denomi-


nadas micosis–, envenenamientos –ocasionados por micotoxinas– o respuestas alérgicas –provocadas por esporas–. La candidiasis, la tiña (donde entra el conocido pie de atleta) y las piedras, causadas respectivamente por *Candida*, *Trichophyton* y *Trichosporon*, son micosis comunes que presentan los animales, entre ellos el ser humano.

Desde hace mucho tiempo la humanidad ha aprovechado ciertas especies de hongos, ya sea como alimento o como parte esencial de algún proceso para la producción de compuestos alimenticios. A través de un proceso fermentativo, *Saccharomyces cerevisiae*, un hongo microscópico conocido comúnmente como levadura de cerveza, es responsable de la producción de pan y de diversas bebidas alcohólicas, como el vino y la cerveza. Por otra parte, también se utilizan los hongos para producir una gran cantidad de compuestos con alto valor comercial, entre los cuales destacan: alimentos como los quesos, ácidos orgánicos, vitaminas, grasas, enzimas, antibióticos como la penicilina, esteroides, alcaloides y algunos pigmentos (Herrera y Ulloa, 2004).



Otro ejemplo es la penicilina, descubierta en 1928 por el médico británico Alexander Fleming al observar que un moho (*Penicillium notatum*) inhibía el crecimiento de sus cultivos bacterianos. Poco tiempo después, la generación de este tipo de agentes terapéuticos, disparada por la guerra, marcó el inicio de una producción a nivel industrial. Hoy en día muchas investigaciones científicas se enfocan en descubrir nuevos y más potentes antibióticos.

Comentarios finales

 El estudio de la fisiología microbiana –es decir, ¿cómo funcionan los microbios?– nos permite comprender la morfología, el nivel de organización, el tipo de metabolismo y la forma en que se reproducen los microorganismos. En esta revisión de la fisiología de bacterias y hongos, hemos descrito organismos pequeños –y no tan pequeños– que, sin importar su tamaño, son capaces de llevar a cabo diversas funciones.

Aunque no es del todo cierta, para muchos casos puede aplicarse la famosa frase del microbiólogo francés Jacques Monod: “Todo lo que se constata como veraz para [la bacteria] *Escherichia coli* también debe ser cierto para los elefantes.”

Es difícil sintetizar en pocos párrafos la gran cantidad de información que existe en torno a estos organismos microscópicos. Con este trabajo, pretendimos dar a conocer sólo una pequeña parte sobre la forma como funcionan los microbios; sin embargo, como se pudo apreciar, el campo es vasto y aún hay mucho por saber. Si el lector está interesado en ampliar su conocimiento, le recomendamos investigar en fuentes electrónicas o impresas para adentrarse aún más en el mundo de los microbios.

Adán Chávez-Castillo

ALTECSA, S. A. de C. V.
adanchavez1@hotmail.com

Roberto Arreguín-Espinosa

Instituto de Química, UNAM.
arrespin@unam.mx

Joaquín Cifuentes-Blanco

Facultad de Ciencias, UNAM.
jcifuentesblanco@hotmail.com

Eduardo Rodríguez-Bustamante

Instituto de Química, UNAM.
erodriguezb@gmail.com

Lecturas recomendadas

- Achtman, M. y M. Wagner (2008), “Microbial diversity and the genetic nature of microbial species”, *Nature Reviews Microbiology*, 6:431-440.
- Fournier, P. E., M. Drancourt, P. Colson, *et al.* (2013), “Modern clinical microbiology: new challenges and solutions”, *Nature Reviews Microbiology*, 11:574-585.
- Herrera, T. y M. Ulloa (2004), *El reino de los hongos. Micología básica y aplicada*, México, Universidad Nacional Autónoma de México-Fondo de Cultura Económica, 552 pp.
- Madigan, M., J. Martinko y J. Parker (2004), *Brock. Biología de los microorganismos*, 10.ª ed., Madrid, Pearson Prentice Hall, 1096 pp.
- Michigan State University (2007), *Taxonomic Outline of Bacteria and Archaea*. Disponible en: <<http://www.taxonomicoutline.org/index.php/toba>>.
- Moore-Landecker, E. (1996), *Fundamentals of the fungi*, 4.ª ed., Nueva Jersey, Prentice Hall, 574 pp.
- Prescott, L. M., J. P. Harley y D. A. Klein (2004), *Microbiology*, 6.ª ed., Nueva York, McGraw-Hill, 1152 pp.
- Ulloa, M. y R. T. Hanlin (2006), *Nuevo diccionario ilustrado de micología*, St. Paul, APS Press, 672 pp.