

Morfología y estructura bacteriana

I. ESTRUCTURA BACTERIANA

A. Envuelta celular

- Membrana citoplasmática
- Pared celular
- Membrana externa

B. Estructuras externas

- Flagelos
- Fimbrias o pillis
- Cápsulas

C. Estructuras internas

- Nucleoide
- Citoplasma
- Esporas

II. MORFOLOGÍA DE LAS BACTERIAS

A. Tamaño de las bacterias

B. Formas de las bacterias

- Cocos
- Bacilos
- Espirilos

C. Características de las colonias

- Tamaño
- Morfología
- Bordes
- Superficie
- Consistencia
- Pigmentación
- Hemólisis
- Olor

I. ESTRUCTURA BACTERIANA.

La primera aproximación que vamos a efectuar al mundo de las bacterias comenzará por un detallado análisis de su anatomía, la cual sólo ha sido posible desde la utilización del microscopio electrónico. Tras estudiar con detalle las estructuras de que están compuestas las bacterias, abordaremos su estudio morfológico como entidades individuales, considerándolas según la morfología celular y su forma de agrupamiento. Por último veremos como se agrupan las bacterias en gigantescos acúmulos (comparados con su tamaño) y podremos observarlas a simple vista en forma de colonias, cuyas características también estudiaremos.

Aunque las bacterias son unidades funcionales que actúan como un solo individuo, realizaremos una división de sus estructuras válida solo desde un punto de vista didáctico.

Vamos a considerar las estructuras según la posición que ocupan en relación con la envuelta celular, que consideraremos el límite normal de cualquier célula:

- Estructuras de la envuelta celular,
- Estructuras externas,
- Estructuras internas.

I.A. Estructuras de la envuelta celular.

La célula bacteriana propiamente dicha está limitada por una estructura integrada, la envuelta celular, de complejidad variable. En la mayor parte de las células, la envuelta celular consta de pared celular y de membrana citoplasmática subyacente. La existencia de bacterias con formas distintas a la esférica demuestra que esta estructura tiene la suficiente rigidez como para soportar la presión superficial y la presión interna de la célula. Algunas bacterias poseen una pared celular muy delgada, casi confundida con la membrana citoplasmática; otras en cambio presentan una tercera capa o membrana externa adosada a la pared celular. La pared celular es la responsable de la diferente impregnación tintorial de las bacterias al ser teñidas mediante la tinción de Gram, que tan bien conocéis ya.

Membrana citoplasmática:

La membrana citoplasmática es una estructura indispensable para todas las células bacterianas. Está situada en la superficie interna de la pared celular y rodea totalmente al citoplasma. Las membranas citoplasmáticas bacterianas son similares, en cuanto a composición y estructura, al resto de las membranas biológicas. Las membranas citoplasmáticas de las células eucariotas poseen **esteroles** entre la bicapa fosfolípídica, mientras que las bacterias poseen un componente diferente: los **hopanoides**.

La membrana citoplasmática tiene escasa resistencia mecánica y no contribuye significativamente al mantenimiento de la forma de la bacteria, ya que las formas alargadas tienden a adoptar formas esféricas cuando se elimina la pared celular. Aunque la membrana es una estructura diferente de la pared celular, ambas están unidas por algo más que la cohesión lateral, y hay evidencias que sugieren la existencia de algún tipo de enlace entre las dos estructuras. La membrana puede invaginarse para formar orgánulos conocidos como **mesosomas**, que adoptan diversas formas. Su función principal parece centrarse en su participación como iniciador de la división celular.

Pared celular

La forma y rigidez de las bacterias se debe casi por completo a la presencia de una estructura polimérica grande que sirve de apoyo y se extiende por el exterior de la membrana citoplasmática,

formada por una mezcla de azúcares y péptidos: el [peptidoglucano](#). El ácido murámico parece ser característico de los peptidoglucanos de las paredes celulares bacterianas. Para un estudio más detallado sobre la composición y estructura de la pared celular y para la observación de abundantes dibujos y esquemas, os remito a la página web del Todar's, [Textbook on -line of Bacteriology](#), o al cap. 4 del libro Biología de Microorganismos (Brock).

Membrana externa

La membrana externa tiene una forma y una constitución similar a la de otras membranas biológicas. Se comporta como una barrera hidrofóbica para difusión de una gran cantidad de sustancias, participa en la conjugación y en la división celular y contiene proteínas especiales, las [porinas](#), que intervienen en la toma de nutrientes y la difusión pasiva de pequeñas moléculas hacia el espacio periplásmico. También contiene lipopolisacáridos que son los principales componentes antigénicos de superficie.

La función de la envuelta celular es la de una barrera osmótica y de un sistema regulador que separa el citoplasma del medio, y proporciona a la bacteria el entorno relativamente aislado que necesitan los organismos vivos.

I.B Estructuras externas.

En el exterior de las células bacterianas podemos encontrar tres clases de estructuras: los [flagelos](#), u orgánulos relacionados con la locomoción y quimiotaxis; las [fimbrias](#) o pilli, y la [cápsula](#), o capa mucosa que rodea a la célula. Ninguna de ellas resulta esencial para la existencia de la célula, pudiendo eliminarse por diversos medios y sin que exista inhibición del crecimiento bacteriano o alteración de su función metabólica.

Flagelos

Los flagelos bacterianos son prolongaciones filamentosas largas que se extienden más allá de la superficie celular. Son los responsables de la locomoción de las bacterias y se hallan implicados en la quimiotaxis y en la percepción bacteriana. Debido a su delgadez, son difíciles de ver en las preparaciones en fresco, siendo necesario teñirlos mediante técnicas especiales para ponerlos de manifiesto.

Los flagelos aparecen sobre todo en los bacilos. Su número es relativamente constante dentro de cada especie bacteriana. Los flagelos pueden estar localizados solo en los extremos de la bacteria o estar repartidos a lo largo de la superficie celular.

Las bacterias flageladas se clasifican según el número y localización de los flagelos: las bacterias que tienen un único flagelo se denominan **monótricas**; las que tienen dos o mas flagelos en uno de los extremos de la célula son **lofótricas**; aquellas que tienen penachos en ambos extremos son **anfítricas**, y si los flagelos están dispuestos por toda la superficie celular se denominan **perítricas**.

Los flagelos se componen de tres porciones claramente diferenciadas: filamento, codo o manguito y cuerpo basal. El filamento tiene una longitud media de 15 a 25 µm y se halla unido al cuerpo basal a través del manguito. La composición proteica del filamento hace que este posea características antigénicas que a veces son útiles para la identificación bacteriana. El manguito flagelar es una especie de "articulación universal" que permite la transmisión del movimiento desde el cuerpo basal hasta el filamento. El cuerpo basal es la porción más compleja, encontrándose dentro de la

envuelta celular y actuando como un verdadero motor.

Se observan dos tipos de movimiento flagelar: de deslizamiento y de rotación. Los primeros son los encargados de dirigir a las bacterias hacia sitios concretos. Una bacteria con movimiento de traslación puede llegar a alcanzar hasta los 55 μm por segundo. Los movimientos de rotación provocan desplazamientos aleatorios conociéndose también como volteretas o vuelcos. Gracias a los movimientos de traslación, las bacterias son capaces de evitar situaciones desfavorables o ser atraídas hacia las favorables, por ej. la presencia de nutrientes. Esta capacidad de reaccionar frente a determinados estímulos ambientales se denomina "taxia" o "fobia" dependiendo de la dirección del movimiento. Un acercamiento hacia zonas oxigenadas se denominaría aerotaxia; un alejamiento de una fuente luminosa sería una fotofobia.

Fimbrias o pillis

Estas estructuras solo pudieron ser descubiertas gracias a la utilización del microscopio electrónico, pues su longitud varía entre 0,3 y 1 μm . Pueden aparecer en los extremos de las células o pueden estar distribuidas por toda la superficie en número que oscila desde uno a varios centenares por célula.

Las fimbrias pueden ser de dos tipos diferentes, tanto desde el punto de vista morfológico como funcional: los pilli sexuales están implicados en la formación de parejas específicas durante la conjugación bacteriana, y sirven para iniciar el contacto entre dos células, uniéndolas y facilitando la transferencia de material genético. Los pilli sexuales se distinguen de las otras fimbrias por su mayor longitud y su menor número (de uno a diez por célula). Otras fimbrias parecen tener propiedades adherentes que facilitan la unión a otros tipos de células; p. ej. eritrocitos o leucocitos. La adherencia es fundamental para la colonización bacteriana en el huésped animal.

Cápsula

La cápsula es una estructura de naturaleza polisacárida que rodea completamente a la célula. El tamaño aparente de la cápsula varía ampliamente, siendo con frecuencia mayor que el diámetro de la bacteria. Su función es aún objeto de estudio, considerándose que desempeña un importante papel en la protección de la bacteria frente a agentes externos tales como la desecación, los bacteriófagos o los metales tóxicos. Quizás tenga mayor importancia la adherencia de las bacterias encapsuladas a superficies inertes de su entorno natural y a células adecuadas para su crecimiento y supervivencia.

Las cápsulas bacterianas no se tiñen con los procedimientos habituales, pues no retienen colorantes con facilidad. Se pueden hacer visibles al microscopio óptico suspendiendo las células en tinta china diluida; este método se conoce como tinción negativa. La cápsula desplaza las partículas de carbón coloidal y las células parecen hallarse en lagunas, que representan las cápsulas, situadas sobre un fondo oscuro. Sin embargo, no todas las cápsulas impiden la penetración de las partículas de carbón, y algunas no pueden ser observadas de este modo.

La cápsula es habitualmente inmunogénica, y los anticuerpos inducidos reaccionan con ella. Los anticuerpos se fijan a la cápsula favoreciendo su fagocitosis o penetrando en la matriz capsular y reaccionando con los polisacáridos. Esta reacción altera el índice de refracción de la cápsula, de manera que, en preparaciones húmedas no teñidas observadas microscópicamente, aparecen mejor definidas y más grandes. En 1902, Neufeld aplicó este abultamiento capsular, o reacción de Quellung, a la identificación serológica de neumococos, y desde entonces se ha utilizado para la identificación serológica de diversas bacterias encapsuladas.

I.C. Estructuras internas.

El nucleóide bacteriano

Todo el material genético de la célula está contenido en una única molécula de ADN que mide de 100 a 1400 μm de longitud cuando está totalmente extendida. Generalmente la estructura del DNA es circular, y en la célula se encuentra en una configuración superenrollada.

Citoplasma

El citoplasma en las células bacterianas parece ser menos complejo que el de las células eucarióticas. Está considerado como un gel que contiene ribosomas, enzimas y, con frecuencia gránulos que pueden representar productos de almacenamiento. Los gránulos citoplasmáticos que generalmente se observan son aquellos que se tiñen con ciertos colorantes básicos, y se denominan corpúsculos metacromáticos. Se consideran como un depósito de energía reutilizable.

La espora

La espora bacteriana es una estructura compleja que se forma dentro de la célula para asegurar la supervivencia de la especie ante condiciones ambientales desfavorables. La formación de esporas es inherente a algunos tipos de bacilos.

Las esporas pueden observarse en el interior de las bacterias o libremente después de la desintegración de las células progenitoras. Cuando son intracelulares, las esporas presentan forma esférica, con el eje longitudinal paralelo al del bacilo. Su anchura puede ser esencialmente la misma que la de la célula madre, o ser mayor, deformando la pared de la célula vegetativa.

El tamaño y localización de las esporas son relativamente constantes dentro de cada especie. En función de su localización la espora puede ser **central**, **subterminal** (entre el centro y el extremo), y **terminal**. En ocasiones, su tamaño y localización pueden dar lugar a una morfología característica, como en el caso del bacilo del tétanos, cuya espora terminal grande confiere a la célula vegetativa que la contiene forma de palillo de tambor.

La espora es un estado extremadamente resistente en el desarrollo de la célula. No sólo es relativamente impermeable a los colorantes, sino que también es mucho más resistente que las células vegetativas a los efectos perjudiciales del calor, la desecación, presión hidrostática y muchos agentes químicos. Algunas esporas son extremadamente resistentes a los procedimientos habituales de esterilización, necesiéndose un periodo de casi tres horas en autoclave para asegurar su destrucción.

Normalmente la iniciación de la esporogénesis en células que están creciendo activamente es inducida por deplección de nutrientes. En cada célula sólo se forma una espora. Cuando la espora se encuentra en un medio favorable para el crecimiento de las células vegetativas, germina y la célula comienza un nuevo ciclo vegetativo.

Páginas web interesantes

<http://textbookofbacteriology.net> (en inglés)

<http://www.microbiologytext.com> (en inglés)

<http://www.microbiologia.com.ar> (en argentino)

II. MORFOLOGÍA DE LAS BACTERIAS.

La morfología bacteriana debe considerarse desde dos puntos de vista:

- 1) como células individuales observables sólo al microscopio y
- 2) como colonias bacterianas apreciables a simple vista después de desarrollarse en la superficie de medios de cultivo sólidos.

Las diferencias en el tamaño, forma y ciertos detalles estructurales son característicos de los principales grupos de bacterias, y proporcionan las bases fundamentales para su estudio sistemático e identificación. De la misma forma, las colonias bacterianas, compuestas por masas de células individuales, tienen características de tamaño, consistencia, textura y color que poseen un valor sistemático, pero no tienen la importancia fundamental de la morfología celular.

II.A. Tamaño de las bacterias.

El tamaño de las células bacterianas se mide habitualmente en micrómetros, oscilando entre los $1 \times 10 \mu\text{m}$ de los bacilos grandes como *Bacillus anthracis*, y los $0,2 \times 0,7 \mu\text{m}$ de *Francisella tularensis*. Existen ligeras variaciones de tamaño de las células bacterianas dentro de algunas especies, siendo mayores las fluctuaciones entre las formas bacilares que entre las formas esféricas. Los límites de tamaño entre las células bacterianas y los virus no tienen una frontera bien definida, pues curiosamente existen virus más grandes que ciertas bacterias.

II.B. Formas de las bacterias.

Desde el punto de vista microscópico, la diferencia más importante entre las bacterias es su forma, existiendo tres tipos morfológicos claramente distinguibles:

- Formas esféricas o cocos.
- Formas alargadas o bacilos.
- Formas curvadas, comas o espirilos

Cocos

Las bacterias esféricas son las más homogéneas con respecto al tamaño, presentando un diámetro medio de $0,6$ a $1,0 \mu\text{m}$. La forma no siempre es exactamente esférica, observándose como más comunes las siguientes variaciones:

- Formas lanceoladas.
- Formas en grano de café.
- Formas cocobacilares (achatadas)

Las diferencias entre los subtipos de cocos se basan en los agrupamientos celulares. Estos aparecen como consecuencia de dos factores: el plano o planos de división celular y la tendencia de las células hijas a permanecer unidas entre sí, una vez que se completa la división.

Los cocos que se separan completamente después de la división aparecen individualmente, y a esta forma se le llama coco. Cuando hay una ligera tendencia a que las células hijas permanezcan unidas y la división celular ocurre en un solo plano, los cocos se agrupan predominantemente en pares, llamados diplococos. Si la unión es más marcada, se ven largas cadenas de cuatro cocos o más; estos agrupamientos se conocen como estreptococos. Cuando los cocos se dividen en varios planos, y hay una elevada tendencia a que permanezcan unidos, aparecen racimos irregulares de cocos, semejantes a racimos de uvas; estos agrupamientos se denominan estafilococos.

Sin embargo, la separación de subtipos morfológicos no es absolutamente nítida, y en una misma colonia pueden observarse cadenas o racimos junto con formas aisladas o en parejas. A pesar de todo esto, los grupos morfológicos tienen mucho valor práctico en la identificación y clasificación de cocos.

Bacilos

Las formas alargadas o bacilares agrupan una gran cantidad de subtipos morfológicos. Las diferencias en anchura, longitud y forma de los extremos de la célula proporcionan una considerable heterogeneidad a la forma bacilar. En función de la tendencia de las células hijas a permanecer unidas, los bacilos presentan también agrupaciones celulares características, citando como ejemplo las formas en empalizada (/////) o en V (<<<) o en letras chinas. Aunque son hasta cierto punto característicos, los agrupamientos de células bacilares no tienen la misma importancia morfológica que el agrupamiento de cocos.

Espirilos:

El tercer tipo morfológico es la forma espirilar, que puede considerarse como un bacilo que se ha torcido adoptando la forma de hélice. Aunque la curvatura se observa ocasionalmente en muchas formas bacilares, en el género *Vibrio* es suficientemente constante como para tener importancia diferencial. Los vibrios pueden presentar una forma espirilar si las células permanecen unidas por sus extremos.

Las verdaderas bacterias espirilares pueden ser de dos tipos: con espira rígida o con espira flexible. Al conjunto de las formas espirilares flexibles se le conoce como espiroquetas. La clasificación y diferenciación de las espiroquetas patógenas se basa en criterios morfológicos tales como la longitud de vuelta, el ángulo en los extremos de la célula, la presencia de una envuelta externa y la composición del filamento axial.

II.C. Características de las colonias bacterianas.

Cuando las bacterias crecen en la superficie de un medio de cultivo sólido, las células en división permanecen aproximadamente fijas en su posición y forman masas de muchos millones de células visibles a simple vista. Las colonias así formadas varían desde un tamaño diminuto, apenas visible, hasta masas de varios milímetros de diámetro.

Su tamaño, forma, textura, olor y en algunos casos color son, a veces, muy orientativos para la identificación de las bacterias que la componen. Aunque estas características dependen a menudo de la naturaleza del medio de cultivo y de las condiciones de incubación, cuando éstas se controlan cuidadosamente, son muy constantes y, en muchas ocasiones, tienen un valor diferencial considerable.

La morfología de las colonias es una de las características básicas de las bacterias y es indispensable su estudio para comenzar correctamente una identificación preliminar. Las características morfológicas más importantes de una colonia bacteriana aislada sobre un medio de cultivo sólido son:

Tamaño:

El tamaño de las colonias bacterianas es, en condiciones de cultivo favorables, bastante uniforme para cada especie o tipo. La visualización del tamaño se suele hacer a simple vista, aunque a veces es preferible utilizar lupas o estereoscopios para poder discernir con mayor claridad las características morfológicas a observar. Las colonias de estreptococos, por ej., son relativamente pequeñas (menos de 1 mm de diámetro), mientras que las de estafilococos o las de algunos bacilos pueden alcanzar hasta 1 cm de diámetro. Es importante destacar que las características de una colonia deben estudiarse siempre sobre el mismo tipo de medio de cultivo, para evitar las diferencias surgidas por la diferente composición de los mismos.

El tamaño de las colonias bacterianas podemos expresarlo en las siguientes categorías:

- Pequeñas o puntiformes: 1 mm de diámetro o menor
- Medianas: hasta 4 mm de diámetro
- Grandes: mayores de 4 mm de diámetro

El tamaño de las colonias debe ser considerado y medido en la parte final de la zona de aislamiento, que es donde presentan su máximo tamaño. No deben valorarse más que colonias bien aisladas.

Morfología:

La morfología de una colonia viene dada por su borde y forma de elevarse sobre el medio de cultivo.

El borde puede ser liso (redondeado u ovalado) o irregular (aserrado, lobulado o espiculado).

Si pudiésemos hacer un corte en un plano perpendicular a la base de la colonia podríamos encontrar las siguientes posibilidades:

- semiesférica o convexa
- plana o en disco
- acuminada
- cerebroide
- plana con bordes elevados (en cráter).
- plana con centro elevado (en huevo frito)

Superficie:

La superficie de la colonia, examinada mediante luz reflejada, puede mostrar un aspecto liso y brillante a la luz o, por el contrario, una textura irregular, rugosa y mate, sin brillo. Puede mostrar un aspecto filamentosos o cerebroide.

La utilización de una lupa estereoscópica permite la observación de esta característica mediante la detección del reflejo del filamento de la lámpara en la superficie de la colonia.

Consistencia:

Las colonias bacterianas pueden tener una consistencia variable, desde seca y frágil a grasienta y cremosa o viscosa y pegajosa. Esta característica sólo se aprecia cuando tocamos las colonias con el asa de siembra.

Podremos observar colonias "duras" que se deslizan fácilmente por la superficie del medio, siendo difícil manipularlas con el asa. A menudo estas colonias se fragmentan al intentar cogerlas.

Otras colonias tienen apariencia cremosa, con superficie brillante generalmente y fáciles de manipular con el asa. La mayoría de las colonias tienen consistencia mantecosa, siendo muy fácil obtener pequeñas porciones de la misma, que quedan bien adheridas al asa de siembra.

En algunas ocasiones las colonias son extremadamente viscosas y tienden a formar filamentos mucosos cuando intentamos retirarlas con el asa.

Pigmentación:

Es característico sólo de unas pocas especies bacterianas. La pigmentación sólo se observa en colonias, y nunca en células individuales. Dentro de las bacterias patógenas, una de las formas pigmentadas más importantes es *Staphylococcus aureus*, cuyas colonias son normalmente de color amarillo dorado. En ocasiones, el pigmento difunde al medio, dando a éste una tonalidad característica en algunas especies. *Pseudomonas*, por ejemplo, produce un pigmento verdoso que puede ser fácilmente reconocido en medios incoloros como el Mueller-Hinton.

Hay que tener especial precaución para no atribuir una falsa pigmentación a colonias que se han desarrollado en medios con determinadas sustancias nutritivas (azúcares) e indicadores de cambio de pH. Por ejemplo, los gérmenes que utilizan la lactosa para su metabolismo darán colonias de color amarillo en un medio que contenga este azúcar y un indicador de pH adecuado.

Hemólisis:

Algunas bacterias, fundamentalmente los cocos, pueden ser capaces de hemolizar los hematies de un medio nutritivo sólido como el agar sangre. Esto es debido a la liberación de unas sustancias denominadas hemolisinas. La hemólisis de los hematies adyacentes a la colonia puede ser intensa o ligera y se observa como un halo verdoso más o menos claro alrededor de la colonia. La hemólisis intensa se denomina beta hemólisis; la hemólisis parcial se conoce como alfa hemólisis y la ausencia de ésta se define como gamma hemólisis. La producción de hemólisis en una placa de agar sangre es una de las características que ayudan a diferenciar los diferentes tipos de estreptococos.

Olor:

Ciertos tipos de bacterias descomponen los sustratos que utilizan para su metabolismo desprendiendo sustancias volátiles que proporcionan un olor característico a los cultivos puros de dichas bacterias. Como intentar definir un olor es tan difícil como subjetivo, sólo os diré que será únicamente la práctica diaria la que os permita un reconocimiento adecuado de esta característica.

Puesto que estas características aparecen en grados y combinaciones variables de unas bacterias a otras, el aspecto de las colonias es a menudo bastante característico, permitiendo distinguir distintas clases de bacterias en cultivos mixtos o contaminados. La diferenciación en base a un criterio morfológico de las colonias es sólo orientativa, y para poder identificar una bacteria se necesita un estudio detallado de sus características fisiológicas e inmunológicas.

En este video de youtube podéis encontrar algunas características de las colonias bacterianas:

http://www.youtube.com/watch?v=PYFT3QT_y7Q

Bibliografía recomendada

Brock. Biología de microorganismos.
Microbiología médica.

Madigan.
Murray.

10ª Ed.
1ª Ed 2007.

Pearson Prentice Hall
Elsevier

Capítulo 4.
Capítulo 3