

19

La diversidad de los
procariotas y los virus

Unos trabajadores se preparan para descontaminar el Hart Office Building, uno de los edificios del Capitolio en Washington, D. C., después de que fue blanco de un ataque con un arma biológica.

DE UN VISTAZO

ESTUDIO DE CASO: Agentes de muerte

19.1 ¿Cuáles son los organismos que constituyen los dominios procarióticos Bacteria y Archaea?

- Las bacterias y las arqueas son fundamentalmente diferentes
- Los procariotas dentro de cada dominio son difíciles de clasificar
- Los procariotas difieren en tamaño y forma

19.2 ¿Cómo sobreviven y se reproducen los procariotas?

- Algunos procariotas son móviles
- Muchas bacterias forman películas en las superficies
- Las endosporas protectoras permiten a algunas bacterias soportar condiciones adversas
- Los procariotas se especializan en hábitat específicos
- Los procariotas presentan diversos tipos de metabolismo
- Los procariotas se reproducen por fisión binaria
- Los procariotas pueden intercambiar material genético sin reproducirse

19.3 ¿Cómo afectan los procariotas a los humanos y a otros eucariotas?

- Los procariotas desempeñan papeles importantes en la nutrición animal

- Los procariotas captan el nitrógeno que necesitan las plantas
- Los procariotas son los recicladores de la naturaleza
- Los procariotas pueden reducir la contaminación
- Algunas bacterias constituyen una amenaza para la salud de los seres humanos

Enlaces con la vida: Comensales indeseables

19.4 ¿Qué son los virus, los viroides y los priones?

- Un virus consiste en una molécula de DNA o RNA envuelta en una cubierta proteica
- Los virus son parásitos
- Algunos agentes infecciosos son aún más simples que los virus

De cerca: ¿Cómo se replican los virus?

- Nadie sabe con certeza cómo se originaron estas partículas infecciosas

OTRO VISTAZO AL ESTUDIO DE CASO Agentes de muerte



ESTUDIO DE CASO AGENTES DE MUERTE

EN EL OTOÑO DE 2001, un temor que se había albergado durante años se convirtió en una terrible realidad cuando los residentes de Estados Unidos fueron atacados con un arma biológica. El arma, que mató a cinco personas y provocó graves enfermedades en seis más, era simplemente un cultivo de bacterias que se colocaron en sobres y se enviaron al Hart Office Building, un edificio del Senado en Washington, D. C., y a las oficinas de algunos medios de comunicación, donde fueron inhaladas por las víctimas que abrieron los sobres aparentemente inofensivos. El ataque, aunque relativamente pequeño, ilustra dramáticamente la posibilidad y el poder potencial destructivo de un ataque de mayores dimensiones.

La bacteria que se utilizó en el ataque fue el *Bacillus anthracis*, que causa la enfermedad del ántrax y normalmente infecta a los animales domésticos, como cabras y

ovejas, pero que también puede infectar a los humanos. La bacteria es un agente infeccioso peligroso y a menudo mortal, con propiedades que la hacen especialmente atractiva para quienes desarrollan armas biológicas. Las bacterias del ántrax se pueden aislar fácilmente de los animales infectados, son baratas y fáciles de cultivar en grandes cantidades y, una vez producidas, pueden secarse y conservarse en forma de polvo que resiste el paso del tiempo. El polvo se convierte fácilmente en arma si se coloca en la cabeza de un misil o en algún otro dispositivo, y una pequeña cantidad de bacterias es capaz de infectar a un número considerable de personas. Las áreas contaminadas con las bacterias de ántrax son muy difíciles de descontaminar.

Desde entonces, se hizo evidente que gran parte de nuestra capacidad para defendernos de los ataques biológicos depen-

de de nuestro conocimiento de los microbios (como se denomina colectivamente a los organismos unicelulares) que causan las enfermedades y que pueden utilizarse como armas biológicas. La investigación científica de los microbios ayudará a obtener el conocimiento necesario para detectar un ataque, destruir microorganismos peligrosos en el ambiente, y prevenir y combatir las infecciones. Por fortuna, los biólogos ya saben bastante acerca de los microorganismos. En este capítulo exploraremos algo de ese conocimiento.

19.1 ¿CUÁLES SON LOS ORGANISMOS QUE CONSTITUYEN LOS DOMINIOS PROCARIÓTICOS BACTERIA Y ARCHAEA?

Los primeros organismos que habitaron la Tierra fueron procariotas, microbios unicelulares que carecían de organelos como núcleo, cloroplastos y mitocondrias. (Véase el capítulo 4 para una comparación entre células procarióticas y eucarióticas). Durante los primeros 1500 millones de años o más de la historia de la vida, todas las formas vivientes eran procarióticas. Incluso en la actualidad, los procariotas son extraordinariamente abundantes. Una gota de sudor contiene cientos de miles de organismos procarióticos, y una cucharada de tierra contiene miles de millones. El cuerpo humano promedio es el hogar de billones de procariotas, que viven en la piel, en la boca, en el estómago y en los intestinos. En términos de abundancia, los procariotas son la forma de vida predominante en la Tierra.

Las bacterias y las arqueas son fundamentalmente diferentes

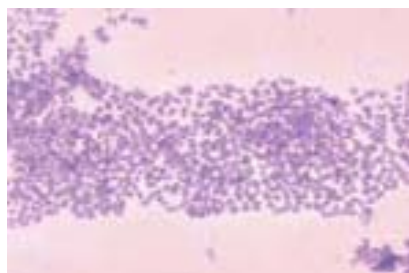
Dos de los tres dominios de la vida, Bacteria y Archaea, comprenden exclusivamente procariotas. Las bacterias y las arqueas son de apariencia superficialmente similar bajo el microscopio, pero la antiquísima separación evolutiva entre ambos dominios se manifiesta en sorprendentes diferencias entre sus características estructurales y bioquímicas. Por ejemplo, la rígida pared celular que encierra las células bacterianas contiene *peptidoglicano*, que sólo existe en las bacterias,

pues las paredes celulares de las arqueas carecen de esta sustancia. Las bacterias y las arqueas también difieren en la estructura y composición de las membranas plasmáticas, los ribosomas y las RNA polimerasas, al igual que en las características fundamentales de procesos básicos como la transcripción y la traducción.

Los procariotas dentro de cada dominio son difíciles de clasificar

A causa de las notables diferencias bioquímicas entre las arqueas y las bacterias, distinguir entre estos dominios es un asunto sencillo, pero la clasificación dentro de cada dominio plantea dificultades especiales. Los procariotas son pequeñísimos y de estructura muy simple y sencillamente no presentan la enorme cantidad de diferencias anatómicas y de desarrollo que permiten inferir la historia evolutiva de plantas, animales y otros eucariotas. En consecuencia, los procariotas se han clasificado sobre la base de características como su forma, medios de locomoción, pigmentos, necesidades nutrimentales, apariencia de sus colonias (es decir, los grupos de individuos que descienden de una sola célula) y propiedades de tinción. Por ejemplo, la técnica de **tinción de Gram** permite distinguir dos tipos de construcción de la pared celular de las bacterias, lo que posibilita su clasificación como bacterias *gram positivas* o *gram negativas*.

En años recientes se ha expandido considerablemente nuestro conocimiento de la historia evolutiva de los dominios procarióticos gracias a las comparaciones de secuencias de nucleótidos de DNA o RNA. Sobre la base de esta nueva in-



a)



b)



c)

FIGURA 19-1 Tres formas procarióticas comunes

a) Bacterias esféricas del género *Micrococcus*, b) arqueas con forma de bastón del género *Escherichia*, y c) bacterias con forma de sacacorchos del género *Borrelia*.

formación, algunos biólogos ahora identifican entre 13 y 15 reinos para clasificar a las bacterias y tres reinos para las arqueas. Sin embargo, la clasificación de los procariotas es un campo que cambia rápidamente y hasta ahora no ha sido posible alcanzar un consenso sobre la clasificación en el nivel de los reinos. Ante el intenso ritmo de generación de datos de secuencias de DNA y el descubrimiento y la descripción con regularidad de tipos nuevos e inconfundibles de bacterias y arqueas, es probable que los esquemas de clasificación de los procariotas aún continúen siendo objeto de revisiones por algún tiempo.

Los procariotas difieren en tamaño y forma

En general, tanto las bacterias como las arqueas son muy pequeñas, con un diámetro de alrededor de 0.2 a 10 micrómetros. (En comparación, el diámetro de las células eucarióticas mide entre 10 y 100 micrómetros). Se podrían reunir alrededor de 250,000 bacterias o arqueas de tamaño medio en el punto con el que concluye este párrafo, aunque algunas especies de bacterias son de mayor tamaño. La bacteria más grande que se conoce es la *Thiomargarita namibiensis*, cuyo diámetro mide 700 micrómetros, lo que hace posible verla a simple vista.

Las paredes celulares que rodean las células procarióticas dan su forma característica a diferentes tipos de bacterias y arqueas. Las formas más comunes son las esféricas, de bastón y de sacacorchos (FIGURA 19-1).

19.2 ¿CÓMO SOBREVIVEN Y SE REPRODUCEN LOS PROCARIOTAS?

La abundancia de procariotas se debe en buena parte a las adaptaciones que permiten a los miembros de los dos dominios procarióticos habitar y aprovechar una amplia gama de ambientes. En este apartado explicaremos algunos de los rasgos que ayudan a los procariotas a sobrevivir y prosperar.

Algunos procariotas son móviles

Muchas bacterias y arqueas se adhieren a una superficie o se encuentran a la deriva en ambientes líquidos, pero algunas pueden moverse. Muchos de estos procariotas móviles poseen **flagelos**. Los flagelos de los procariotas pueden presentarse individualmente en un extremo de la célula, por pares (uno en cada extremo de la célula), como un mechón en un extremo de la célula (FIGURA 19-2a) o dispersos por toda la superficie celular. Los flagelos giran con rapidez e impulsan al organismo a través del medio líquido. Al utilizar sus flagelos para moverse, los procariotas logran dispersarse en nuevos hábitat, desplazarse hacia los nutrimentos y abandonar ambientes desfavorables.

La estructura de los flagelos procarióticos es diferente y mucho más simple que la estructura de los flagelos eucarióticos (véase la página 67 para una descripción del flagelo eucariótico). En las bacterias, una peculiar estructura con apariencia de rueda, incrustada en la membrana bacteriana y en la pared celular, hace posible la rotación del flagelo (FIGURA 19-2b). Los flagelos de las arqueas son más delgados que los de las bacterias y están hechos de proteínas diferentes. Sin embargo, la estructura de los flagelos de las arqueas aún no se conoce tan bien como la de los flagelos de las bacterias.

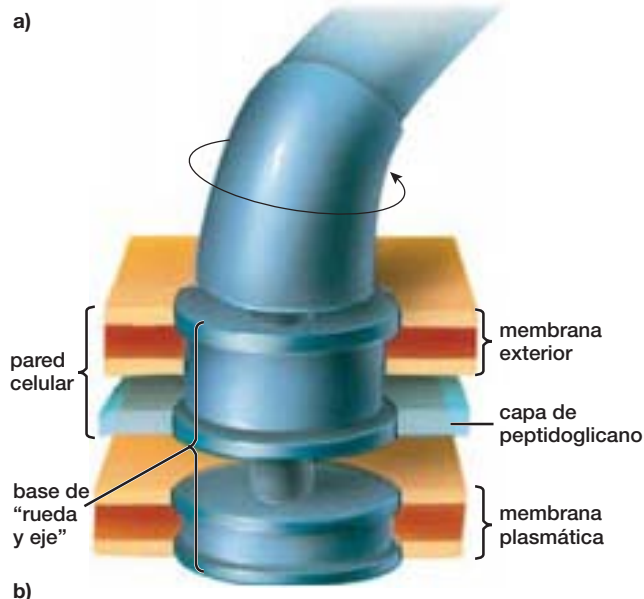
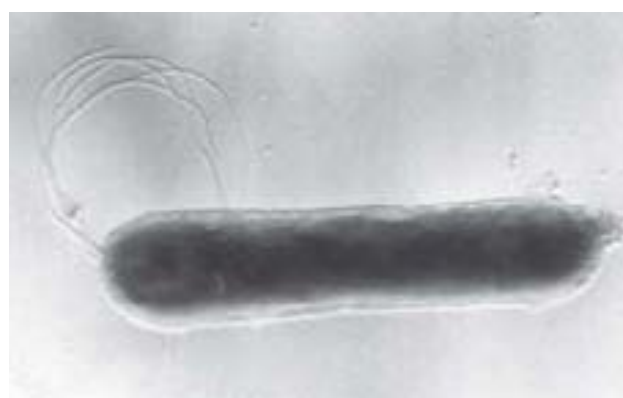


FIGURA 19-2 El flagelo procariótico

a) Una arquea flagelada del género *Aquifex* utiliza sus flagelos para desplazarse hacia ambientes favorables. **b)** En las bacterias un singular dispositivo de "rueda y eje" ancla el flagelo dentro de la pared celular y la membrana plasmática, de tal manera que el flagelo puede girar con rapidez.

Muchas bacterias forman películas en las superficies

La pared celular de ciertas especies bacterianas está rodeada de capas pegajosas de material viscoso, compuestas de polisacáridos o proteínas, que protege a las bacterias y las ayuda a adherirse a las superficies. En muchos casos, las bacterias de una o más especies que secretan ese material viscoso se reúnen en colonias para formar comunidades conocidas como **biopelículas**. Una biopelícula muy común es la placa dental, que forman las bacterias que viven en la boca (FIGURA 19-3). La protección que brindan las biopelículas ayuda a defender a las bacterias incrustadas contra una variedad de ataques, incluidos los que lanzan los antibióticos y desinfectantes. Como resultado, las biopelículas que forman las bacterias dañinas para los humanos son muy difíciles de erradicar. La persistencia de las biopelículas es lamentable, porque las superficies en las que se forman incluyen los lentes de contacto, las suturas quirúrgicas y el equipo médico como los catéteres. Además, muchas infecciones del cuerpo humano toman la forma de



FIGURA 19-3 La causa de la caries dental

Las bacterias en la boca del ser humano forman una biopelícula viscosa que les permite adherirse al esmalte de los dientes y las protege de las amenazas del ambiente. En esta micrografía se distinguen las bacterias individuales (en verde y amarillo), incrustadas en la biopelícula café. La biopelícula formada por las bacterias provoca las caries dentales.

biopelículas, incluidas las responsables de la caries dental, las enfermedades de las encías y las infecciones de los oídos.

Las endosporas protectoras permiten a algunas bacterias soportar condiciones adversas

Cuando las condiciones ambientales se tornan inhóspitas, muchas bacterias con forma de bastón forman estructuras protectoras llamadas **endosporas**. Una endospora se forma dentro de la bacteria y contiene material genético y unas cuantas enzimas encerradas dentro de una gruesa capa protectora (**FIGURA 19-4**). La actividad metabólica cesa por completo hasta que la espora encuentra condiciones favorables, entonces el metabolismo se reanuda y la espora se desarrolla como una bacteria activa.

Las endosporas son estructuras resistentes incluso a condiciones ambientales extremas. Algunas resisten la ebullición durante una hora o más. Otras sobreviven durante lapsos extraordinariamente largos. En el ejemplo más extremo de longevidad, unos científicos descubrieron recientemente esporas bacterianas que habían permanecido encerradas en una roca durante 250 millones de años. Luego de extraer con gran cuidado las esporas de su “tumba” pétreo, las incubaron en tubos de ensayo. Increíblemente, se desarrollaron bacterias vivas a partir de esas antiquísimas esporas, más viejas aun que los fósiles de dinosaurio más antiguos.

Las endosporas son una de las razones principales por las que la enfermedad bacteriana conocida como ántrax constituye un agente de terrorismo biológico. La bacteria causante del ántrax forma endosporas, que son el medio por el que los terroristas (o gobiernos) pueden dispersar las bacterias. Las esporas se pueden guardar por tiempo indefinido y son capaces de sobrevivir en las duras condiciones que encontrarían mien-

tras viajan a su destino, incluyendo el lanzamiento en proyectil y el recorrido a gran altitud. Cuando llegan al blanco, las esporas sobreviven a la dispersión en la atmósfera y permanecen viables hasta que una víctima potencial las inhala.

Los procariotas se especializan en hábitat específicos

Los procariotas ocupan prácticamente todos los hábitat, incluso aquellos donde las condiciones extremas impiden que sobrevivan otras formas de vida. Por ejemplo, algunas bacterias prosperan en ambientes donde la temperatura del agua está cercana al punto de ebullición, como en los manantiales calientes del Parque Nacional de Yellowstone (**FIGURA 19-5**). Muchas arqueas viven en medios aún más calientes, incluso en manantiales donde el agua hierve efectivamente o en los respiraderos de las profundidades oceánicas, donde se expelen agua sobrecalentada a través de fisuras de la corteza terrestre a temperaturas de hasta 110°C (230°F). La temperatura también es bastante elevada a 2.8 kilómetros por debajo de la superficie terrestre, donde los científicos descubrieron recientemente una nueva especie bacteriana. También se encuentran bacterias y arqueas en ambientes muy fríos, por ejemplo, en el hielo del océano Antártico.

Incluso las condiciones químicas extremas no consiguen impedir la invasión de procariotas. Prósperas colonias de bacterias y arqueas habitan en el Mar Muerto, donde una concentración de sal siete veces mayor que la de los océanos excluye cualquier otra forma de vida, así como en aguas tan ácidas como el vinagre o tan alcalinas como el amoníaco doméstico. Desde luego, también residen ricas comunidades bacterianas en una gama completa de hábitat menos extremos, incluso dentro del cuerpo humano sano o sobre su superficie. Sin embargo, no es necesario que un animal esté vivo para albergar bacterias. Recientemente se encontró una colonia de bacterias en reposo en el contenido intestinal de un mamut que permaneció en una turbera (un yacimiento de combustible fósil) durante 11,000 años.

Pero ninguna especie individual procariótica es tan versátil como sugieren estos ejemplos. De hecho, casi todos los pro-

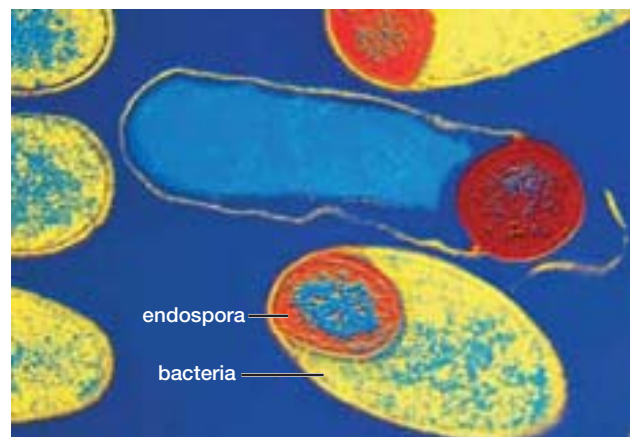


FIGURA 19-4 Las esporas protegen a algunas bacterias

Se han formado endosporas resistentes en el interior de bacterias del género *Clostridium*, causantes de la intoxicación por alimentos potencialmente mortal llamada botulismo. **PREGUNTA:** ¿Qué explicaría la observación de que la mayoría de las especies bacterianas que forman endosporas viven en el suelo?



FIGURA 19-5 Algunos procariotas prosperan en condiciones extremas

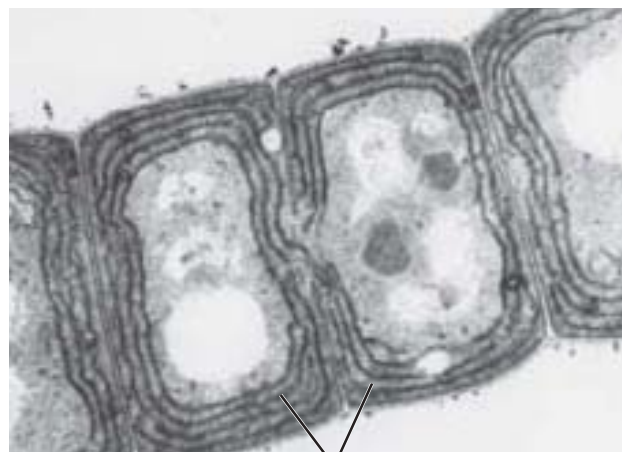
Los manantiales calientes albergan bacterias y arqueas que toleran el calor y los minerales. Varias especies de cianobacterias confieren vívidas coloraciones a estos manantiales calientes del Parque Nacional de Yellowstone y cada una está confinada a una zona específica determinada por el intervalo de temperaturas. **PREGUNTA:** Algunas de las enzimas que tienen importantes usos en los procedimientos de biología molecular se extraen de procariotas que viven en manantiales calientes. ¿Sabes por qué?

cariotas son especialistas. Una especie de arquea que habita en los respiraderos de las profundidades oceánicas, por ejemplo, crece de forma óptima a 106°C (223°F), y deja de crecer por completo a temperaturas por debajo de los 90°C (194°F). Es evidente que esta especie no podría sobrevivir en un hábitat menos extremo. Las bacterias que viven en el cuerpo humano también están especializadas, de manera que son diferentes entre sí las especies que colonizan la piel, la boca, el tracto respiratorio, el intestino grueso y el tracto urogenital.

Los procariotas presentan diversos tipos de metabolismo

Los procariotas consiguen colonizar hábitat tan diversos, en parte, porque han desarrollado distintos métodos para adquirir energía y nutrientes del ambiente. Por ejemplo, a diferencia de los eucariotas, muchos procariotas son **anaerobios**, pues no requieren de oxígeno para efectuar su metabolismo. Su capacidad para habitar en ambientes libres de oxígeno permite a los procariotas aprovechar hábitat que son inadecuados para los eucariotas. Para algunos anaerobios —como muchas de las arqueas que se encuentran en los manantiales calientes y la bacteria que causa el tétanos—, el oxígeno es tóxico. Otros son oportunistas que practican la respiración anaeróbica cuando falta oxígeno y cambian a la respiración aeróbica (un proceso más eficiente) cuando disponen de este elemento. Muchos procariotas, desde luego, son estrictamente aeróbicos y requieren de oxígeno todo el tiempo.

Ya sean aeróbicas o anaeróbicas, diferentes especies de procariotas pueden extraer energía de una gama sorprendente de sustancias. Los procariotas subsisten no sólo de carbohidratos, grasas y proteínas que normalmente identificamos como alimentos, sino también de compuestos que no son comestibles o que incluso son tóxicos para los humanos, incluidos el petróleo, el metano (el componente principal del gas



membranas que contienen clorofila

FIGURA 19-6 Cianobacterias

Micrografía electrónica de un corte de un filamento cianobacteriano. La clorofila está sobre las membranas que se observan en el interior de las células.

natural) y solventes como el benceno y el tolueno. Los procariotas también son capaces de metabolizar moléculas inorgánicas, como hidrógeno, azufre, amoníaco, hierro y nitrito. El proceso de metabolizar moléculas inorgánicas algunas veces da por resultado subproductos que son útiles a otros organismos. Por ejemplo, algunas bacterias liberan en la tierra sulfatos o nitratos, que son nutrientes fundamentales para las plantas.

Algunas especies de bacterias, como las **cianobacterias** (**FIGURA 19-6**) llevan a cabo fotosíntesis para captar la energía directamente de la luz solar. Al igual que las plantas verdes, las cianobacterias poseen clorofila. La mayoría de las especies producen oxígeno como un subproducto de la fotosíntesis, pero algunas, conocidas como bacterias del azufre, utilizan sulfuro de hidrógeno (H_2S) en vez de agua (H_2O) en la fotosíntesis y liberan azufre en lugar de oxígeno. No se conoce ninguna arquea fotosintética.

Los procariotas se reproducen por fisión binaria

Casi todos los procariotas se reproducen asexualmente por medio de una forma de división celular denominada fisión binaria (véase el capítulo 11), que produce copias genéticamente idénticas de la célula original (**FIGURA 19-7**). En condiciones ideales, una célula procariótica se divide aproximadamente una vez cada 20 minutos, por lo que puede dar origen a miles de trillones (10^{21}) de descendientes en un solo día. Esta rápida reproducción permite a las bacterias explotar hábitat temporales, como un charco de lodo o un budín tibio. La elevada tasa de reproducción también permite a las poblaciones bacterianas desarrollarse rápidamente. Recordemos que muchas mutaciones, que son la fuente de la variabilidad genética, se producen como resultado de errores en la duplicación del DNA durante la división celular (véase el capítulo 10). Por consiguiente, la elevada tasa reproductiva de las bacterias ofrece amplias oportunidades para el surgimiento de nuevas mutaciones, y también permite que los cambios que aumentan las posibilidades de supervivencia se difundan rápidamente.

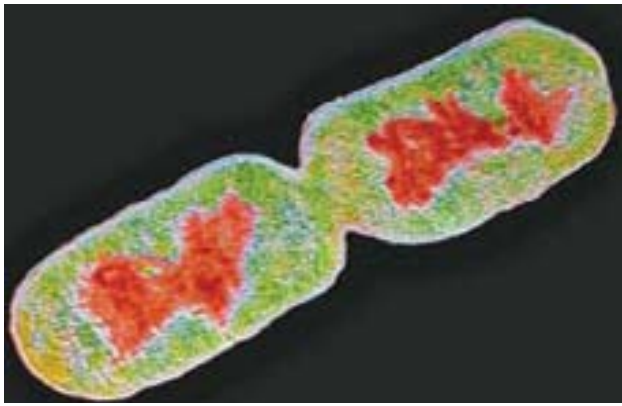


FIGURA 19-7 Reproducción de procariotas

Las células procarióticas se reproducen mediante fisión binaria. En esta micrografía electrónica a color se observa la división de la *Escherichia coli*, un componente normal del intestino humano. Las zonas rojas son material genético. **PREGUNTA: ¿Cuál es la ventaja principal de la fisión binaria, en comparación con la reproducción sexual?**

Los procariotas pueden intercambiar material genético sin reproducirse

Aunque los procariotas por lo general se reproducen asexualmente, un proceso que deja fuera la posibilidad de recombinación genética, algunas bacterias y arqueas intercambian material genético. En estas especies, el DNA se transfiere de un donador a un receptor durante un proceso que se llama **conjugación**. Las membranas celulares de dos procariotas que se conjugan se funden temporalmente para formar un puente citoplásmico a través del cual se transfiere el DNA. En el caso de las bacterias, las células donadoras utilizan unas extensiones especializadas, llamadas *pelos sexuales*, que se adhieren a la célula receptora para facilitar la conjugación (**FIGURA 19-8**). La conjugación produce nuevas combinaciones genéticas que permiten que las bacterias resultantes sobrevivan en una gran variedad de condiciones. En algunos casos es posible que individuos de diferentes especies intercambien material genético.

El DNA que se transfiere durante la conjugación bacteriana se encuentra dentro de una estructura llamada **plásmido**, que es una molécula pequeña y circular de DNA que está separada del cromosoma bacteriano. Los plásmidos portan genes de resistencia a los antibióticos o incluso alelos de genes que también están presentes en el cromosoma bacteriano principal. Los investigadores en el campo de la genética molecular han utilizado extensamente los plásmidos bacterianos, como se describió en el capítulo 13.

19.3 ¿CÓMO AFECTAN LOS PROCARIOTAS A LOS HUMANOS Y A OTROS EUCARIOTAS?

Aunque son invisibles a nuestros ojos, los procariotas desempeñan un papel crucial en la vida sobre la Tierra. Las plantas y los animales (incluyendo a los seres humanos) dependen por completo de los procariotas, ya que les ayudan a obtener nutrientes vitales, además de que contribuyen a descomponer y reciclar los desperdicios y los organismos muertos. No podríamos sobrevivir sin los procariotas, pero su efecto en nosotros no siempre es benéfico. Algunas de las enfermedades mortales para los seres humanos provienen de microbios.

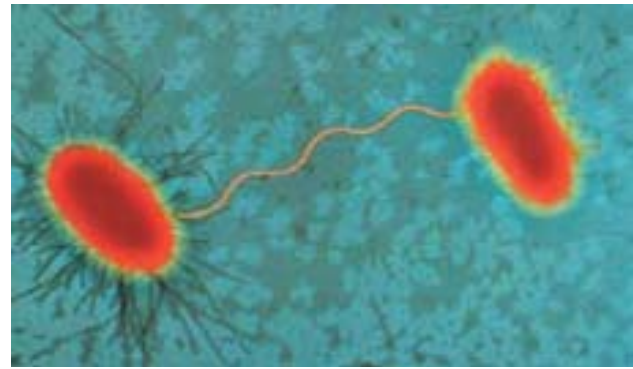


FIGURA 19-8 Conjugación: "apareamiento" procariótico

Durante la conjugación, un procariota actúa como donador al transferir DNA al receptor. En esta fotografía, un par de *Escherichia coli* se conectan mediante un pelo sexual largo, que luego se retraerá atrayendo a la bacteria receptora (a la derecha) hacia la bacteria donadora. Esta última está cubierta de pelos no sexuales, que le ayudan a adherirse a las superficies.

Los procariotas desempeñan papeles importantes en la nutrición animal

Muchos organismos eucarióticos dependen de una estrecha asociación con los procariotas. Por ejemplo, la mayoría de los animales que comen hojas, incluido el ganado, los conejos, los koalas y los ciervos, no son capaces de digerir por sí solos la celulosa, el principal componente de las paredes celulares de las plantas. Por ello, estos animales dependen de ciertas bacterias, que poseen la capacidad inusual de descomponer la celulosa. Algunas de estas bacterias viven en los tractos digestivos de los animales, donde ayudan a liberar los nutrientes del tejido de las plantas que los animales no pueden descomponer. Sin las bacterias, los animales que se alimentan de hojas no podrían sobrevivir.

Los procariotas tienen asimismo repercusiones importantes en la nutrición humana. Muchos alimentos, como el queso, el yogur y la col agria, se producen mediante la acción de bacterias. También en nuestros intestinos habitan bacterias, que se alimentan de comida sin digerir y sintetizan algunas vitaminas como la K y B₁₂, que luego son absorbidas por el cuerpo humano.

Los procariotas captan el nitrógeno que necesitan las plantas

Los seres humanos no podríamos vivir sin plantas, y las plantas dependen por completo de las bacterias. En particular, las plantas son incapaces de captar el nitrógeno del depósito más abundante de ese elemento: la atmósfera. Las plantas necesitan nitrógeno para crecer y, para obtenerlo, dependen de las **bacterias fijadoras de nitrógeno** o nitrificantes, que viven tanto en el suelo como en nódulos especializados, que son pequeños bultos redondos en las raíces de ciertas plantas (las leguminosas, que incluyen la alfalfa, la soja, el lupino y el trébol; **FIGURA 19-9**). Las bacterias nitrificantes toman nitrógeno gaseoso (N₂) del aire atrapado en el suelo y lo combinan con hidrógeno para producir ion amonio (NH₄⁺), un compuesto nitrogenado que las plantas utilizan directamente.

Los procariotas son los recicladores de la naturaleza

Los procariotas también desempeñan un papel fundamental en el reciclamiento de los desperdicios. La mayoría de los pro-

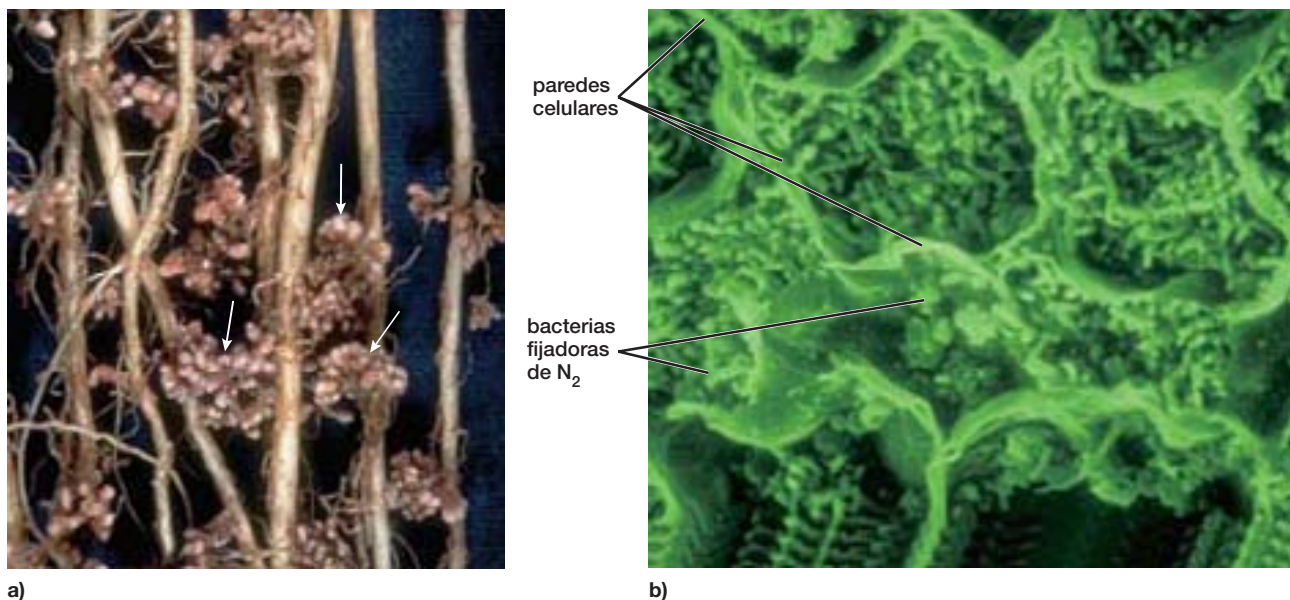


FIGURA 19-9 Bacterias fijadoras de nitrógeno en los nódulos radiculares

a) Unas cámaras especiales, llamadas nódulos, en las raíces de una leguminosa (alfalfa) brindan un ambiente protegido y constante a las bacterias fijadoras de nitrógeno. b) Esta micrografía electrónica de barrido muestra las bacterias nitrificantes en las células del interior de los nódulos. **PREGUNTA:** Si todos los procariontes fijadores de nitrógeno de la Tierra murieran súbitamente, ¿qué sucedería con la concentración del gas nitrógeno en la atmósfera?

cariotas obtienen energía descomponiendo complejas moléculas orgánicas (que contienen carbón). Tales procariontes encuentran una vasta fuente de moléculas orgánicas en los productos de desecho y en los cadáveres de plantas y animales. Al consumir y, por consiguiente, descomponer los desperdicios, los procariontes garantizan que éstos no se acumulen en el ambiente. Además, la descomposición que realizan los procariontes libera los nutrientes que contienen los desechos. Una vez liberados, los nutrientes pueden ser reutilizados por los organismos vivos.

Los procariontes realizan su servicio de reciclaje dondequiera que se encuentre la materia orgánica. Su labor de descomposición es fundamental en lagos y ríos, en los océanos, así como en el suelo y las aguas subterráneas de los bosques, sabanas, desiertos y otros ambientes terrestres. El reciclaje de los nutrientes que realizan los procariontes y otros organismos provee la base para la continuación de la vida en la Tierra.

Los procariontes pueden reducir la contaminación

Muchos de los contaminantes que se generan como subproductos de la actividad humana son compuestos orgánicos. Como tales, estos contaminantes sirven potencialmente como alimento para las arqueas y bacterias; de hecho, consumen muchos de ellos. La gama de compuestos que los procariontes atacan es asombrosa. Casi cualquier cosa que los seres humanos sintetizamos es susceptible de descomposición gracias a los procariontes, incluidos los detergentes, muchos pesticidas tóxicos y dañinos químicos industriales, como el benceno y el tolueno.

Los procariontes son capaces de descomponer incluso el petróleo. Poco después de que el buque cisterna *Exxon Valdez* derramara 40 millones de litros de petróleo crudo en 1989 en el Estrecho del Príncipe Guillermo, Alaska, algunos investigadores rociaron las playas impregnadas de petróleo con un fertilizante que favorecía el crecimiento de las poblaciones naturales de bacterias que se alimentan de petróleo. Al cabo

de 15 días los depósitos se habían reducido notablemente en comparación con las zonas no rociadas.

La práctica de manipular las condiciones para estimular la descomposición de contaminantes con la ayuda de organismos vivos se conoce como *biorremediación*. Métodos mejorados de biorremediación podrían aumentar drásticamente nuestra capacidad de limpiar sitios contaminados con desperdicios tóxicos, así como los mantos acuíferos contaminados. En la actualidad hay una gran cantidad de investigación que se propone identificar las especies procariontes que son especialmente eficaces en la biorremediación y descubrir métodos prácticos para manipular estos organismos con el fin de mejorar su efectividad.

Algunas bacterias constituyen una amenaza para la salud de los seres humanos

A pesar de los beneficios que brindan ciertas bacterias, los hábitos alimenticios de algunas otras amenazan nuestra salud y bienestar. Estas bacterias **patógenas** (causantes de enfermedades) sintetizan sustancias tóxicas que producen síntomas de enfermedad. (Hasta ahora no se ha identificado ninguna arquea patógena).

Algunas bacterias anaeróbicas producen venenos peligrosos

Ciertas bacterias producen toxinas que atacan al sistema nervioso. Ejemplos de estas bacterias patógenas son *Clostridium tetani*, causante del tétanos, y *Clostridium botulinum*, que produce *botulismo* (una forma de intoxicación a partir de los alimentos que a veces resulta mortal). Ambas especies bacterianas son anaerobias que sobreviven en forma de esporas hasta que se introducen en un ambiente favorable, libre de oxígeno. Por ejemplo, una herida punzante profunda puede ser el medio por el que se introduzcan bacterias de tétanos en un cuerpo humano y lleguen a un lugar donde estén a salvo

Aunque la posibilidad de un ataque con armas biológicas es aterradora, tienes una probabilidad mucho mayor de encontrar microorganismos dañinos en una fuente más cotidiana: tu comida. Los nutrimentos que consumes durante las comidas y al saborear botanas también representan una fuente de sustento para una gran variedad de bacterias y protistas causantes de enfermedades. Algunos de estos comensales invisibles podrían acompañar tu almuerzo al tracto digestivo e instalarse ahí provocando síntomas desagradables. Los Centros para el Control de Enfermedades estiman que, entre la población estadounidense, anualmente se registran 76 millones de casos de enfermedades provocadas por ingesta de alimentos, lo que da por resultado 325,000 casos de hospitalización y 5200 muertes.

Los responsables más frecuentes de las enfermedades provocadas por alimentos son las bacterias. Las especies de los géneros *Escherichia*, *Salmonella*, *Listeria*, *Streptococcus* y *Campylobacter* son responsables de un gran número de enfermedades; este último género responde por el mayor número de víctimas.

¿Cómo podemos protegernos de las bacterias y protistas que comparten nuestras provisiones de alimento? Muy fácil: hay que limpiar, cocer y enfriar. Limpiar ayuda a prevenir que los microorganismos patógenos se propaguen. Por eso es importante lavarse las manos antes de cocinar y lavar todos los utensilios y tablas de cortar después de preparar cada alimento. Una buena cocción es la mejor manera de exterminar cualquier bacteria o protista en los alimentos. En particular las carnes deben pasar por un buen proceso de cocción; jamás hay que comer carne que aún tenga color rosado en el interior (FIGURA E19-1). El pescado debe cocinarse hasta que se vea opaco y se pueda

cortar fácilmente con un tenedor; hay que cocer los huevos hasta que tanto la clara como la yema estén firmes. Por último, hay que mantener fríos los alimentos. Los microorganismos patógenos se reproducen con la mayor rapidez a temperaturas entre 4 y 60°C (40 y 140°F). Por ello se deben llevar las provisiones de alimento directamente de la tienda a la casa y meterlas en el refrigerador o congelador tan pronto como sea posible. Nunca se debe dejar la comida cocinada sin refrigeración por más de dos horas. Los alimentos congelados deben descongelarse en el refrigerador, no a temperatura ambiente. Un poco de atención a la seguridad en los alimentos puede salvarte de muchos huéspedes indeseables en tu comida.



FIGURA E19-1 La carne de res a media cocción es un refugio para las bacterias peligrosas

del contacto con el oxígeno. Conforme se reproducen, las bacterias liberan su veneno paralizante en el torrente sanguíneo. En el caso de las bacterias del botulismo, un recipiente herméticamente cerrado de comida enlatada que no haya sido esterilizado adecuadamente podría representar un refugio. Al prosperar gracias a los nutrimentos en el interior de la lata, estos anaerobios producen una toxina tan potente que un solo gramo podría matar a 15 millones de personas. Inevitablemente, quizá, este poderoso veneno ha atraído la atención de los creadores de armas biológicas, quienes, según se cree, ya lo han incorporado en sus arsenales.

Los humanos combaten las enfermedades bacterianas antiguas y recientes

Las enfermedades bacterianas han tenido importantes repercusiones en la historia de la humanidad. Quizás el ejemplo más dramático es la peste bubónica, o “peste negra”, que mató a 100 millones de personas a mediados del siglo XIV. En muchas partes del mundo falleció una tercera parte de la población o más. La causa de la peste bubónica es la bacteria

, sumamente infecciosa, que es diseminada por pulgas que se alimentan de ratas infectadas y luego se mudan a huéspedes humanos. Aunque la peste bubónica no ha resurgido como epidemia en gran escala, cada año se diagnostican en el mundo de 2000 a 3000 casos de pacientes con esta enfermedad.

Algunas bacterias patógenas parecen surgir de improviso. La enfermedad de Lyme, por ejemplo, era desconocida hasta 1975. La causa de este padecimiento, así llamado por la población de Old Lyme, Connecticut, donde fue descrito por primera vez, es la bacteria en forma de espiral *Borrelia burgdorferi*.

El portador de la bacteria es la garrapata del venado, que la transmite a los seres humanos a los que muerde. En un principio, los síntomas se parecen a los de la gripe: escalofríos, fiebre y dolor corporal. Si no recibe tratamiento, semanas o meses después la víctima experimenta salpullido, ataques de artritis y, en algunos casos, anomalías cardíacas y del sistema nervioso. Tanto los médicos como el público en general están cada vez más familiarizados con esta enfermedad, por lo que ha aumentado el número de pacientes que reciben tratamiento antes de que aparezcan síntomas graves.

Quizá los organismos patógenos más frustrantes son aquellos que vuelven a perseguirnos mucho tiempo después de que creíamos que estaban bajo control. La tuberculosis, una enfermedad bacteriana que alguna vez se erradicó casi por completo en los países desarrollados, va de nuevo en aumento en Estados Unidos y en otros lugares. Dos enfermedades bacterianas de transmisión sexual, la gonorrea y la sífilis, han alcanzado proporciones epidémicas alrededor del mundo. El cólera, una enfermedad que se transmite por medio del agua y que aparece cuando las aguas negras contaminan el agua potable o las zonas de pesca, está bajo control en los países desarrollados, pero sigue siendo un gran asesino en las partes más pobres del mundo.

Algunas especies bacterianas comunes son dañinas

Algunas bacterias patógenas se encuentran extendidas a tal grado y son tan comunes que quizá jamás nos libremos de sus efectos nocivos. Por ejemplo, diferentes formas de la abundante bacteria estreptococo producen diversas enfermedades. Un tipo de estreptococo provoca inflamación de garganta.

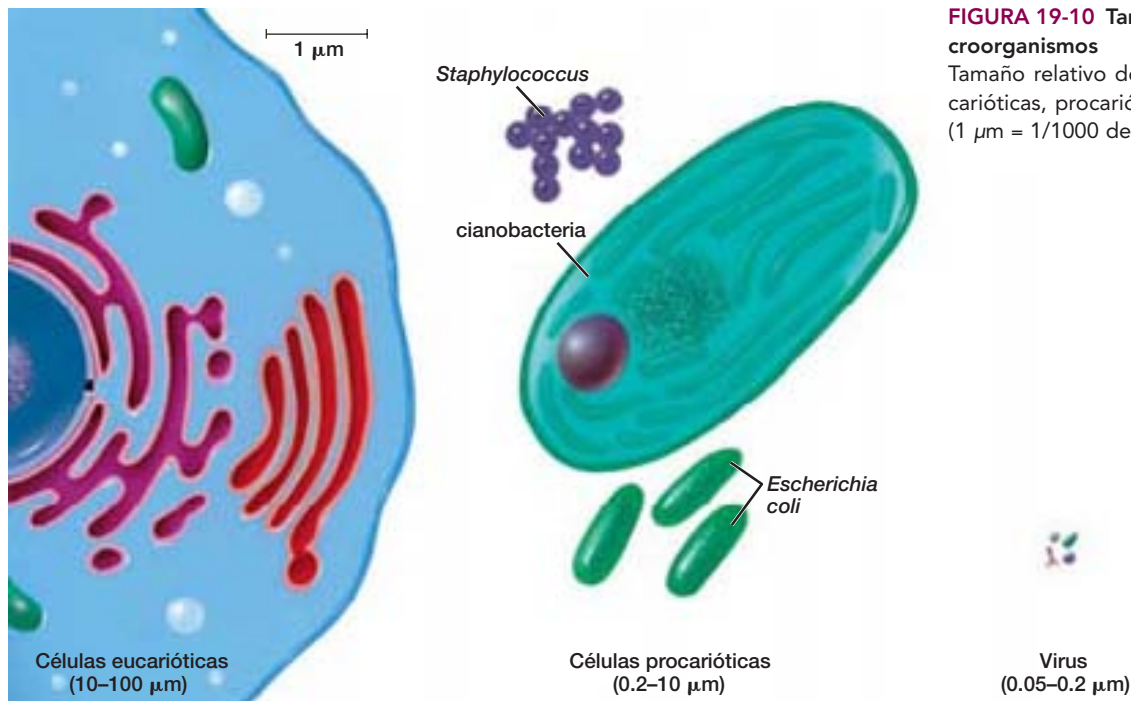


FIGURA 19-10 Tamaño de los microorganismos

Tamaño relativo de las células eucarióticas, procarióticas y los virus ($1 \mu\text{m} = 1/1000$ de milímetro).

Otro, el *Streptococcus pneumoniae*, causa neumonía al estimular una reacción alérgica que obstruye los pulmones con fluidos. Otra forma de estreptococo se ha vuelto famosa como la “bacteria carnívora”. Un pequeño porcentaje de las personas que llegan a infectarse de esta cepa de estreptococo experimenta síntomas graves, que se describen morbosamente en la prensa amarillista con titulares como “Un bicho asesino se comió mi cara”. Cada año, unos 800 estadounidenses son víctimas de fascitis necrosante (como se conoce más correctamente la infección que “devora la carne”), y alrededor del 15 por ciento de ellos fallecen. Los estreptococos penetran por lesiones de la piel y expelen toxinas que destruyen la carne directamente o que estimulan un ataque desahogado por parte del sistema inmunitario contra las propias células del cuerpo. Una extremidad puede quedar destruida en cuestión de horas y en algunos casos sólo una amputación consigue detener la rápida destrucción de los tejidos. En otros casos, estas raras infecciones provocadas por estreptococos invaden todo el cuerpo y provocan la muerte en cuestión de días.

Una de las bacterias más comunes que habitan en el aparato digestivo del ser humano es la *Escherichia coli*, que también es capaz de provocar daño. Diferentes poblaciones de *E. Coli* pueden diferir genéticamente y algunas de tales diferencias genéticas transforman esta especie benigna en patógena. Una cepa particularmente notoria, conocida como O157:H7, infecta a unos 70,000 estadounidenses cada año, y unos 60 de ellos mueren a causa de sus efectos. La mayoría de las infecciones provocadas por la bacteria O157:H7 son el resultado de consumir carne de res contaminada. Aproximadamente un tercio del ganado vacuno en Estados Unidos tiene la cepa O157:H7 en su tracto intestinal, y la bacteria puede transmitirse a los seres humanos cuando un matadero inadvertidamente muele parte de los intestinos de un animal para obtener carne para hamburguesas. Una vez en el aparato digestivo del humano, la bacteria O157:H7 se adhiere firmemente a la pared del intestino y comienza a liberar una toxina que causa sangrado intestinal y se propaga a otros órganos a los que también provoca daños. La mejor defensa contra la bacteria O157:H7

es cocer perfectamente toda la carne que se va a consumir. (Para más consejos sobre cómo protegernos de las bacterias en los alimentos, véase la sección “Enlaces con la vida: Comensales indeseables”).

La mayoría de las bacterias son inofensivas

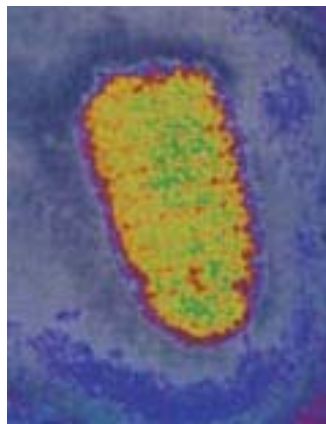
Aunque algunas bacterias atacan al cuerpo humano, la mayoría de aquellas con las que compartimos nuestro cuerpo son inocuas e incluso benéficas. Por ejemplo, la comunidad bacteriana normal de la vagina femenina crea un ambiente hostil a las infecciones por parásitos como las levaduras. Las bacterias que habitan sin causar daño en nuestros intestinos son una fuente importante de vitamina K. Como expresó alguna vez con gran propiedad el médico, investigador y escritor Lewis Thomas: “La naturaleza patógena es, en cierto sentido, una característica que requiere de gran destreza, y sólo una pequeñísima fracción de las innumerables toneladas de microbios del planeta la han desarrollado; la mayoría de las bacterias se ocupan en sus propios asuntos, examinando y reciclando el resto de la vida”.

19.4 ¿QUÉ SON LOS VIRUS, LOS VIROIDES Y LOS PRIONES?

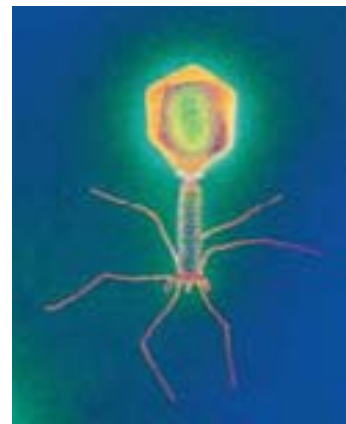
Las partículas conocidas como **virus** generalmente se encuentran en estrecha asociación con organismos vivos, pero la mayoría de los biólogos no consideran que tengan vida, pues no presentan las características propias de ésta. Por ejemplo, no son células ni se componen de células. Más aún, son incapaces de cumplir por sí solos tareas básicas que las células vivientes desempeñan comúnmente. Los virus carecen de ribosomas que les permitan fabricar proteínas, tampoco tienen citoplasma ni son capaces de sintetizar moléculas orgánicas ni de extraer y utilizar la energía almacenada en tales moléculas. No poseen membranas propias y no pueden crecer ni reproducirse por sí solos. La simplicidad de los virus parece situarlos fuera del mundo de los seres vivos.

FIGURA 19-11 Los virus tienen diversidad de formas

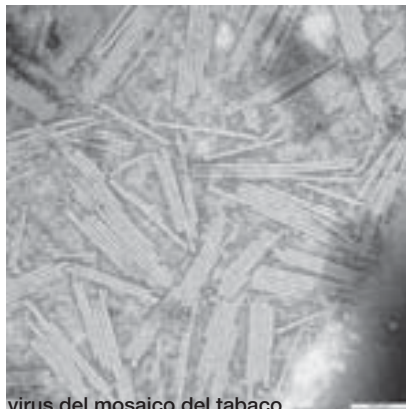
La forma viral está determinada por la naturaleza de la cubierta proteica de los virus.



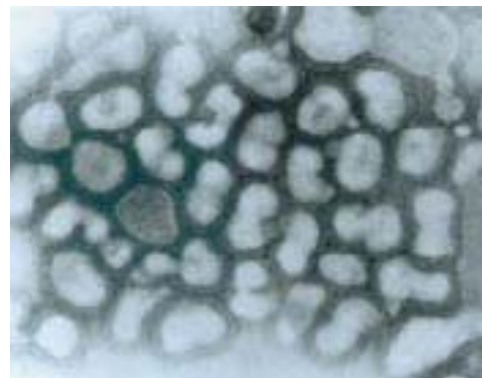
virus de la rabia



bacteriófago



virus del mosaico del tabaco



virus de la influenza

Un virus consiste en una molécula de DNA o RNA envuelta en una cubierta proteica

Los virus son diminutos, mucho más pequeños que las células procarióticas de menor tamaño (FIGURA 19-10). Una partícula viral es tan pequeña (de 0.05 a 0.2 micrómetros de diámetro) que para verla es necesaria la enorme potencia de amplificación del microscopio electrónico. Con ese aumento es posible ver que los virus adoptan una gran variedad de formas (FIGURA 19-11).

Los virus constan de dos partes principales: una molécula de material hereditario y una cubierta proteica o cápside que envuelve esa molécula. La molécula hereditaria puede ser DNA o RNA, ya sea de una sola cadena o de doble cadena, lineal o circular. La cubierta proteica puede estar rodeada de una envoltura formada a partir de la membrana plasmática de la célula huésped (FIGURA 19-12).

Los virus son parásitos

Los virus son parásitos de las células vivas. (Los parásitos viven dentro de los organismos huésped o sobre ellos, y les causan daño). Un virus sólo puede replicarse dentro de una célula huésped

cito de nuevos virus brota dispuesto a invadir y conquistar las células vecinas (véase la sección “De cerca: ¿Cómo se replican los virus?”).

Los virus tienen huéspedes específicos

Cada tipo de virus se especializa en atacar células específicas del huésped. Hasta donde sabemos, ningún organismo es inmune a todos los virus. Incluso las bacterias sucumben víctimas de los invasores virales; los virus que infectan bacterias se llaman bacteriófagos (FIGURA 19-13

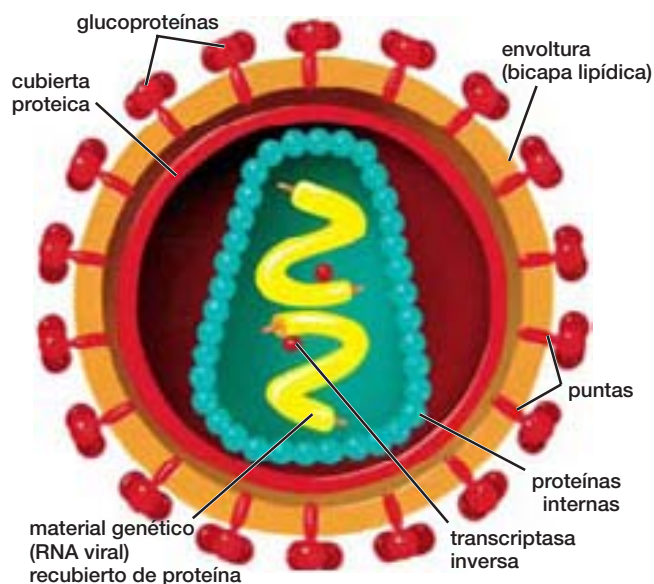


FIGURA 19-12 Estructura viral y replicación

Corte transversal del virus causante del SIDA. Adentro hay material genético rodeado de una cubierta proteica y moléculas de transcriptasa inversa, una enzima que cataliza la transcripción de DNA a partir de la plantilla de RNA viral después que el virus entra en la célula. El virus del SIDA se cuenta entre los que tienen además una envoltura externa que se forma a partir de la membrana plasmática de la célula huésped. Unas puntas de glucoproteína (proteína y carbohidrato) se proyectan desde la envoltura y ayudan al virus a adherirse a su célula huésped. **PREGUNTA: ¿Por qué los virus son incapaces de reproducirse fuera de una célula huésped?**

úlceras infecciosas. La devastadora enfermedad llamada SIDA (síndrome de inmunodeficiencia adquirida), que inutiliza el sistema inmunitario del organismo, se debe a un virus que ataca un tipo específico de leucocitos que controlan la respuesta inmunitaria del cuerpo. También se ha vinculado a los virus con ciertos tipos de cáncer, como la leucemia de células T (un cáncer de los leucocitos), el de hígado y el cervical.

Las infecciones virales son difíciles de combatir

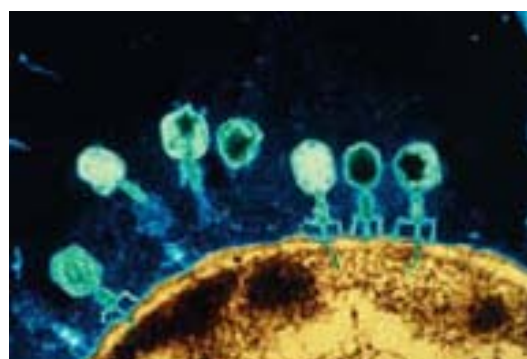


FIGURA 19-13 Algunos virus infectan bacterias

En esta micrografía electrónica se observan bacteriófagos que atacan a una bacteria. Los bacteriófagos inyectan su material genético en el interior y sus cubiertas proteicas permanecen adheridas a la pared celular bacteriana. Las manchas oscuras que se observan dentro de la bacteria son virus recién formados. **PREGUNTA: En biotecnología a menudo se utilizan virus para transferir genes entre células de distinta especie. ¿Qué propiedades de los virus los hacen útiles para este propósito?**

transmiten a nuevos huéspedes humanos. Finalmente, los virus resistentes predominan, de manera que el medicamento antiviral que antes resultaba eficaz se vuelve inútil.

La dificultad de combatir las infecciones virales hace posible la creación de armas biológicas basadas en virus. De especial importancia en este sentido es el virus de la viruela, una enfermedad que se ha erradicado en condiciones naturales; sólo existen dos laboratorios bien resguardados y de propiedad gubernamental donde se cultiva el virus de la viruela, uno en Rusia y el otro en Estados Unidos. No obstante, es probable que existan muestras de cultivo en otros lugares. Ante esta posibilidad, los planes para destruir las reservas aún existentes del virus se han pospuesto de manera indefinida para que los virus almacenados puedan utilizarse en investigaciones para desarrollar una vacuna más eficaz contra la viruela. Otra amenaza potencial es el virus que causa la fiebre hemorrágica de Ébola, una enfermedad grave que mata a más del 90 por ciento de sus víctimas, la mayoría de las cuales habitan en África. El virus del Ébola es motivo de doble preocupación: por un lado, es una enfermedad infecciosa que apenas comienza a surgir, y por otro, es un arma biológica potencial. Actualmente no existe un tratamiento eficaz para combatir esta enfermedad ni tampoco una vacuna para prevenirla.

Algunos agentes infecciosos son aún más simples que los virus

Los **viroides** son partículas infecciosas que carecen de cubierta proteica y que consisten en cadenas cortas y circulares de RNA. A pesar de su simplicidad, los viroides son capaces de entrar en el núcleo de una célula huésped y dirigir la síntesis de nuevos viroides. Se ha atribuido a los viroides alrededor de una docena de enfermedades de los cultivos, entre ellas la del pepino pálido, las manchas del aguacate y la enfermedad del tubérculo ahusado de la papa.

Los **priones**

Los virus se multiplican, o replican, utilizando su propio material genético, que consiste en RNA o DNA de cadena sencilla o doble, según el virus de que se trate. Este material sirve como plantilla (o plano) para las proteínas virales y el material genético necesarios para crear nuevos virus. Las enzimas virales también pueden participar en la replicación, pero el proceso en conjunto depende de la maquinaria bioquímica que la célula huésped utiliza para elaborar sus propias proteínas.

La replicación viral sigue una secuencia general:

1. **Penetración.** Los virus son fagocitados por la célula huésped (endocitosis). Algunos virus tienen proteínas superficiales que se unen a los receptores de la membrana plasmática de la célula huésped y estimulan la endocitosis. Otros virus están recubiertos por una envoltura capaz de fusionarse con la membrana del huésped. A continuación, el material genético viral se libera dentro del citoplasma.

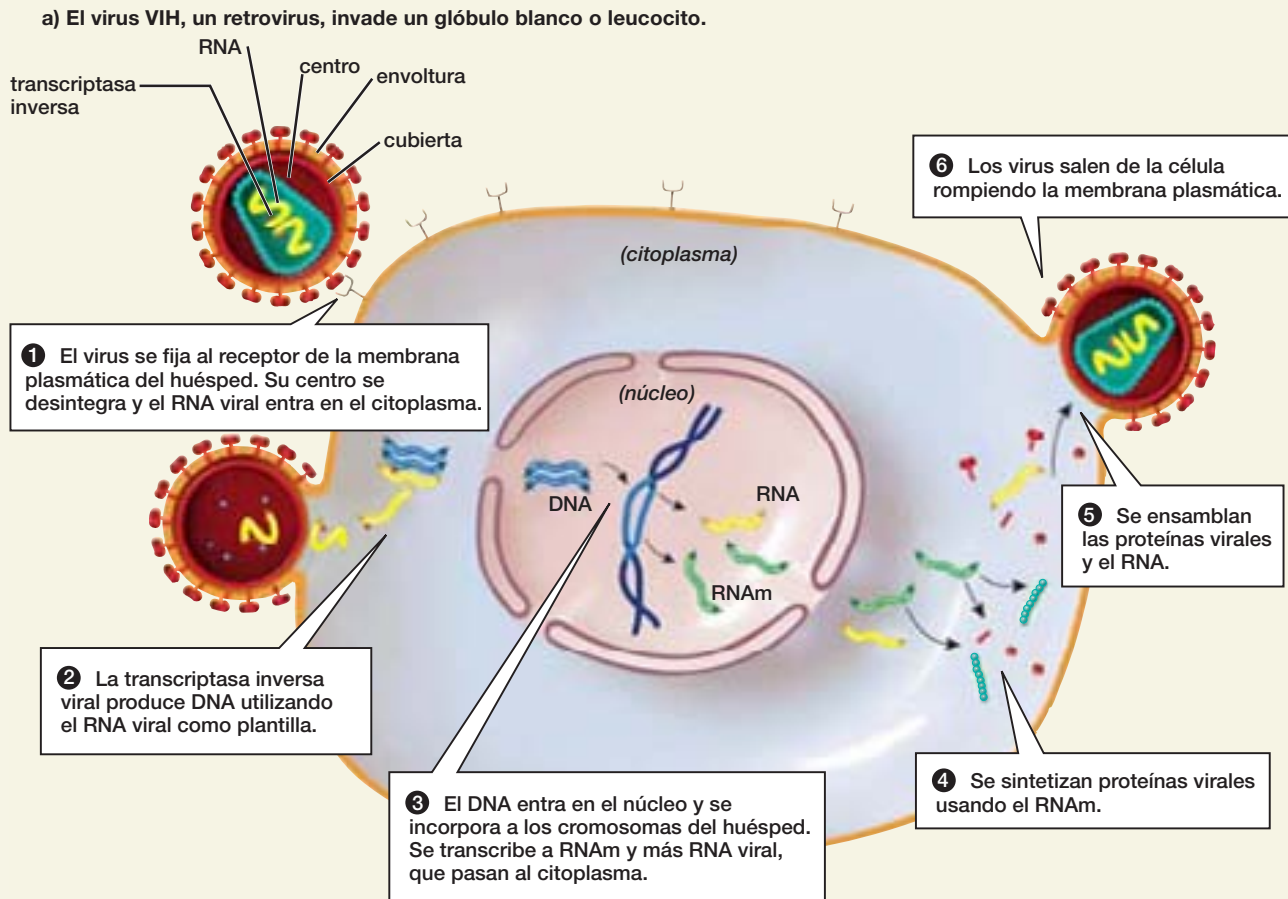


FIGURA E19-2 ¿Cómo se replican los virus?

rativa mortal del sistema nervioso, a la que los fore llamaban *kuru*. Los síntomas del *kuru* —pérdida de coordinación, demencia y finalmente la muerte— eran similares a los de la extraña, aunque más extendida, *enfermedad de Creutzfeldt-Jakob* en los seres humanos y de la *tembladera (o scrapie)* y la *encefalopatía espongiiforme bovina*, enfermedades de los animales domésticos de cría (véase el estudio de caso “Proteínas misteriosas” en el capítulo 3). Todas estas enfermedades provocan que el tejido cerebral se torne esponjoso, es decir, lleno de huecos. Los investigadores de Nueva Guinea averiguaron finalmente que el *kuru* se transmitía por la vía de un canibalismo ritual; los miembros de la tribu fore honraban a sus muertos consumiendo su cerebro. Esta práctica dejó de llevarse a cabo a partir de entonces y el *kuru* ha desaparecido casi en su totalidad. Es evidente que la causa del *kuru* era un

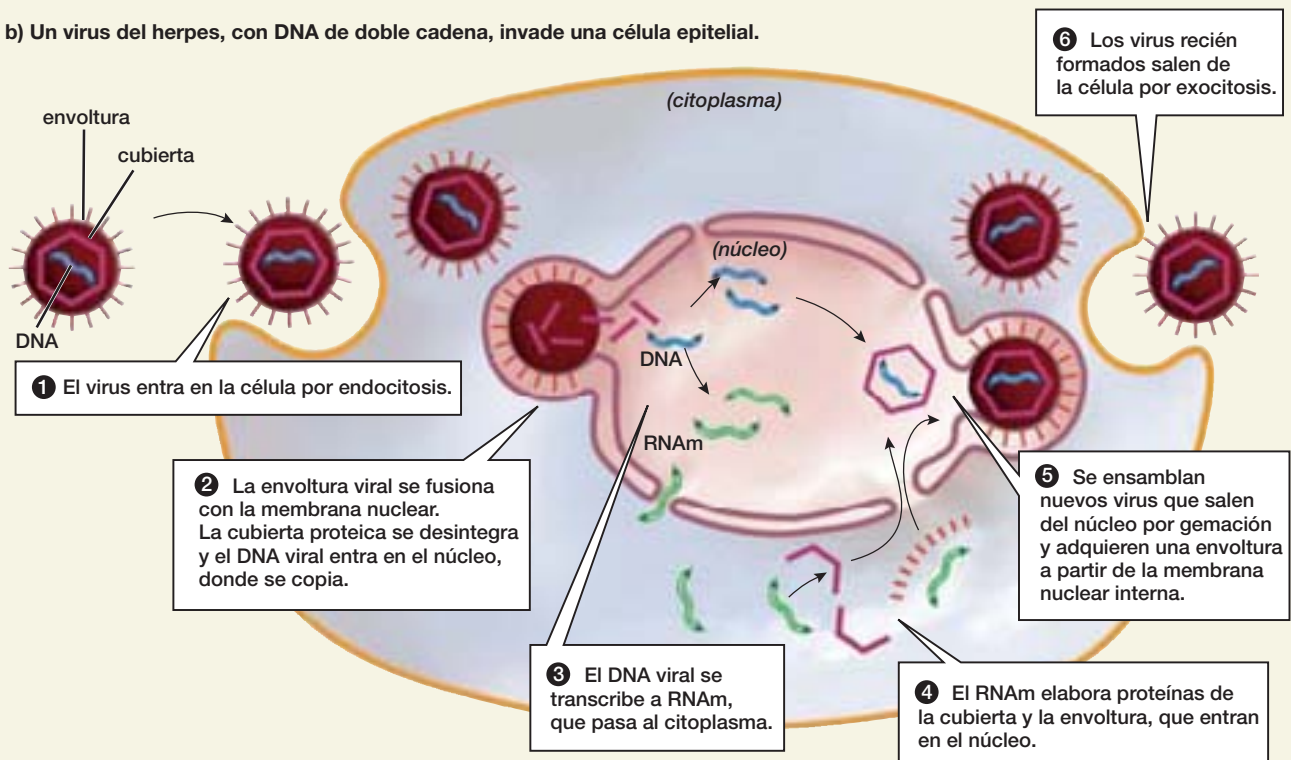
agente infeccioso transmitido por tejido cerebral infectado, pero, ¿cuál era ese agente?

En 1982, el neurólogo y ganador del Premio Nobel, Stanley Prusiner, publicó pruebas de que la causa de la tembladera (y, por extensión, el *kuru*, la enfermedad de Creutzfeldt-Jakob y varios padecimientos similares más) era un agente infeccioso compuesto únicamente de proteína. Esta idea parecía absurda en aquella época, porque casi todos los científicos pensaban que los agentes infecciosos debían contener material genético, como DNA o RNA, para replicarse. Pero Prusiner y sus colaboradores consiguieron aislar el agente infeccioso de hámsteres infectados con tembladera y demostrar que no contenía ácidos nucleicos. Los investigadores dieron el nombre de *priones* a estas partículas infecciosas puramente proteicas (FIGURA 19-14).

2. **Replicación.** El material genético viral se copia muchas veces.
3. **Transcripción.** El material genético viral se utiliza como plano para elaborar RNA mensajero (RNAm).
4. **Síntesis de proteínas.** En el citoplasma del huésped, el RNAm viral se utiliza para sintetizar proteínas virales.
5. **Ensamblado viral.** El material genético y las enzimas virales quedan envueltas por su cubierta proteica.
6. **Liberación.** Los virus emergen de la célula por "gemación" desde la membrana celular o por ruptura de la célula.

Aquí se representan dos tipos de ciclo vital de los virus. En la **FIGURA E19-2a** se ilustra el *virus de la inmunodeficiencia humana (VIH)*, causante del SIDA, que es un *retrovirus*. Los retrovirus utilizan RNA de cadena sencilla como plantilla para elaborar DNA de cadena doble mediante una enzima viral denominada *transcriptasa inversa*. Existen muchos otros retrovirus y varios de ellos producen cánceres o tumores. En la **FIGURA E19-2b** se ilustra el *virus del herpes*, que contiene DNA de cadena doble que se transcribe a RNAm.

b) Un virus del herpes, con DNA de doble cadena, invade una célula epitelial.



¿Cómo puede una proteína replicarse por sí sola y ser infecciosa? No todos los investigadores están convencidos de que esto sea posible. Sin embargo, las investigaciones recientes han permitido bosquejar un posible mecanismo de replicación para los priones. Resulta que los priones consisten en una única proteína que es producida por las células nerviosas normales. Algunas copias de esta molécula proteica normal, por razones que aún no se comprenden bien, se pliegan de una forma errónea y de este modo se transforman en priones infecciosos. Al parecer, una vez que están presentes, los priones inducen la transformación de otras copias normales de la molécula proteica en priones. Con el tiempo, su concentración en el tejido nervioso podría llegar a ser lo suficientemente grande para provocar daño y degeneración celulares. ¿Por qué una leve alteración de una proteína normalmente benigna

tiene el potencial de convertirla en una peligrosa asesina de células? Nadie lo sabe.

Otra peculiaridad de las enfermedades causadas por priones es que pueden heredarse además de transmitirse por infección. Investigaciones recientes han demostrado que ciertas mutaciones leves del gen que contiene el código de la proteína priónica "normal" aumentan la probabilidad de que la proteína se pliegue en forma anormal. Si una de estas mutaciones se transmite genéticamente a los descendientes, también se puede heredar la tendencia a contraer una enfermedad priónica.

Nadie sabe con certeza cómo se originaron estas partículas infecciosas

El origen de los virus, viroides y priones es incierto. Algunos científicos piensan que la enorme variedad de mecanismos de

FIGURA 19-14 Los priones: proteínas enigmáticas

Un corte del cerebro de una vaca infectada con encefalopatía espongiforme bovina contiene agrupamientos fibrosos de proteínas priónicas.



autorreplicación que se da entre estas partículas refleja su condición de vestigios evolutivos de las etapas más antiguas de la historia de la vida, antes que la evolución se estableciera a partir de las moléculas más grandes y de doble cadena de DNA que nos resultan más familiares. Otra posibilidad es que los virus, viroides y priones sean los “descendientes” de células parasitarias que sufrieron degeneración. Estos antiguos parásitos pudieron haber alcanzado tal éxito en la explotación de sus huéspedes, que con el tiempo perdieron la capacidad de sintetizar todas las moléculas necesarias para sobrevivir y terminaron dependiendo de la maquinaria bioquímica del huésped. Cualquiera que haya sido el origen de estas partículas infecciosas, su éxito plantea un desafío permanente a los seres vivos.

OTRO VISTAZO AL ESTUDIO DE CASO AGENTES DE MUERTE



Aunque se piensa que la bacteria que provoca el ántrax es el arma biológica por antonomasia, muchos otros agentes infecciosos también tienen el potencial de convertirse en armas. Éstos incluyen los virus que causan la viruela y la fiebre hemorrágica del Ébola, así como las bacterias que causan la peste. También existe evidencia de que algunos países están intentando utilizar la ingeniería genética para “mejorar” los microorganismos patógenos; por ejemplo, quizá estén añadiendo genes de resistencia a los antibióticos a las bacterias responsables de la peste para que se más difícil tratar a las víctimas de un ataque, quienes tendrán mayores probabilidades de morir.

Antes de 2001, la humanidad dependía de la política, la diplomacia y de la repulsión generalizada hacia el concepto de guerra biológica para protegerse de su terrible potencial destructivo. Sin embargo, en la actualidad es dolorosamente claro que la humanidad también depende de la voluntad de los pueblos para utilizar las armas biológicas. Por desgracia, se requiere de escasa experiencia para cultivar bacterias o virus patógenos, y el material y equipo necesarios

para ello se adquieren fácilmente. Dada la dificultad para evitar que las armas biológicas caigan en las manos equivocadas, muchas investigaciones actuales se enfocan en desarrollar herramientas para detectar ataques y contrarrestar sus perjuicios.

No es fácil detectar un ataque biológico, puesto que los microorganismos patógenos son invisibles y los síntomas podrían tardar horas o días en aparecer después de consumado el ataque. No obstante, la detección oportuna es crucial si se quiere dar una respuesta eficaz, y en la actualidad se están desarrollando rápidamente una variedad de nuevas tecnologías de detección. Los detectores deben permitir distinguir microorganismos liberados intencionalmente entre una multitud de microbios inoocuos que por lo regular viven en el aire, agua y suelo. Un enfoque prometedor depende de sensores que incorporan células vivas humanas inmunes, las cuales se han modificado genéticamente para lanzar destellos cuando las moléculas receptoras en sus membranas celulares se unan con un microorganismo patógeno particular.

Una vez que se detecta un ataque, la tarea fundamental consiste en brindar atención a quienes han sido el blanco. Por

consiguiente, desarrollar tratamientos posteriores a la exposición que actúen rápido y se distribuyan fácilmente es una prioridad para los investigadores. Por ejemplo, los biólogos han investigado profundamente el mecanismo por el cual las toxinas que liberan las bacterias del ántrax atacan y dañan las células. Un mejor entendimiento de este proceso ha mejorado la capacidad de los investigadores para bloquearlo y ha generado varias ideas prometedoras para desarrollar antídotos que podrían utilizarse junto con antibióticos como tratamiento para la exposición al ántrax.

Piensa en esto La amenaza de un ataque biológico ha desatado un debate: ¿debería inmunizarse a grandes poblaciones de individuos contra los agentes potenciales de ataque para los cuales existen vacunas? La vacunación masiva es costosa e inevitablemente provocaría algunas muertes a causa de reacciones adversas ocasionales. ¿La mayor protección y la tranquilidad que vendrían junto con la vacunación masiva valdrían ese precio?

REPASO DEL CAPÍTULO

RESUMEN DE CONCEPTOS CLAVE

19.1 ¿Cuáles son los organismos que constituyen los dominios procarióticos Bacteria y Archaea?

Los miembros de los dominios Bacteria y Archaea —las bacterias y las arqueas— son unicelulares y procarióticos. Las bacterias y las

arqueas no son parientes cercanos y difieren en varios aspectos fundamentales, como la composición de la pared celular, la secuencia del RNA ribosómico y la estructura lipídica de la membrana. Una pared celular determina las formas características de los procariotas: redonda, de bastón o espiral.

19.2 ¿Cómo sobreviven y se reproducen los procariontes?

Ciertos tipos de bacterias se mueven utilizando sus flagelos; otros forman esporas que se esparcen profusamente y resisten condiciones ambientales desfavorables. Las bacterias y arqueas han colonizado casi todos los hábitat de la Tierra, incluidos ambientes calientes, ácidos, muy salados y anaeróbicos.

Los procariontes obtienen energía en una variedad de formas. Algunos, incluidas las cianobacterias, dependen de la fotosíntesis. Otros son quimiosintéticos y descomponen las moléculas inorgánicas para obtener energía. Las formas heterotróficas son capaces de consumir una gran variedad de compuestos orgánicos. Muchos son anaeróbicos y son capaces de obtener energía a partir de la fermentación cuando no hay oxígeno disponible. Los procariontes se reproducen por fisión binaria y pueden intercambiar material genético por conjugación.

Web tutorial 19.1 Conjugación bacteriana

19.3 ¿Cómo afectan los procariontes a los humanos y a otros eucariotes?

Algunas bacterias son patógenas y provocan trastornos como neumonía, tétanos, botulismo y enfermedades de transmisión sexual como la gonorrea y la sífilis. Sin embargo, la mayoría de las bacterias son inofensivas para los humanos y desempeñan papeles importantes en los ecosistemas naturales. Algunas viven en el tracto digestivo de los rumiantes y descomponen la celulosa. Las bacterias que fijan el nitrógeno enriquecen el suelo y ayudan al crecimiento de las plantas. Muchas otras viven de los cadáveres y

desperdicios de otros organismos, liberando nutrientes susceptibles de reutilizarse.

19.4 ¿Qué son los virus, los viroides y los priones?

Los virus son parásitos compuestos de una cubierta proteica que envuelve el material genético. No poseen células y son incapaces de moverse, crecer o reproducirse fuera de una célula viva. Los virus invaden las células de un huésped específico y utilizan la energía, las enzimas y los ribosomas de la célula huésped para producir más partículas virales, que son liberadas cuando la célula se rompe. Muchos virus son patógenos para los seres humanos, entre ellos los causantes del resfriado y la gripe, el herpes, el SIDA y ciertas formas de cáncer.

Los viroides son cadenas cortas de RNA que invaden el núcleo de una célula huésped y dirigen la síntesis de nuevos viroides. Hasta la fecha, se sabe que los viroides originan sólo ciertas enfermedades de las plantas.

Los priones se han relacionado con enfermedades del sistema nervioso, como el kuru, la enfermedad de Creutzfeld-Jakob y la tembladera. Los priones tienen la singular característica de carecer de material genético: se componen exclusivamente de proteína priónica mutante, que actúa como una enzima que cataliza la formación de más priones a partir de proteína priónica normal.

Web tutorial 19.2 Replicación de retrovirus

Web tutorial 19.3 Replicación del virus del herpes

TÉRMINOS CLAVE

anaerobio pág. 375

bacterias fijadoras

de nitrógeno

pág. 376

bacteriófago pág. 380

conjugación pág. 376

endospora pág. 374

flagelo pág. 373

huésped pág. 380

patógeno pág. 377

plásmido pág. 376

prión pág. 373

tinción de Gram

pág. 372

viroide pág. 381

virus pág. 379

RAZONAMIENTO DE CONCEPTOS

- Describe algunas de las formas en que las bacterias obtienen energía y nutrientes.
- ¿Qué son las bacterias fijadoras de nitrógeno y qué papel desempeñan en los ecosistemas?
- ¿Qué es una endospora? ¿Cuál es su función?
- ¿Qué es la conjugación? ¿Qué papel desempeñan los plásmidos en la conjugación?

APLICACIÓN DE CONCEPTOS

- En ciertos países en desarrollo es posible adquirir antibióticos sin receta médica. ¿Por qué? ¿Qué consecuencias biológicas podría acarrear esta práctica?
- Antes del descubrimiento de los priones, muchos biólogos (si no es que todos) habrían estado de acuerdo con esta afirmación: "Es un hecho que no puede existir ningún organismo ni partícula in-

- ¿Por qué los procariontes son especialmente útiles en la biorremediación?
- Describe la estructura de un virus típico. ¿Cómo se replican los virus?

fecciosa sin ácido nucleico (como DNA o RNA)". ¿Qué lecciones nos enseñan los priones acerca de la naturaleza, la ciencia y la investigación científica? Tal vez quieras repasar el capítulo 1 para responder esta pregunta.

- Plantea argumentos a favor y en contra de la afirmación "los virus están vivos".

PARA MAYOR INFORMACIÓN

Costerton, J. y Steart, P. "Battling Biofilms". *Scientific American*, julio de 2001. Se explica cómo se forman las biopelículas y cómo combatirlas.

Madigan, M. y Mairs, B. "Extremophiles". *Scientific American*, abril de 1997. Se habla de los procariontes que prosperan en condiciones extremas y de los usos potenciales de las enzimas que lo permiten.

Prusiner, S. "The Prion Diseases". *Scientific American*, enero de 1995. Una descripción de los priones y de la investigación que condujo a su descubrimiento, desde el punto de vista del científico más influyente en el campo.

Prusiner, S. "Detecting Mad Cow Disease". *Scientific American*, julio de 2004. Un panorama desde la perspectiva de la salud pública sobre la en-

cefalopatía espongiforme bovina y de los nuevos métodos para realizar pruebas de detección de esta enfermedad al ganado.

Villarreal, L. "Are Viruses Alive?" *Scientific American*, diciembre de 2004. Un panorama de lo que sabemos acerca de los virus y sus efectos en la vida.

Young, J. y Collier, R. J. "Attacking Anthrax". *Scientific American*, marzo de 2002. Un resumen de la investigación reciente que podría ayudar a desarrollar nuevas técnicas para detectar y tratar el ántrax.