

Curso Microbiología General  
Semestre Otoño 2011

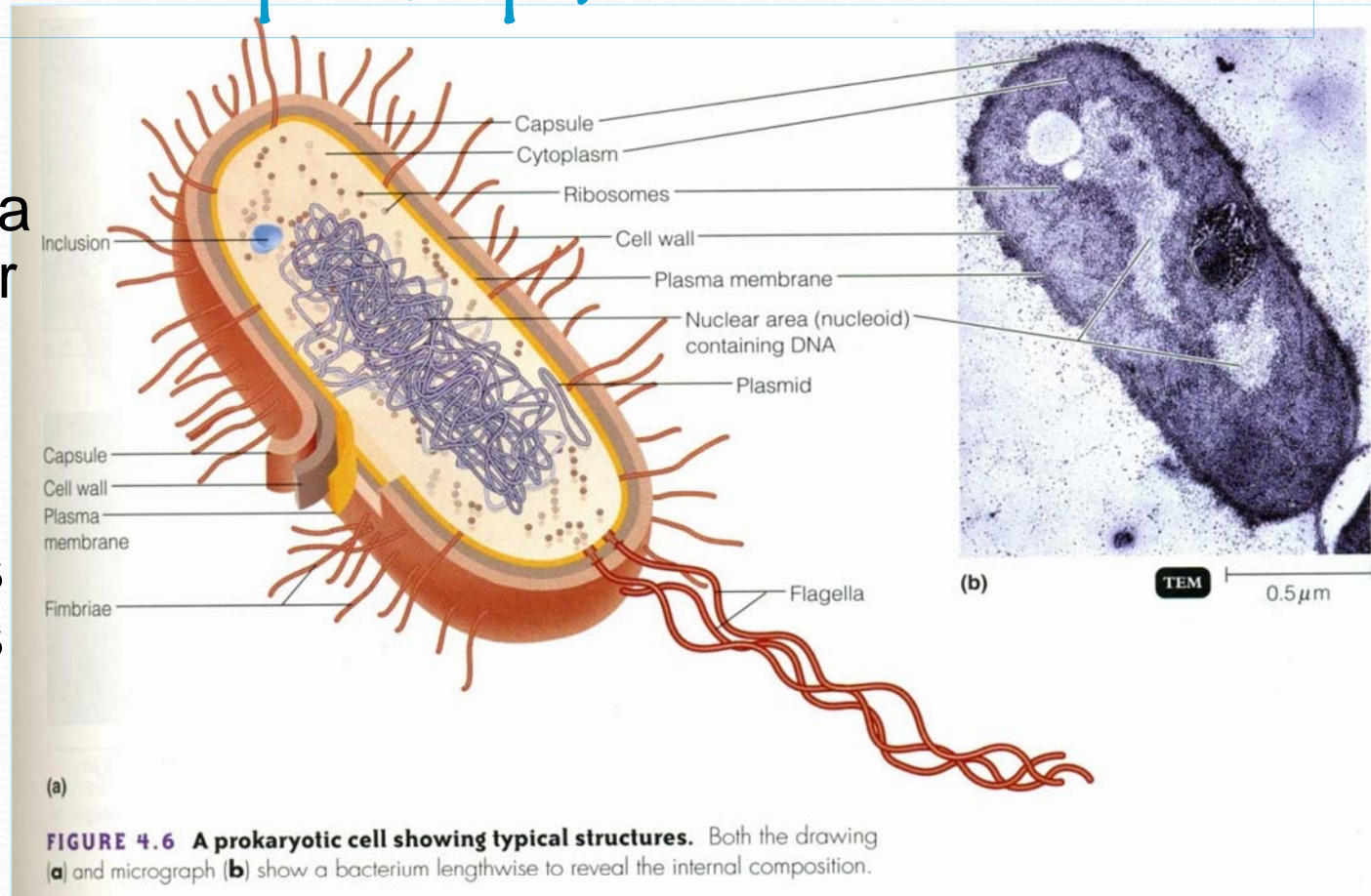
# Morfología Bacteriana II

Prof. Marta Gajardo R.

Marzo 15

# La célula bacteriana y sus estructuras principales

Envoltura  
Membrana  
citoplasmática  
Pared celular  
Citoplasma  
DNA  
Plasmidos  
Ribosomas  
Inclusiones  
Cápsula/  
Slime layer  
Flagelos  
Pili  
Esporas

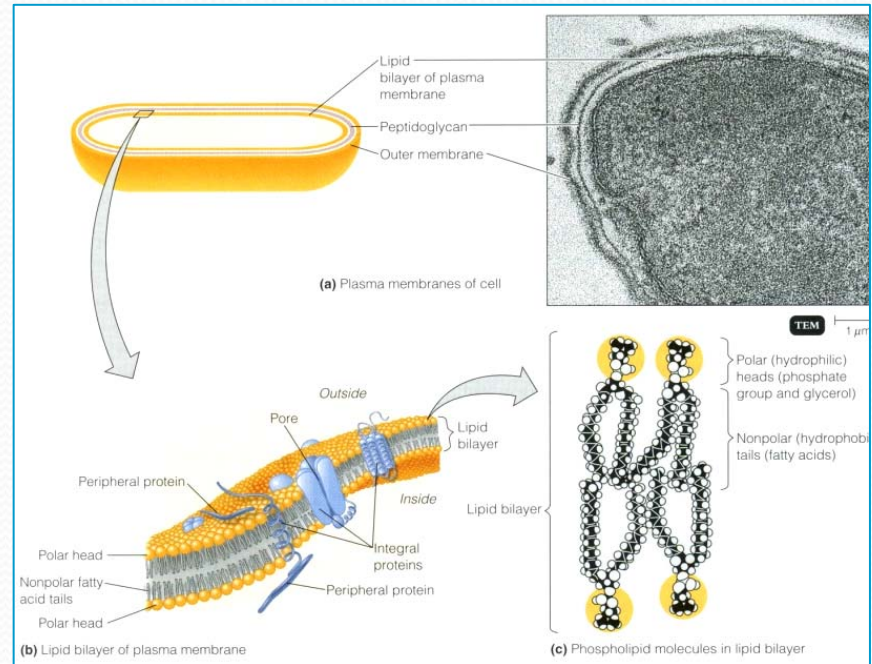
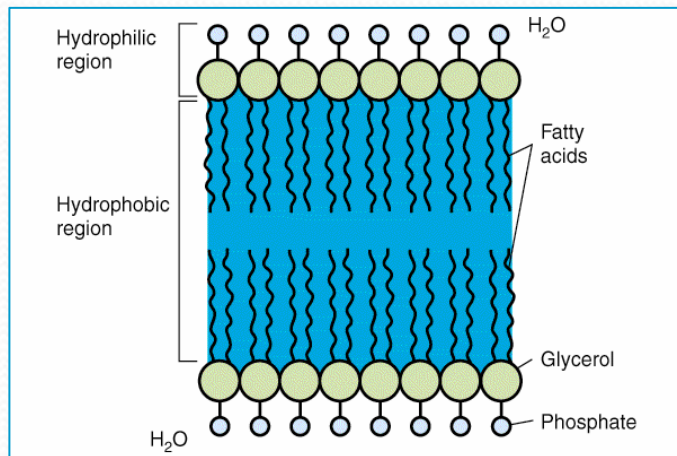


Microbiology. An introduction. 9th Ed. Benjamin Cummings. 2007



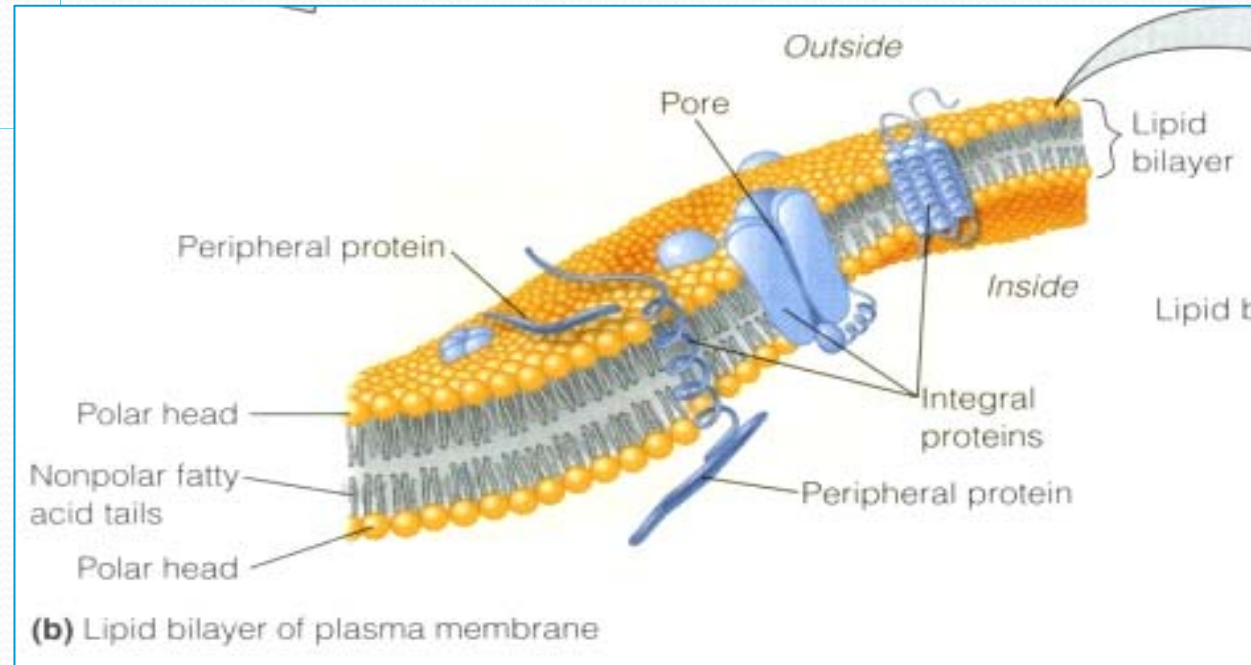
# Membrana Plasmática

- Bicapa de fosfolípidos



- 75 Å de espesor ( $1\text{Å} = 10^{-10}\text{ m}$ )
- fosfolípidos, proteínas y CHOs
- En general carecen de esteroides: < rigidez, >flexibilidad

# Proteínas de membrana



## Integrales:

- Glicoproteínas, formadoras de poros, rol protector

## Periféricas:

- Pueden ser enzimas, proteínas de soporte, participantes en el sistema de locomoción, otras.

Ambas contribuyen a la asimetría: hace que muchos de los procesos que tienen lugar en la membrana sean vectoriales.



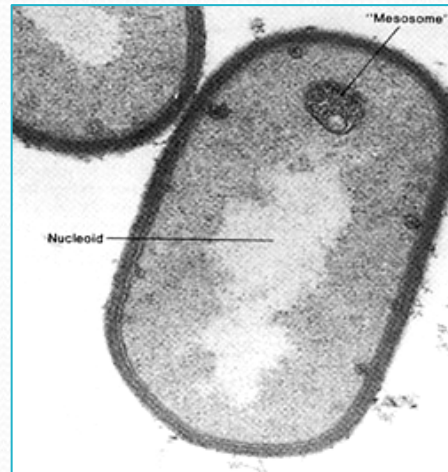
# Funciones

- Servir como barrera física, semipermeable.
- 
- Posee sistemas de transporte que permiten el paso selectivo de sustancias entre el exterior y el interior.
- Contiene enzimas que catalizan la degradación de nutrientes y producción de ATP: participa en procesos bioenergéticos (fotosíntesis, respiración).
- Participa en la biosíntesis de componentes de membrana, de pared celular y de cápsula.

\* \* \*

# Mesosomas

- Son pliegues irregulares de la membrana plasmática que se observan al microscopio electrónico principalmente en bacterias Gram +.
- Su función precisa no es muy conocida. Se cree que están involucrados en la separación de cromosomas durante la división celular.





# Citoplasma Bacteriano

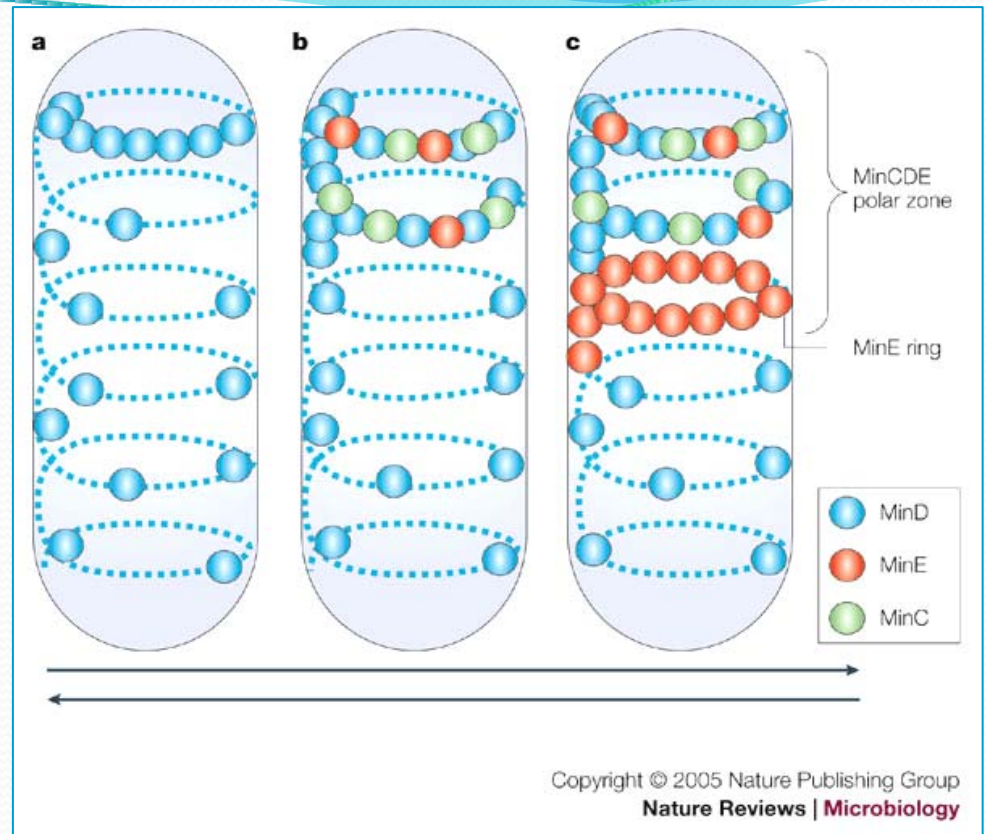
- Es un sistema coloidal que contiene un 80 % de agua
- Contenido dentro de la membrana citoplasmática y comprende las siguientes estructuras:
  - Cromosoma bacteriano: DNA
  - Plásmidos
  - Ribosomas
  - Proteínas, principalmente enzimas
  - Inclusiones
  - Vesículas de gas

# Funciones en el citoplasma bacteriano

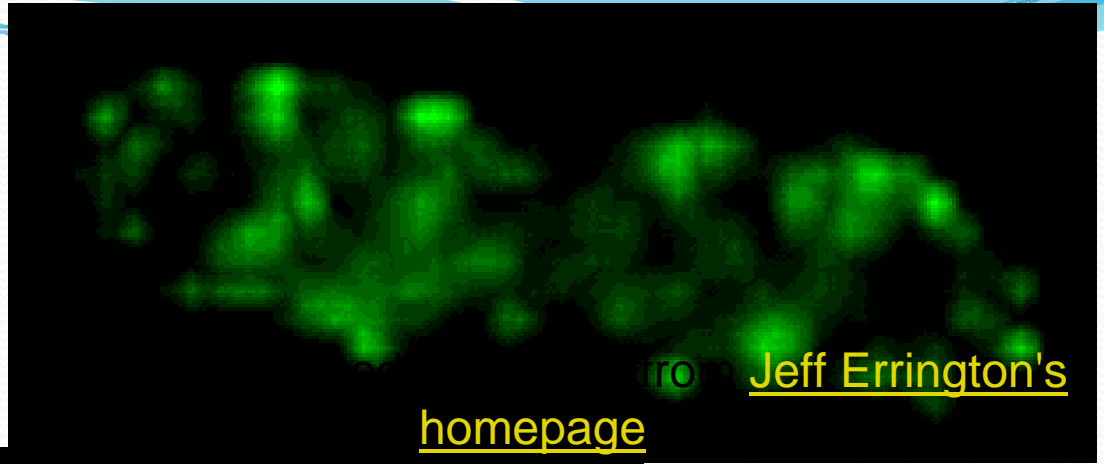
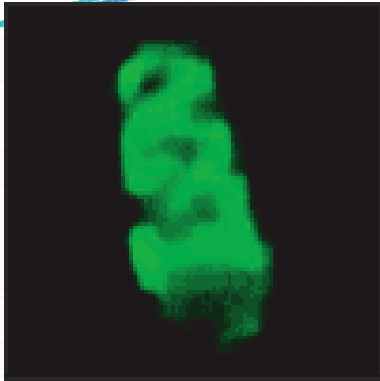
- **zona central**: localización del nucleoide y proceso de transcripción
- **zona periférica**: rica en ribosomas, en la que ocurre la síntesis de proteínas o traducción



# "Citoesqueleto" Bacteriano



- No posee un citoesqueleto verdadero pero una proteína homóloga a la actina polimeriza formando amplias hélices que recorren la célula de polo a polo.

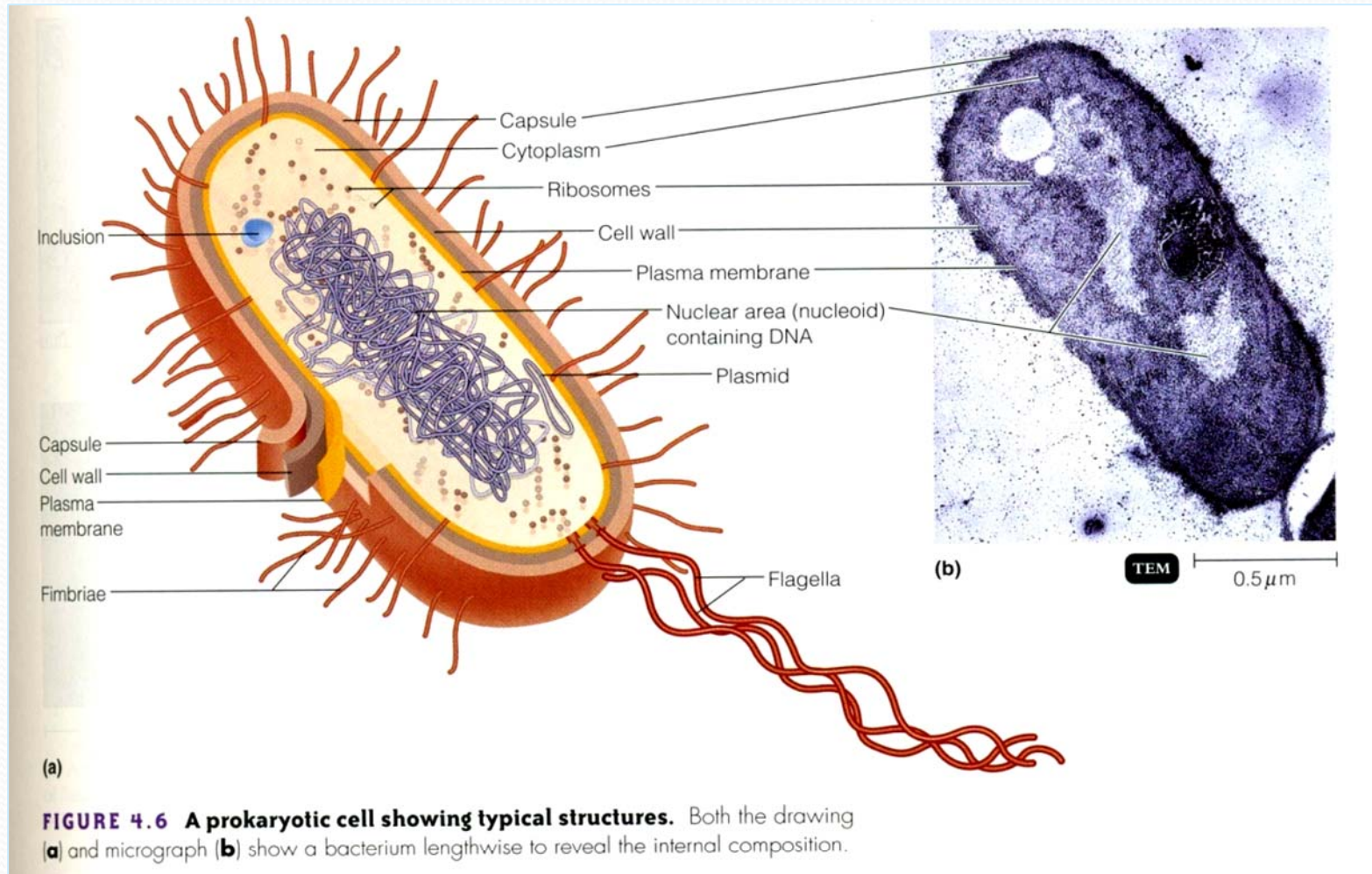


Cell 104, 913-922 (2001).

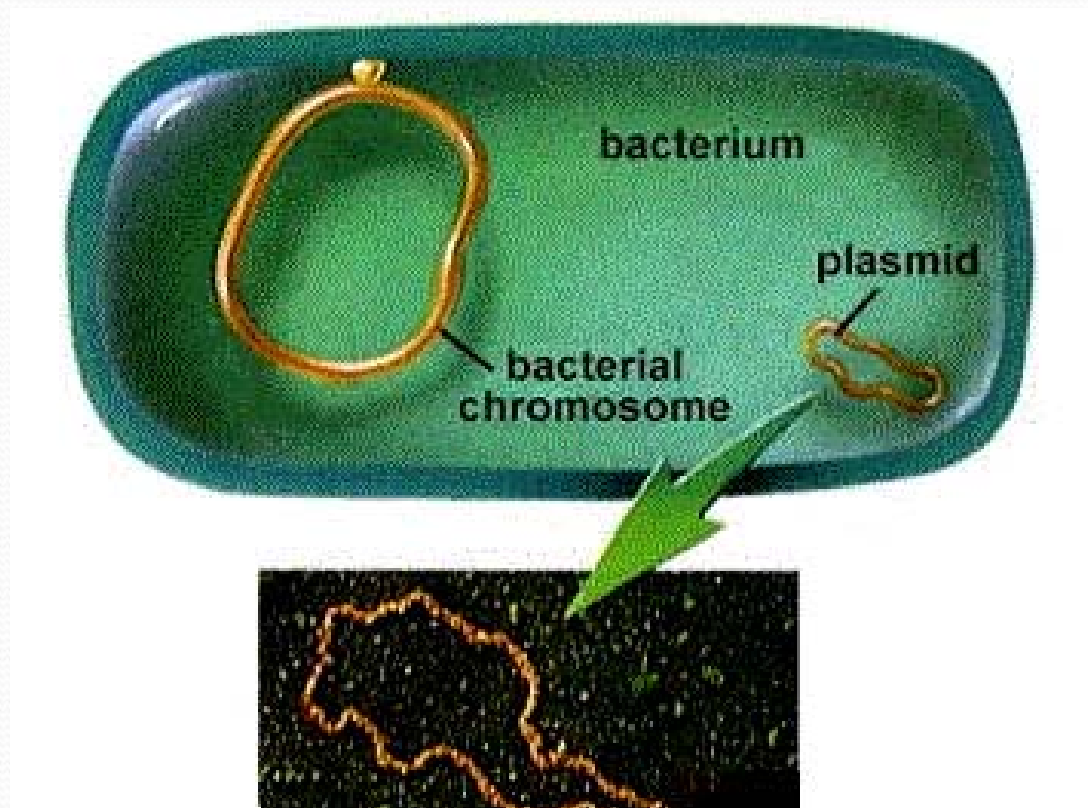


# Nucleoide

- Es la región más clara del citoplasma donde se ubica el genoma, ADN bacteriano.



- En bacterias el genoma está contenido en un único cromosoma principal, pero es frecuente encontrar plásmidos





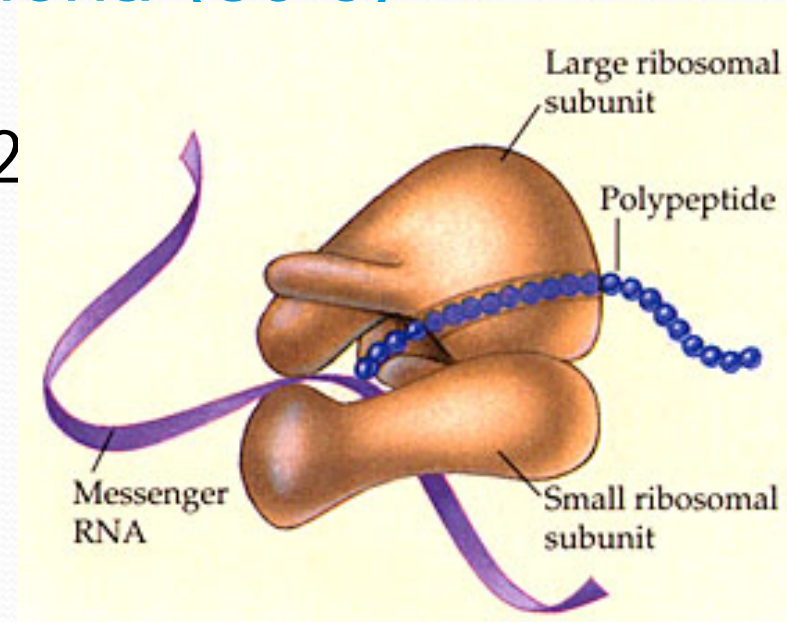
# Ribosomas

- Son estructuras macromoleculares similares a las de células eucarióticas pero de menor tamaño: 70 S vs 80 S
- Están formados por una subunidad pequeña (30 S) y otra mayor (50 S)



## Subunidad ribosomal pequeña (30 S)

- Un tipo de RNAr 16S
- 21 tipos de proteínas: S1, S2



## Subunidad ribosomal grande (50 S)

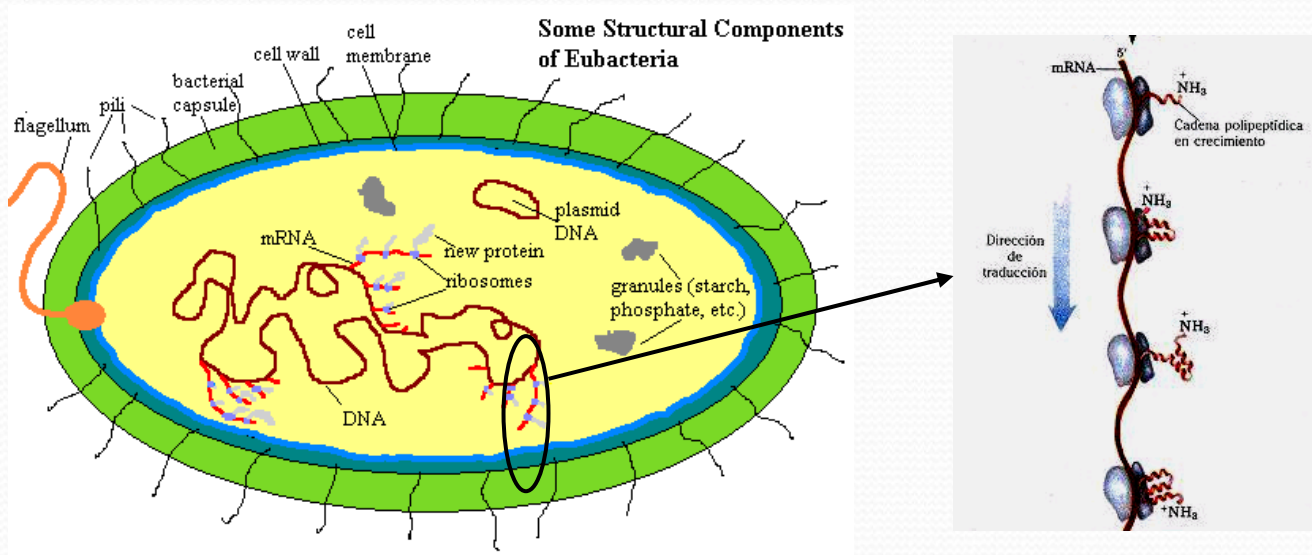
- Dos tipos de RNA: RNAr 23 S y RNAr 5 S
- 32 tipos de proteínas diferentes: L1 ... L32.



- Los ribosomas se encuentran dispersos en el protoplasma bacteriano aislados o asociados a cadenas de ARNm (**polirribosomas**)

- Su función en la síntesis de proteínas:

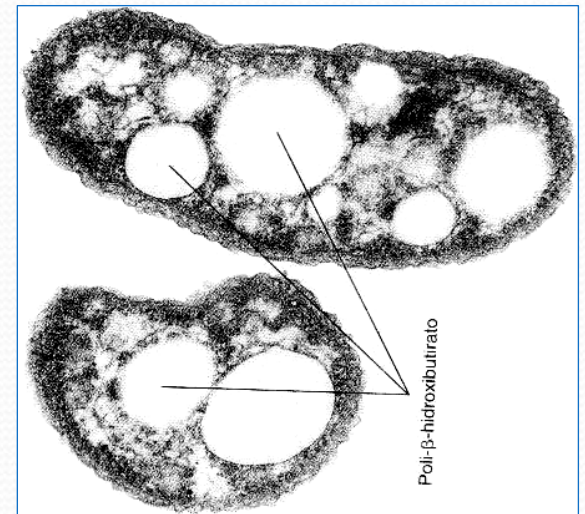
## Traducción



# Inclusiones

- En el protoplasma bacteriano hay una variedad de granulaciones que, generalmente, son depósitos de sustancias de reserva
- Constituyen reservas de fuentes de C o N, P o S

Pueden servir para identificar bacterias



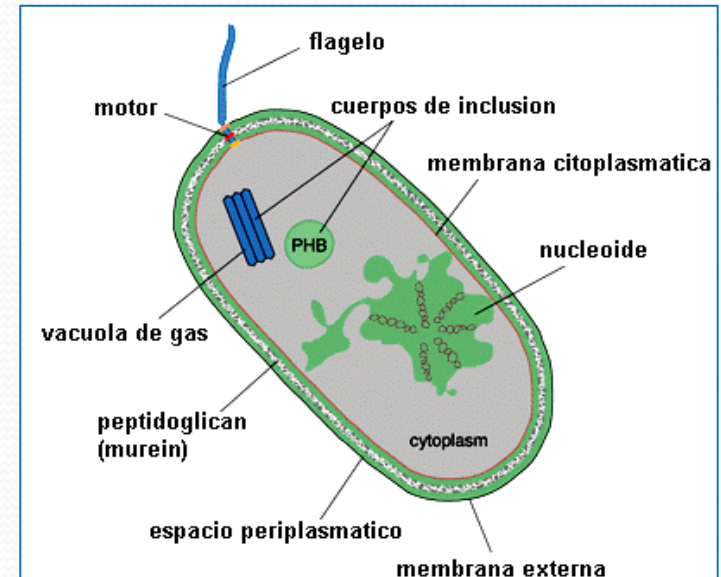


# Algunos ejemplos de gránulos de inclusión

- Metacromáticos o volutinas : reservas de fosfato inorgánico para síntesis de ATP.
- De polisacáridos: reservas de glicógeno y almidón.
  - Inclusiones Lipídicas: ácido poli-beta-hidroxibutírico (PHB)
- Gránulos de azufre: *Thiobacillus*, reserva de energía
- Carboxisomas: enzima ribulosa 1,5 difosfato carboxilasa, para fijación de CO<sub>2</sub>

# Vacuolas de gas

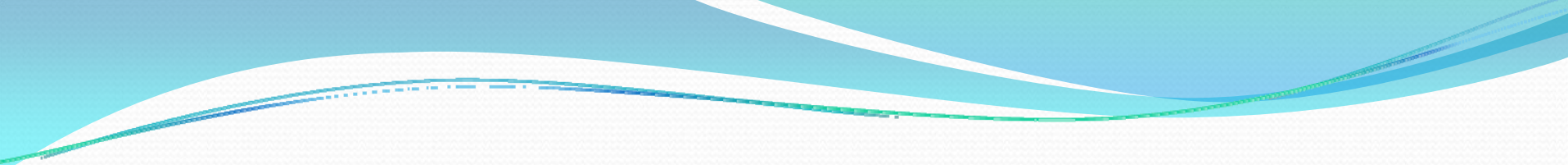
- Son acumulaciones de gas rodeadas de proteínas, que permiten a ciertas bacterias mantener su presión interna cuando viven en aguas más profundas.





# Pared Celular Bacteriana

- Es una estructura macromolecular compleja, semirígida, responsable de la forma de la célula
- Envuelve y protege la membrana plasmática y el interior de la célula de cambios ambientales adversos
  - Es única a bacterias
- Algunos antibióticos la afectan directamente: penicilina.

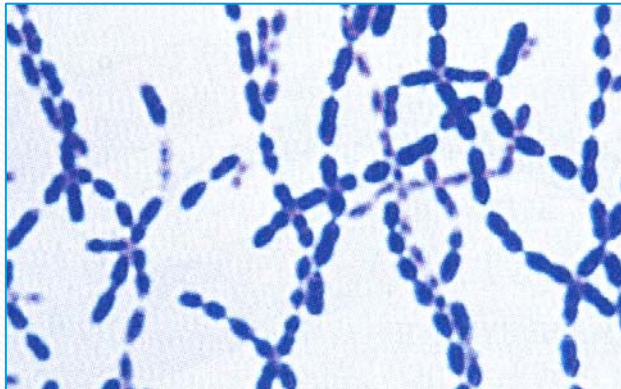
- 
- Su principal función es impedir la ruptura de la célula cuando la presión de agua al interior es mayor
  - Ayuda a mantener la forma y sirve como punto de anclaje para los flagelos
  - Importancia médica: contribuye a la patogenicidad bacteriana y es blanco de la acción de ciertos antibióticos



# Estructura de la Pared Celular

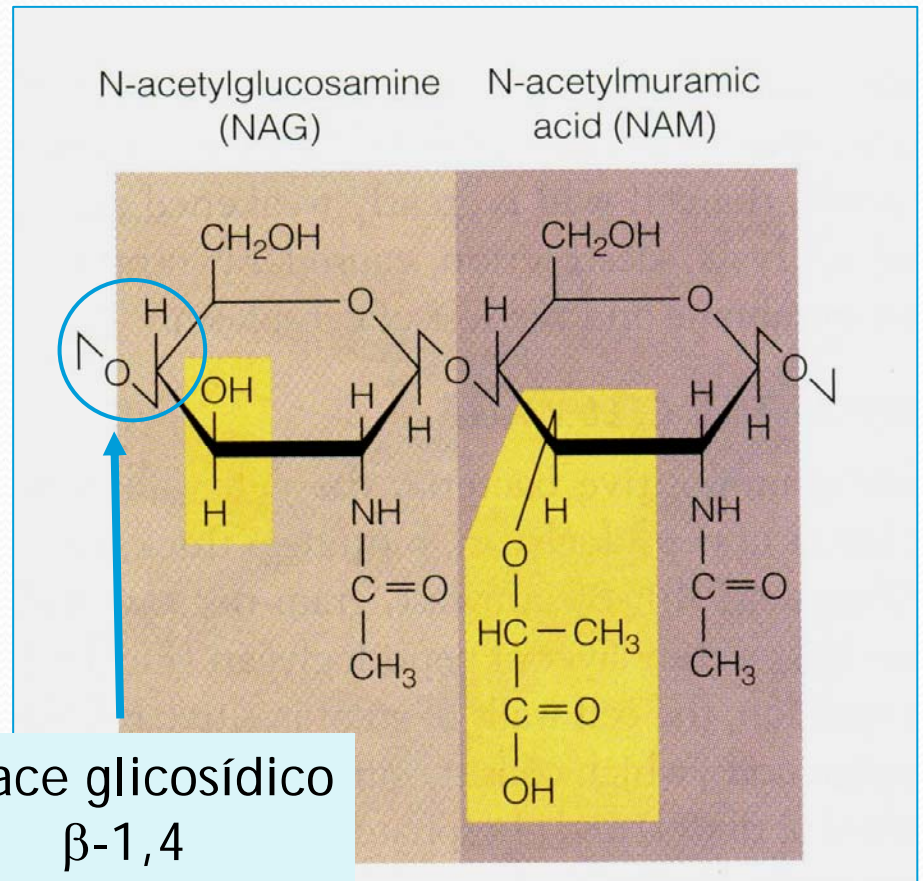
- La composición de la pared bacteriana permite diferenciar

Bacterias Gram positivo y Bacterias Gram negativo



- Esqueleto formado por una macromolécula: **peptidoglican (PG), mucopéptido o mureína**

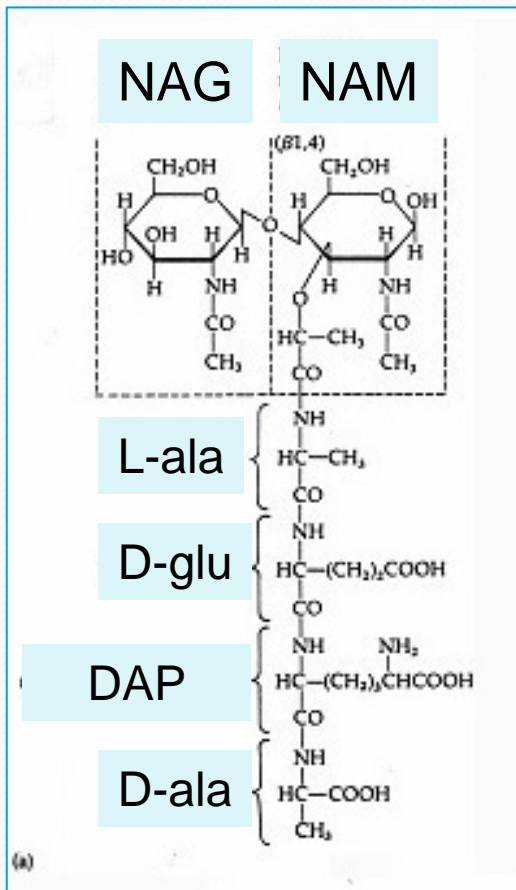
- El PG es un polímero del disacárido **NAG-NAM**, que forma cadenas entrelazadas por **oligopéptidos**



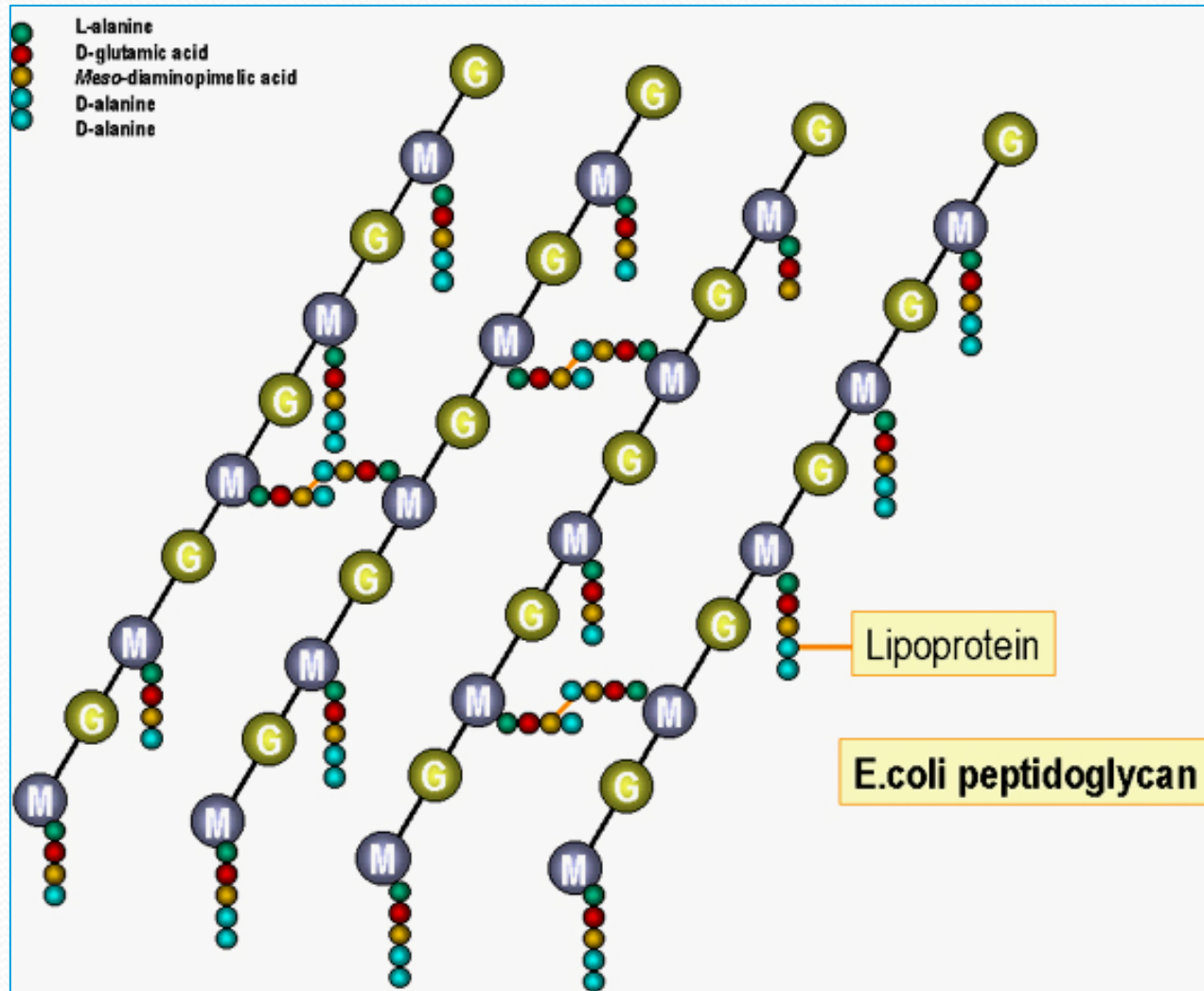


● Los oligopéptidos son:

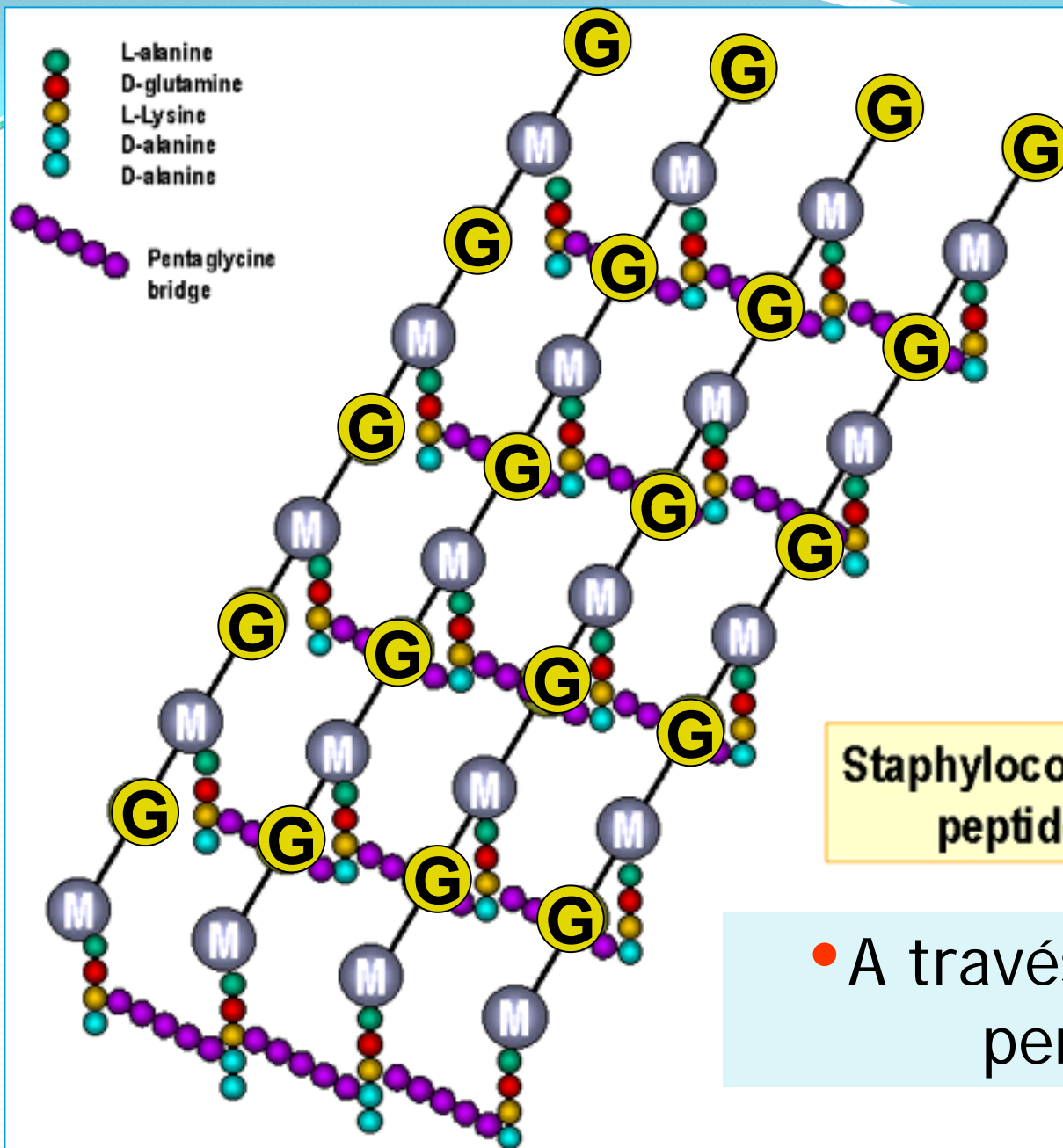
- Una cadena formada por 4 aa unidos a NAM (M): tetrapéptido.
- Puente de 5 glicinas



- Los tetrapéptidos de cadenas paralelas se pueden unir entre si directamente: Gram negativo



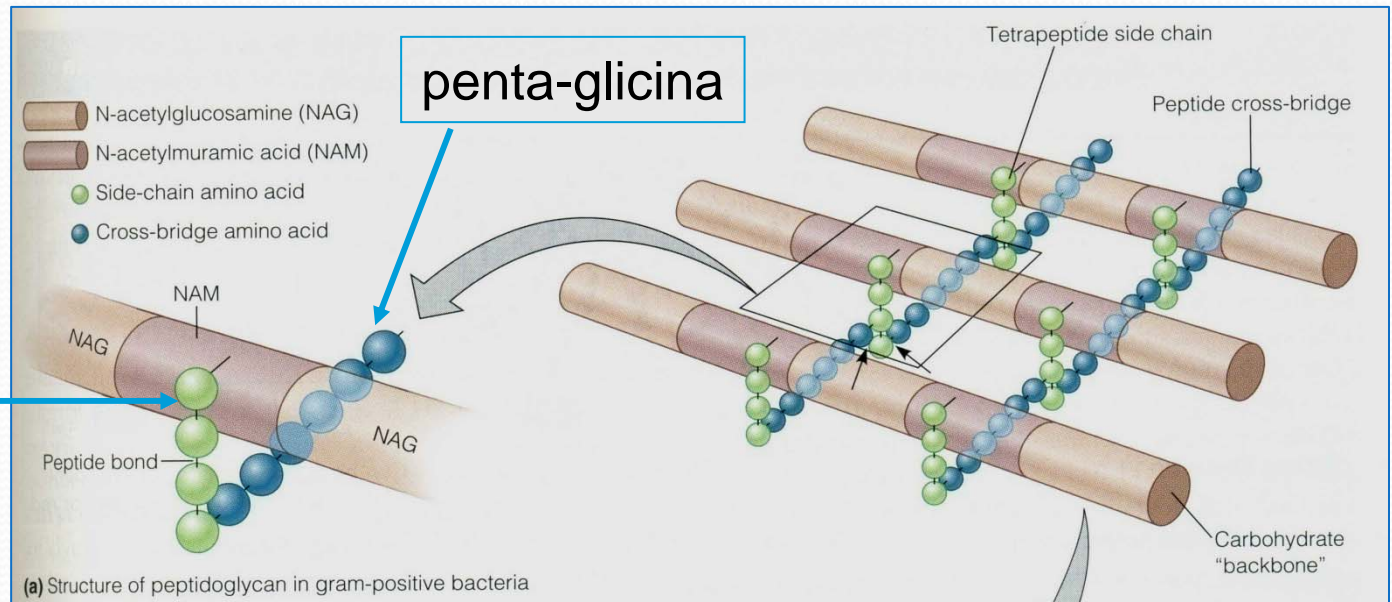




**Staphylococcus aureus  
peptidoglycan**

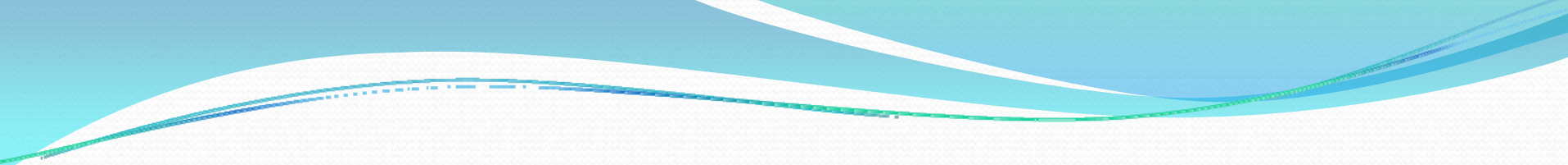
- A través de puentes de pentaglicina

- “Esqueleto” **NAM-NAG**: porción *glicán*



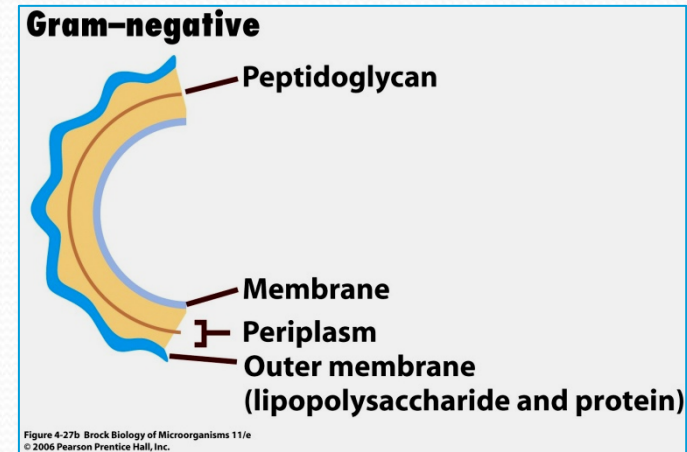
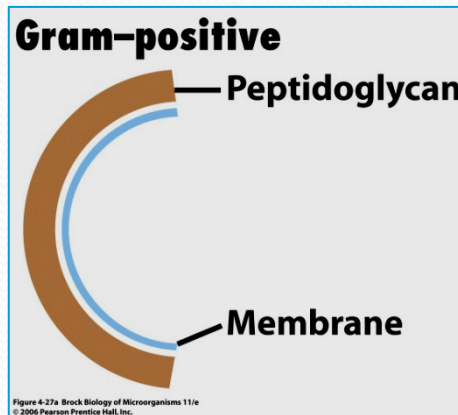
- Porción *peptídica*: **tetrapéptido y pentaglicina**



- 
- El espesor del PG oscila entre 10 y 80 nm según la especie (membrana plasmática aprox. 8 nm)  
y constituye aprox. el 10 al 25% del peso seco total de la célula bacteriana
  - La estructura completa de PG es una sola macromolécula, relativamente rígida, que envuelve completamente a la célula bacteriana y que tiene la forma y el volumen de ella

# Paredes bacterianas

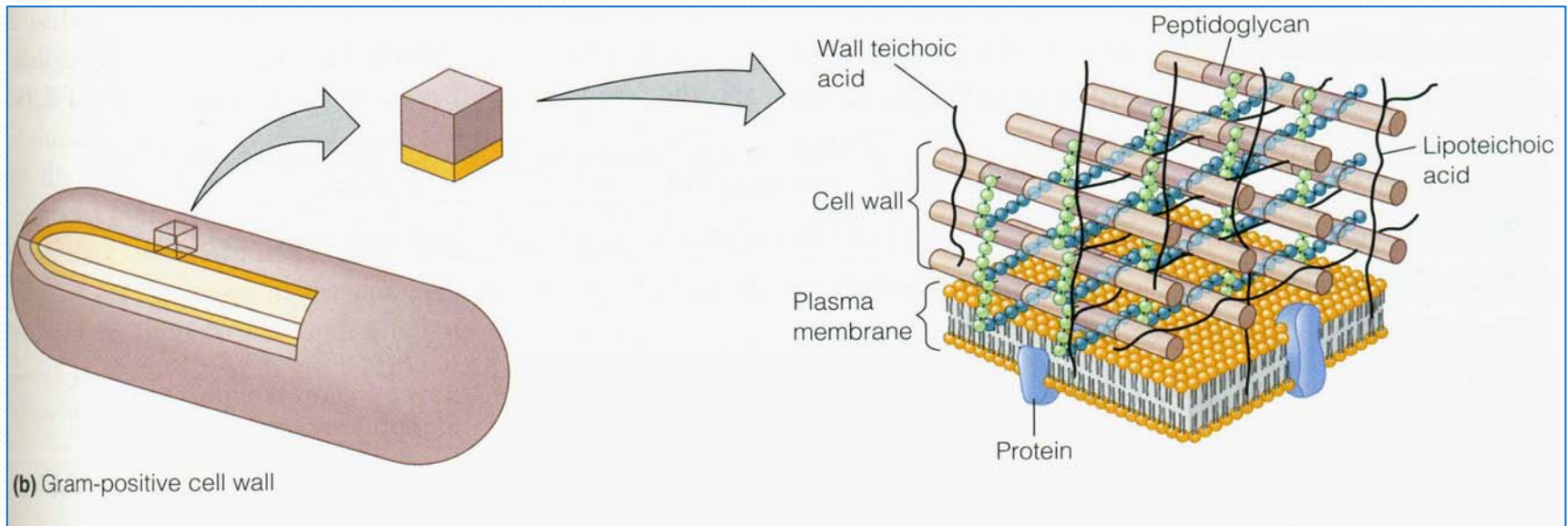
## Gram positivo y Gram negativo



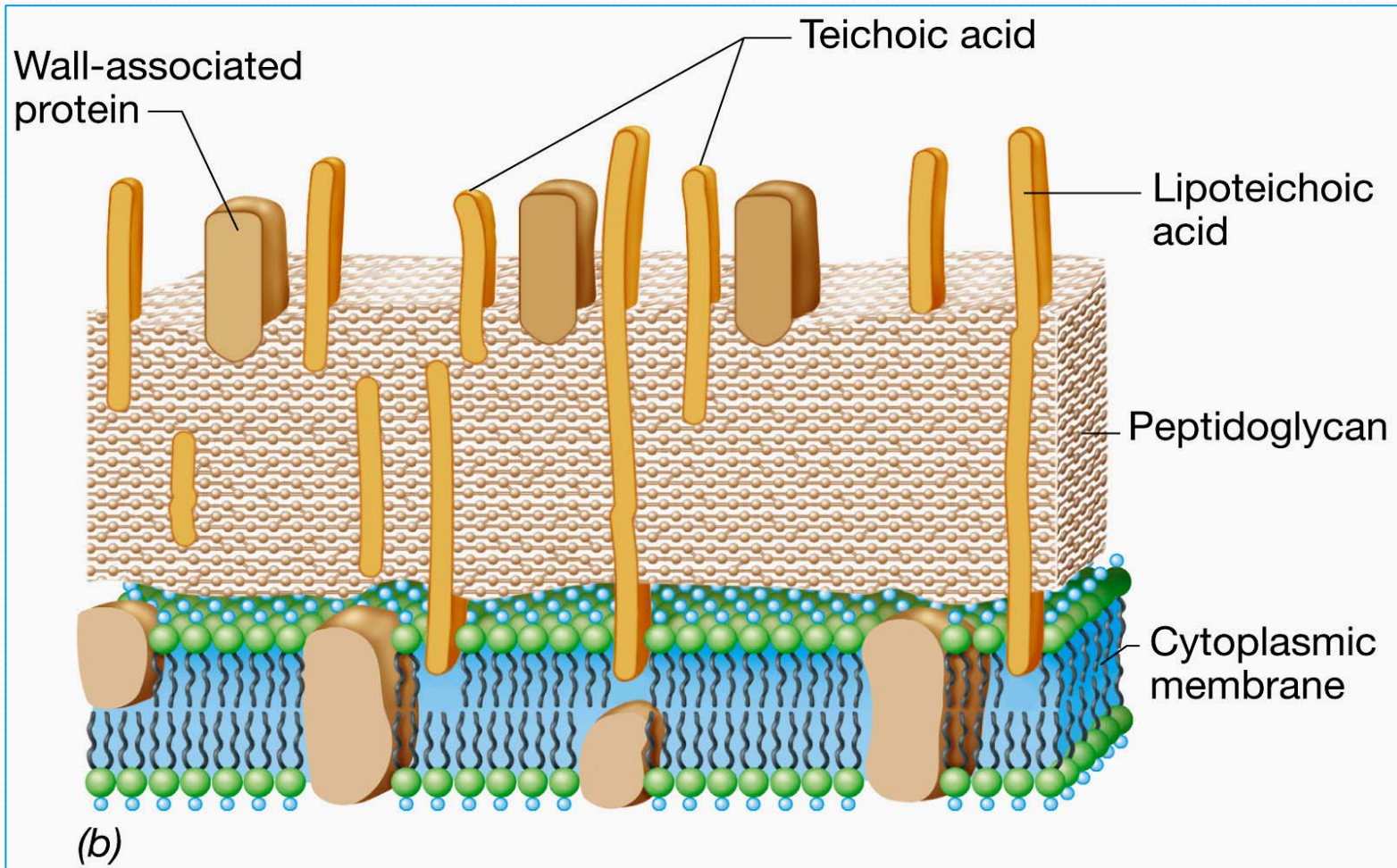
- Tienen en común el esqueleto de peptidoglicán (PG)
- En Gram<sup>+</sup>: varias capas superpuestas (hasta 50 capas en ciertos *Bacillus*)
- En Gram<sup>-</sup>: una sola capa (o muy pocas) inmersa en el espacio periplásmico



# Pared Celular Gram positivo



# Otros componentes de la pared celular Gram positivo





# Ácidos teicoicos

- Polímeros de hasta 30 unidades de glicerol-fosfato o ribitol-fosfato unidos por enlaces fosfodiéster
- Están unidos covalentemente al PG (OH en posición 6 del NAM)
  - Regulan el movimiento de cationes
- Regulan la actividad de las autolisinas (que permiten degradar y reconstruir la pared durante el crecimiento celular)
- Son reservorios de fósforo para la bacteria y antígenos
  - Son sitios de unión para fagos

# Ácidos Lipoteicoicos

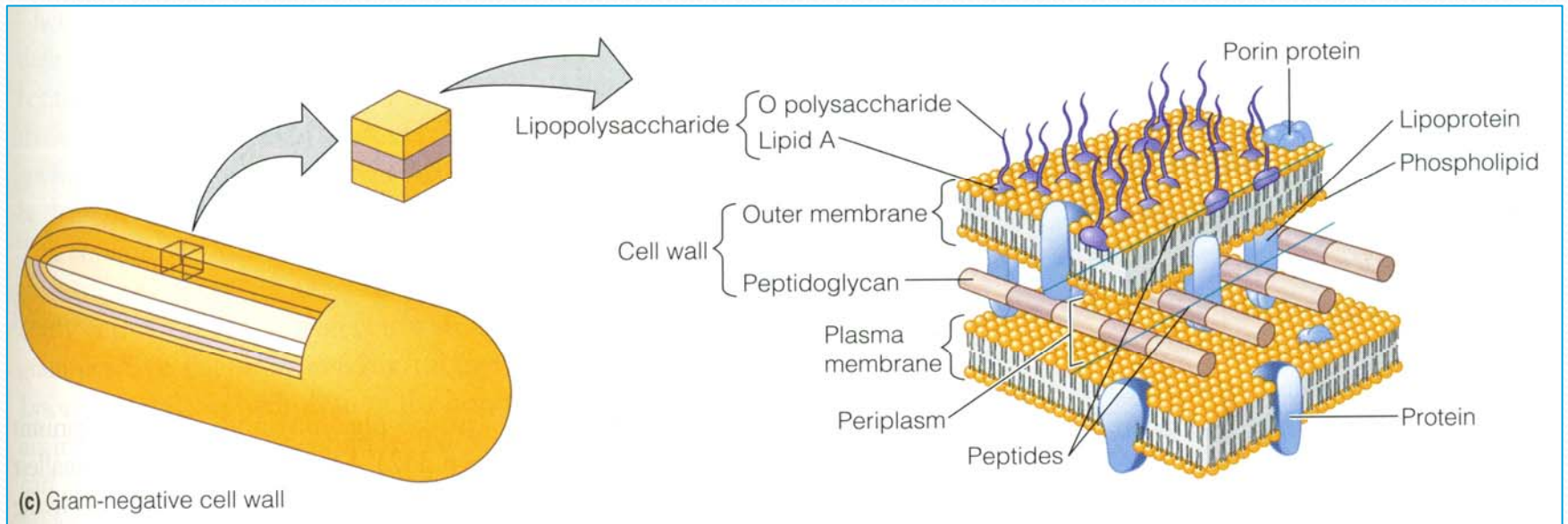
- Presentes en todas las bacterias Gram positivo
- Son ácidos glicerol-teicoicos unidos a glicolípidos de la membrana plasmática. El otro extremo queda expuesto al exterior



# Ácidos Teicurónicos

- Son polímeros aniónicos formados por la alternancia de ácidos urónicos y aminoazúcares (N-acetil galactosamina)
- Reemplazan a los ácidos teicoicos cuando hay limitación de fosfato

# Pared Celular Gram negativo

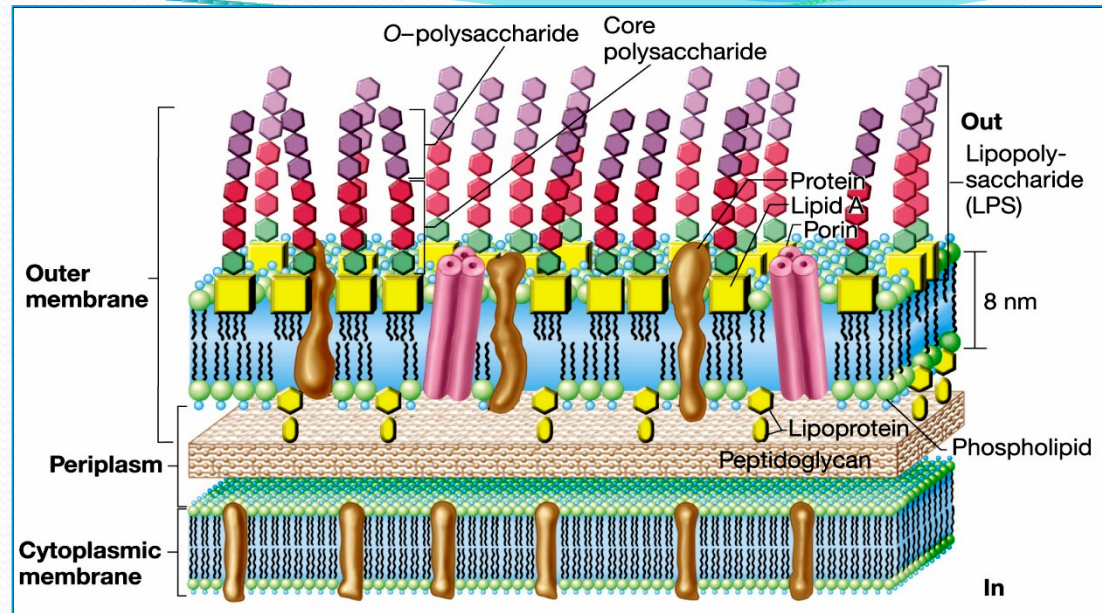




# Espacio periplásmico

- Compartimiento acuoso, denso, entre la membrana externa y la membrana plasmática, en donde está inmerso el PG
- Su volumen representa el 20 al 40 % del volumen celular total
- Contiene enzimas degradativas y proteínas de transporte

# Membrana externa



- Estructura de bicapa lipídica, exclusiva de Gram-
  - Capa externa: 60% de proteínas (**porinas**) y 40% de **LPS**
  - Capa interna: fosfolípidos (FL), lipoproteínas (LPP) de unión a PG, y otras proteínas. No tiene LPS



# Funciones de la membrana externa

1. Actúa como barrera : excluye agentes antibacterianos, colorantes, ácidos biliares, enzimas
2. Sólo permite paso de moléculas pequeñas:  
**porinas**
3. Posee fuerte carga eléctrica: evadir fagocitosis y lisis por C'
4. Capacidad de virulencia vía **LPS**

# Lipopolisacárido: LPS

- Macromolécula exclusiva de bacterias Gram-: papel estructural como componente esencial de la membrana externa
- Es termoestable, responsable de muchas de las propiedades de patogenicidad de estas bacterias: endotoxina que activa a macrófagos e induce respuesta inflamatoria fuerte.
- Hace que la membrana sea menos permeable a muchas moléculas hidrofóbicas: antibióticos



# Estructura del LPS

## Cadena lateral específica

Polisacárido que funciona como antígeno somático O de Gram-: útil para diferenciar especies (similar a los ácidos teicoicos en G+)

## Oligosacárido central (Core)

Núcleo externo: hexosas (glucosa, galactosa, NAG)

Núcleo interno: dos tipos de azúcares

- KDO: 2-ceto-3-desoxioctónico

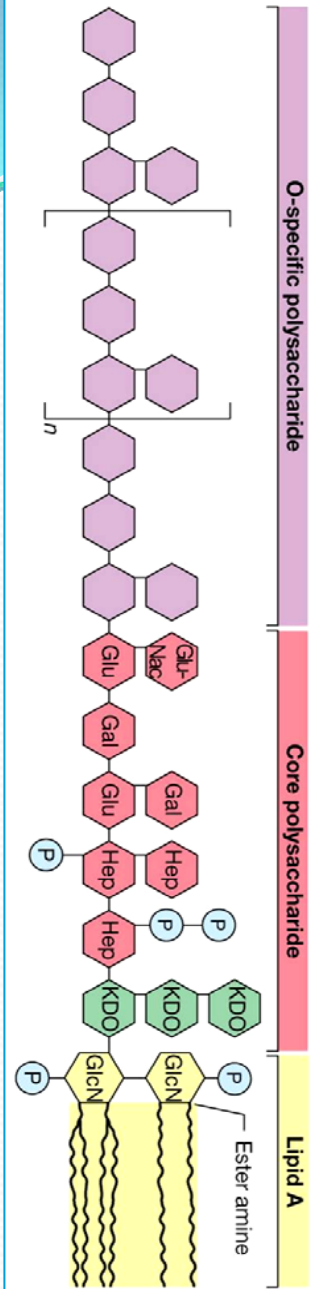
- Heptosa: L-glicero-D-manoheptosa

## Lípido A: Endotoxina de Gram-

Tóxica en la sangre y en el tracto GI.

Da menor fluidez y mayor resistencia.

Indispensable para la viabilidad.



## Daño a la pared celular: Protoplastos y Esferoplastos

- **Protoplastos**: células Gram+ sin pared celular por daño químico o enzimático (lisozima)
- **Esferoplastos**: células bacterianas que poseen restos de pared (Gram-)
- Ambos son susceptibles de lisis osmótica

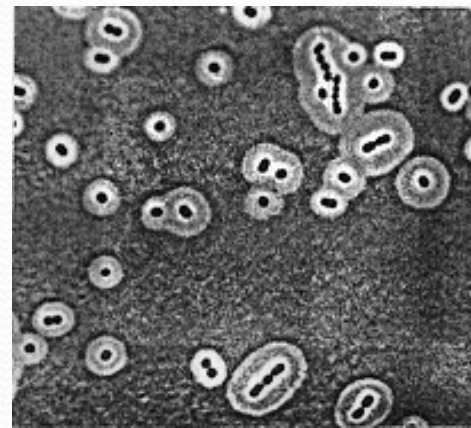
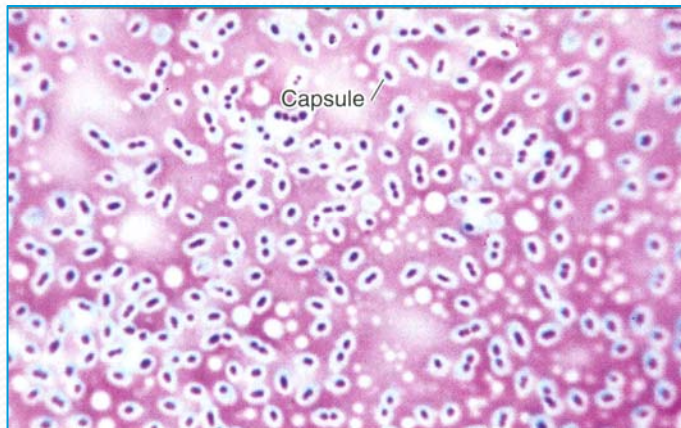


# Glicocálix bacteriano

- Es un polímero viscoso, gelatinoso, que rodea la célula.
- Glicocálix significa cubierta de azúcar, pero puede estar formado por polisacáridos, polipéptidos o ambos.
- Constituye el **antígeno capsular K**, contribuye a la virulencia bacteriana.
- Hay dos tipos: **Cápsula y Capa Mucoide**

# Cápsula

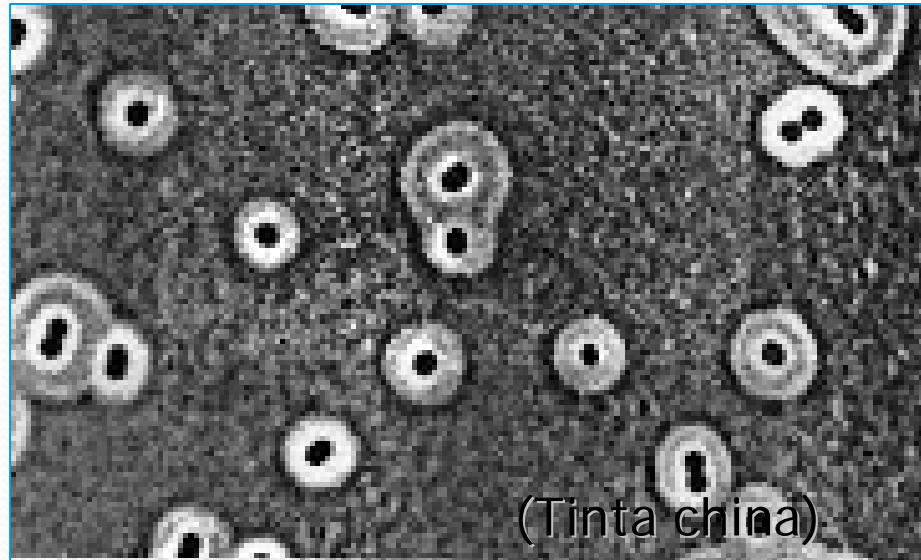
- Material mucoso o viscoso organizado y firmemente adherido a la superficie de la bacteria
- Es de tipo rígido, con suficiente consistencia estructural como para evitar la entrada de partículas como las de tinta china o nigrosina



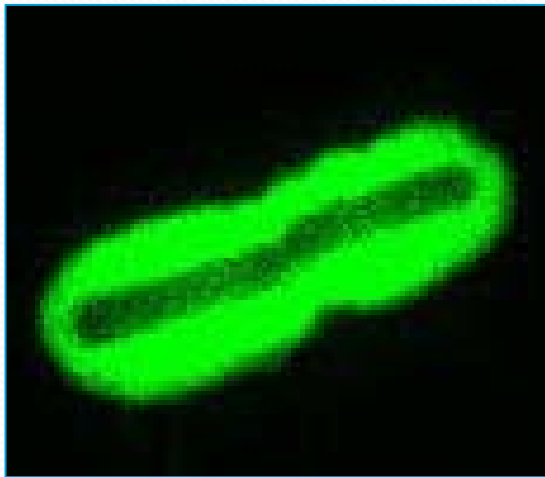
- Suele tener un límite exterior definido



La cápsula de *S. pneumoniae*, compuesta de polisacáridos, permite a la bacteria escapar de la fagocitosis: es el determinante de virulencia más importante del patógeno



La cápsula de *B. anthracis* está compuesta de ácido poly-D-glutámico. Es antifagocítica y protege a la bacteria de la lisis mediada por complemento en el suero o sangre

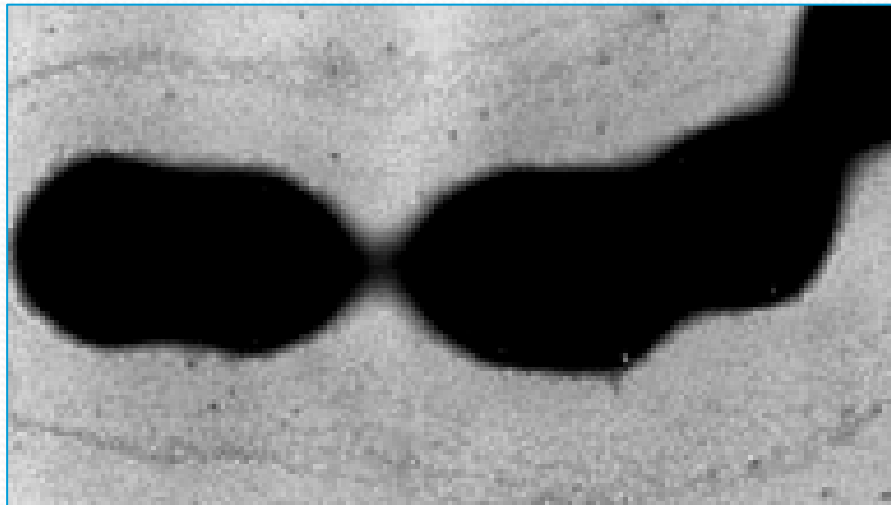


(Inmunofluorescencia)





- La cápsula de *S. pyogenes* está compuesta de ácido hialurónico, el mismo polímero encontrado en tejido conectivo humano. Es un "disfraz antigénico" que impide el reconocimiento de streptococci por fagocitos.



(ME transmisión)

# Capa Mucoide

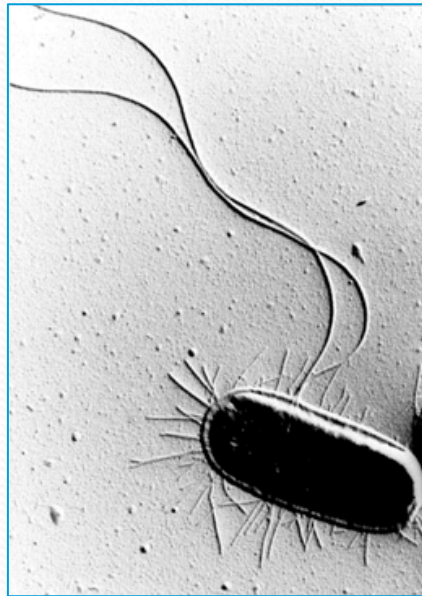
- Material viscoso asociado a la superficie celular sólo en determinadas condiciones
- Es desorganizado y se puede dispersar al medio exterior
- Es flexible, tiene poca consistencia, de modo que no excluye partículas
- Es deformable y carente de límites precisos



# Funciones del Glicocalix

- Adhesión a células hermanas, generando microcolonias y comunidades
- Adhesión a sustratos inertes o vivos: permite la colonización de tejidos de organismos superiores
  - Protege contra agentes antibacterianos
- Proporciona virulencia (impide fagocitosis)
  - Constituye una fuente nutricia

# Apéndices filamentosos: Flagelos y Fimbrias





# Flagelos

- Son largos apéndices filamentosos que permiten el desplazamiento en medios líquidos
- Se presentan en número y disposición variable
  - Están formados por fibrillas proteicas compuestas de una única proteína globular: **flagelina**

- El número y localización de los flagelos varía entre especies, y tiene interés taxonómico



Monótrico



Anfítrico

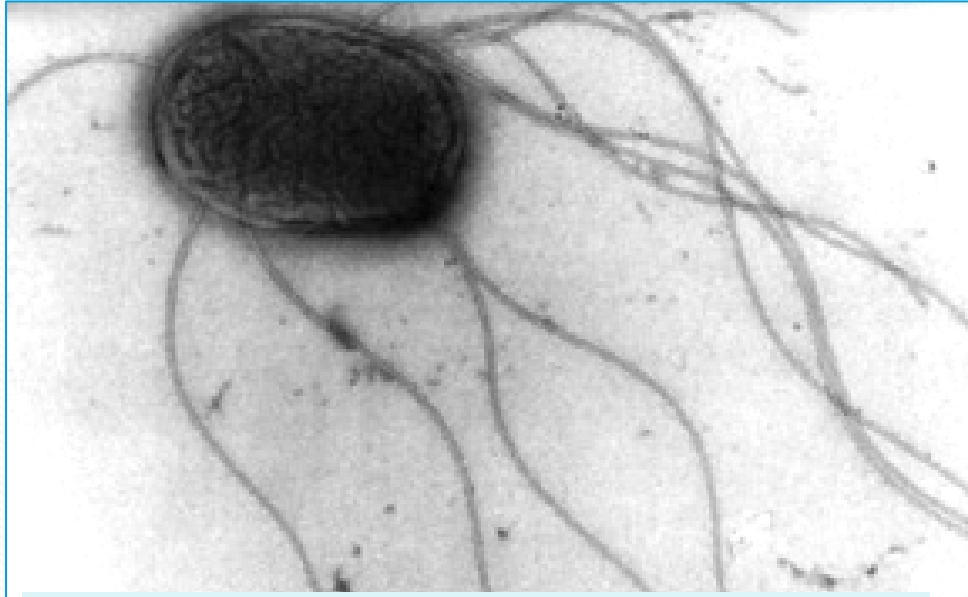


Lofótrico



Perítrico



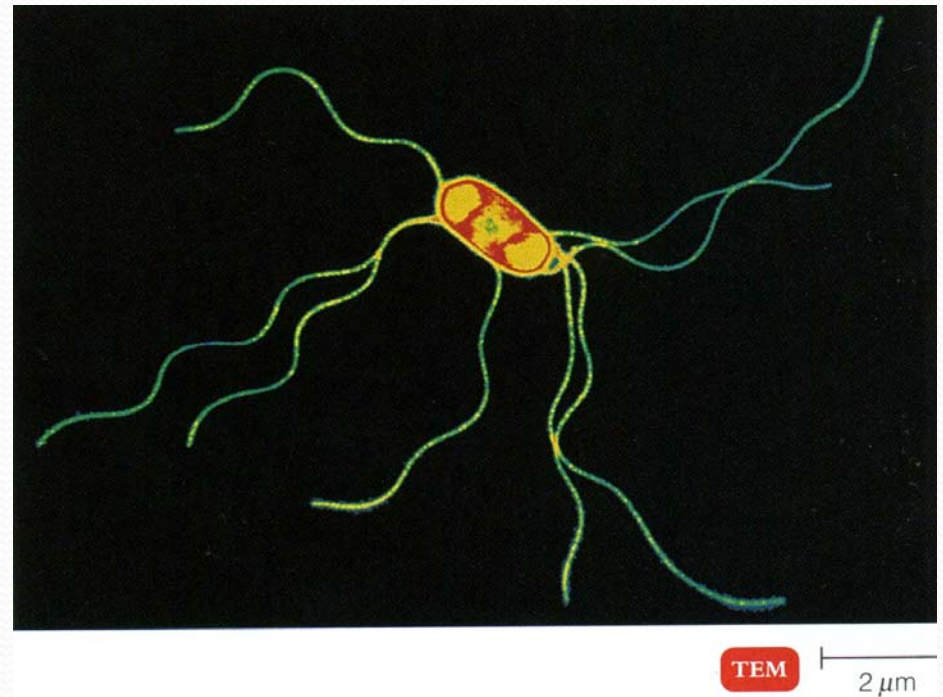
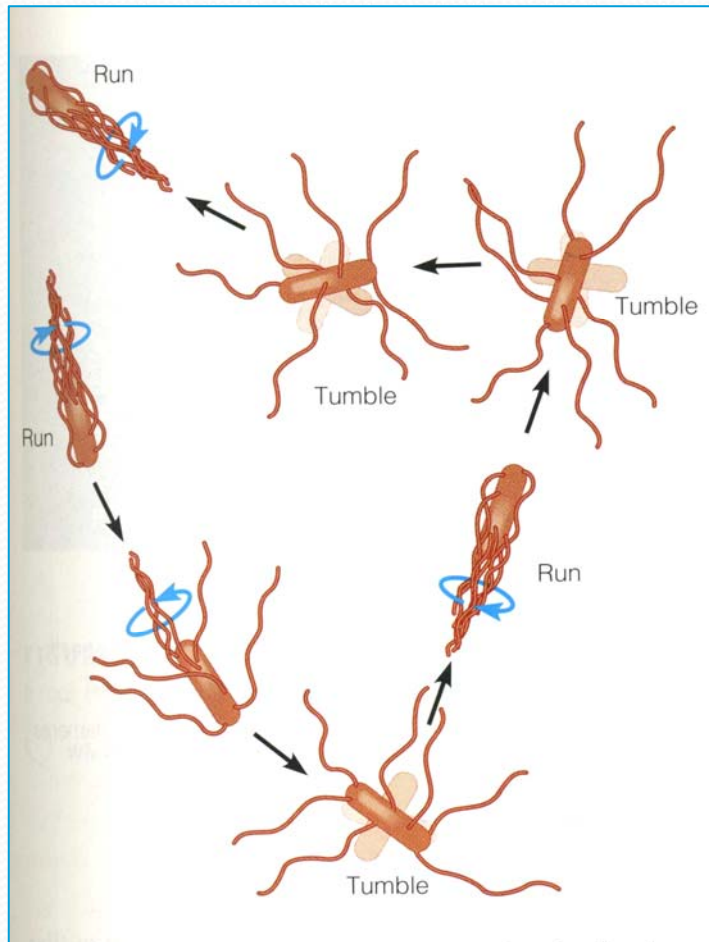


*Salmonella enteritidis*  
(TEM 10,000X)



*Vibrio cholerae*  
(TEM 10,000X)

- El movimiento del flagelo bacteriano es rotatorio propulsado por un motor reversible (dos sentidos de giro)

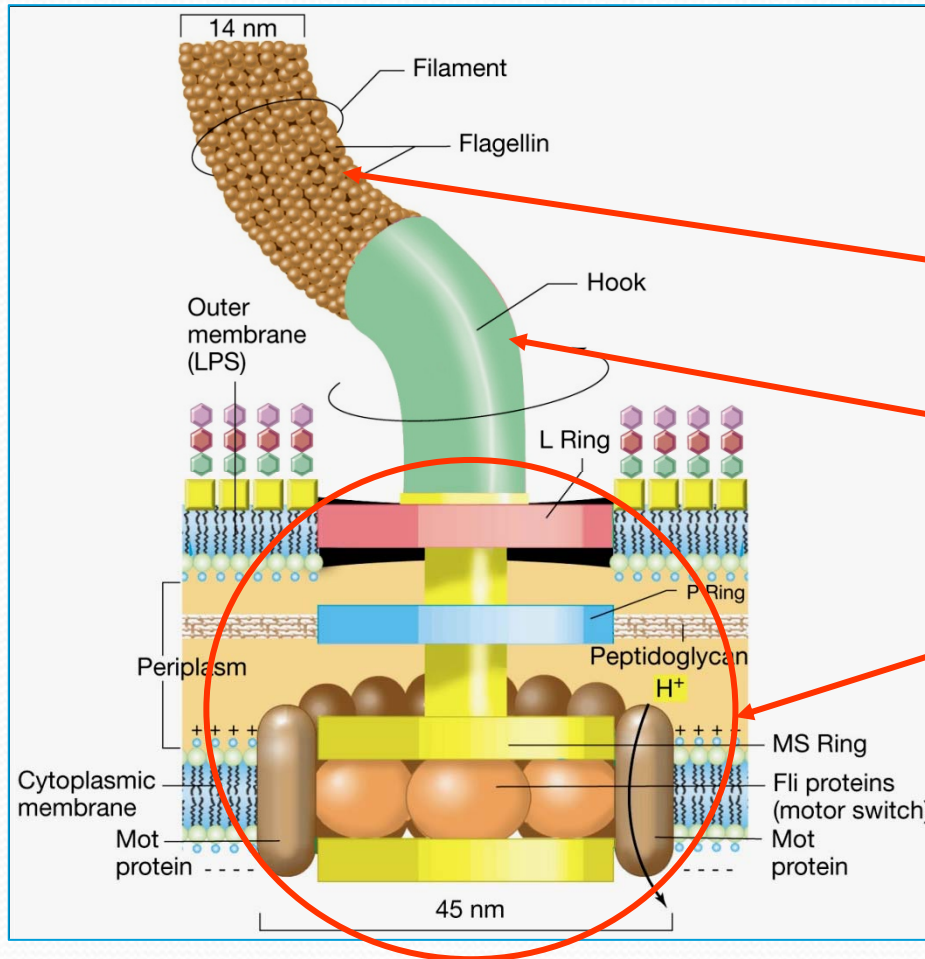




# Movimientos bacterianos

- Las bacterias se mueven hacia estímulos mediante “taxias” o taxis (quimiotaxis, fototaxis)
- Taxias: movimiento aleatorio de locomoción que proporciona un avance neto hacia una dirección favorable
- Tienen receptores que captan estímulos que las atraen (ribosa, oxígeno, galactosa)
  - Estímulos negativos las alejan

# Estructura del Flagelo en Bacterias Gram negativo



Filamento

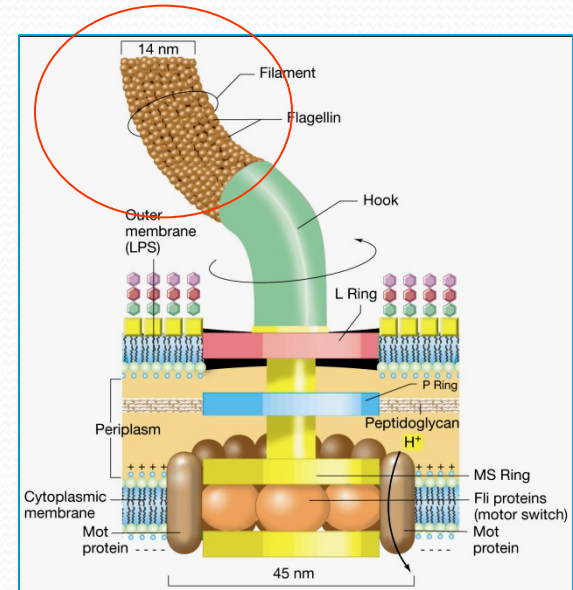
Gancho

Cuerpo Basal



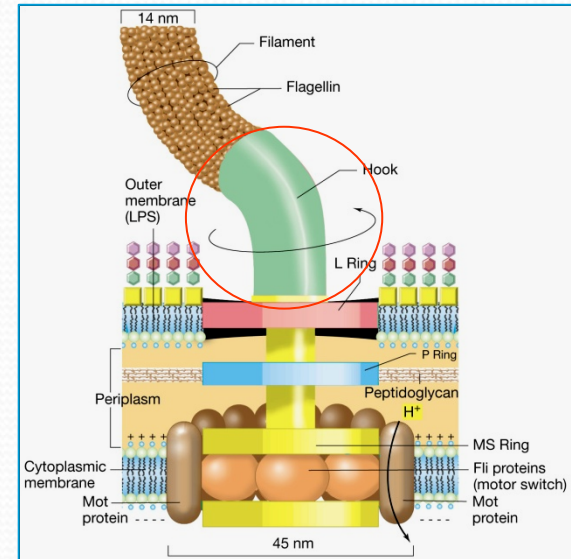
# Filamento

- Flagelina, proteína globular, elástica dispuesta en hélice dejando un centro vacío
- Es muy rígido, de modo que durante el movimiento activo sólo producen pequeñas ondulaciones
- No está cubierto por ninguna membrana
  - Se une al gancho
- Constituye el denominado **antígeno flagelar H**, específico para cada especie e incluso para cada cepa (serovars)



# Gancho

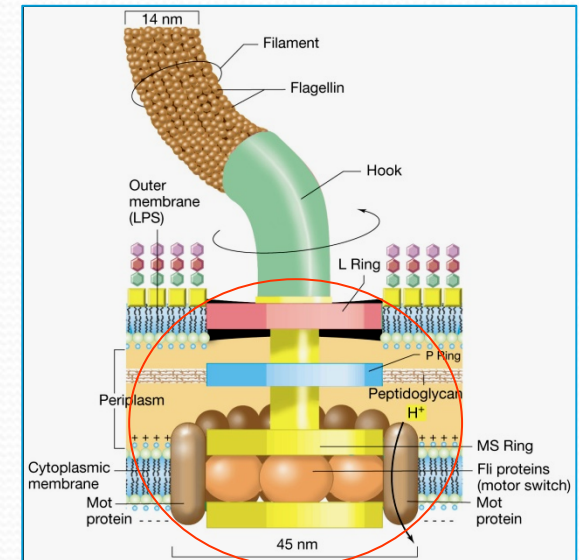
- Tipo de proteína diferente a la flagelina
- Sale del cuerpo bacteriano y luego se curva
- Conecta el filamento al cuerpo basal



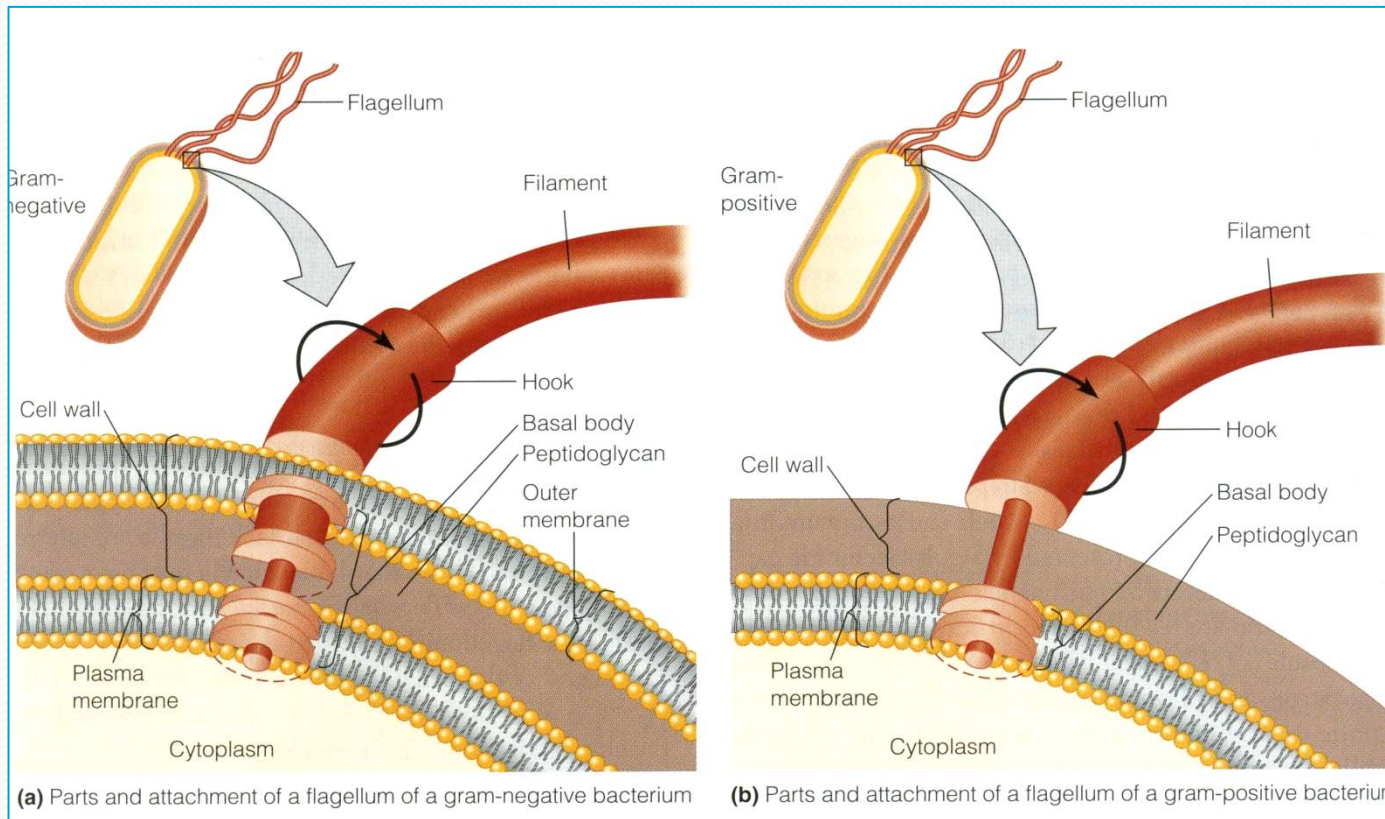


# Cuerpo basal o blefaroplasto

- Estructura que ancla el flagelo en la pared celular y en la membrana plasmática
- Está relacionado con la función del motor rotatorio y del conmutador (cambio del sentido de giro)
- Participa en la secreción y correcto ensamblaje de la mayor parte del flagelo



- Está constituido por un cuerpo central cilíndrico, dos pares de anillos en bacterias Gram – y un solo par de anillos en bacterias Gram +





# Fimbrias y Pili

- Son apéndices filamentosos rectos y rígidos, más cortos y más finos que los flagelos (3 a 10 nm)

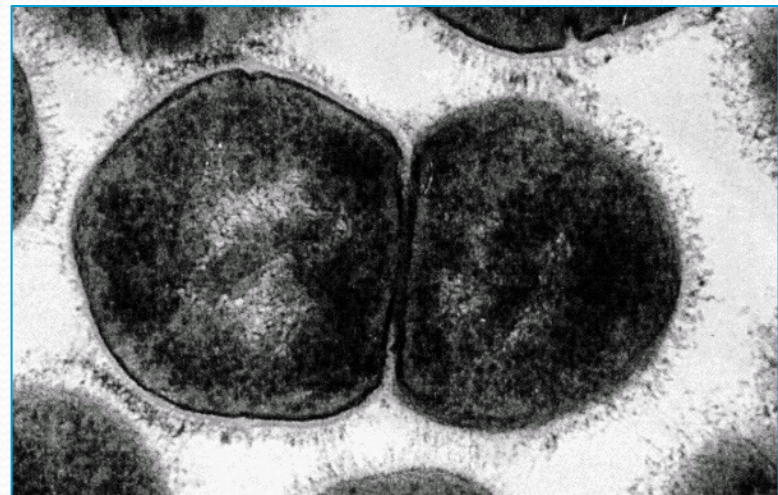


- Presentes en muchas bacterias, especialmente Gram-negativo
- Están compuestas por un solo tipo de proteína globular, hidrófoba, **Pilina** (17-25 kDa)

- Su número es variable: desde 1 a varios cientos o miles por célula
- Se implantan a nivel de la membrana plasmática
- Se disponen alrededor de todo el perímetro celular o en los polos

High magnification electron micrograph of an ultra-thin section by Maria Fazio and Vincent A. Fischetti, Ph.D. with permission.

The Laboratory of Bacterial Pathogenesis and Immunology ,  
Rockefeller University



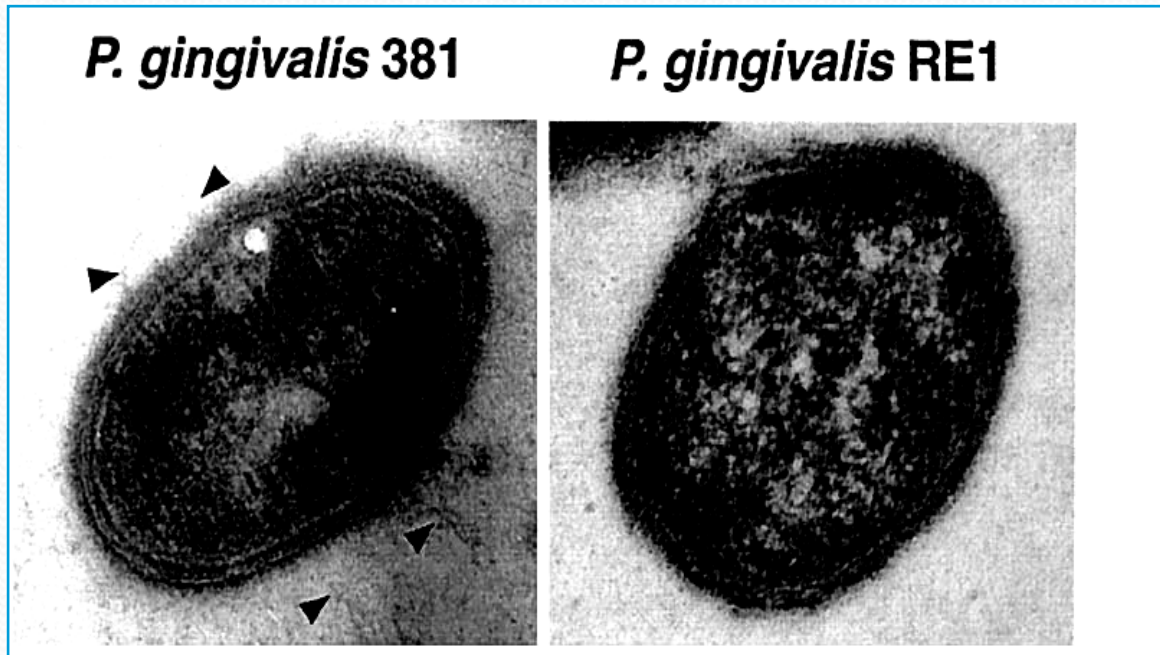
Fimbrias de *Streptococcus pyogenes*



# Función de las fimbrias

- Su función está relacionada con su adherencia a tejidos y con el intercambio de fragmentos de DNA durante la conjugación
- Función de adherencia no reside en la pilina sino en una lectina que está en la punta del pelo
- Hay dos tipos principales de fimbrias:
  - **fimbrias adhesivas** que funcionan como **adhesinas**, es decir como estructuras para la adhesión a sustratos vivos o inertes
  - **pili**, usualmente más largos, tienen como función facilitar la unión entre bacterias para iniciar la conjugación

# Fimbrias adhesivas

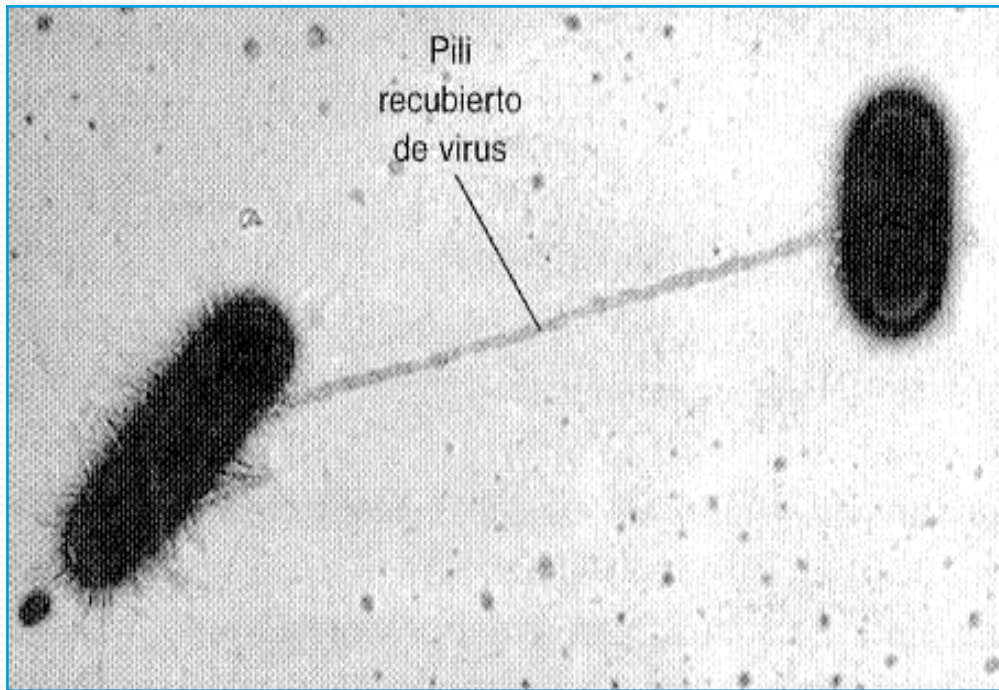


Adhesión a tejidos vivos e inertes

- Formación de microcolonias y velos
- Coagregación bacteriana: biofilm placa dental
- Colonización de tejidos



# Pili sexual




- Son más largos y gruesos que fimbrias adhesivas
- 1 a 10 por célula
- Permiten el reconocimiento de F<sup>+</sup> y F<sup>-</sup> para iniciar la conjugación

# Endoesporas bacterianas

- Las bacterias responden a estímulos ambientales mediante modificaciones de su actividad metabólica
- Ciertos Géneros bacterianos (*Bacillus* y *Clostridium*) ante estímulos adversos del ambiente, forman estructuras especializadas, en reposo metabólico, llamadas endoesporas



- 
- Las endosporas bacterianas protegen el ADN y el resto del contenido protoplasmático, manteniendo un estado de vida latente (criptobiosis)
  - Pueden resistir la acción de diversos agentes físicos y químicos: temperaturas extremas, falta de agua, radiación, tóxicos
  - En condiciones favorables germinan y dan lugar a una nueva bacteria (forma vegetativa)

# Tipos de endoesporas según ubicación

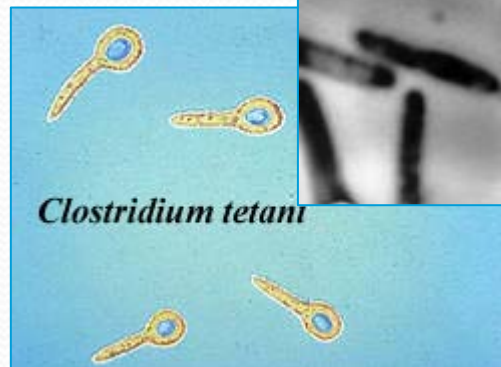
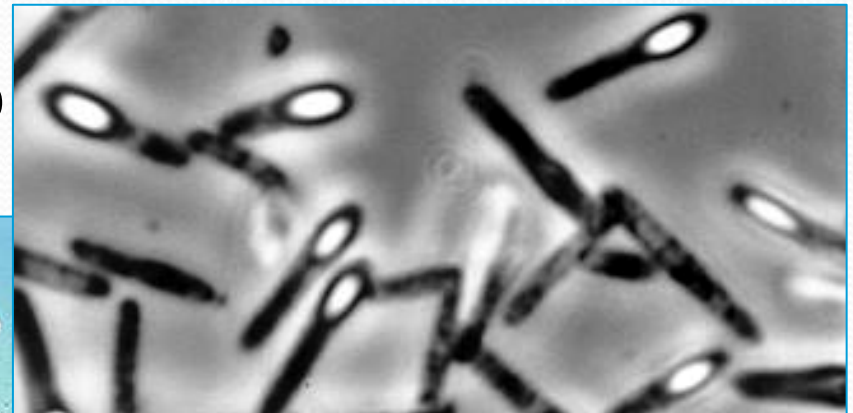
- No sobrepasan el cuerpo bacteriano

Genero *Bacillus*



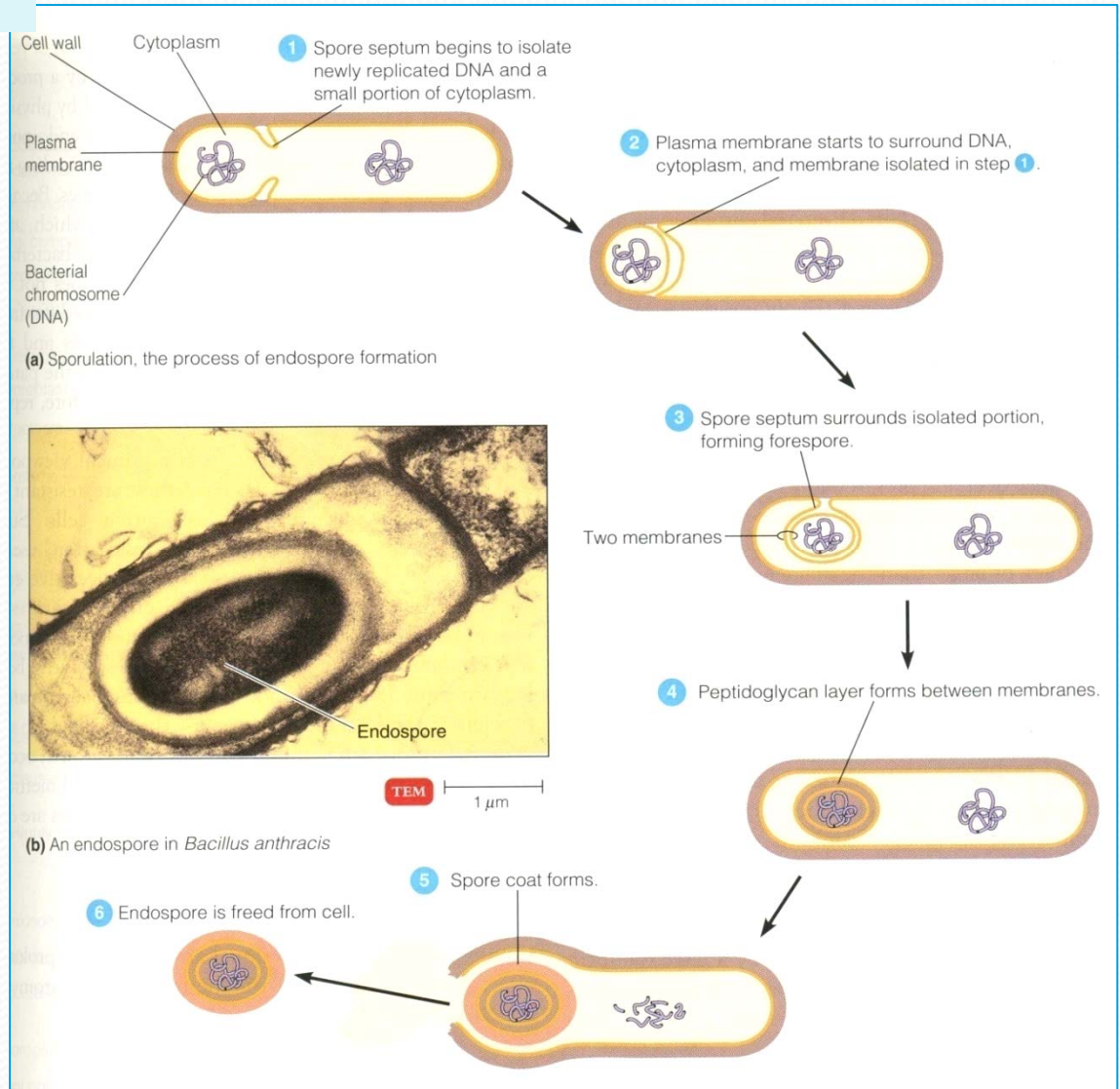
- Sobrepasan el cuerpo bacteriano

Género *Clostridium*



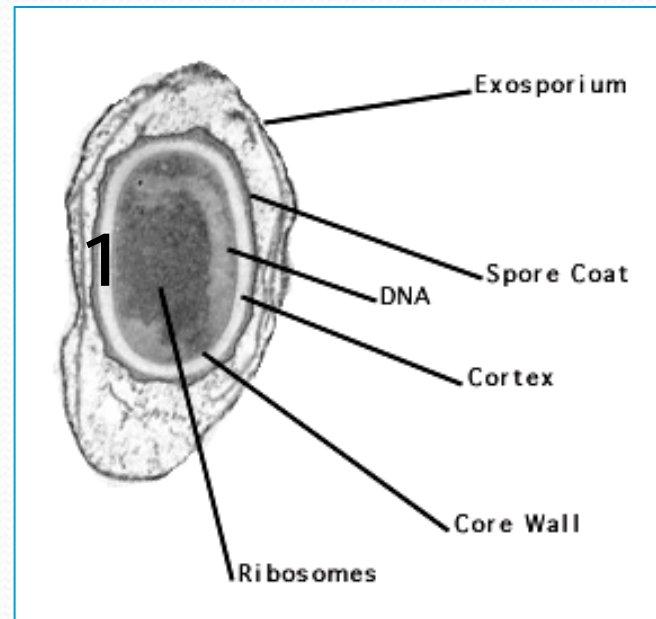


# Esporulación

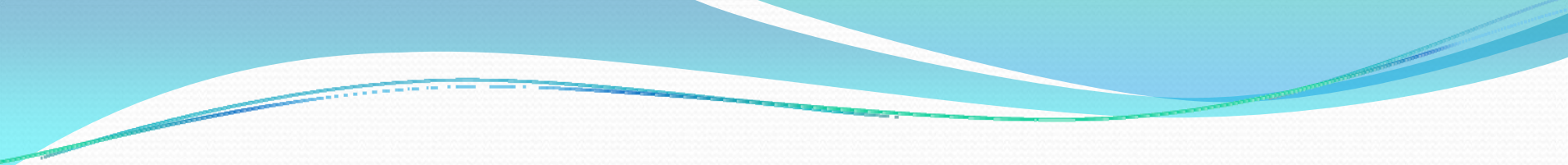


# Estructura y composición de la espora

1. **Porción central (core) de la espora:** citoplasma deshidratado, rico en DPC. Contiene DNA, ribosomas, enzimas y MP carente de fluidez
2. **Pared:**  
PG similar al vegetativo
3. **Corteza o córtex:**  
PG modificado
4. **Cubierta externa:**  
capas de proteínas, impermeables a tóxicos





- 
- Al completarse la esporulación, casi toda el agua es eliminada y no hay actividad metabólica.
  - La endospora contiene DNA, RNA, ribosomas, enzimas y otras pocas moléculas.
  - Contienen altas concentraciones de ácido dipicolínico acompañado de grandes cantidades de iones Calcio. Permiten su germinación posterior

## Importancia:

- Es resistente al calor, irradiación, frío.
- Resiste ebullición por más de 1 hr.
- Su localización es importante para clasificación:  
Central, Subterminal, Terminal
- Esporas de *Bacillus stearothermophilus* se usan para control de calidad de equipos usados para esterilización por calor.





FACULTAD

ODONTOLOGÍA

UNIVERSIDAD DE CHILE

1911-2011