



Programa de la asignatura:

Biología celular

U2

Organismos procariontes



DCSBA



BIOTECNOLOGÍA



Índice

Presentación de la unidad	2
Propósitos.....	3
Competencia específica	3
2.1 Dominio bacteria	5
2.1.1 Morfología celular	8
2.1.2 Estructura celular	9
2.1.3 Movimiento microbiano	18
2.1.4 Metabolismo bacteriano	23
2.2 Dominio archea	26
2.2.1 Principales filos	27
2.2.2 Características estructurales.....	28
2.2.3 Diversidad metabólica	32
2.2.4 Aplicaciones tecnológicas	35
2.3 Ciclo celular de procariontes	36
2.3.1 Fases del ciclo celular	36
2.3.2 División celular	39
Actividades	43
Autorreflexiones.....	43
Cierre de la unidad	44
Para saber más	45
Fuentes de consulta	46



Presentación de la unidad

Los organismos procariontes están presentes en todo lo que nos rodea, desde el ambiente más común hasta el más extremo, según las condiciones de pH, temperatura, sales, etc. El ser humano ha tenido que vivir con estos organismos, ya sea porque desarrollan varios tipos de enfermedades o porque pueden utilizarse como herramientas en diferentes procesos industriales.

Por este motivo es muy importante conocer cuáles son las estructuras de estos organismos y diferenciar los dominios más importantes en los que los podemos dividir: bacterias y archeas. Ambos dominios comparten muchos mecanismos como el de la división celular, pero también presentan características que nos permiten diferenciarlos.

En la unidad anterior conociste la función y características de las principales estructuras de la célula. Durante esta unidad analizarás todas estas peculiaridades de las células procariontes; además, estudiarás algunas de las aplicaciones industriales que pueden llevarse a cabo con esta gran variedad de organismos.



Propósitos



- Diferenciar la estructura celular de los distintos organismos procariontes.
- Identificar los principales filos que componen a los dominios bacteria y archaea.
- Explicar el movimiento bacteriano mediado por flagelos.
- Identificar las fases del ciclo celular en procariontes.
- Diferenciar entre los mecanismos de división celular procarionte.

Competencia específica



Diferenciar entre las bacterias y archaea mediante el estudio de las características de las células procariontas para conocer su importancia biológica, ambiental e industrial.



Ruta de aprendizaje

¿Qué debo aprender en esta unidad?

Unidad 2. Organismos procariontes

1

Comparar los tres dominios de la vida.

2

Identificar las estructuras únicas de las células procariontes.

3

Definir al dominio Bacteria y Eukarya.

4

Describir los mecanismos de movilidad de células procariontes.

5

Diferenciar entre tipos de bacterias y arqueas por su actividad metabólica.

6

Describir el proceso de división celular de procariontes.





2.1 Dominio bacteria

Antes de sumergirnos en el contenido de la asignatura, revisa la infografía que se muestra en la página anterior y que te permitirá tener un panorama completo de los contenidos que revisaremos en esta unidad, en caso de que tengas alguna pregunta o inquietud, consúltalo con tu docente en línea.

En la actualidad, los seres vivos se han clasificado en tres grandes grupos o dominios de acuerdo a los últimos análisis que se han llevado a cabo sobre el material genético. A continuación estudiarás cada uno de estos dominios y conocerás las características que los diferencian.

Los organismos compuestos por células procariotas se encuentran dentro de los dominios bacteria y archaea, los cuales estudiarás en esta unidad. La distinción entre estos dos grupos de organismos se basó originalmente en sus secuencias de ácido ribonucleico ribosómico (rRNA), pero también se refleja en importantes propiedades fisiológicas y bioquímicas.



Comparación de características entre los distintos dominios

	Bacterias	Arquea	Eukarya
Estructura celular			
Flagelos	Filamento		Basado en microtúbulos
Membrana nuclear	Ausente		Presente
División celular	Anillo de FtsZ		Actomiosina
Ácidos nucleicos			
Cromosoma(s)	Circular único, aunque pueden contener uno o más plásmidos		Múltiples, lineales
Procesamiento de mRNA			Empalme de mRNA, poliadenilación, colocación de cubierta
Organización del gen	Operones monocistrónicos		
Empaque de DNA	Proteínas parecidas a histona	Nucleosomas	
Inicio de la replicación de DNA	DNA A/Ori C	Complejo de reconocimiento de origen/PCNA	
RNA polimerasa central	Simple	Complejo	
Promotor basal reconocido por	Factor	Proteína de unión a TATA	
Síntesis de proteínas			
Ribosomas	70S		80S
Inicio de la traducción	N-formil-metionina Secuencia SD		5´AUG

Modificado de Cassimeris *et al.*, 2012.

El dominio Bacteria contiene una gran variedad de procariontes que se pueden dividir en distintos grupos como se muestra en la figura 1:

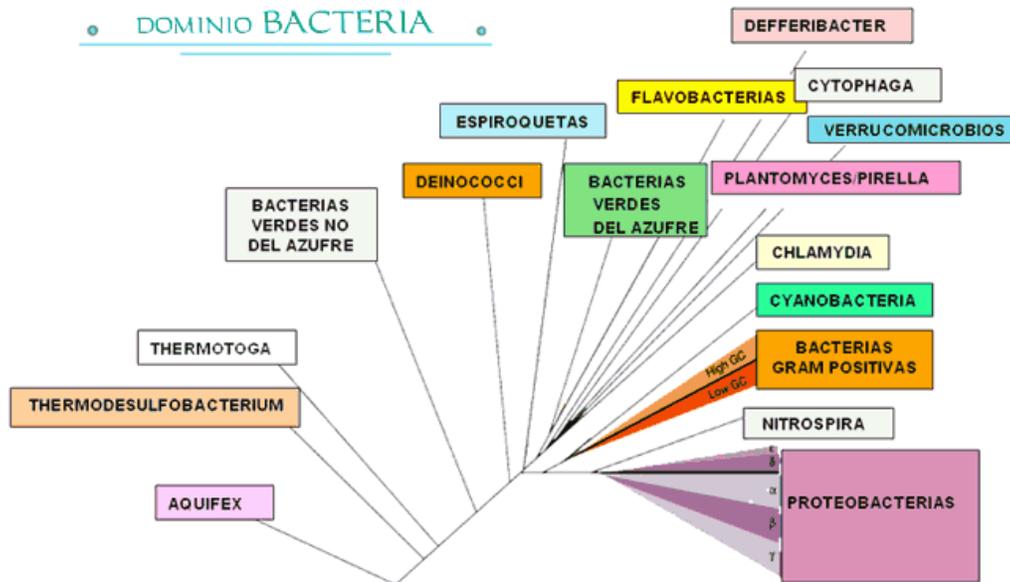


Figura 1. Dominio bacteria. *Árbol filogenético que muestra los filum del dominio bacteria.*

Tomado de:
<http://erasmus.ugr.es/filo/bacteria.htm>

Los microorganismos del reino Bacteria presentan características muy distintas que sería imposible nombrarlas todas, además de que aún se continúan descubriendo nuevos procesos metabólicos y nuevas secuencias de DNA que permiten su organización. La clasificación más reciente ha agrupado a las bacterias en 26 *filum*, que se enlistan a continuación:

1. Actinobacteria.
2. Aquificae.
3. Armatimonadetes.
4. Bacteroidetes/Chlorobi group.
5. Caldiseica.
6. Chlamydiae/Verrucomicrobia group.
7. Chloroflexi (green non-sulfur bacteria).
8. Chrysiogenetes.
9. Cyanobacteria (blue-green algae).
10. Deferribacteres.
11. Deinococcus-Thermus.
12. Dictyoglomi.
13. Elusimicrobia.



14. Fibrobacteres/Acidobacteria group (Fibrobacter/Acidobacteria group).
15. Firmicutes (Gram-positive bacteria).
16. Fusobacteria.
17. Gemmatimonadetes.
18. Nitrospinae.
19. Nitrospirae.
20. Planctomycetes.
21. Proteobacteria (purple bacteria).
22. Spirochaetes.
23. Synergistetes.
24. Tenericutes.
25. Thermodesulfobacteria.
26. Thermotogae.

2.1.1 Morfología celular

Las bacterias son células procariontes cuyo tamaño oscila entre los 0.2 μm de diámetro y 2 a 8 μm de largo. El término morfología hace referencia a la forma de las células y en el caso de las bacterias existe una gran diversidad de ellas:

- **Cocos:** bacteria con morfología esférica u ovoide.
- **Bacilo:** bacteria con morfología cilíndrica.
- **Espirilos:** bacterias con forma de bacilos que se curvan en forma de espiral.

Las células de muchos procariontes se mantienen juntas después de la división celular formando grupos, y estas asociaciones frecuentemente son características de diferentes géneros:

- **Estreptococos:** cocos que al unirse forman largas cadenas.
- **Sarcinas:** cocos que se disponen en agrupaciones cúbicas tridimensionales.
- **Estafilococos:** cocos que al agruparse forman estructuras como racimos de uvas.

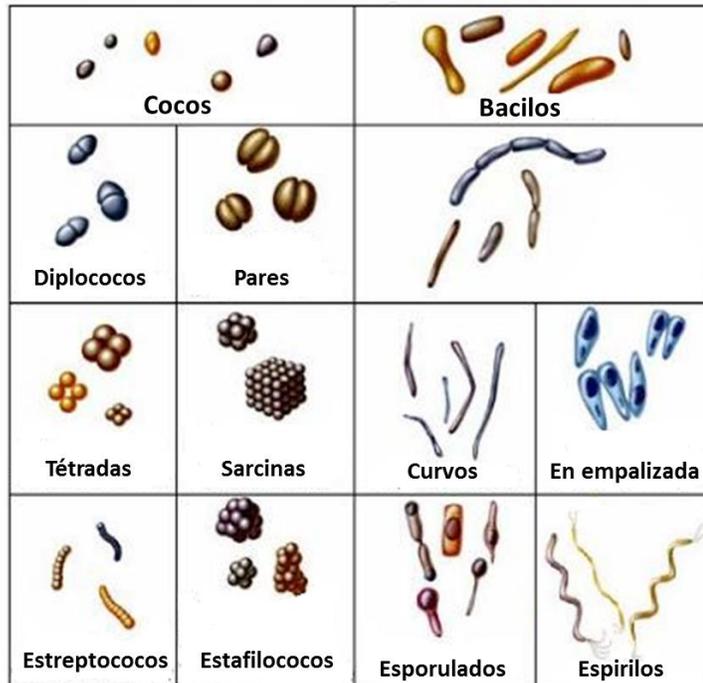


Figura 2. Morfología celular bacteriana. Se muestran las distintas asociaciones de los cocos del lado izquierdo y las distintas asociaciones y formas de los bacilos del lado derecho.

Modificado de:
<http://microbiologia3bio.blogspot.mx/2013/03/morfologia-bacteriana.html>

2.1.2 Estructura celular

Como la definición lo menciona, las células procariontes no presentan organelos, a excepción de los ribosomas y otras estructuras que tienen una gran actividad metabólica.

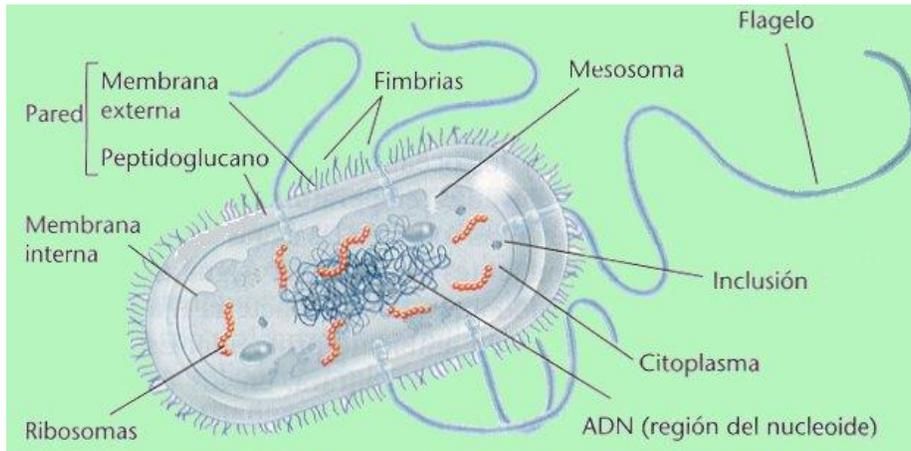


Figura 3. Ultraestructura bacteriana. Se identifican todas las estructuras que presenta una célula bacteriana.

Tomado de <http://www.imagui.com/a/estructura-de-una-bacteria-idKbG9jEB>

A continuación se describirán algunas estructuras que no están presentes o que tienen características diferentes a las que están presentes en las células eucariotas:

- **Carboxisomas:** son un tipo particular de vesículas delimitadas por proteínas que contienen enzimas como la ribulosa difosfato carboxilasa, que es la enzima encargada de fijar CO_2 en algunas bacterias autótrofas (que son capaces de generar su propio alimento por medio de reacciones químicas como la fotosíntesis).
- **Magnetosomas:** son vesículas delimitadas por magnetita (Fe_3O_4) que son empleadas por algunas bacterias para orientarse con respecto al campo magnético de la tierra, de manera semejante a como se orientan las brújulas hacia el norte, este fenómeno se conoce como magnetotaxia.
- **Vesículas de gas:** son muy particulares en bacterias acuáticas como las cianobacterias, permitiéndoles la flotación.
- **Nucleoide:** es la estructura equivalente al núcleo pero carece de membrana, en él se localiza el único cromosoma bacteriano. El número de nucleoides y de cromosomas, depende de las condiciones de proliferación. Con esto podemos ver que las bacterias con rápido crecimiento tienen nucleoides más grandes por célula que los que tienen crecimiento lento, aunque cuando se presentan varias copias, todas son similares (haploides) (Brooks, *et. al.* 2011). Las células procariontes



tienen un genoma circular, es decir, la cadena de DNA está unida por sus extremos formando una estructura similar a una dona o un aro.

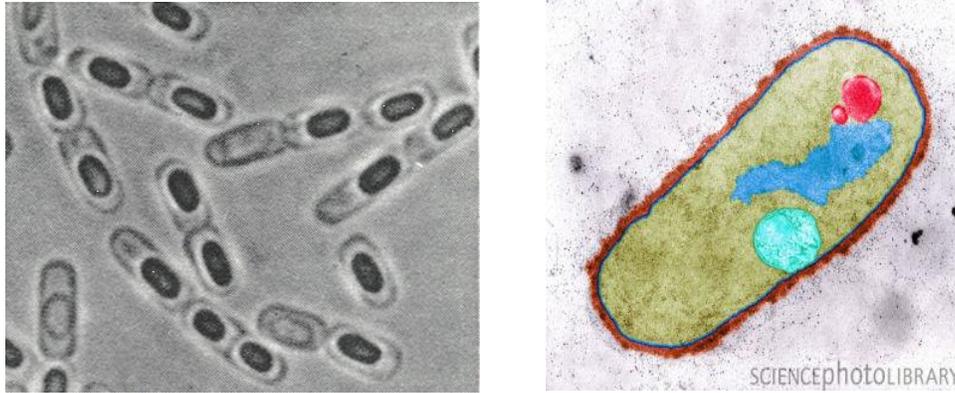


Figura 4. Nucleoide. Del lado izquierdo se muestra una micrografía de nucleoides de *Bacillus cereus* teñidas con Feulgen y del lado derecho una microscopía electrónica de transmisión de *Bacillus megaterium* con el nucleoide coloreado de azul, el mesosoma de gris, la membrana plasmática de púrpura y la pared celular de rojo.

Tomado de <http://www.human-healths.com/bacillus-cereus-2/bacillus-cereus.php> y Scinecephotolibrary.com.

- **Ribosomas:** son los únicos organelos presentes en las células procariontes; sin embargo tienen ciertas características diferenciales de los ribosomas eucarióticos. Están compuestos por dos subunidades, la más pequeña, denominada 30S es la encargada de presentar la molécula de mRNA a la subunidad ribosomal 50S, que es la más grande y es en donde se lleva a cabo el proceso de síntesis de proteínas.
- **Membrana celular:** la membrana bacteriana presenta la típica estructura en forma de bicapa lipídica, que ya hemos descrito en la unidad anterior. La célula procarionte no presenta colesterol en su membrana a excepción de los micoplasmas, los cuales incorporan el colesterol del medio, ya que no lo pueden sintetizar como lo hacen los animales. En algunas bacterias se han identificado moléculas pentacíclicas, similares al esteroles, denominadas hopanoideas.

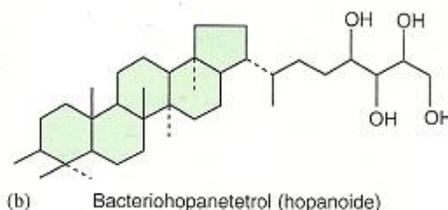


Figura 5. Hopanoide. Se muestra la estructura de uno de los componentes químicos de la membrana plasmática. Tomado de: Willey, et. al., 2008

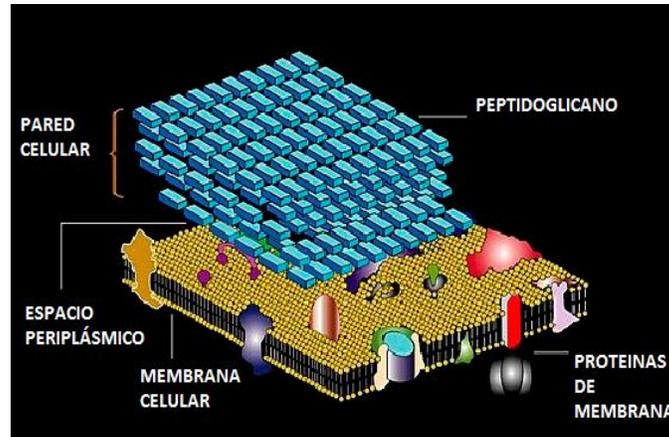


Figura 6. Membrana celular. Se muestra un diagrama de la membrana celular de una bacteria Gram negativa, con la membrana lipídica en forma de bicapa, las proteínas membranales, el espacio periplásmico formado entre la capa externa de la membrana y la pared de peptidoglicano.

Tomado de: Sciencelibrary.com

Aunque la principal función de la membrana externa es estructural, una importante propiedad biológica es que resulta tóxica para los animales. Estas propiedades tóxicas se asocian con la capa de lipopolisacáridos y en particular con el lípido A.

La membrana plasmática puede generar plegamientos extensos y complejos en algunas bacterias fotosintéticas, como las cianobacterias y las bacterias púrpura, o en bacterias con una intensa actividad oxidativa, como las nitrificantes (utilizan nitrógeno para su metabolismo y lo descomponen) (Willey, *et. al.*, 2008).

- **Pared celular.** Es una estructura característica de las células procariontes. Está conformada por ácido N-acetilmurámico, N-acetilmuramina, cadenas de aminoácidos y pentaglicina.

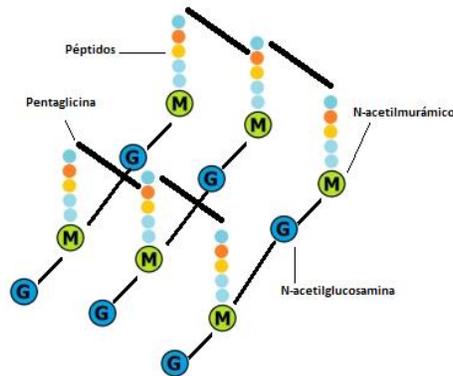


Figura 7. Pared celular. Se muestra un diagrama de la estructura básica de la pared celular bacteriana en forma de red, esta estructura se repite varias veces en la pared celular.

Modificado de <http://www.iquimicas.com/bacterias-definicion-y-estructura/>

La pared celular brinda protección osmótica y desempeña una función esencial en la división celular, también sirve como preparador para su propia biosíntesis. Varias capas de la pared son sitios de determinantes antigénicos mayores de la superficie celular y uno de sus componentes lipopolisacáridos (LPS) de las paredes celulares de bacterias Gram negativas son causantes de la actividad endotóxica inespecífica de las bacterias Gram negativas. La pared celular no muestra permeabilidad selectiva, sin embargo una capa de la pared Gram negativa, que es la membrana externa, evita el paso de moléculas relativamente grandes.

A pesar de que la estructura de peptidoglicano es más o menos conservada en la pared celular de las bacterias existen diferencias que nos permiten marcar una gran división entre las bacterias. La tinción de Gram inventada por Christian Gram en 1884 consiste en someter a la bacteria a un tratamiento donde el colorante cristal violeta forma un complejo con el yodo que es retenido por las bacterias Gram positivas, a diferencia de las Gram negativas que no lo pueden retener y por lo tanto son decoloradas por el alcohol y posteriormente teñidas con safranina. Esta capacidad de retención del complejo por las bacterias Gram positivas se debe al grosor de su pared celular.

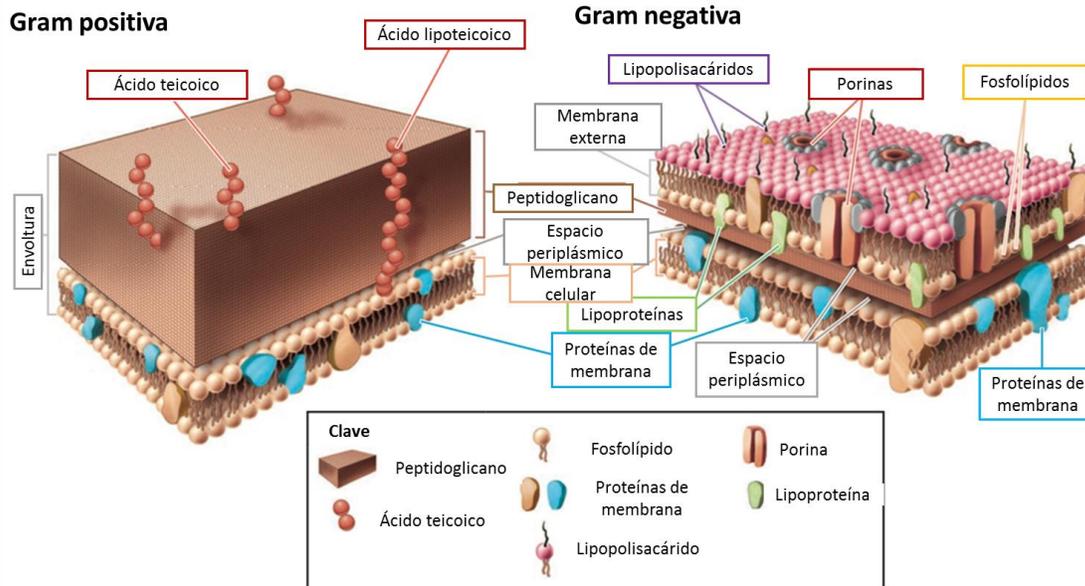


Figura 8. Diferencias en la pared celular. Se muestra una representación de la pared celular de una bacteria Gram positiva a la izquierda y a la derecha de una Gram negativa.

Modificado de <http://microbioenergetica.squarespace.com/bacteriologa/2014/7/21/bacterias-gram-positivas>

Las paredes celulares de bacterias presentan una capa rígida que es la responsable de la resistencia de la pared celular. En especies Gram negativas existen capas adicionales que se sitúan en el exterior de esta, dentro de estas especies de bacterias presentan puentes que se establecen por lo general mediante enlaces peptídicos directo entre el grupo amino del diaminopimérico de una cadena y el grupo carboxilo de la D-alanina terminal de otra cadena adyacente. En las bacterias Gram positivas el entrecruzamiento se establece mediante un puente interpeptídico cuya composición varía en cuanto a tipo y número de aminoácidos de un organismo a otro. Por ejemplo, en una de las bacterias Gram positivas (*S. aureus*), el puente interpeptídico está formado por cinco glicinas. La lisozima es una enzima que destruye al peptidoglucano originando la lisis celular (Madigan y *et. al.*, 2009).

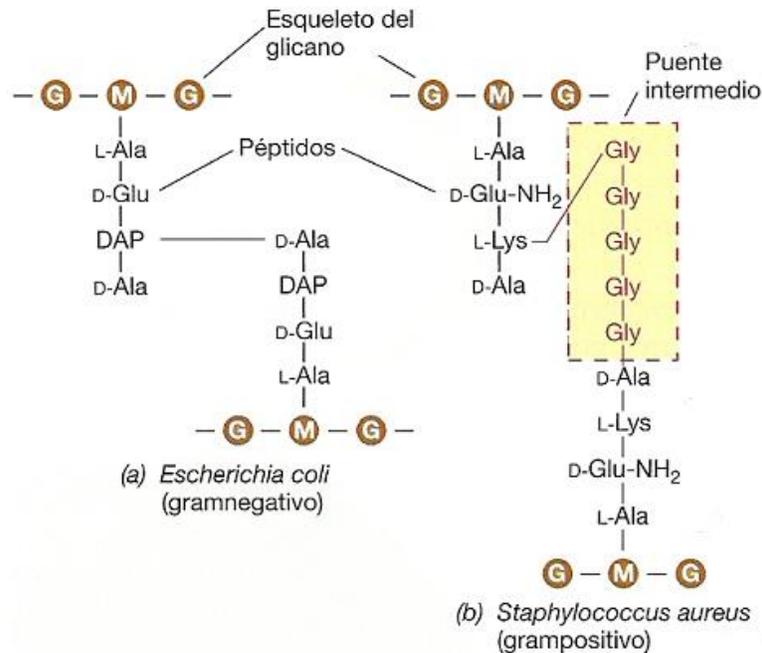


Figura 9. Peptidoglucano. La estructura del peptidoglucano como en a) *E. coli* y otras bacterias Gram negativas no se forma puente intermedio y b) el puente intermedio de pentaglicina en *S. aureus* bacteria Gram positiva.

Tomado de Madigan y et. al., 2009.

Las bacterias Gram negativas, además de peptidoglucano, tienen una membrana externa compuesta por lipopolisacáridos, proteínas (porinas facilitan la permeabilidad a través de la membrana externa) y lipoproteínas. El espacio entre la membrana citoplasmática y la membrana externa se le denomina periplasma y contiene importantes proteínas para las funciones celulares este espacio entre estas dos capas es de aproximadamente 15 nm de anchura y tiene un contenido gelatinoso (Madigan y et. al. 2009).

- **Cápsula:** capa de materia localizada externamente a la pared celular. Cuando la capa está bien organizada y no se elimina fácilmente con lavados se denomina cápsula, pero si está formada por material difuso, desorganizado y que se elimina fácilmente le llamamos capa mucosa; cuando la capa consiste en una red de polisacáridos que se extiende desde la superficie de la célula hacia el exterior, se denomina glucocálix.

Esta estructura tiene muchas funciones, entre ellas: ayuda a las bacterias patógenas a resistir la fagocitosis, puede proteger contra la desecación debido a su gran contenido de agua, evitan la entrada de virus y de la mayoría de los



materiales tóxicos como los detergentes y además ayuda a la adhesión de superficies sólidas.

- **Endosporas:** son células diferenciadas, extraordinariamente resistentes al calor, a agentes químicos agresivos y a la radiación, que funcionan como estructuras de supervivencia, capacitando así al organismo para resistir condiciones adversas como temperaturas extremas, desecación y limitación de nutrientes. Tienen un compuesto químico característico que está ausente en las células vegetativas, el ácido dipicolínico. Las endosporas representan el estado durmiente de una célula bacteriana que además le ayuda a dispersarse por el viento, el agua y el intestino de los animales.

Algunas especies del dominio Bacteria producen intracelularmente estas estructuras durante un proceso denominado esporulación, el cual se lleva a cabo cuando las células cesan su crecimiento debido a la desaparición de un nutriente esencial. Una bacteria es capaz de permanecer en estado latente durante muchos años y dar lugar a una célula vegetativa de un modo relativamente rápido en tres pasos: activación, germinación y crecimiento.

La endospora tiene diferentes estructuras. Exosporio, que es la capa más externa compuesta por proteínas; cutícula o cubierta de la espora, es una capa que se encuentra por debajo del exosporio y está formado por proteínas específicas; córtex, es una capa de peptidoglicano con uniones laxas localizada por debajo de la cutícula; núcleo, es la estructura que va a contener la pared, la membrana citoplasmática, el citoplasma, el nucleoide, los ribosomas y otros orgánulos celulares esenciales de la nueva célula.

- **Fimbrias y pelos:** son estructuras filamentosas formadas por proteínas que se prolongan desde la superficie celular y pueden desempeñar varias funciones. Las fimbrias ayudan a los microorganismos a fijarse sobre superficies, como las de los tejidos animales en el caso de las bacterias patógenas, y a formar películas. Los pelos o pili son similares a las fimbrias pero típicamente son estructuras más largas y se presentan sólo uno o unos pocos sobre la superficie celular. Pueden funcionar como receptores para algunos tipos de virus, facilitan el intercambio genético entre células procarióticas en el proceso de conjugación (Madigan y *et. al.*, 2009).
- **Flagelo:** es una característica morfológica única de las células procarióticas, el cual es una estructura que funciona por rotación y permite la movilidad de las bacterias. (Madigan y *et. al.*, 2009).



Los flagelos bacterianos son apéndices largos y finos que se encuentran libres por un extremo y unidos a la célula por el otro. Como son tan finos (15-20 nm de grosor dependiendo de la especie), un flagelo individual solo es visible por microscopía óptica después de una tinción especial (ayuda a aumentar su diámetro). De acuerdo a la posición del o los flagelos que presente la célula, esta puede ser: sin flagelo (atrico), un solo flagelo (monotrico), un flagelo en cada extremo (anfitrico), grupos de flagelos en uno o en los dos extremos (lofotrico) y flagelos distribuidos sobre toda la superficie de la célula (peritricos) como se esquematizan en las figuras siguientes (Madigan y *et. al.*, 2009).

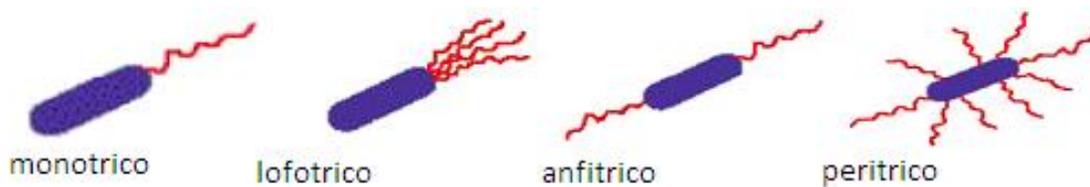


Figura 10. Posición de los flagelos. Se muestran las distintas clasificaciones de los flagelos dependiendo de su cantidad y posición.

Tomado de: Madigan y *et. al.*, 2009.

Como observaste en la figura anterior, los flagelos tienen forma helicoidal y muestran una distancia constante entre cada dos vueltas o curvaturas adyacentes que se denomina longitud de onda y es constante para cada organismo. El filamento de los flagelos bacterianos se compone de subunidades de una proteína llamada flagelina.

Un flagelo está constituido por varios componentes. En la base del filamento se encuentra una región más ancha llamada gancho que es la que une el filamento a la parte motora, este motor se ancla a la membrana citoplasmática y en la pared celular está constituido por un eje central que atraviesa una serie de anillos.

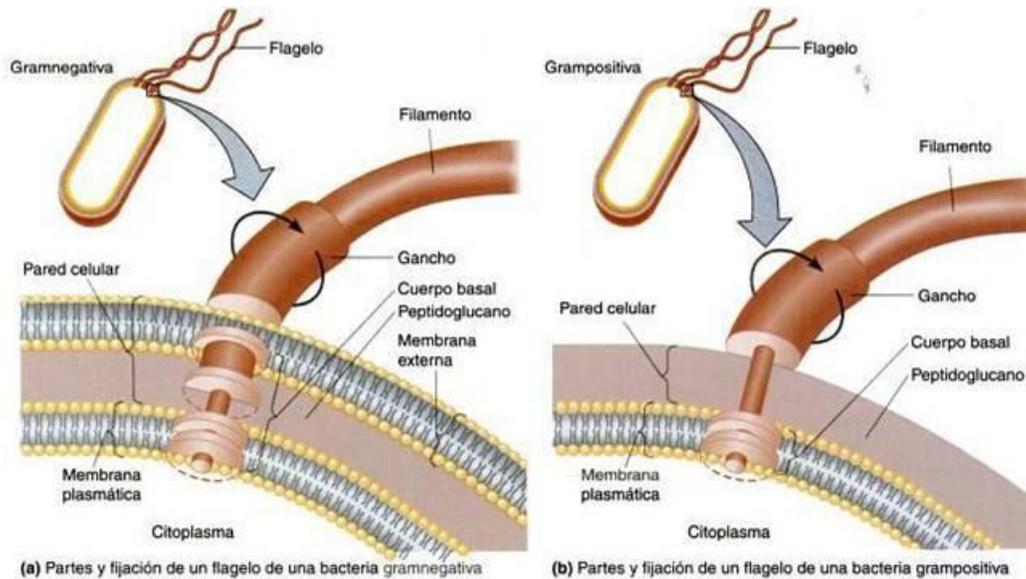


Figura 11. Estructura flagelar. Se muestran las distintas partes así como el anclaje de los flagelos a las bacterias a) Gram negativa y b) Gram positiva.

Tomado de:

http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358010/exe/leccin_6_estructura_celular_en_procariotas.html

2.1.3 Movimiento microbiano

Muchas células pueden moverse por sí mismas, y la movilidad les permite desplazarse hasta alcanzar diferentes partes de su medio; si lo hacen con ayuda del flagelo el movimiento se denomina natación, si lo hacen sin esta estructura realizan otro tipo de movimiento llamado deslizamiento.

- **Natación**

El flagelo es un pequeño motor rotatorio que tiene dos componentes principales: el rotor y el estator. En el motor flagelar, el rotor está compuesto por el eje central y los anillos. En conjunto, estos elementos componen el cuerpo basal. El estator está representado por las proteínas Mot que rodean el cuerpo basal y que funcionan generando un par de torsión.

El anillo L se inserta en la capa de LPS y el anillo P en el peptidoglucano. El anillo MS se ancla en la membrana citoplasmática y el anillo C en el citoplasma. En el filamento existe un estrecho canal a través del cual la flagelina alcanza su destino durante la síntesis del flagelo.



Las proteínas Mot funcionan como motor flagelar y las proteínas Fli constituyen el conmutador del motor. El motor flagelar determina el giro del filamento para propulsar a la célula a través del medio. Para explicar la rotación del flagelo se ha propuesto un modelo de “turbina de protones”. El flujo de protones a través de la proteína Mot puede ejercer fuerza sobre las cargas presentes en los anillos C y MS, haciendo girar el rotor (Madigan, *et. al.*, 2009).

El movimiento rotatorio del flagelo lo proporciona el cuerpo basal. La energía requerida para la rotación procede de la fuerza motriz de protones. El flujo de protones, a través de la membrana citoplasmática, se realiza por el complejo Mot que impulsa la rotación del flagelo; se estima que por cada rotación del flagelo se translocan aproximadamente 1000 protones.

Los flagelos no rotan a una velocidad constante sino que pueden aumentar o disminuir su velocidad en función de la potencia de la fuerza motriz de protones. Pueden girar hasta a 300 revoluciones por segundo y desplazar a las células en medios líquidos a velocidades superiores a 60 veces la longitud de la célula por segundo.

Los movimientos de organismos con flagelación polar o lofotrica son diferentes a los de flagelación peritrica, ya que estos últimos se mueven lentamente y en línea recta mientras que los de flagelos polares se mueven más rápidamente y dan giros periódicos

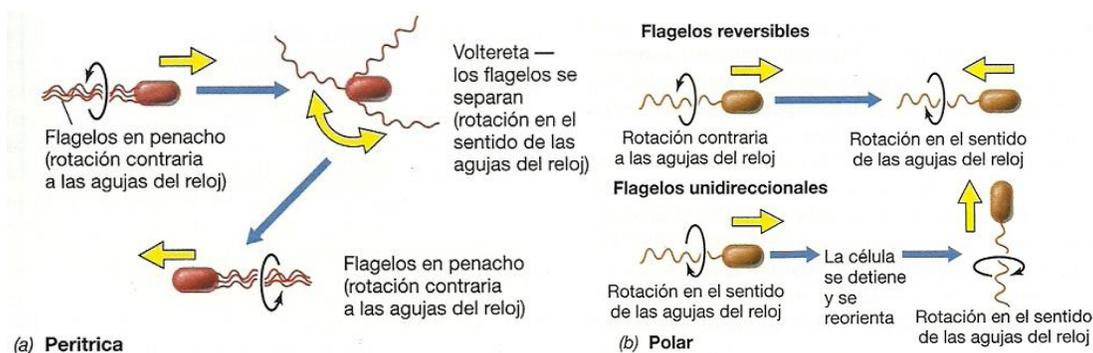


Figura 12. Movimiento flagelar. Se muestra a la izquierda el movimiento por flagelos peritricos y a la derecha por polares.

Tomado de: Madigan, *et. al.*, 2009.



Las células cambian de sentido invirtiendo la rotación flagelar, o bien, en el caso de los flagelos unidireccionales, mediante paradas periódicas que permiten la reorientación. La flecha amarilla indica la dirección del desplazamiento de la célula.

- **Movilidad por deslizamiento**

Las bacterias se mueven sobre superficies sólidas de una forma más lenta que aquella dada por los flagelos, además de que ocurre de forma lineal siguiendo el eje mayor de la célula. Las procariontes que se mueven por deslizamiento suelen ser células filamentosas o bacilares y el proceso requiere que exista contacto entre las células y una superficie sólida.

Las células fotótrofas del grupo de las cianobacterias que se mueven por deslizamiento secretan un polisacárido mucoso sobre la superficie externa de la célula que contacta tanto con la superficie celular como con la superficie sólida por la que la célula se desplaza.

A medida que este polisacárido adhiere a la superficie, la célula se desplaza por tracción donde se lleva a cabo la extensión y retracción repetido de los pelos de la célula. Pero cada especie bacteriana puede generar un mecanismo distinto de deslizamiento, por ejemplo, la mixobacteria *Myxococcus xanthus* forma un complejo proteico de adhesión en un polo de las células bacilares que permanece en una posición fija de la superficie mientras la célula se mueve hacia delante debido probablemente a algún tipo de movilidad citoplasmática relacionada con el citoesqueleto de la célula.

El deslizamiento tiene gran importancia y significación ecológica, pues permite a las células explotar nuevos recursos e interactuar con otras células y le permiten completar un ciclo de vida muy elaborado.

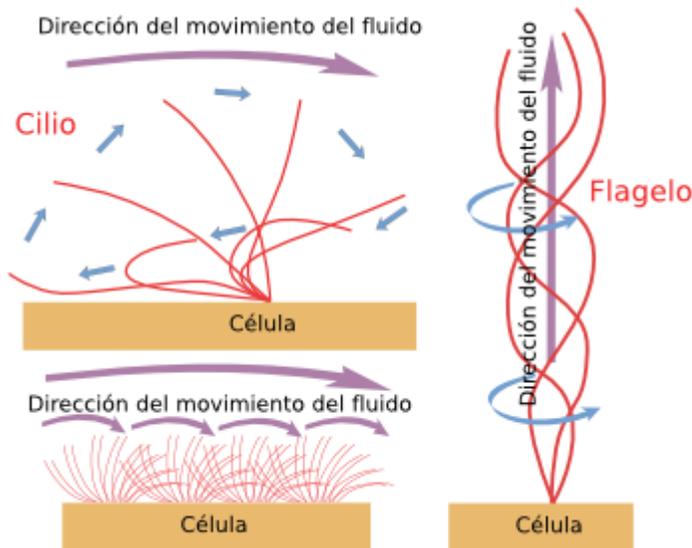


Figura 13. Movimiento bacteriano. Se muestran las diferencias entre el movimiento brindado por la movilidad de los cilios (izquierda) y de los flagelos (derecha).

Tomado de:
<http://mmegias.webs.uvigo.es/5-celulas/ampliaciones/7-cilio-flagelo.php>

- **Tactismo**

Es un fenómeno que experimentan los microorganismos donde dirigen su movimiento de acuerdo a la concentración de agentes químicos y nutritivos que hay en el ambiente donde se encuentran (quimiotaxis) o hacia la luz (fototaxis).

La quimiotaxis se ha estudiado con mayor detalle en bacterias flageladas como *E. coli* y se conoce bastante a nivel genético.

En ausencia de un gradiente de concentración, las células de *E. coli* se mueven al azar y realizan “carreras” mediante las cuales se desplazan hacia delante de una forma suave, o “tumbos”, donde las células se paran y cambian de dirección girando al azar. Cuando se mueven las células hacia adelante durante una carrera, el motor flagelar rota en el sentido contrario a las agujas del reloj; la rotación inversa del flagelo, en sentido de las manecillas del reloj, origina una voltereta. (Madigan, *et. al.*, 2009). Tras un tumbo, la dirección de la siguiente carrera ocurre al azar.

De este modo, mediante sucesivas carreras y tumbos, la célula se desplaza aleatoriamente por su entorno sin ir a una parte concreta. Sin embargo, la presencia de un gradiente de una sustancia atrayente cambia este comportamiento de movimiento sin sentido. A medida que el organismo capta concentraciones más altas de la sustancia quimiotáctica, las carreras son más frecuentes y los tumbos más escasos. El resultado neto de este comportamiento es que el organismo se desplaza por el gradiente hacia concentraciones más elevadas de la sustancia atrayente. Si lo que el organismo detecta es una sustancia repelente, opera el mismo mecanismo, pero en este caso es la



disminución de la concentración del repelente lo que estimula la frecuencia de las carreras y favorece su alejamiento (Madigan y *et. al.*, 2009).

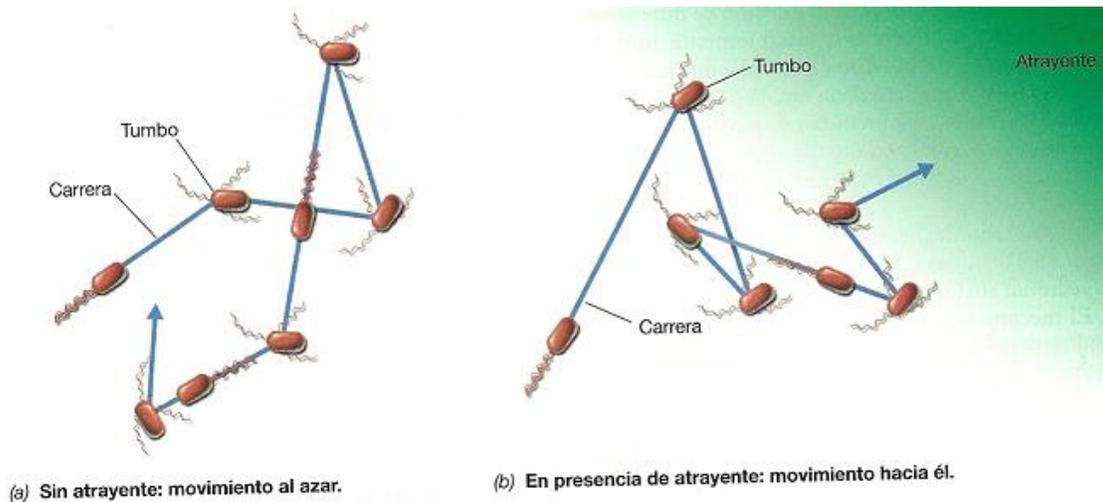


Figura 14. Quimiotaxis. Se muestra el movimiento quimiotáctico de una bacteria con flagelación peritrica como *E. coli*. a) En ausencia de una sustancia atrayente, la célula se desplaza al azar mediante carreras y cambia de dirección mediante tumbos. b) En presencia de un atrayente, las carreras se favorecen y la célula se mueve en la dirección del gradiente positivo de la sustancia atrayente

Tomado de: Madigan y *et. al.*, 2009.

Al ser tan pequeñas, las células procariontes se guían solamente por una comparación del estado físico o químico de su entorno que ocuparon segundos atrás utilizando una serie de proteínas denominadas quimiorreceptores, las cuales se ubican en la membrana celular. Las bacterias son capaces de responder a gradientes temporales más que a espaciales, por lo que podría considerarse como un sistema de respuesta sensorial análogo al de las respuestas del sistema nervioso de los animales (Madigan y *et. al.*, 2009).

Las bacterias con flagelación polar pueden invertir la dirección de rotación de sus flagelos e invertir así el sentido del movimiento, aunque algunas giran solamente en el sentido de las manecillas del reloj.

La siguiente figura muestra huellas de bacterias móviles en agua marina al desplazarse por las proximidades de una célula de un alga (mancha blanca en el centro) que fueron detectadas mediante un sistema de videocámara acoplado a un microscopio. Advértase que las células responden positivamente al oxígeno (aerotaxis) que el alga produce por



fotosíntesis. La velocidad media de las células fue de 25 $\mu\text{m}/\text{segundo}$. El alga tiene unos 60 μm de diámetro es (Willey y *et. al.*, 2008 y Madigan y *et. al.* 2009).

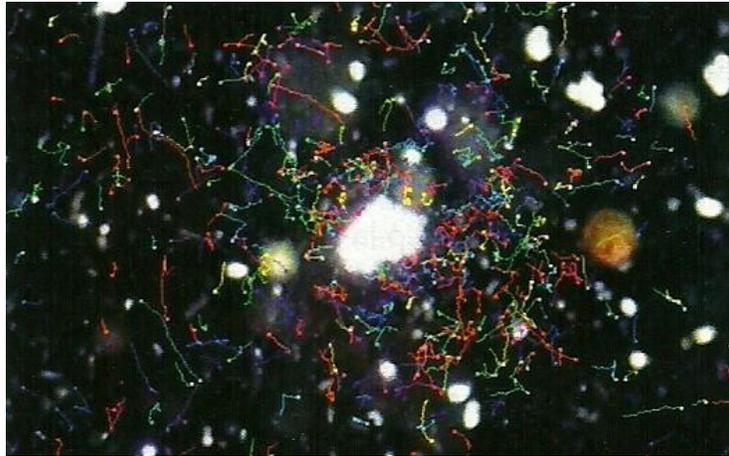


Figura 15. Ejemplo de quimiotaxis. *Se muestran huellas de bacterias móviles en agua marina.*

Tomado de: Madigan y et. al., 2009.

2.1.4 Metabolismo bacteriano

El metabolismo bacteriano es muy diverso y muy particular, desde siglos atrás el ser humano se aprovechó de estas particularidades metabólicas para producir alimento (cremas, quesos, alcohol, vinagre, entre otros). A través del estudio y manipulación del metabolismo bacteriano se ha podido elevar a nivel industrial la elaboración de éstos y otros productos.

Todas las células requieren energía de nutrientes esenciales y, dependiendo de la fuente de dónde las obtienen, se pueden clasificar en distintos grupos.



Clasificación de los organismos vivos

Por tipo de fuente de carbono		Por tipo de fuente de energía	
Heterótrofos	Utilizan uno o más compuestos orgánicos como fuente de carbono.	Quimiorganótrofos	Obtienen energía a partir de compuestos orgánicos. Todos los naturales y gran parte de los sintéticos.
Autótrofos	Emplean el CO ₂ como fuente de carbono.	Fotótrofos	Contiene pigmentos que les permiten utilizar la luz como fuente de energía y por tanto sus células suelen estar intensamente coloreadas, sintetizan ATP a expensas de la luz solar.
		Quimiolitótrofos	Pueden aprovechar la energía que está disponible en los compuestos inorgánicos.

El metabolismo bacteriano a nivel evolutivo se ha especializado debido a la influencia de dos factores primordiales: el ambiente en el que se desarrolla la bacteria y los sustratos disponibles.

Dentro de las características ambientales que pueden influir esta evolución se encuentran el gradiente de oxígeno, la temperatura, el ambiente (acuático o terrestre), entre otros. Existen bacterias que son capaces de metabolizar distintos compuestos ricos en nitrógeno, azufre, fósforo, azúcares, grasas y aceites de diferentes tipos y orígenes, además de que existen bacterias que tienen capacidad fotosintética como las plantas.



Esta diversidad se ha desarrollado a nivel evolutivo favoreciendo la aparición, conservación y especialización de enzimas.

Bacterias anaerobias oxidadoras de hidrógeno

El hidrógeno es un producto habitual del metabolismo microbiano y una serie de quimiolitótrofos son capaces de utilizarlo como donador de electrones en el metabolismo energético, como algunos organismos de los dominios bacteria y archaea.

En estos microorganismos la enzima hidrogenasa cataliza la reacción de transferencia de los electrones del hidrógeno a una quinona aceptora, para posteriormente pasar a través de una serie de citocromos para finalmente reducir el oxígeno a agua.

Algunas bacterias de hidrógeno tienen dos hidrogenasas diferentes, una citoplásmica y otra integrada en la membrana. Aunque la mayoría de las bacterias del hidrógeno también pueden crecer como quimioorganótrofos, cuando lo hacen de forma quimiolitótrofa, fijan el CO_2 mediante el ciclo de Calvin, todo depende de la cantidad de compuestos orgánicos y H_2 utilizables en su hábitat.

Bacterias del azufre

Muchos compuestos reducidos del azufre se utilizan como donadores de electrones en las bacterias incoloras del azufre, como el sulfuro de hidrógeno (H_2S), el azufre elemental (S^0) y el tiosulfato ($\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$). En la mayoría de los casos el producto final de la oxidación del azufre es el sulfato (SO_4^{2-}).

La oxidación del azufre se produce por etapas: la primera produce azufre elemental por oxidación, la segunda oxida el azufre a sulfito y la tercera de sulfito a sulfato; sin embargo existen diferentes mecanismos que permiten esas conversiones. Todos los electrones de los compuestos reducidos de azufre finalmente entran en la cadena de transporte de electrones lo que permite la síntesis de ATP mediante la ATPasa

Uno de los productos de las reacciones de oxidación del azufre reducido es el H^+ , y la producción de protones reduce el pH, por lo que un resultado de la oxidación de los compuestos de azufre reducido es la acidificación del medio por lo que las bacterias del azufre son acidófilas como *Acidithiobacillus thiooxidans*.

Bacterias del hierro

La oxidación aerobia del hierro a partir del estado ferroso (Fe^{+2}) al férrico (Fe^{+3}) es una reacción quimiolitótrofa en algunos procariontes. A pH ácido, solo se puede extraer una pequeña cantidad de energía a partir de esta oxidación y por este motivo las bacterias del hierro deben oxidar grandes cantidades de este para crecer y generalmente son



acidófilas. El hierro férrico obtenido forma hidróxido férrico $[\text{Fe}(\text{OH})_3]$ insoluble que precipita en el agua.

El hierro ferroso también se puede oxidar en condiciones anóxicas mediante determinadas bacterias fotótrofas anoxigénicas. En este caso el hierro se utiliza no como donador de electrones en el metabolismo sino como donador de electrones para reducir el CO_2 .

Bacterias del nitrógeno

Existen bacterias quimiolitótrofas que pueden utilizar compuestos nitrogenados inorgánicos como el amoníaco (NH_3) y el nitrito (NO_2). Estos compuestos se oxidan de forma aerobia mediante la nitrificación por bacterias nitrificantes que se distribuyen ampliamente en suelos y agua, dentro de estas bacterias se encuentran las nitrosificantes, como *Nitrosomonas*, que oxidan el amoníaco a nitrito y otro grupo que oxida el nitrito a nitrato, como *Nitrospira*. Por lo tanto, la oxidación completa del amoníaco a nitrato, una transferencia de ocho electrones, la llevan a cabo dos grupos de organismos que actúan secuencialmente.

Las bacterias nitrificantes desempeñan funciones ecológicas clave en el ciclo del nitrógeno al convertir el amoníaco en nitrato, un nutriente vegetal clave; también son utilizadas por el hombre en el proceso de tratamiento de aguas residuales.

Las bacterias también pueden oxidar el amoníaco en condiciones anóxicas mediante un proceso llamado anammox (acrónimo del inglés *ANAerobic AMMonium OXidation*) donde se emplea al nitrito como aceptor de electrones produciéndose nitrógeno gaseoso.

Otro proceso relacionado con el nitrógeno es la utilización del N_2 como fuente del nitrógeno celular, lo que se denomina fijación de nitrógeno. La capacidad de fijar el N_2 libera al organismo de la dependencia de determinadas moléculas nitrogenadas, como el amoníaco o el nitrato lo que genera una gran ventaja ecológica. En este proceso, que es inhibido por el oxígeno, el N_2 se reduce a amoníaco, que se convierte en una forma orgánica mediante un complejo enzimático denominado nitrogenasa, que consta de dos proteínas: la dinitrogenasa y la dinitrogenasa reductasa.

2.2 Dominio archea

El dominio Archaea (del griego *archaios*, antiguo; y *bakterion*, bastoncillo), lo integran los microorganismos más primitivos del planeta, su origen data de hace 4.5 millones de años, la mayoría son organismos anaerobios y pueden habitar climas tan extremos que van desde los hielos del antártico ($< 0^\circ\text{C}$), agua hirviendo ($>100^\circ\text{C}$), cráteres y depresiones geológica donde se emanan gases como azufre, cuerpos de agua con alta salinidad o



acidez, entre otros. Casi todas las especies de arqueas mejor conocidas se caracterizan por su versatilidad metabólica y por la capacidad para habitar ambientes extremos.

Las arqueobacterias tienen un número sorprendente de propiedades en común con los organismos eucariontes, aun cuando por su estructura entran dentro de la clasificación de procariontes pero difieren de las bacterias en propiedades fundamentales, en particular en la ausencia de peptidoglucano en su pared celular y la presencia de lípidos enlazados a éter unidos a glicerol en su membrana. El último ancestro común de bacterias, arqueas y eucariontes era sin duda un organismo relativamente complejo, lo que explica las características compartidas de todos los organismos actuales.

2.2.1 Principales filios

La clasificación de las arqueas, y los procariontes en general, es un tema en constante fluctuación. Los sistemas actuales de clasificación intentan organizar las arqueas en grupos que comparten rasgos estructurales y antepasados comunes. Estas clasificaciones se basan especialmente en el uso de secuencias de genes de rRNA para revelar las relaciones entre los organismos, por lo que podemos dividir a estos organismos en los siguientes filios:

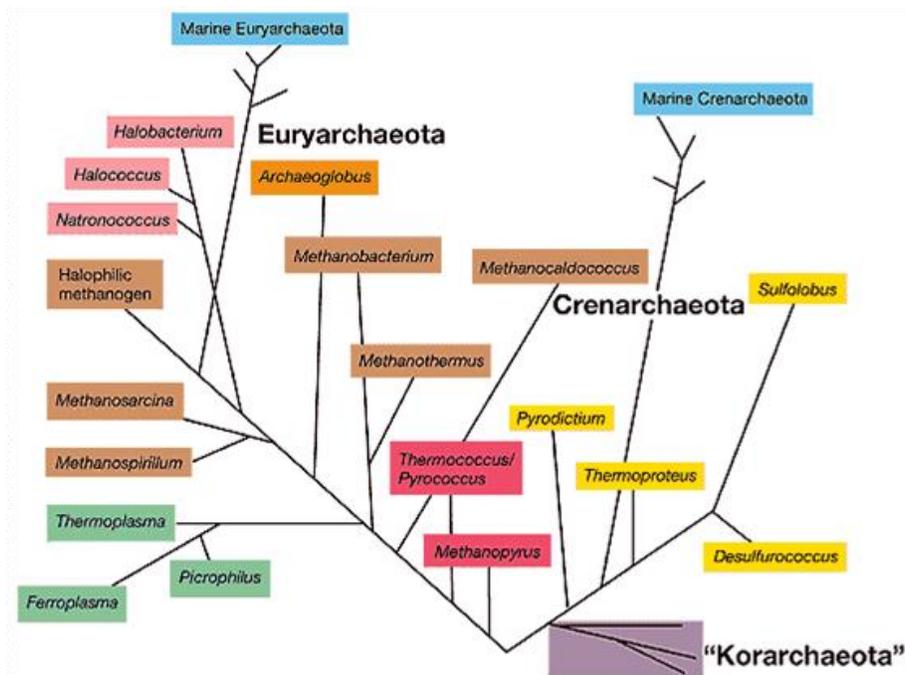


Figura 16. Dominio Archaea. Se muestran los principales filios que componen al dominio Archaeae.

Tomado de: <http://clasearchaea.blogspot.mx/>



- A) Crenarchaeota.** Incluyen fundamentalmente hipertermófilos, sin embargo hay algunos no termófilos relacionados con las especies hipertermófilas que habitan en ambientes acuáticos y terrestres. Muchos hipertermófilos son quimiolitótrofos autótrofos y como no existen fotótrofos capaces de sobrevivir a tales temperaturas, estos organismos son los únicos productores primarios en estos hábitats. Las especies hipertermófilas de crenarqueotas tienden a estar muy agrupadas y a ocupar ramas cortas en el árbol filogenético. Por lo tanto, se cree que estos organismos evolucionan más lentamente que otros linajes del mismo dominio.
- B) Euryarchaeota:** grupo filogenéticamente diverso, entre sus integrantes se encuentran las crenarqueotas, el cual incluye metanógenos (formadoras de metano) y a las halobacterias. Los metanógenos son anaerobios de los más estrictos, mientras que los halófilos extremos son en su mayor parte aerobios estrictos. Abundan en ambientes marinos.
- C) Korarchaeota:** son escasas y se encuentran en fuentes termales, es decir son termófilos con características muy particulares en su secuencia del rRNA.
- D) Nanoarchaeota:** son hipertermófilos o acidófilos muy pequeños. Se clasifican en este filo por las características que presenta la secuencia del gen 16S del rRNA. Su miembro característico es *Nanoarchaeum equitans*.
- E) Thaumarchaeota:** son quimiolitótrofos nitrificantes de ambientes marinos y terrestres, por lo que son importantes para los ciclos biogeoquímicos del nitrógeno y carbono. Se caracterizan por presentar la enzima topoisomerasa del tipo I, que solo presentan los eucariontes.
- F) Aigarchaeota:** presentan características intermedias entre mesófilos e hipertermófilos por lo que habitan en ambientes terrestres, marinos y superficies termales. Comprenden al menos nueve linajes, algunos de los cuales están distribuidos globalmente.

2.2.2 Características estructurales

Las archeas son células procariotas que miden entre 0,1 μm y más de 15 μm . Tienen mucho en común con las bacterias, por ejemplo: los componentes de membrana y de envoltura celular, los transportadores de secuencia de unión a ATP (ABC) y polisacáridos capsulares. También asemejan a las bacterias en términos de sus vías metabólicas fundamentales, y en ciertas funciones adaptativas como motilidad basada en flagelo y quimiotaxis. Al igual que los cromosomas bacterianos, los de las archeas tienden a ser circulares y relativamente compactos, además de que son ricos en secuencias de



inserción y elementos extracromosómicos que son similares a los de las bacterias.

La pared celular de las archeas está constituida por pseudopeptidoglicano (difiere del peptidoglicano de las bacterias en que carece de aminoácidos y ácido N-acetilmurámico), que le confiere dureza y resistencia contra el medio que la rodea. Se consideran como precursoras de las bacterias, pues al igual que ellas también pueden ser Gram positivas o Gram negativas respecto a la estructura de su pared celular, aunque no debe compararse con las bacterias, ya que estas últimas no soportan condiciones tan extremas y mueren inmediatamente cuando experimentan cambios bruscos en su medio (temperatura, pH).

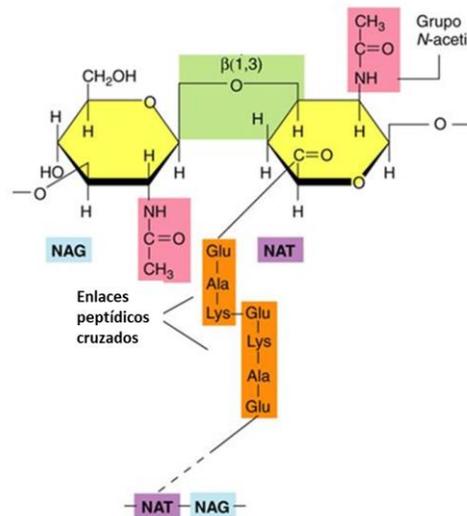


Figura 17. Pseudopeptidoglicano. Se muestra la estructura del pseudopeptidoglicano presente en la pared celular de las Archaea.

Tomado de: <http://es.slideshare.net/superpanxa/microbiologia-generalidades>

También pueden presentar forma esférica (cocos), de bacilos, espiral o filamentosa, aunque recientemente se descubrió en piscinas hipersalinas una especie con forma cuadrada y plana (como un sello de correos) denominada *Haloquadra walsbyi*. Las células se pueden ordenar formando tubos largos, delgados y huecos, denominados cánulas, que se conectan y dan lugar a densas colonias ramificadas; su función se desconoce, pero se ha visto que pueden permitir que las células se comuniquen o intercambien nutrientes con sus vecinas.

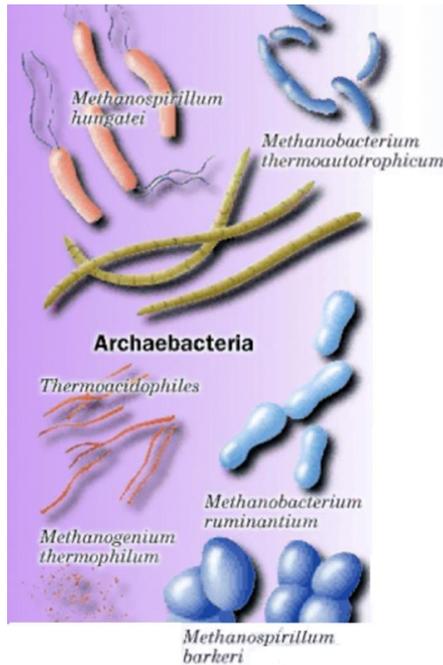


Figura 18.
Ejemplos de
Archaea. Se
muestran diferentes
morfologías de
géneros del
dominio Archaea.

Tomado de
[https://vivoeneltercero
i.wordpress.com/](https://vivoeneltercero.i.wordpress.com/)

Existen diferencias muy características entre bacterias y archeas a nivel de estructura de la membrana lipídica. Los lípidos están unidos con el glicerol por enlaces éter que las hace químicamente más resistentes a altas temperaturas, a diferencia de las bacterias cuyas uniones son de tipo éster; la configuración estereoquímica del grupo glicerol presente en la membrana es la inversa a la que presentan otros organismos; los lípidos presentan una cadena isoprenoide en su estructura, a diferencia del resto de los organismos que tienen cadenas lipídicas rectas sin ramificaciones ni anillos; además de que la membrana puede estar constituida por una única monocapa en lugar de formar una bicapa lipídica.

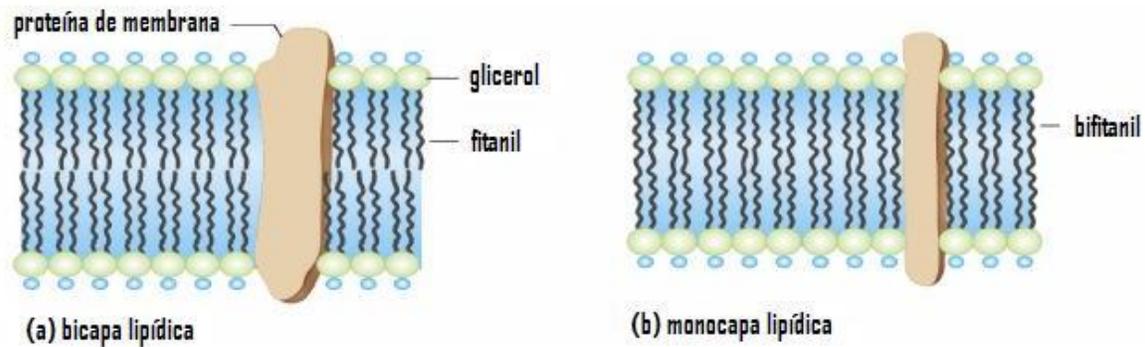


Figura 19. Membrana de Archaea. Se muestran las dos estructuras que pueden estar presentes en la membrana de las Archaea: a) bicapa lipídica y b) monocapa lipídica.

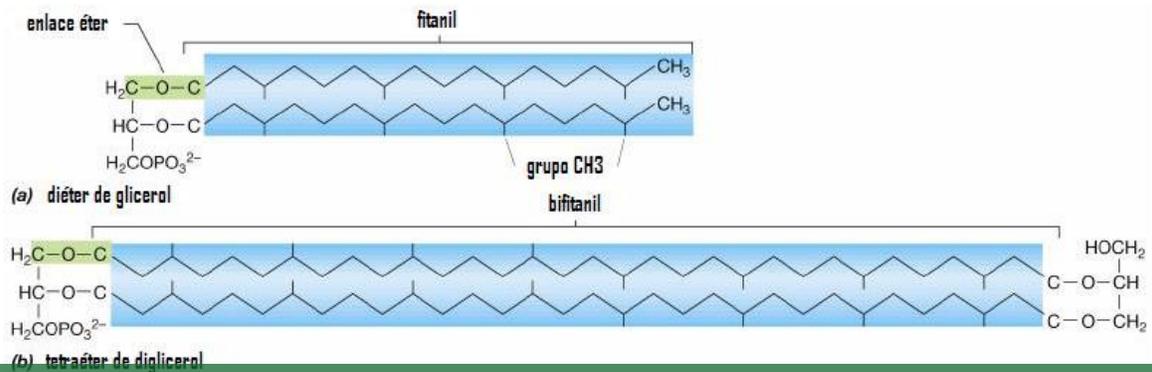


Figura 20. Lípidos de membrana de Archaea. Se muestra el enlace éter entre los lípidos que conforman la membrana plasmática característica de las Archaea.



Figura 21. Sulfolobus archaea. Se muestra una micrografía electrónica de transmisión de una sección de la Archaea *Sulfolobus* sp. con la membrana celular coloreada de verde.

Tomado de
Sciencephotolibrary.com



Las archeas, al igual que las bacterias, presentan flagelos pero tienen una composición distinta sintetizados mediante la adición de subunidades en su base, lo que sugiere un origen evolutivo diferente, es decir, el flagelo bacteriano podría haber evolucionado de un sistema de secreción tipo III, mientras que el flagelo arqueano parece haber evolucionado de los pili bacterianos de tipo IV.

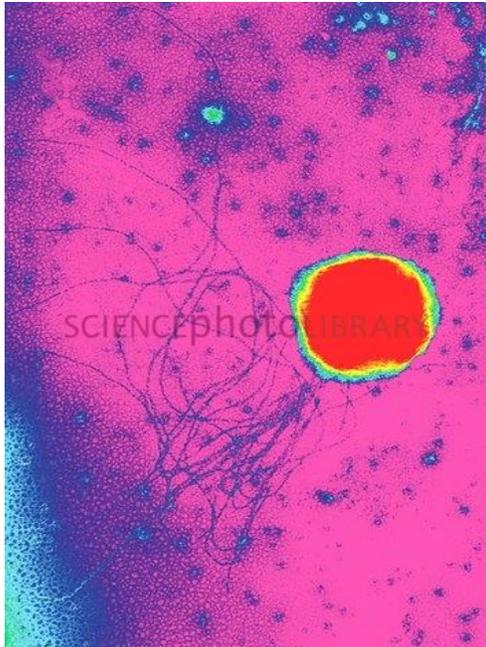


Figura 22. Flagelos de archaea. Se muestra una micrografía electrónica de transmisión de un microorganismo hipertermófilo aislado de un respiradero hidrotermal del océano pacífico, se observan los múltiples flagelos coloreados.

Tomado de
Sciencephotolibrary.com

2.2.3 Diversidad metabólica

La característica que separa filogenéticamente a las archeas de las bacterias y de los eukarya, es que las archeas han desarrollado mecanismos que les permiten habitar en ambientes muy extremos, para lo cual han desarrollado mecanismos de adaptación y resistencia al ambiente extremo. Su metabolismo es tan diferente que puede ser empleado en procesos industriales y bioquímicos como las enzimas archeanas que pueden trabajar a temperaturas superiores a los 80°C o enzimas que degradan los aceites industriales, entre otros.

Al igual que las bacterias tienen diversidad en cuanto a sus condiciones de vida y metabolismo, ya que pueden ser aerobias, anaerobias facultativas o anaerobias obligadas, quimioorganotróficas o quimiolitótróficas. Habitan en los ambientes marinos y terrestres, además de que pueden realizar simbiosis con animales.

Para su estudio, las archeas se ordenan en cuatro grandes grupos:



- **Hipertermófilas.** Viven en temperaturas mayores a 60°C donde la mayoría de otros microorganismos no pueden sobrevivir, como los géneros de *Pyrodictium*, *Metanothermus*, *Thermotoga* y *Metanopyrus*; son microorganismos aerobios, oxidan el H₂S y su pH ideal es de 2 u 11.



Figura 23. Archaea hipertermófila. Se muestra una micrografía electrónica de la Archaea *Pyrococcus furiosus*, la cual muere en temperaturas menores a los 70°C.

- **Metanógenas.** Archeas que utilizan el CO₂ y H₂O para generar metano (CH₄) como producto de desecho o excreción. El oxígeno es tóxico para ellas, viven en aguas estancadas, pantanos, aguas residuales, alcantarillas, fondo del océano y en el aparato digestivo de los mamíferos. Los géneros principales son *Metanobrevibacter rumiantium*, *Metanobacterium* y *Metanospirillum*.



Figura 24. Archaea metanógena. Se muestra una micrografía electrónica de *Methanosarcina* sp.



- **Halófilos extremos.** Viven en ambientes salados (pH básico), como el Mar Muerto y el borde de los océanos. La membrana plasmática les ayuda para mantener los altos gradientes de iones (Na, K, Ca, Mg) que le permiten transportar sustancias dentro y fuera de la célula. Algunos de los géneros característicos de este grupo son: *Halobacterium*, *Haloferax* y *Halococcus*.



Figura 25. Archaea halotolerante. Se muestra una micrografía electrónica de barrido de la Archaea *Halococcus salifodinae* que requiere de un medio con altas concentraciones de sales. Tomado de Sciencephotolibrary.com

- **Psicrófilas.** Archeas que soportan temperaturas frías por debajo de los 0°C. El factor clave que les permite adaptarse a climas con temperatura extremadamente baja es que tienen la capacidad de sintetizar enzimas y moléculas que pueden trabajar a estas temperaturas, estos productos tienen la finalidad de reducir el punto de congelación del agua para asegurar el curso normal de todos los procesos químicos y metabólicos pese a las bajas temperaturas, sin estas moléculas los organismos, simplemente se congelarían. Además, los lípidos de los psicrófilos le confieren un grado superior de fluidez a la membrana celular para conservar sus características y funciones a tan bajas temperaturas.



Figura 26. Ambiente con alto contenido de sales. Se muestran a la izquierda el Mar Muerto y a la derecha el Mar de sal de Cargill que son ambientes donde crecen *Archaea halófilas*.

Tomado de <http://elblogverde.com/mar-muerto/> y <http://elocle.blogspot.com/2011/04/vista-de-pajaro.html>



Figura 27. Ambientes con temperaturas elevadas. Se muestran imágenes de Geiser en el Parque Yellowstone, donde crecen *Archaea hipertermófilas*.

2.2.4 Aplicaciones tecnológicas

Todos los microorganismos producen varias enzimas en pequeñas cantidades, pero algunos organismos son capaces de producirlas en grandes cantidades, como aquellas que les permiten digerir polímeros insolubles (celulosa, proteínas, almidón), las cuales son excretadas fuera de la célula y se utilizan como nutrientes para el crecimiento.



Las arqueas tienen extremoenzimas, las cuales son enzimas capaces de producirse en presencia de una o varias condiciones físicas o químicas extremas como altas temperaturas y pH ácido (hipertermófilas). Estas pueden emplearse como catalizadores industriales por la alta especificidad que presentan para el sustrato. Por ejemplo, en la industria alimentaria se emplean para producir suplementos dietéticos y a nivel sanitario para producir detergentes para la ropa y la industria textil. Las extremozimas que más se producen son amilasas, lipasas, reductasas o proteasas que se utilizan en la elaboración de aditivos para lavar la ropa.

Las extremozimas se obtienen a partir del aislamiento de microorganismos alcalófilos.

2.3 Ciclo celular de procariontes

Todas las células, sin importar si son procariontes o eucariotas, tienen un origen y un término de vida, a este intervalo se le conoce como ciclo celular.

Ciclo celular

Se define como una secuencia de acontecimientos interconectados que comienza con la formación de una nueva célula y termina cuando la célula se divide en otras dos hijas.

2.3.1 Fases del ciclo celular

El ciclo de vida de las células procariontes lo podemos dividir en tres fases o etapas:



Fases del ciclo celular

Fase innominada

La célula debe aumentar su tamaño para poder darle origen a dos nuevas células bacterianas que en principio serán mucho más pequeñas que la célula que les dio origen, por lo que activa su metabolismo para sintetizar todas sus estructuras celulares.

Fase C

Es una fase de síntesis de material genético. Para que la división celular bacteriana tenga éxito primero debe duplicar todo su contenido para que cada célula hija tenga todo lo necesario para vivir, esto implica un proceso de síntesis de todos sus componentes como enzimas y la duplicación de su material genético para asegurarse de que cada hija reciba una copia exacta de todo su genoma. Este es un proceso vital e involucra un enorme gasto de energía para la bacteria ya que debe asegurarse de que se copie todo el material genético perfectamente para disminuir el riesgo de mutaciones.

Fase D

En este proceso la célula se divide en dos mitades equivalentes donde a cada una le toca la mitad de todo el contenido de la bacteria, principalmente una copia completa del cromosoma circular recién sintetizado, cuando el proceso de división ha terminado, las nuevas células se separan quedando lista para iniciar nuevamente el ciclo con la fase de crecimiento.

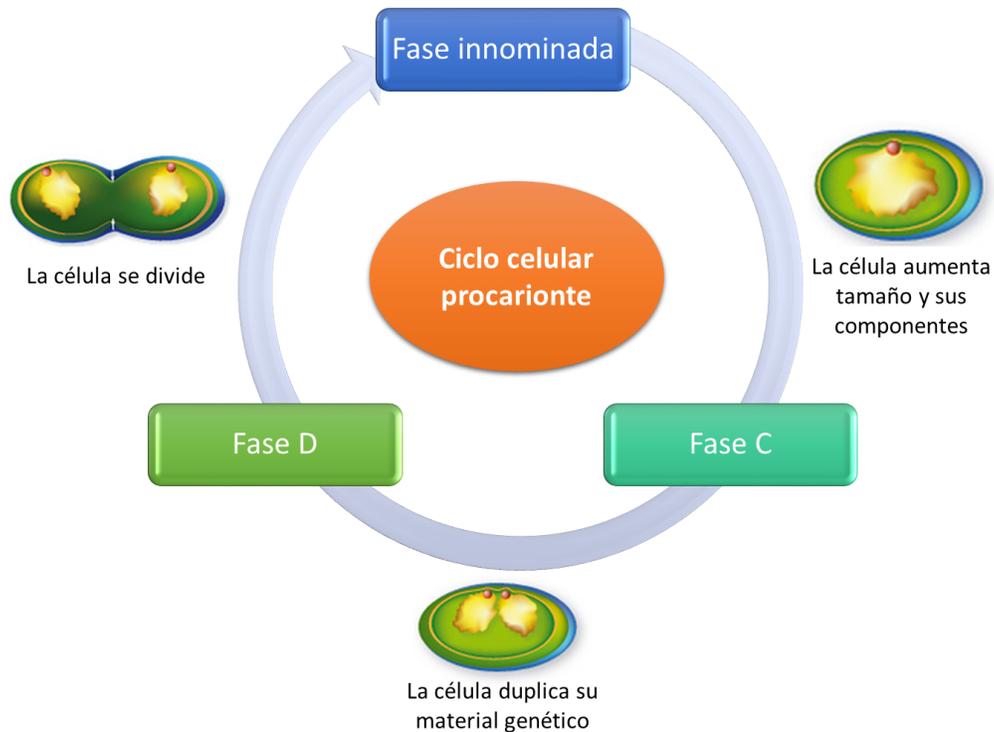


Figura 28. Fases del ciclo celular procarionte. Se inicia con la fase innominada donde la célula incrementa su metabolismo para aumentar su tamaño y componentes, seguido de la Fase C donde se duplica el cromosoma y finalizando con la Fase D donde se lleva a cabo la división celular.

Enlace

En la asignatura Microbiología y taxonomía bacteriana profundizaste en el estudio de la primera etapa del ciclo celular de las bacterias, el crecimiento y analizaste distintos factores que lo afectan. En la asignatura Biología molecular estudiarás con mayor detalle la fase de replicación, con todas las moléculas y fases que intervienen.



El ciclo celular es controlado por indicadores que le avisan a la bacteria si ya está lista para dividirse, lo que le permite regular el ciclo:

- **Tamaño.** Si la célula es muy pequeña no podrá dividirse, por lo que requiere un tamaño mínimo para poder dividirse.
- **Cantidad de material genético.** Solo hasta que la bacteria ha replicado total y fielmente su material genético puede considerarse lista para dividirse.
- **Nutrientes.** Debe haber nutrientes suficientes disponibles para las dos células que van a originarse.
- **Espacio.** Debe existir espacio suficiente para que las células lo ocupen, en caso contrario la división celular no se lleva a cabo.
- **Temperatura y pH.** Esos deben estar en los niveles óptimos de la especie para que el ciclo celular pueda continuar.

2.3.2 División celular

Durante la fase D del ciclo celular se lleva a cabo el proceso de división celular, que en el caso de casi todas las células procariontes se lleva a cabo mediante un fenómeno denominado fisión binaria, aunque algunos lo hacen mediante gemación, fragmentación entre otros métodos. Durante la división celular, las células se dividen a la mitad para producir dos células hijas idénticas; para lo cual, primero se requiere de la replicación de DNA y la segregación de este. Después de la segregación del cromosoma, la célula pasa por citocinesis, proceso mediante el cual su contenido es separado hacia dos células.

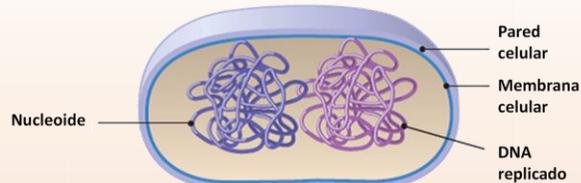
A continuación revisaremos dos de los procesos de división celular más frecuentes en los organismos procariontes.

A) Fisión binaria. La fisión binaria es un tipo de división celular relativamente simple:



Fases de la fisión binaria

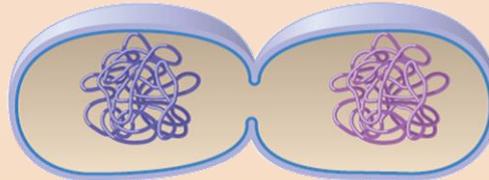
1. Duplicación del DNA circular y alargamiento de la célula.



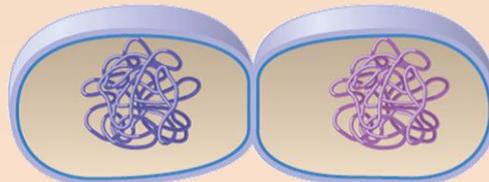
2. Separación de las moléculas de DNA, de modo que haya un cromosoma en cada una de las dos mitades de la célula.



3. Septación o constricción, es decir, formación de una pared transversal a la mitad de la célula que divide la célula progenitora en dos células hijas.



4. Repartición del contenido de la célula en dos partes iguales, para que cada célula contenga su propio cromosoma y equipamiento de otros componentes celulares.



5. Extender el septo hasta que se divida a la bacteria en dos. En algunas especies, las células se separan completamente, mientras que otras permanecen unidas formando cadenas, parejas u otros tipos de grupos celulares.





Figura 29. Proceso de fisión binaria. Se muestran las etapas de fisión binaria. En la parte superior se muestra la replicación del cromosoma y en la inferior la etapa de separación y repartición de material de las células, dando origen a las dos células hijas.

Tomado de <http://es.slideshare.net/SabineFlores/capitulo-11-13052258>

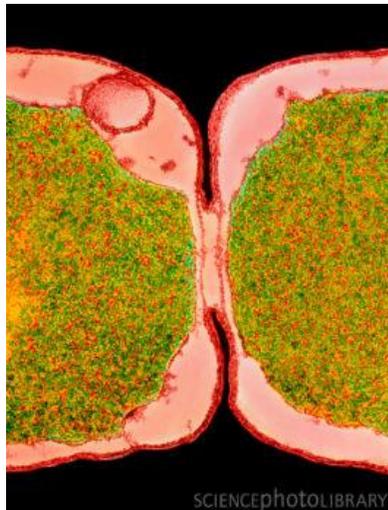


Figura 30. Fisión binaria. Se muestra una micrografía electrónica de transmisión de *Escherichia coli* dividiéndose por fisión binaria donde la sección teñida de verde es el citoplasma de la bacteria y está rodeada por su membrana, más al exterior teñida de naranja se aprecia la pared celular.

Tomado de Sciencephotolibrary.com

Para la división celular de los procariontes, incluyendo a las archeas, son necesarias muchas proteínas, pero la principal es la FtsZ (del inglés *Filamentous temperature sensitive*), estas proteínas forman el aparato de división llamado divisoma. Las proteínas FtsZ forman un anillo en el centro de la célula, el cual se va cerrando como un cinturón alrededor del nucleóide, con esto se logra la división equitativa del material genético una vez duplicado. Por otro lado, las proteínas MinE funcionan como guía dirigiendo a las



proteínas FtsZ para que solo formen el cinturón en el centro de la célula y no en los polos, esto es para asegurarse que la división se de en el centro de la célula.

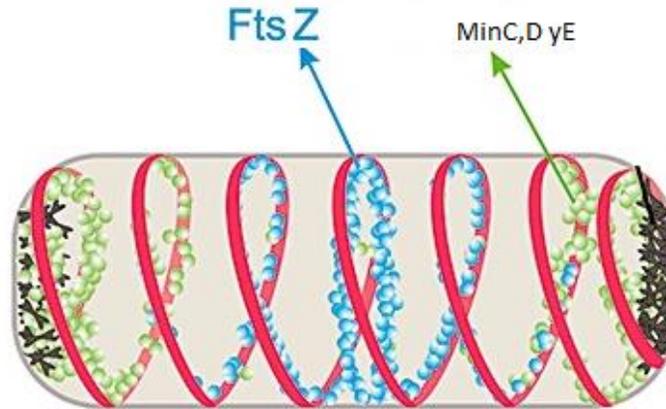


Figura 31. Esquema de la maquinaria de división de procariontes Se muestra la función de las proteínas FtsZ, MinC,D y E.

Modificado de Barák, et. al., 2008.

Este proceso completo de fisión binaria es muy rápido, algunas especies lo realizan cada 20 minutos; de tal suerte que si nada interfiere, una sola bacteria puede dar origen a una colonia de alrededor de un billón de bacterias en un periodo de 10 horas.

Enlace

En la asignatura Biología molecular I estudiarás la etapa de replicación del material genético, por lo que es importante que recuerdes las fases anteriores y posteriores a esta etapa.

- B) Gemación.** En este tipo de división celular se crea una protuberancia de la membrana celular también conocida como yema, esta aumenta de tamaño paulatinamente conforme se le transfiere un juego de todos los elementos de su progenitora, principalmente un juego completo de su DNA. La yema madura y eventualmente se separa de su célula madre.

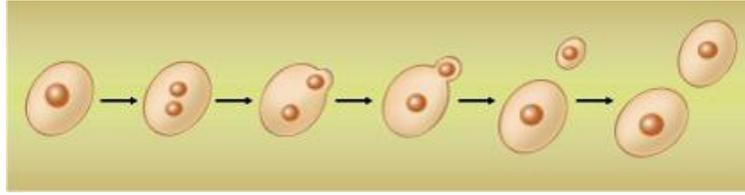


Figura 32. Proceso de gemación. Se representan los pasos que conforman el proceso de gemación de una levadura.

División por
gemación

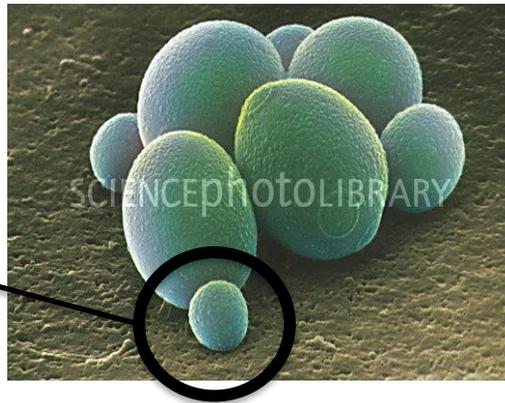


Figura 33. Gemación. Se muestra una micrografía de una levadura dividiéndose por gemación.

Modificado de Sciencephoto.com

Actividades

La elaboración de las actividades estará guiada por tu Docente en línea, mismo que te indicará, a través del **Organizador Didáctico de Aprendizaje (ODA)**, la dinámica que tú y tus compañeros llevarán a cabo, así como los envíos que tendrán que realizar.

Autorreflexiones

Para la parte de **autorreflexiones** debes consultar el foro *Preguntas de Autorreflexión* para realizar la actividad correspondiente y enviarlo a la herramienta de



Autorreflexiones. Cabe recordar que esta actividad tiene una ponderación del 10 % de tu evaluación.

Cierre de la unidad

Es seguro que en este punto tu concepto sobre las bacterias ha cambiado porque descubriste que a pesar de que en apariencia son organismos simples y pequeños, son capaces de llevar a cabo procesos metabólicos complejos y muy útiles y aplicables en diferentes aspectos de la industria.

Además, al conocer a las archeas te diste cuenta de que habitan los lugares más extremos que hay sobre la tierra y aunque se siguen descubriendo nuevas especies e identificando nuevas características sobre ellas, ya existen muchas aplicaciones tecnológicas de las que podemos sacar provecho de estos microorganismos.

Es importante conocer todas estas características para que en conjunto con los conocimientos previos de las asignaturas Microbiología y Bioquímica puedas proponer estrategias para permitan aprovechar su metabolismo o modificarlo para hacer más eficiente algún proceso industrial y también proponer alternativas de control de crecimiento bacteriano con aplicación en el campo de la ecología.



Para saber más



Estructura bacteriana:

<https://www.youtube.com/watch?v=XutAHXoVrQ8>

Movimiento bacteriano:

<https://www.youtube.com/watch?v=SuFWCEkPlcY>

Archaeas:

<https://www.youtube.com/watch?v=o-YoZ4r2Gos>

Fisión binaria:

<https://www.youtube.com/watch?v=jedzBrwhcl8>



Fuentes de consulta



1. Barák, K. Muchová, A.J. Wilkinson, P.J. O'Toole and N. Pavlendová. 2008. Lipid spirals in *Bacillus subtilis* and their role in cell division. *Mol. Microbiol.* 68: 1315–1327.
2. Cassimeris L., Lingappa V. R., Plopper G., 2012. Lewin, *Células*. México. McGrawHill. Segunda edición.
3. Madigan M. T., Martinko J. M., Dunlap P.V., Clark D.P. 2009. Brock, *Biología de los microorganismos*. España. Editorial Pearson Education. Doceava edición.
4. Willey, J.M., Sherwood L. M., Woolverton C.J. (2009). *Microbiología*. Mc. Graw Hill / Interamericana. Séptima edición.