

***LA CÉLULA  
PROCARIOTA***

# Estudio de la diversidad de microorganismos. Sus formas de vida. Bacterias y virus.

*Diversidad de microorganismos. **Dominio Eukarya y Archaea.***

**Dominio Bacteria:** eubacterias. Introducción.

*Morfología bacteriana. Los modelos morfológicos: cocos, bacilos, espirilos, espiroquetas, vibrios, bacterias filamentosas, bacterias con apéndices.*

*Estructura bacteriana. Introducción: pared, m. plasmática, ribosomas, inclusiones, orgánulos especiales tilacoides, vacuolas de gas, clorosomas y carboxisomas, cromosoma, flagelos, pelos.*

*Fisiología bacteriana; nutrición; relación y reproducción.*

*Tipos de bacterias según su fisiología: B. purpúreas y verdes, cianobacterias, b. nitrificantes, b. fijadoras de N, b. entéricas, espiroquetas, b. del ácido láctico, micoplasmas.*

**Virus:** Concepto Los virus son organismos acelulares.

*Estructura y composición de los virus.*

*Clasificación de los virus: según la arquitectura de la cápsida y según la presencia o ausencia de envoltura.*

*Multiplicación y ciclo biológico*

*ciclo de los virus ciclo lítico y ciclo lisogénico.*

*Virus patógenos y aplicaciones de los virus, virioides y priones.*

*los antidogmáticos retrovirus*

## **Interacciones con otros seres vivos. Intervención de los microorganismos en los ciclos biogeoquímicos. Los microorganismos y las enfermedades infecciosas.**

*Simbiosis.*

*Microorganismos y medio ambiente, introducción y el ciclo de la materia.*

*Los microorganismos como agentes patógenos entrada en el hospedador, adhesión a los tejidos del hospedador, invasión de las células del organismo, desarrollo de la infección: producción de factores de virulencia, producción de toxinas.*

*Introducción experimental a los métodos de estudio y cultivo de los microorganismos.*

## **Utilización de los microorganismos en los procesos industriales.**

### **Importancia social y económica.**

*Microbiología industrial y biotecnología.*

*Microorganismos y la industria alimentaria, usos industriales de levaduras; usos industriales de las bacterias del ácido láctico. Fabricación del queso.*

*Los microorganismos en la industria farmacéutica.*

*Biorremediación.*

Los microorganismos son seres vivos de pequeño tamaño, solo visibles al MO o ME. Además de los virus, el resto de microorganismos se encuentran en tres Reinos: Monera (procariotas), Protistas y Hongos.

## GRUPOS BIOLÓGICOS.

<b>Dominio (Woese 1990)</b>	<b>Reino</b>
<i>Archaea</i>	<i>Monera</i> (unicelulares <b>procariotas</b> )
<i>Bacteria</i>	
<i>Eukarya</i>	<i>Protista</i> (algas y protozoos) <i>Fungi</i> (hongos) <i>Plantae</i> (plantas) <i>Animalia</i> (animales) Todos <b>eucariotas</b>

### **Dominio *Archaea* (Arquebacterias)**

Las arquebacterias parecen haberse separado, desde el punto de vista evolutivo, relativamente pronto de las bacterias (o eubacterias) y están más estrechamente relacionadas con eucariotas que con las bacterias. El dominio *archaebacteria* está dividido en tres grupos basados en su medio de vida: metanógenas, extremófilas (p. ej., termófilas y halófilas) y arquebacterias que viven en medios normales.

### **Dominio *Bacteria* (Bacterias, antes eubacterias)**

Las bacterias son los organismos más abundantes en la tierra, y llevan a cabo una gran parte de la fotosíntesis de terrestre. La mayoría de los taxónomos reconocen 12-15 grupos principales de bacterias.

Arquebacterias y eubacterias (bacterias) se corresponden con los **Moneras**: procariontes, unicelulares o coloniales. Su forma de nutrición es la absorción. Los moneras incluyen, además de a las arquebacterias, a las eubacterias (Algas cianofíceas o cianobacterias, bacterias, micoplasmas).

## **Dominio *Eukarya* (Eucariotas)**

Aparecen en el registro fósil hace unos 2,5 billones años. Poseen una organización celular compleja con un amplio sistema de membranas intracelulares.

Comprenden los:

***Protista***: eucariontes, unicelulares o coloniales, o pluricelulares sin verdaderos tejidos.

Presentan diversos tipos de nutrición. Algas (protófitas y talófitas) y protozoos.

***Plantae* (Plantas metafitas)**: son pluricelulares, eucariontes, fotosintetizan y son autótrofas.

Briófitos (Musgos y Hepáticas), Pteridófitos (Helechos), Espermásfitas (Gimnospermas y Angiospermas).

***Animalia* (animales metazoos)**: pluricelulares, eucariontes y heterótrofos.

***Fungi* (hongos)**: pluricelulares, eucariontes, heterótrofos, con paredes celulares. Su forma de nutrición es la absorción.

**Además están los Virus.** Un caso especial.

Los virus son segmentos de DNA o RNA (nunca los dos) rodeado por una cápsida de proteínas. Pueden infectar células y utilizan la maquinaria celular para replicarse (son parásitos intracelulares obligados). Se encuentran en el límite de los seres vivos y los seres inanimados.

# MICROORGANISMOS CELULARES:

REINO:	MONERA	PROTISTA		FUNGI
	Bacterias	Algas	Protozoos	Hongos
Tipo de célula	Procariota	Eucariota	Eucariota	Eucariota
Número de células	Organismos unicelulares	Organismos uni y pluricelulares	Organismos unicelulares	Organismos uni y pluricelulares
Tipo de nutrición	Autótrofa y heterótrofa	Autótrofa	Heterótrofa	Heterótrofa
Fotosíntesis	Si	Si	No	No
Forma de división celular	Bipartición	Mitosis	Mitosis	Mitosis
Pared celular	Si, con peptidoglicano (mureina)	Si, de celulosa	No	Si, de quitina

# ***INTRODUCCIÓN***

# DOMINIO BACTERIA: LA CÉLULA PROCARIOTA

Son procariotas los dominios Archaea (arqueobacterias) y Bacteria (Eubacterias, que incluyen, entre otros a los **micoplasmas**, las **bacterias** y las algas **cianofíceas** o cianobacterias).

**Los micoplasmas** son microorganismos similares a bacterias que **carecen de pared celular** de vida parásita generalmente y que viven sobre células vegetales o animales. Su tamaño medio es de 0,3  $\mu\text{m}$ . Su DNA contiene información suficiente para codificar unas 750 proteínas que se considera que es el número mínimo de proteínas con las que una célula puede vivir. Causan ciertas enfermedades infecciosas. Residen en hábitats osmóticamente protegidos.

**Las bacterias** son los microorganismos más sencillos que se encuentran en la mayoría de los hábitats naturales. Son células esféricas o alargadas con un diámetro de varias micras. Por fuera poseen una envoltura protectora resistente: la **pared celular**, por debajo de la cual se encuentra **la membrana plasmática** que rodea a un único **compartimento citoplasmático** que contiene **DNA**, **RNA**, **proteínas** y pequeñas moléculas. Como orgánulos celulares solo están bien desarrollados los **ribosomas**. El DNA no está encerrado en una membrana, **no existe verdadero núcleo (son procariotas)**, sino una **región nuclear**. En condiciones óptimas una bacteria se puede **dividir por fisión binaria** cada 20 minutos. En 11 horas, a partir de una única bacteria tendríamos 4000 millones de células. En la naturaleza las bacterias viven en una gran cantidad de nichos ecológicos.

Las **bacterias o eubacterias** son las formas más habituales, viven en el suelo, en el agua y sobre organismos vivos, están representadas actualmente por unas 2000 especies. Las **arqueobacterias** se encuentran en ambientes extremos como ciénagas (lugares encharcados con lodo), profundidades marinas, otras aguas muy salobres, fuentes ácidas, calientes...

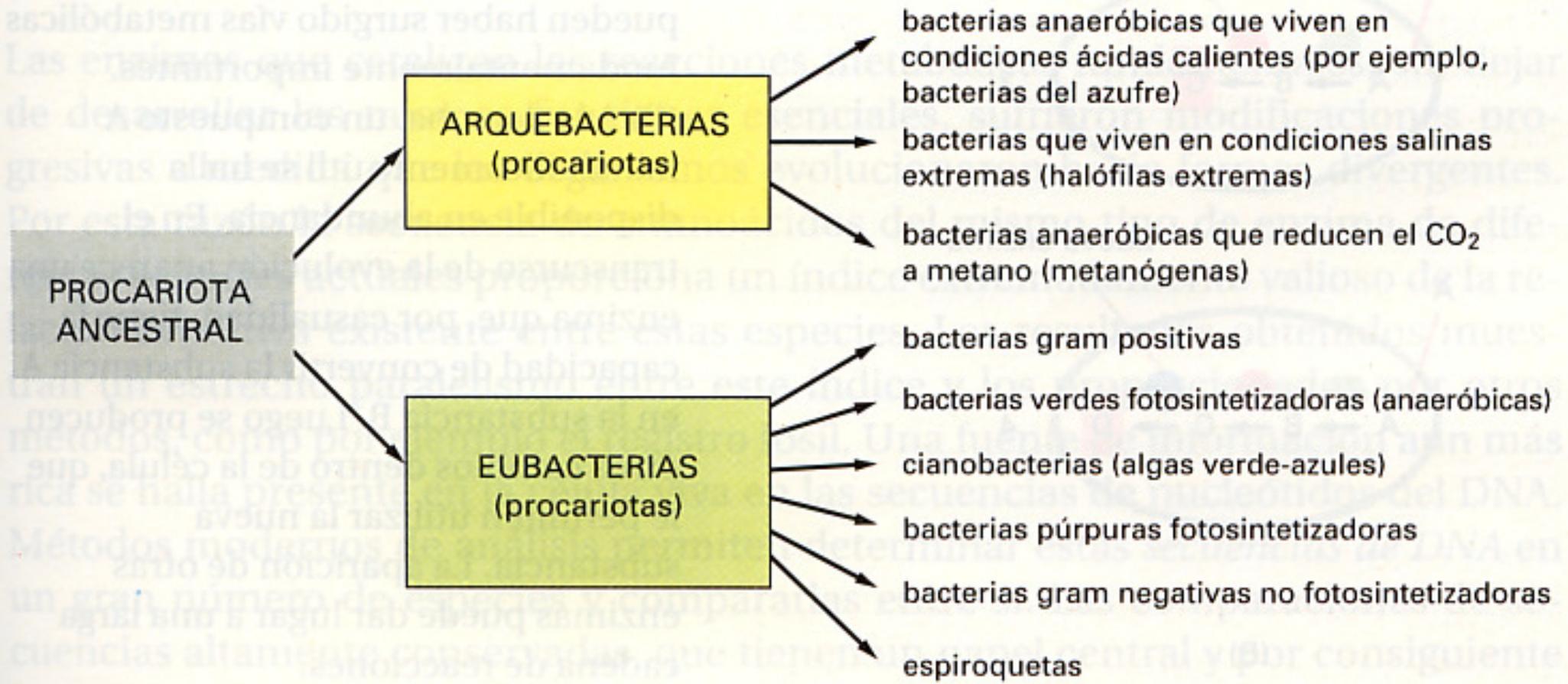
Existen especies de bacterias capaces de utilizar como fuente de energía y alimento cualquier tipo de moléculas orgánicas, azúcares, aminoácidos, grasas, péptidos...incluso algunas pueden obtener el carbono del dióxido de carbono atmosférico y el nitrógeno del nitrógeno molecular.

Son el tipo de células más abundantes en la tierra. En condiciones de laboratorio, las colonias o poblaciones de bacterias evolucionan con una gran rapidez gracias a mutaciones espontáneas y a la selección natural o causada por el hombre que les permiten vivir en medios bañados.

**Las cianobacterias o algas verdiazules** son vegetales **autótrofos unicelulares**, pertenecientes al grupo de las algas (División *Cyanophyta*).

**Actualmente se incluyen dentro de las eubacterias tanto a los micoplasmas como a las cianobacterias.**

Como ejemplo de célula procariótica describiremos las **eubacterias**, aunque también haremos referencia a las **cianobacterias**.



**Figura 1-13 Relaciones familiares entre las bacterias actuales.** Las flechas indican posibles vías de evolución. El origen de las células eucariotas se discute más adelante en el texto.

***FORMAS DE VIDA DE  
LAS BACTERIAS***

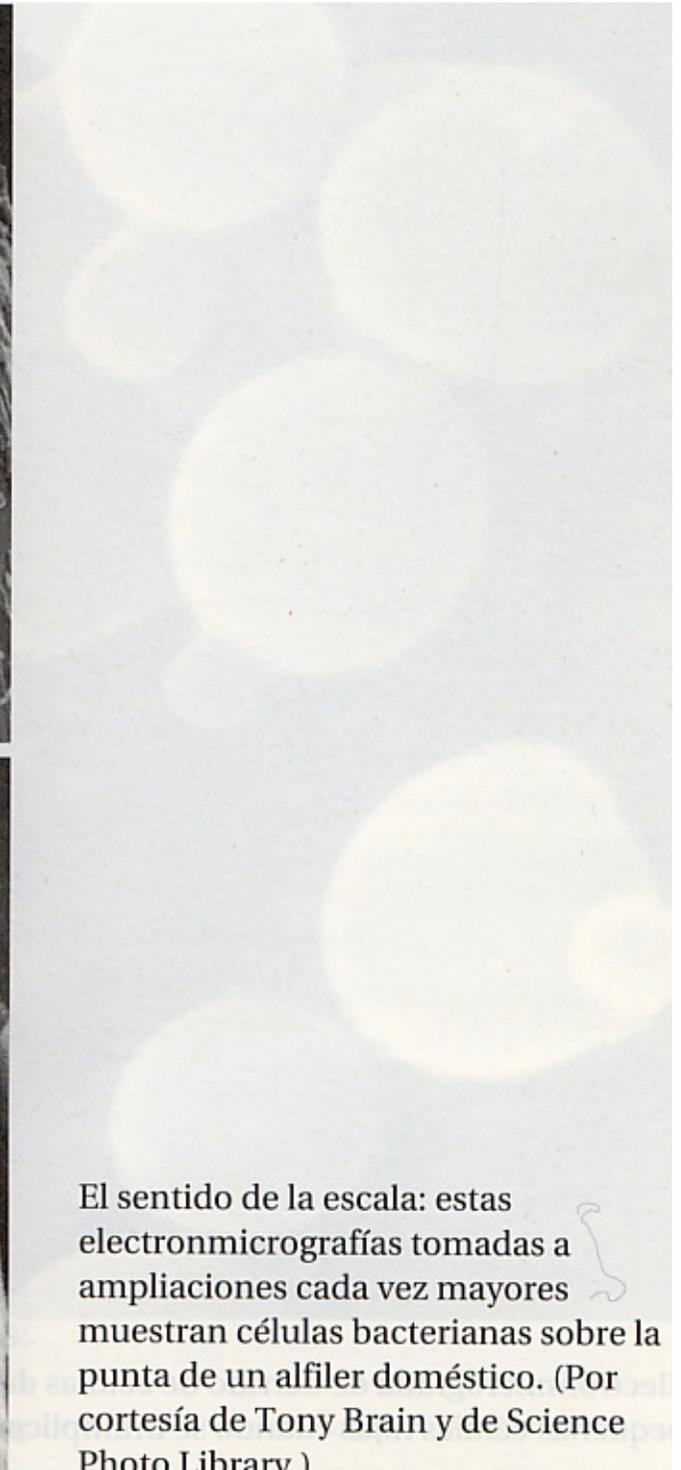
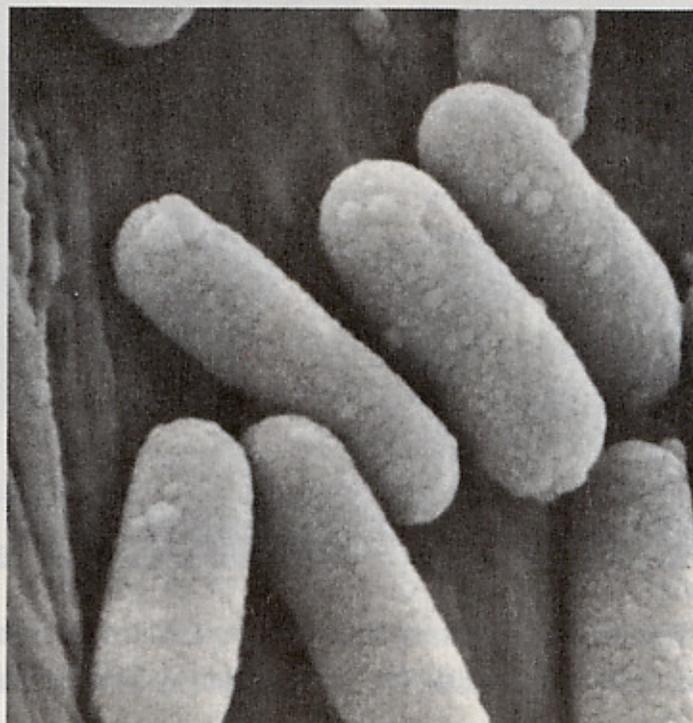
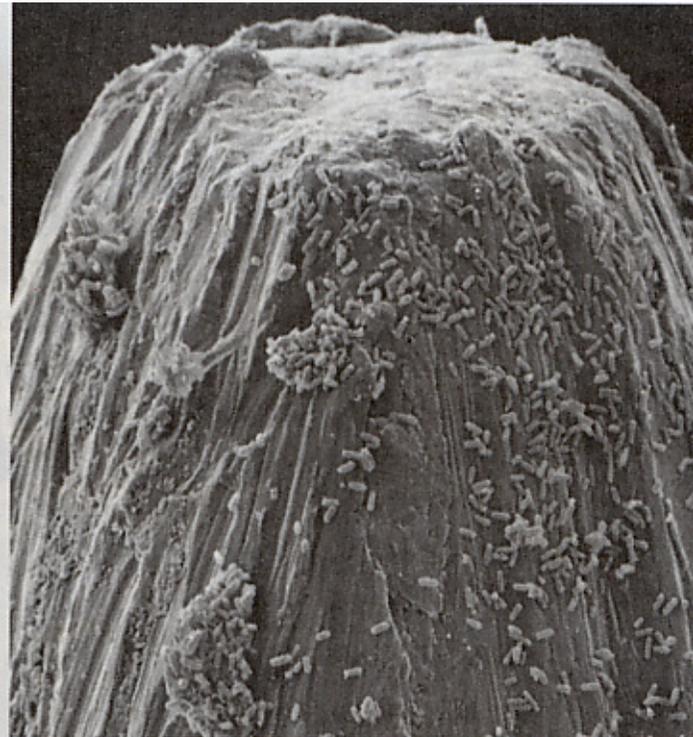
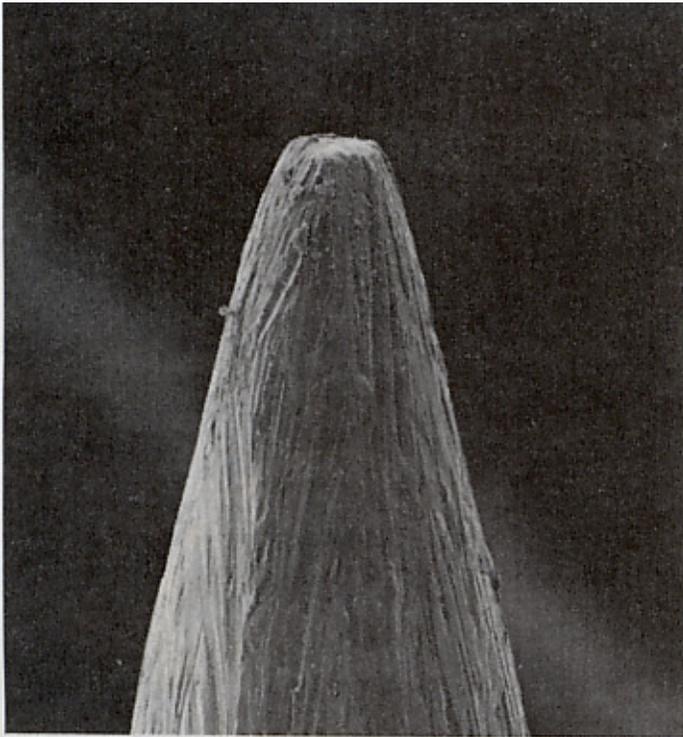
Las bacterias pueden colonizar todos los medios y vivir de todas las formas posibles:

Hay bacterias **parásitas**, que viven sobre un ser vivo causándole un perjuicio. Algunas de ellas son patógenas (causan enfermedades) para el hombre. Son enfermedades causadas por bacterias el **cólera**, la **difteria**, la **meningitis**, el **tifus**, la **tuberculosis**, la **amigdalitis**, el **tétanos**, el **botulismo**, la **lepra** etc.

Hay bacterias **saprófitas**, que viven en materia orgánica en descomposición o bien transforman la materia orgánica. Como ejemplo tenemos las **bacterias del yogurt**, que producen la fermentación láctica del azúcar de la leche (es un disacárido, la **lactosa**).

Hay bacterias **simbióticas**, que se asocian a otros organismos y ambos se benefician. Un ejemplo lo constituyen las bacterias fijadoras de nitrógeno atmosférico, que se asocian a las raíces de plantas superiores y enriquecen los campos en ese elemento (en  $N_2$ ). Ejemplo ***Rhizobium***.

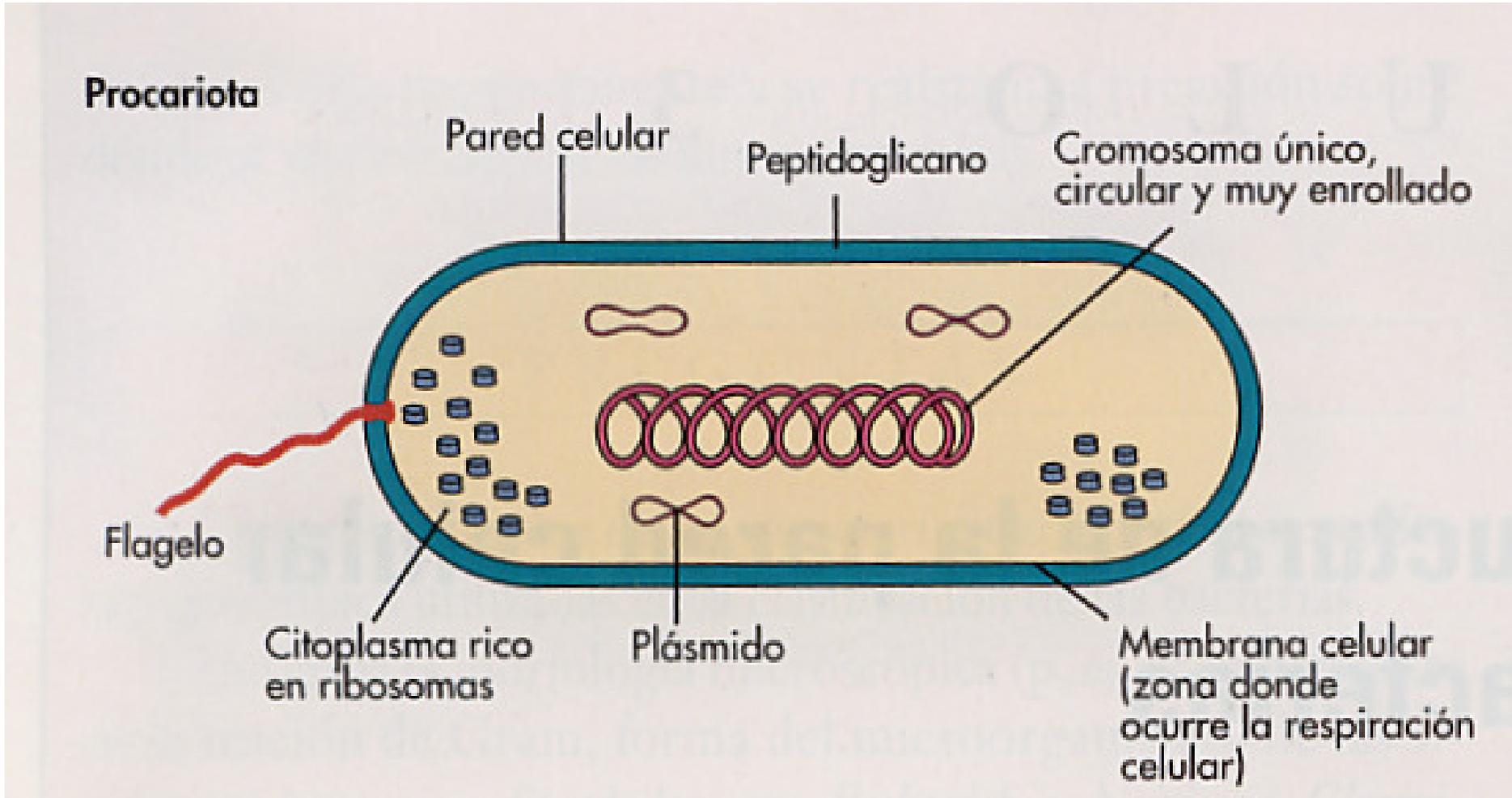
Hay bacterias **autótrofas**. Recordad que los autótrofos sintetizan materia orgánica a partir de materia inorgánica, estos organismos obtienen todo el carbono que necesitan para sus reacciones de biosíntesis a partir de  **$CO_2$  atmosférico**. Algunas bacterias son **fotosintéticas**, tienen clorofila como las plantas superiores y utilizan la energía solar como fuente de energía. Otras son **quimiosintéticas** y no utilizan la energía solar por carecer de clorofila, éstas bacterias obtienen la energía de la oxidación de compuestos inorgánicos.

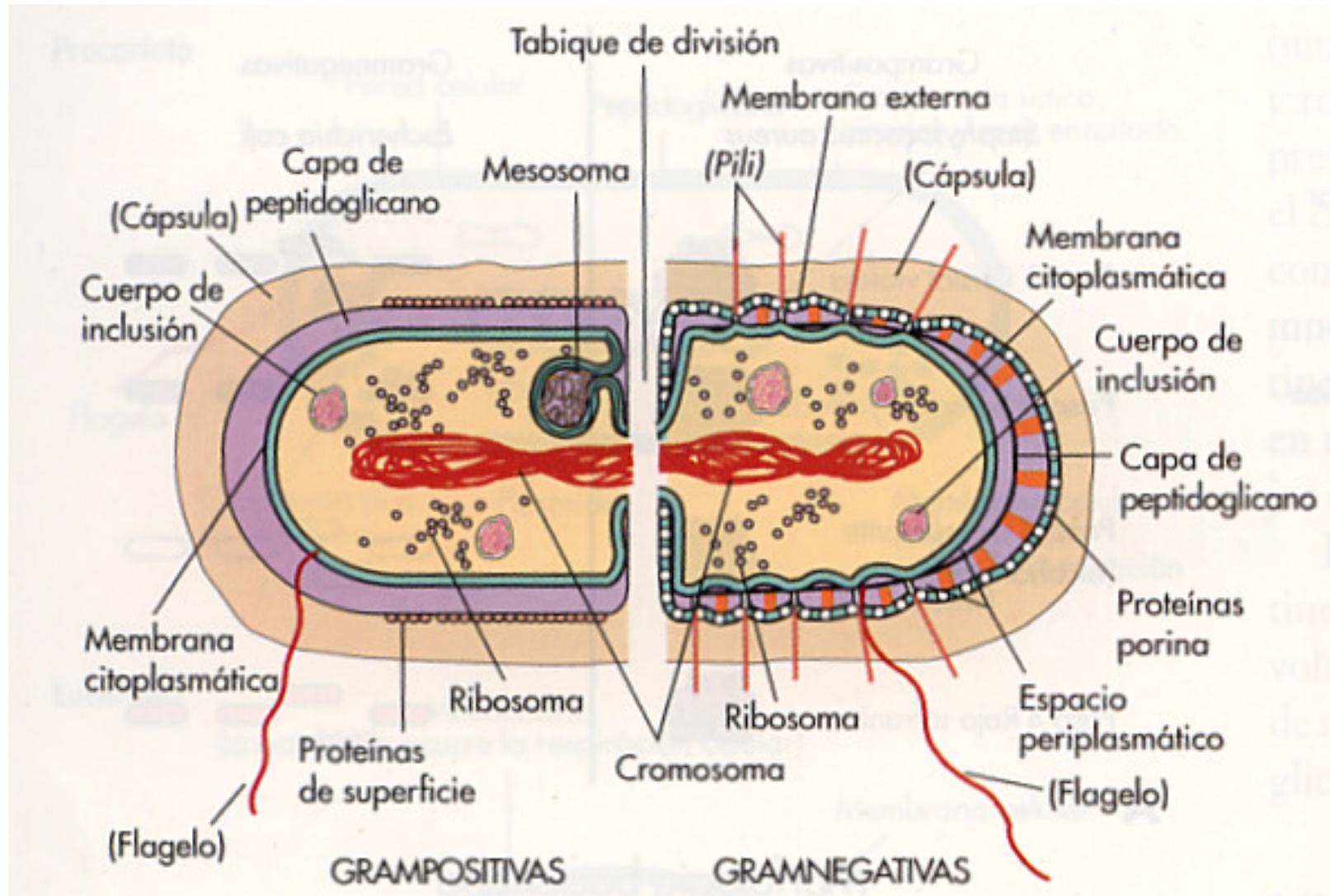


El sentido de la escala: estas electronmicrografías tomadas a ampliaciones cada vez mayores muestran células bacterianas sobre la punta de un alfiler doméstico. (Por cortesía de Tony Brain y de Science Photo Library.)

***ESTRUCTURA  
GENERAL DE LAS  
BACTERIAS***

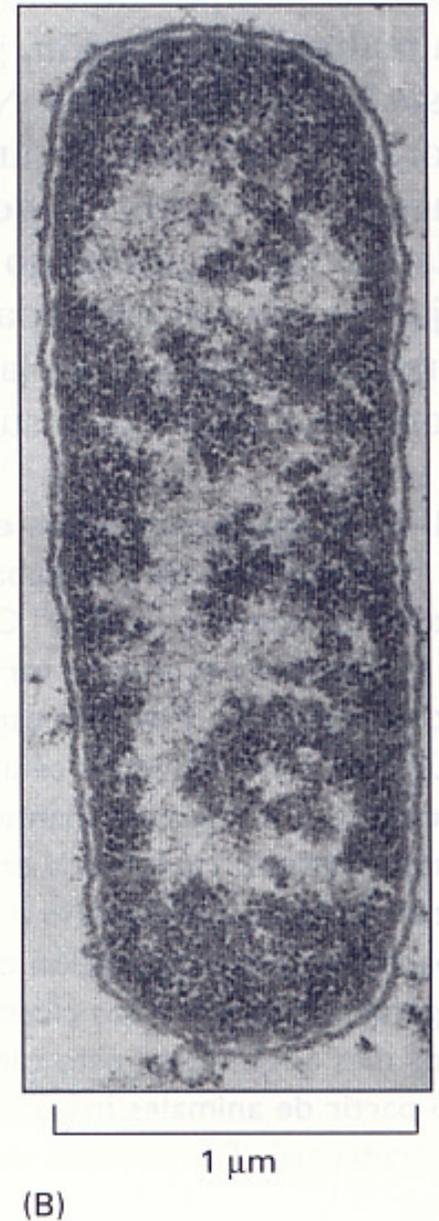
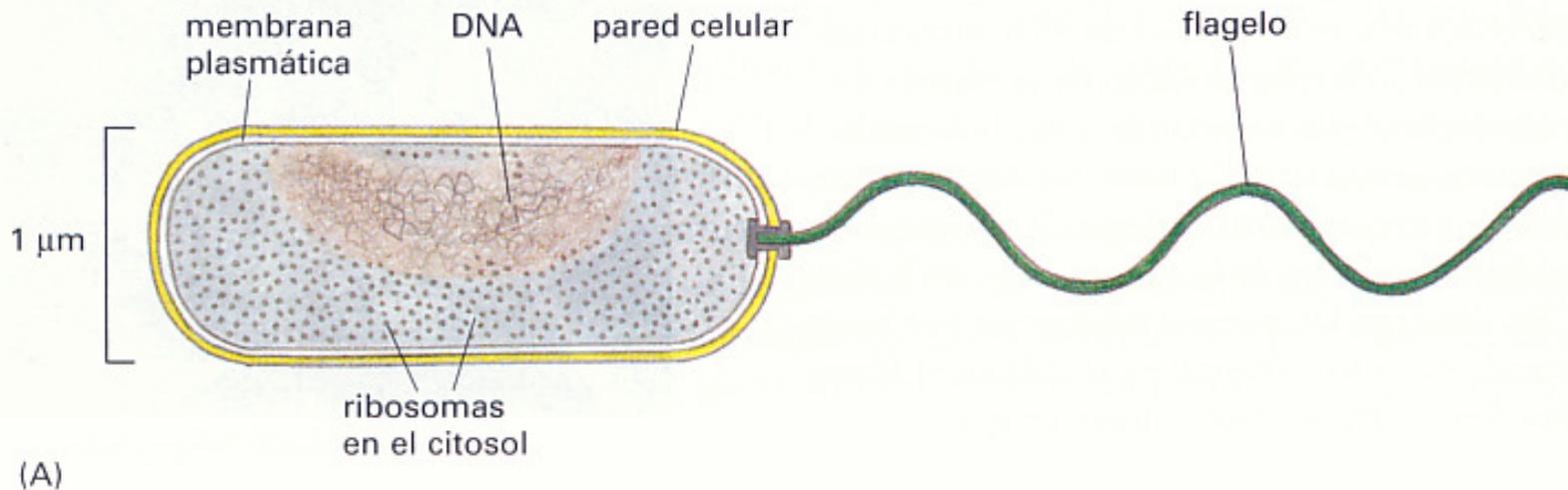
# ESTRUCTURA DE UNA CÉLULA PROCARIOTA: BACTERIA

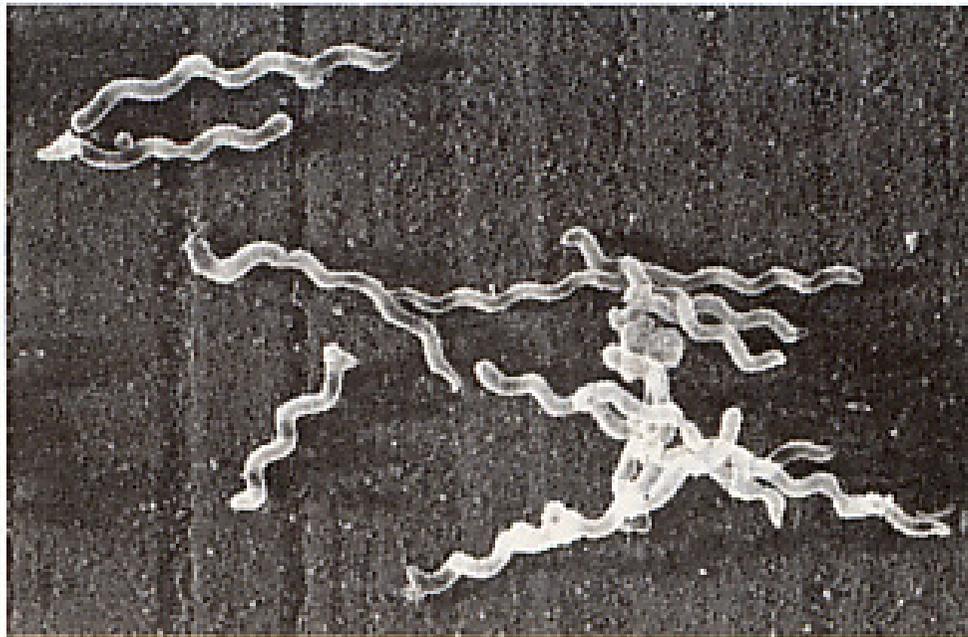




**FIGURA 3.4.** Bacterias grampositivas y gramnegativas. Una bacteria grampositiva posee una capa gruesa de peptidoglicano (*izquierda*). Una bacteria gramnegativa posee una capa delgada de peptidoglicano y una membrana externa (*derecha*). Las estructuras cuyo nombre aparece entre paréntesis no se encuentran en todas las bacterias.

**Figura 1-18 Estructura de una bacteria.** (A) La bacteria *Vibrio cholerae* muestra una organización sencilla. *Vibrio* tiene un apéndice helicoidal en un extremo –un flagelo– que rota empujando la célula hacia adelante. (B) Micrografía electrónica de transmisión de una sección longitudinal de la bacteria *E. coli*. Aunque está emparentada con *Vibrio* no presenta flagelación. El DNA de ambas células se concentra en la zona más pálida de la bacteria. (B, por cortesía de E. Kellenberger.)

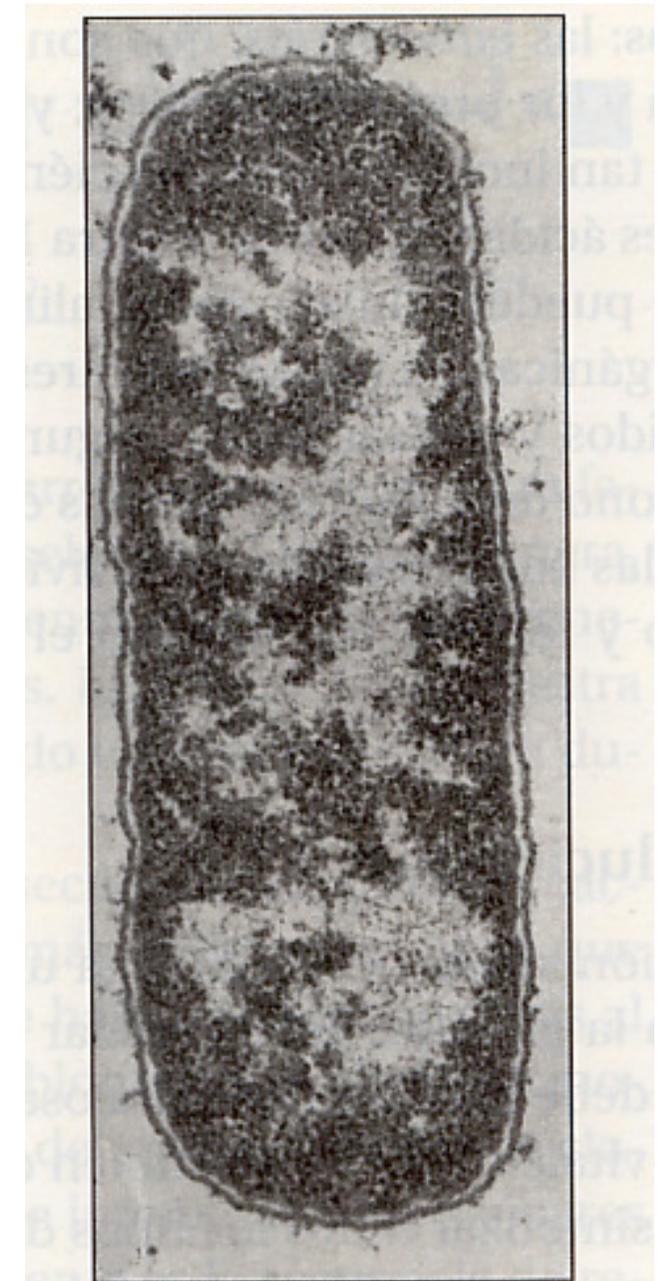




5  $\mu\text{m}$

**Figura 1-10** *Spiroplasma citrii*, un micoplasma que crece en células vegetales. (Por cortesía de J. Burgess.)

(B) Micrografía electrónica de una sección longitudinal de una bacteria (*Escherichia coli*); el DNA celular está concentrado en la región pálida de la figura. (Por cortesía de E. Kellenberger.)



1  $\mu\text{m}$

(B)

# ***TAMAÑO Y FORMA DE LAS BACTERIAS***

# TAMAÑO

Aunque la mayoría de las células procarióticas son pequeñas existe una gran variación de tamaño entre los diferentes organismos. Las células procarióticas más pequeñas pertenecen al grupo de los micoplasmas y no son visibles al MO. Las mayores son las **cianobacterias** (o **algas cianofíceas**) que tienen un diámetro que es más de 500 veces el de un *Mycoplasma* y casi podrían observarse a simple vista. Entre las eubacterias los tamaños oscilan entre 1  $\mu\text{m}$  (*Staphylococcus aureus*) y 13  $\mu\text{m}$  (*Bacillus anthracis*).

## FORMA Y DISPOSICIÓN CELULAR

La mayor parte de las bacterias tienen formas características, bastante constantes, aunque también están influidas por el ambiente.

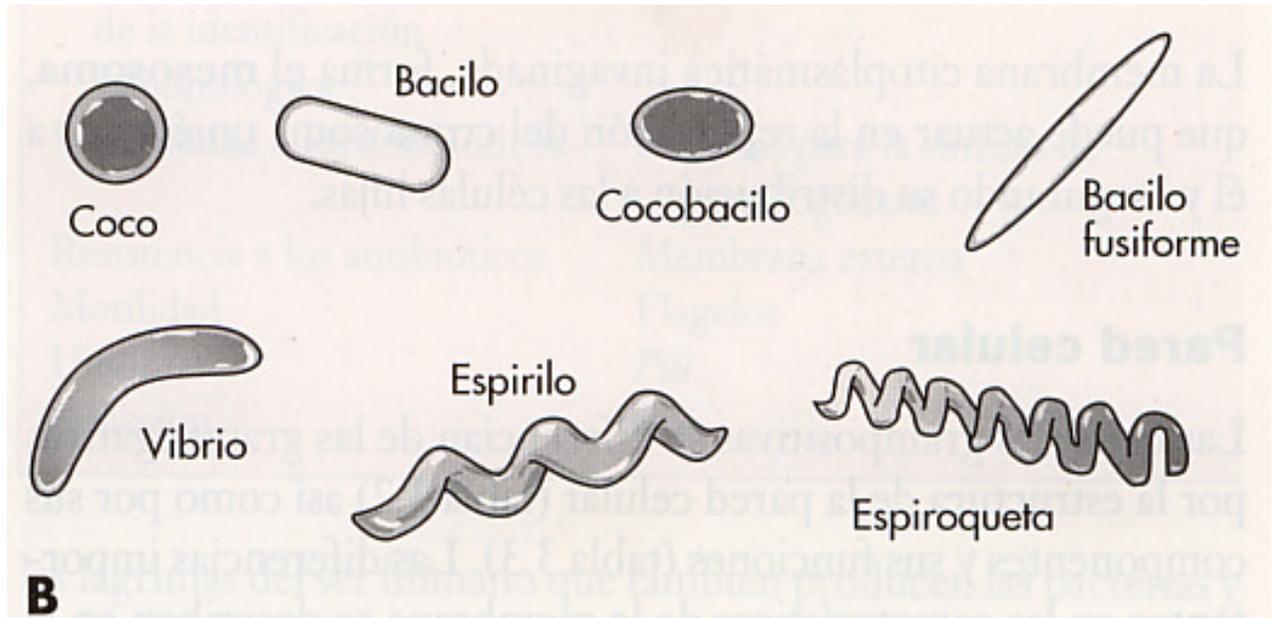
Existen 4 formas características:

**Cocos**.- de forma **esférica**. Existen diversos tipos: los *Streptococcus* son cocos en cadenas, mientras que los *Staphylococcus* forman masas de forma irregular, en racimos.

**Bacilos**.- de forma **cilíndrica** más o menos alargada. Da el nombre genérico a muchas bacterias (*Bacillus*).

**Vibrio**.- de forma de **coma**. También da nombre al género *Vibrio*.

**Espirilos**.- con forma **espiral** o **helicoidal** semejante a un sacacorchos. Género *Spirillum*.



Cocos	Diplococos	Estreptococos	Sarcinas (tétradas)	Estafilococos
Bacilos	Streptobacilos	Espiroquetas	Vibrios	Cocobacilos

# ***TINCIÓN DE GRAM***

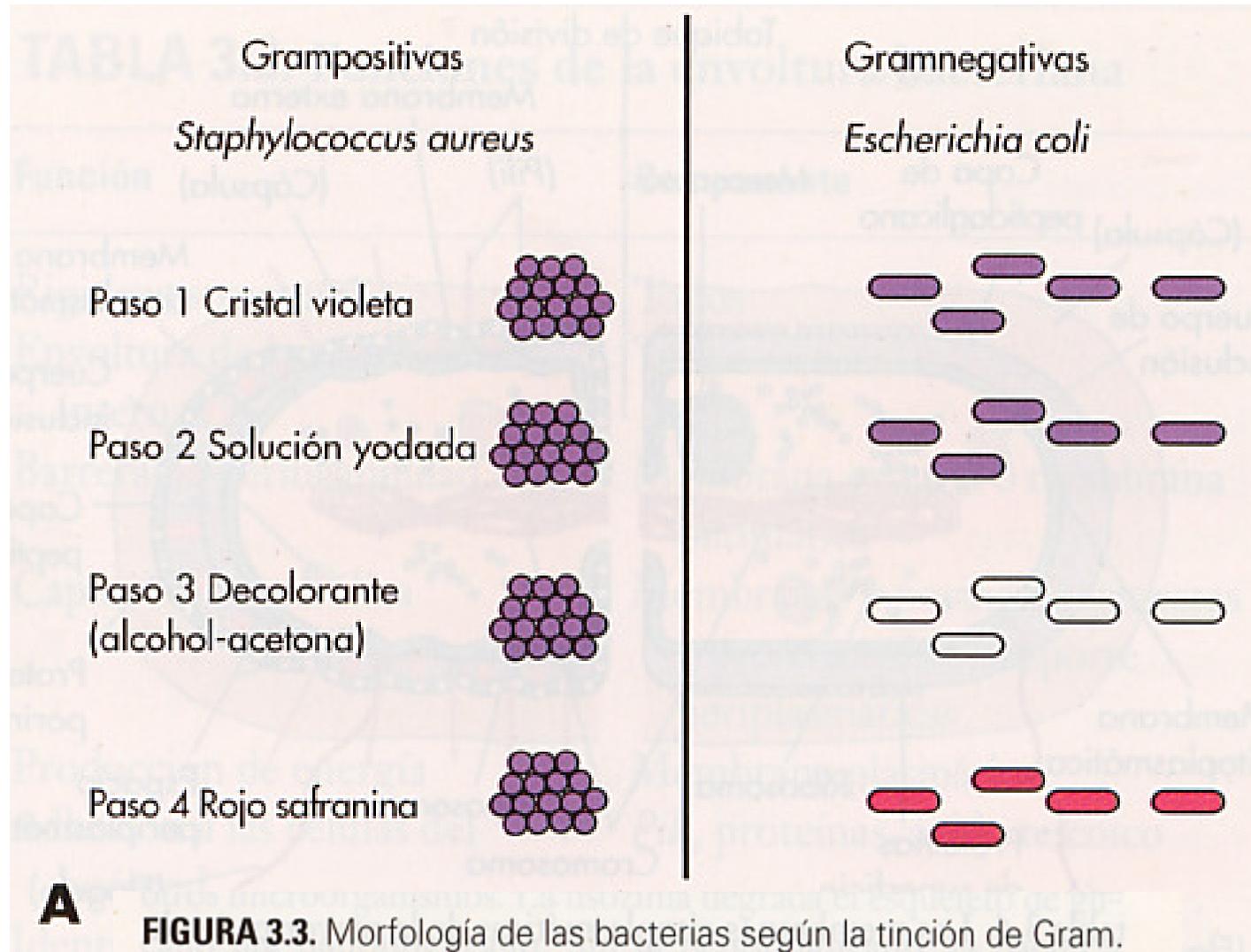
La tinción de Gram se denomina así en honor a un bacteriólogo danés (Cristhiam Gram), que la desarrolló. Esta tinción permite dividir a las bacterias en dos grupos: Gram positivas y negativas.

Se fijan al calor las células sobre un portaobjetos y **se tiñen** con una solución de un colorante básico llamado **crystal violeta**. Se lavan para quitar el exceso de colorante y en este estado aparecen todas las bacterias teñidas de azul. Se cubre entonces el portaobjetos con una solución de **iodo-ioduro potásico** ( $I_2$ -IK). El yodo es el ingrediente activo. El ioduro potásico simplemente hace soluble al yodo en agua. Al penetrar en la célula el yodo forma un complejo insoluble en agua con el crystal violeta.

**Se decoloran** las células con una sustancia orgánica, alcohol o acetona, en la que si es soluble el **complejo iodo-crystal violeta**. Algunas células, **las Gram negativas se decoloran**, mientras que otras, las grampositivas, no lo hacen. Esto es debido probablemente a que las grampositivas poseen paredes celulares más espesas y son impermeables al disolvente.

Después de la decoloración, las células grampositivas son todavía azules, mientras que las Gram negativas son incoloras. Para ponerlas de manifiesto se utiliza una coloración de contraste: por ejemplo un colorante rojo como la **safranina** o la **fucsina básica**. Al final de la tinción Gram las bacterias **grampositivas** son de color **azul** y las bacterias **gramnegativas** son de color **rojo**.

# TINCIÓN DE GRAM

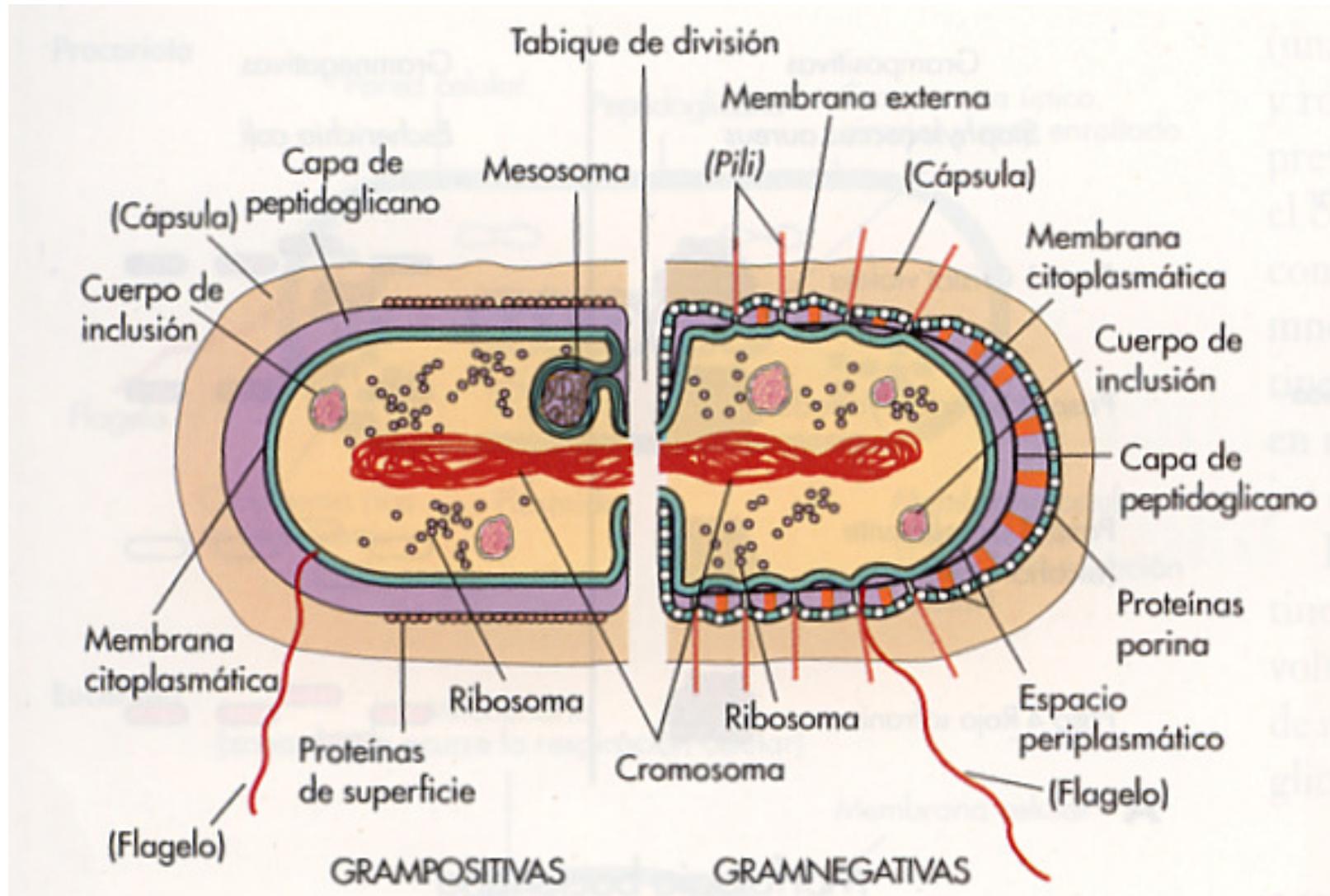


**FIGURA 3.3.** Morfología de las bacterias según la tinción de Gram. A, en la bacterias grampositivas, el cristal violeta de la tinción de Gram es fijado por la solución yodada y atrapado en la gruesa capa de peptidoglicano. El decolorante se disemina por la membrana externa gramnegativa y elimina el cristal violeta de la capa delgada de peptidoglicano. Las bacterias gramnegativas se visualizan mediante el contracolorante rojo. B, morfologías de las bacterias.

Las bacterias **grampositivas patógenas** se encuentran sobre todo en la piel y en la superficie de las mucosas. Son sobre todo cocos (estreptococos, estafilococos y neumococos), aunque también hay bacilos. Suelen poseer cápsulas que evitan su fagocitosis y causan infecciones como neumonías, forúnculos, faringitis y meningitis. Son **más sensibles a la lisozima** y a la **penicilina G** que las gramnegativas. *Staphylococcus aureus*\*

Las bacterias **gramnegativas** suelen ser bacilos o diplococos y muchas residen de forma permanente en el aparato digestivo. Causan infecciones de heridas, vías urinarias, pulmones, meninges y aparato digestivo. Son **más sensibles a los anticuerpos** y **complementos** que las grampositivas (cuando el complemento se activa lisa el lipopolisacárido). *Escherichia coli*\*

***LA CUBIERTA  
CELULAR:  
MEMBRANA, PARED  
Y MEMBRANA  
EXTERNA***

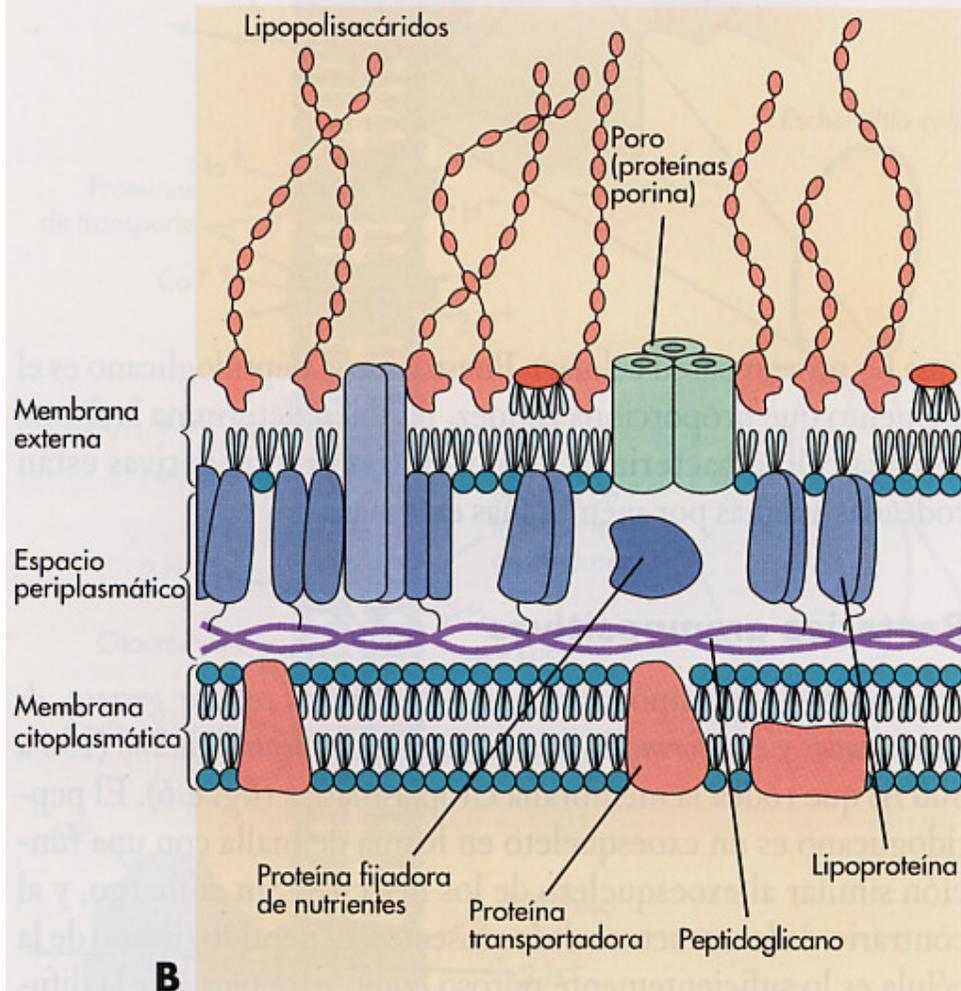
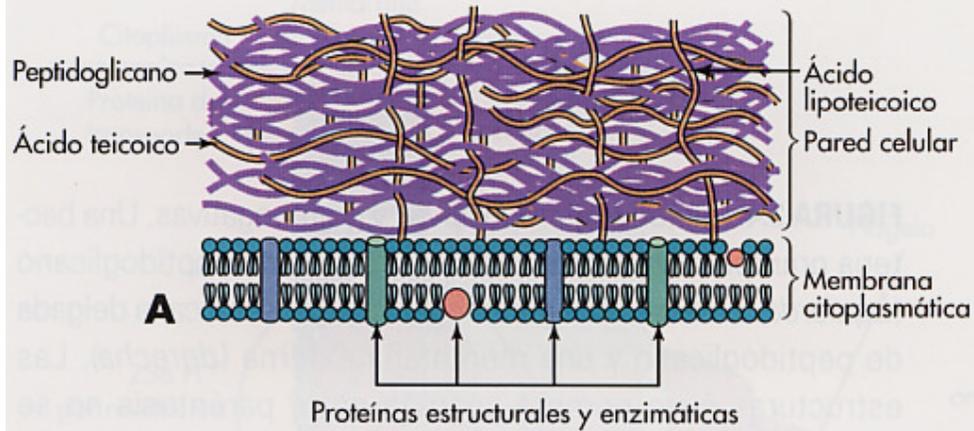


**FIGURA 3.4.** Bacterias grampositivas y gramnegativas. Una bacteria grampositiva posee una capa gruesa de peptidoglicano (*izquierda*). Una bacteria gramnegativa posee una capa delgada de peptidoglicano y una membrana externa (*derecha*). Las estructuras cuyo nombre aparece entre paréntesis no se encuentran en todas las bacterias.

La cubierta celular de una bacteria está formada por la **membrana celular** (plasmática) y la **pared celular**. En el caso de las bacterias gramnegativas existe además **una membrana externa**.

En las bacterias **grampositivas** la **pared celular** es gruesa y está formada por **peptidoglucano**. En las bacterias **gramnegativas**), la **pared celular** es delgada, también formada por **peptidoglucano**, pero estas bacterias poseen además, como acabamos de decir, una **membrana externa** cuya molécula terminal recibe el nombre de **lipopolisacárido**.

# ESTRUCTURA DE LA CUBIERTA CELULAR



**FIGURA 3.2.** Comparación de la pared celular de las bacterias grampositivas y gramnegativas. A, una bacteria grampositiva posee una gruesa capa de peptidoglicano que contiene ácidos teicoico y lipoteicoico. B, una bacteria gramnegativa posee una capa de peptidoglicanos delgada y una membrana externa que contiene lipopolisacáridos, fosfolípidos y proteínas. El espacio periplasmático existente entre la membrana citoplasmática y la membrana externa contiene las proteínas de transporte, degradación y síntesis de la pared celular. La membrana externa está unida a la membrana citoplasmática en unos puntos de adhesión; asimismo, está fija al peptidoglicano por enlaces de lipoproteínas.

# LA MEMBRANA PLASMÁTICA

En los procariotas la membrana plasmática o celular es una capa delgada situada en el interior de la pared celular. Es de naturaleza **lipoproteica** similar a la de las células eucariotas, pero **no tiene esteroides** (como el colesterol), excepto en micoplasmas, que lo secuestran de las células eucarióticas a las que parasitan.

En las procariotas fotosintéticos, como las **cianofíceas**, hay un complejo sistema de membranas fotosintéticas llamadas **tilacoides (o cromatóforos)**, que no están en continuidad con la membrana plasmática. Estos tilacoides son **esbozos de cloroplastos** y se caracterizan porque en lugar de estar agrupadas las membranas dentro de un orgánulo (del cloroplasto) se encuentran **dispersas en el citoplasma**. Su función es la fotosíntesis.

Muchas bacterias poseen como estructura característica los **mesosomas** (cuerpo medio), que son invaginaciones de la membrana plasmática probablemente relacionados con la **formación de un septo o tabique transversal** en el momento de la **división celular**. Se han encontrado en el mesosoma **enzimas relacionados con el proceso de reproducción celular**, de hecho el mesosoma parece duplicarse al duplicarse el DNA, previamente a la división celular.

También se cree que el **mesosoma** tiene relación con la **respiración intracelular**. Se han encontrado en el mesosoma **enzimas respiratorios**, lo que hace que este orgánulo, que podría tener como función la generación de ATP, sea equivalente a las mitocondrias de las células eucariotas.

En la membrana **no se producen procesos de fagocitosis o pinocitosis**. Aunque no hay lisosomas, como tampoco ningún otro tipo de orgánulo (a excepción de los ribosomas), algunas bacterias producen **exoenzimas**, que liberan al exterior, capaces de hidrolizar determinadas macromoléculas. Estos enzimas pueden destruir tejidos, **facilitando la penetración bacteriana** en el caso de bacterias parásitas.

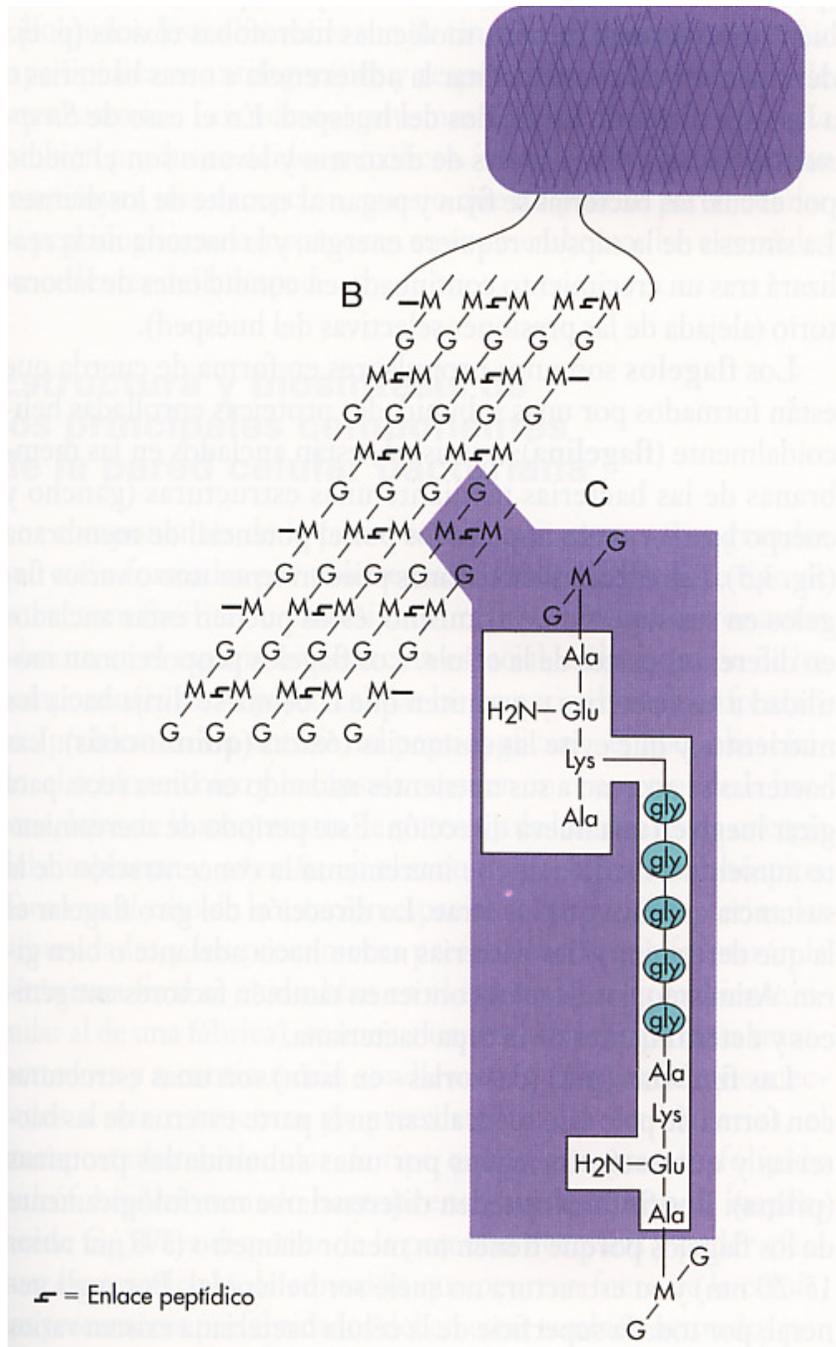
# LA PARED CELULAR

La pared celular es como un saco que rodea a la célula bacteriana, le confiere rigidez y la protege de los cambios osmóticos. Es una gran molécula: el peptidoglucano.

**Peptidoglucano:** es una molécula exclusiva de los procariotas, como ya sabemos está formado por unidades repetidas de un disacárido formado por la **N-acetilglucosamina (GLcNAc)** y el **ácido N-acetilmurámico (MurNac)**, unidos por enlace  $\beta$  1,4. El enlace entre dos disacáridos es también  $\beta$  1,4.

Además el **ácido N-acetilmurámico (MurNac)** está unido a **aminoácidos**, que son diferentes en bacterias grampositivas y gramnegativas. En las bacterias gramnegativas suele haber solo una capa de peptidoglucano, mientras que en las grampositivas las paredes celulares son gruesas y presentan hasta 40 capas de peptidoglucano.

# ESTRUCTURA DE LA PARED



**Figura 3.6.** Estructura general del peptidoglicano de la pared celular.

**A.** El peptidoglicano forma una especie de malla alrededor de la célula.

**B.** La malla de peptidoglicano está formada por un polímero de polisacárido cruzado por puentes peptídicos.

**C.** Los péptidos están entrecruzados a través de un puente peptídico existente entre la o-alanina (D-ala) terminal de una cadena y una lisina (lys) (o bien otro aminoácido de tipo diamino) de otra cadena. En *Staphylococcus aureus*, un puente de pentaglicina (gly<sub>5</sub>) se encarga de ampliar el entrecruzamiento (v. figura).

**M:** ácido N-acetilmurámico;

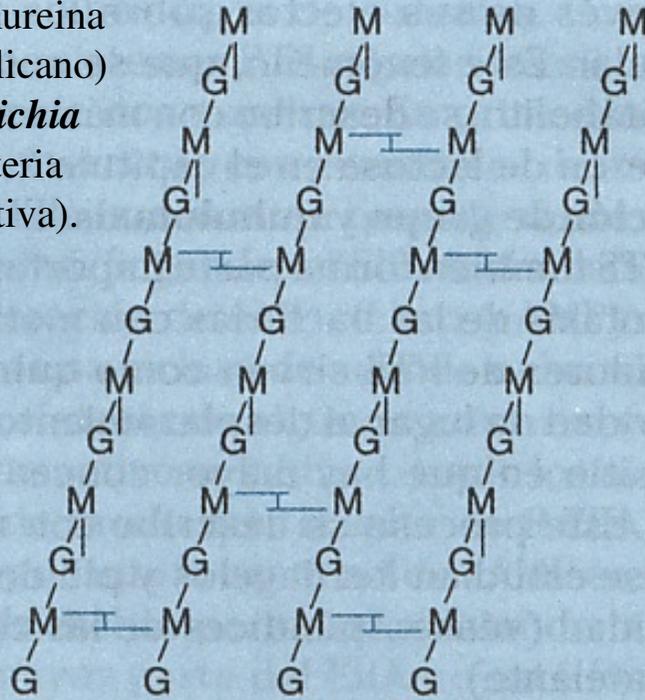
**G:** N-acetilglucosamina;

**Glu:** glutamato;

**gly:** glicina.

(A-C: Tomado de: Talaro K, Talaro AI, eds. Foundations in microbiology, 2.<sup>1</sup> ed., Dubuque, Iowa: Wm C Brown, 1996. D: Tomado de: Joklik KJ et al, eds. Zinsser microbiology, Norwalk, Conn: Appleton & Lange, 1988.)

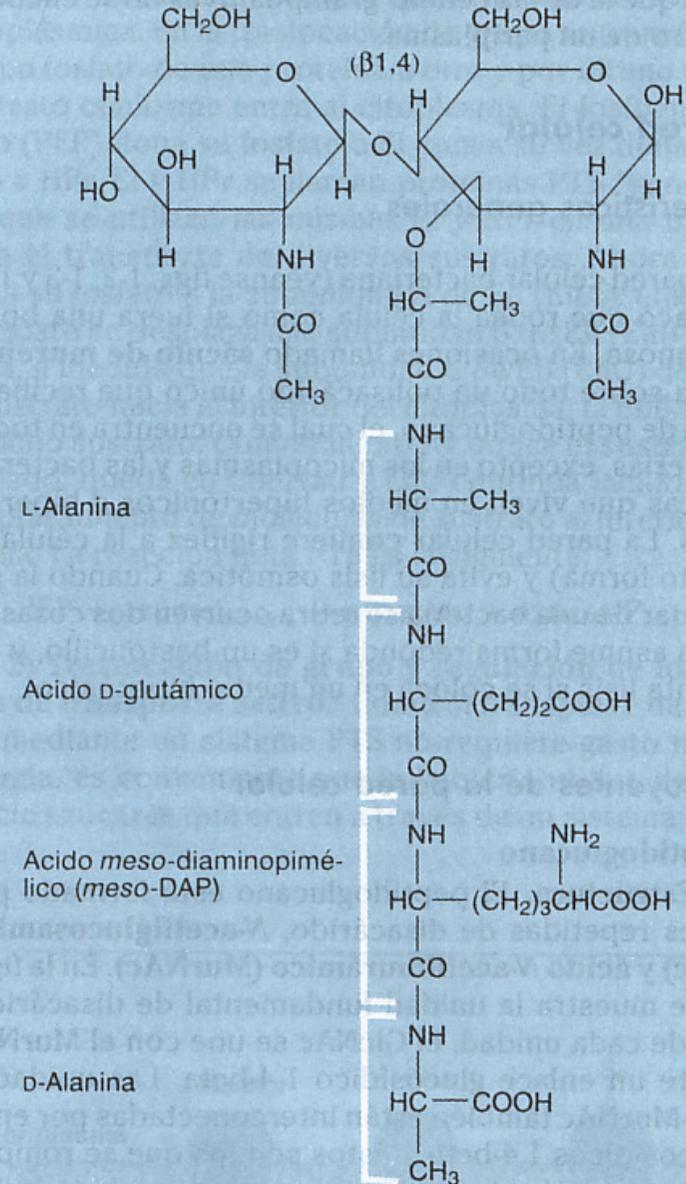
Constitución del  
sáculo de mureína  
(= peptidoglicano)  
en *Escherichia coli* (bacteria  
gramnegativa).



**Fig. 1-10. El sáculo de mureína.** La pared celular es un sáculo formado por unidades de disacárido GlcNAc-MurNAc unidas linealmente con enlaces cruzados peptídicos. Estos enlaces cruzados imparten al peptidoglicano su resistencia tensil. G = GlcNAc, o *N*-acetilglucosamina. M = MurNAc, o ácido *N*-acetilmurámico.

**Fig. 1-9. La unidad fundamental de peptidoglicano, que consta de *N*-acetilglucosamina (GlcNAc) y ácido *N*-acetilmurámico (MurNAc).** Cada unidad de disacárido GlcNAc-MurNAc está unida a otras unidades de disacárido por enlaces glucosídicos 1,4-beta, y los péptidos MurNAc forman enlaces cruzados con los péptidos de otros MurNAc a través de un enlace peptídico.

*N*-acetilglucosamina      Ácido *N*-acetilmurámico

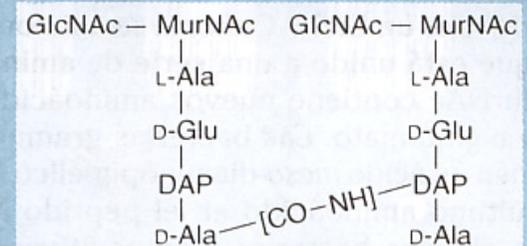


L-Alanina

Acido D-glutámico

Acido *meso*-diaminopimé-  
lico (*meso*-DAP)

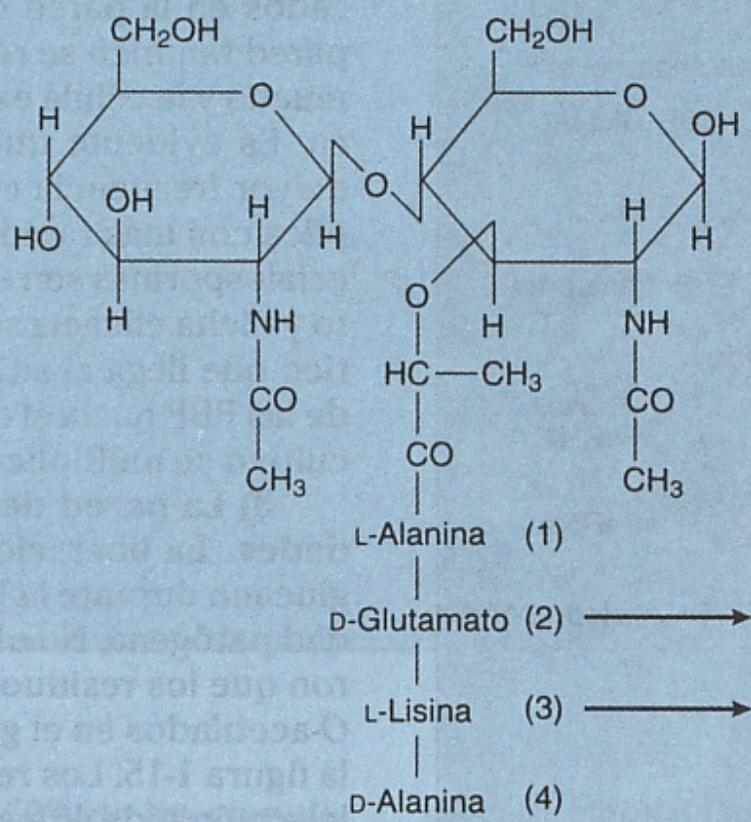
D-Alanina



nuevas unidades de disacárido. Se agregan en forma de...  
 -...s, aunque no se forman en...  
 -... el número de enlaces cr...  
 -... y la fuerza tensil de dicha...  
 -... Por último, la pared se debilita...  
 -... por la presión osmóti...  
 -... la pared celular se reemplaza con...  
 -... el microorganismo se multi...  
 -... las penicilinas y las...  
 -... en bacterias en crecimien...  
 -... con la cantidad de aminoá...

**Fig. 1-11. El peptidoglucano de las bacterias grampositivas.** A diferencia del peptidoglucano de las bacterias gramnegativas, cuya estructura química es congruente, el peptidoglucano de las bacterias grampositivas presenta variaciones de estructura en el péptido del ácido *N*-acetilmurámico (MurNAc) en las posiciones del segundo y el tercer aminoácidos.

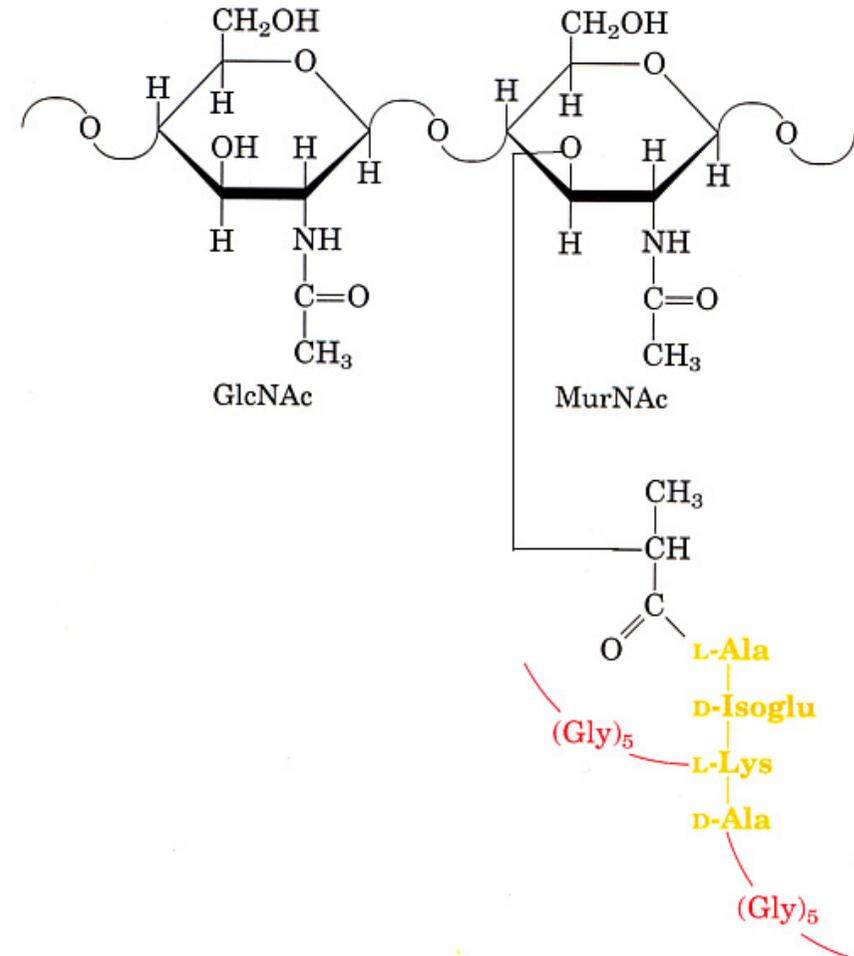
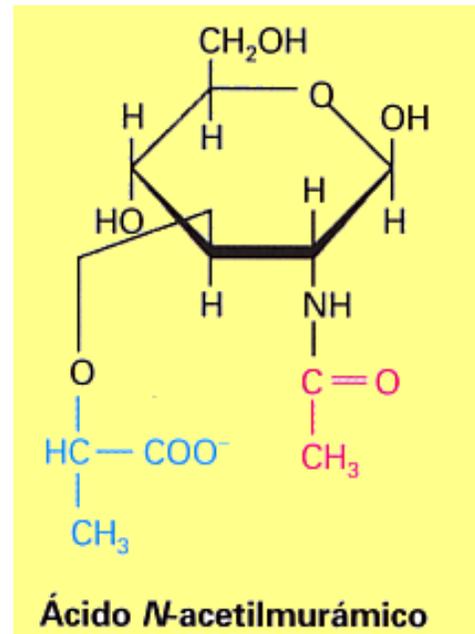
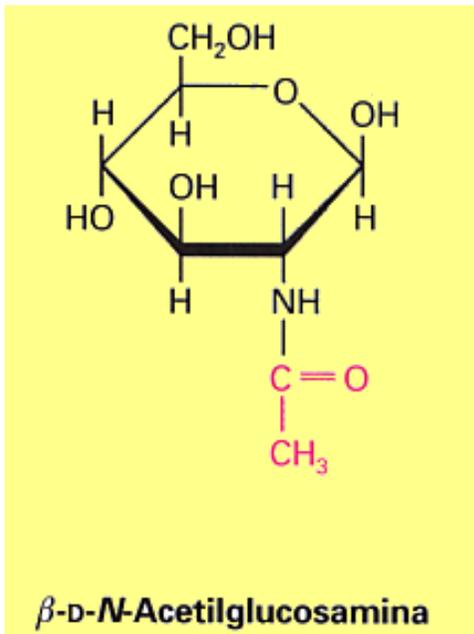
**N-acetilglucosamina      Acido N-acetilmurámico**

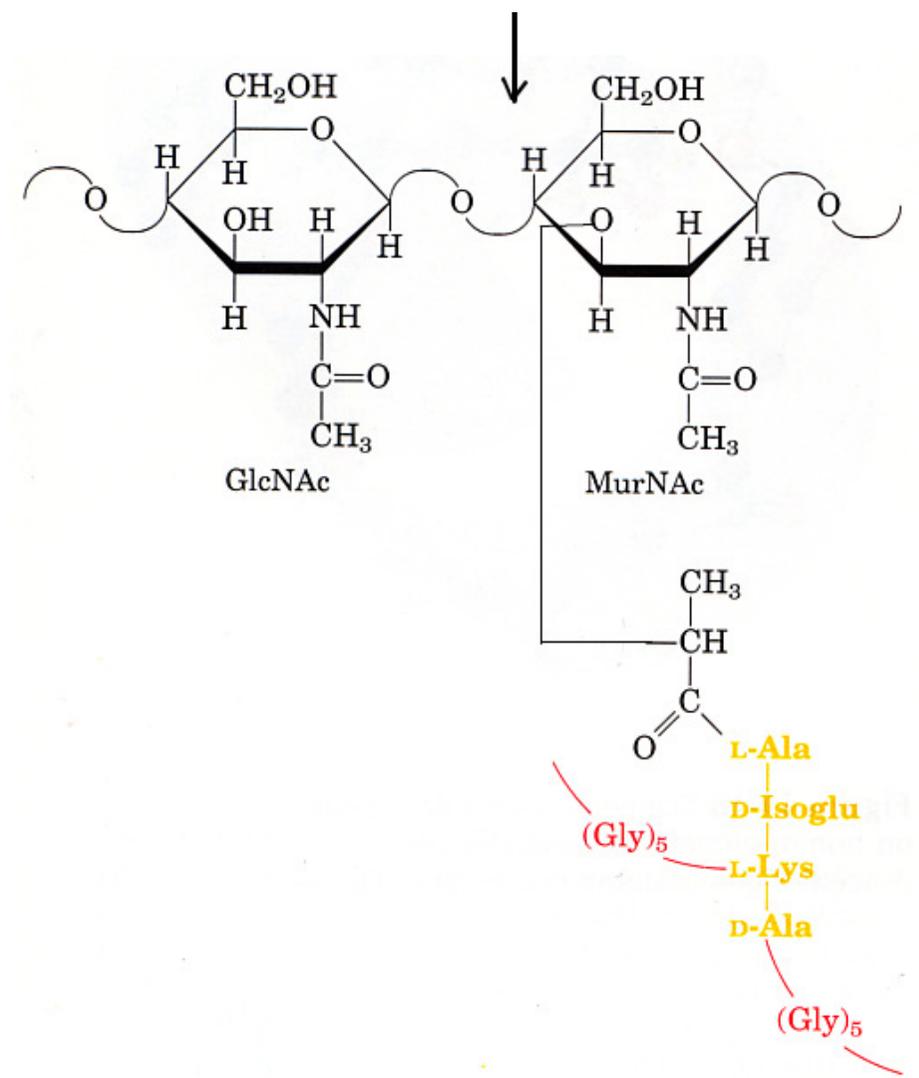
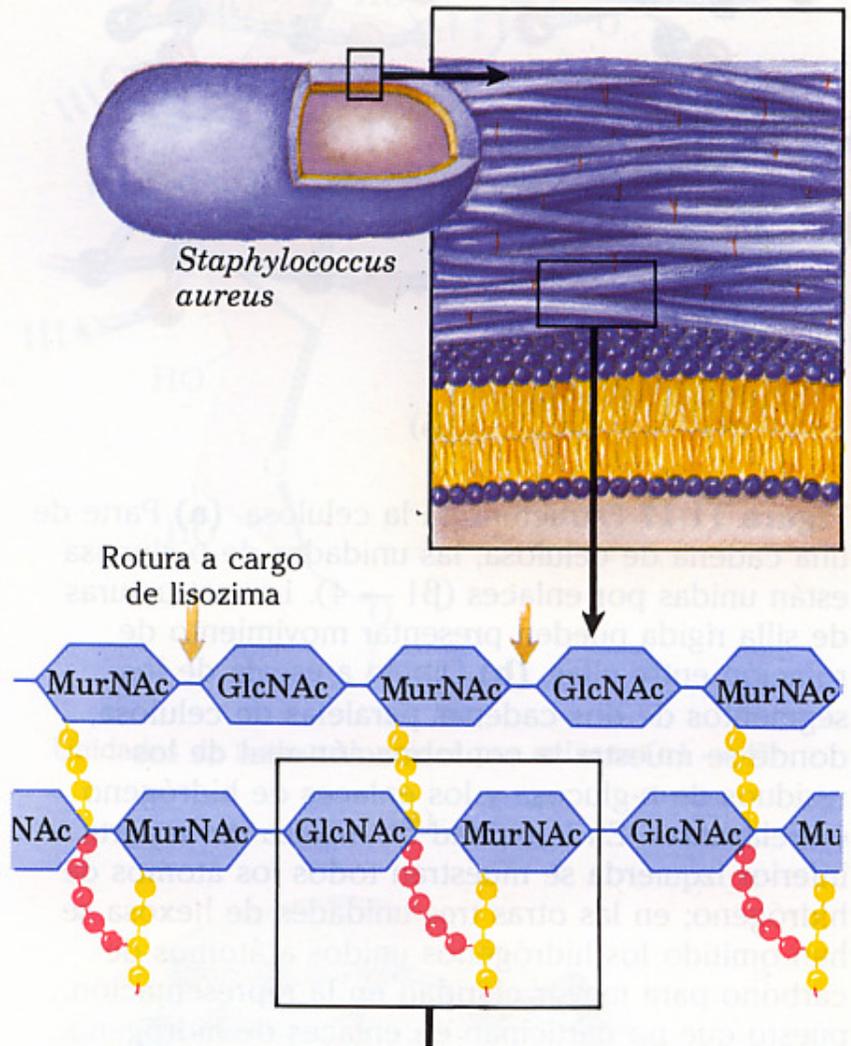


Alternativas en la posición 2
D-Glu-COOH D-Glu-CONH <sub>2</sub> D-Glu-Gli
Alternativas en la posición 3
L-Lisina Acido <i>meso</i> -diaminopimérico ( <i>meso</i> -DAP) Acido L,L-diaminopimérico (L,L-DAP) L-Ornitina Acido L-alfa,alfa-diaminobutírico L-Homoserina L-Glutamato L-Alanina

\* **Peptidoglicano**: es una molécula única y grande que forma la pared de las bacterias. Es un polímero de la **N acetil glucosamina** y del **ácido N acetil murámico**. Estas dos sustancias junto con **restos de aminoácidos** forman una estructura molecular cerrada, que veremos al hablar de los **procariontes bacterianos**. También recibe el nombre de **glucopéptido**.

Las diferentes unidades N acetil D glucosamina y ácido N acetil murámico se unen mediante enlaces  $\beta(1 \rightarrow 4)$ .





**Figura 11-19** El peptidoglucano de la pared celular de la bacteria gram-positiva *Staphylococcus aureus*. Los péptidos (en rojo y amarillo) unidos a las unidades de ácido *N*-acetilmurámico de dos cadenas vecinas unen covalentemente los dos polímeros. Obsérvese la mezcla de aminoácidos L y D en los péptidos. Isoglu hace referencia a isoglutamato, en el que el grupo carboxilo de la cadena lateral se encuentra formando el enlace peptídico en lugar del grupo carboxilo en C-1.

# LA MEMBRANA EXTERNA EN LAS CÉLULAS GRAMNEGATIVAS

Las bacterias gramnegativas son la únicas que tienen una membrana fuera del complejo de la pared celular (aunque algunos autores consideran también a esta membrana externa como un componente de la pared celular). Como la membrana plasmática, la membrana externa es también de naturaleza lipoproteica con fosfolípidos y proteínas. Algunas de estas proteínas son **porinas** que forman canales que permiten la entrada a la célula de determinadas macromoléculas. La molécula más importante desde el punto de vista inmunológico de la membrana externa es el **lipopolisacárido (LPS), molécula exclusiva de los bacterias Gram negativas**. Cada molécula de LPS tiene una estructura que difiere de unas a otras bacterias pero en general tiene tres partes diferentes:

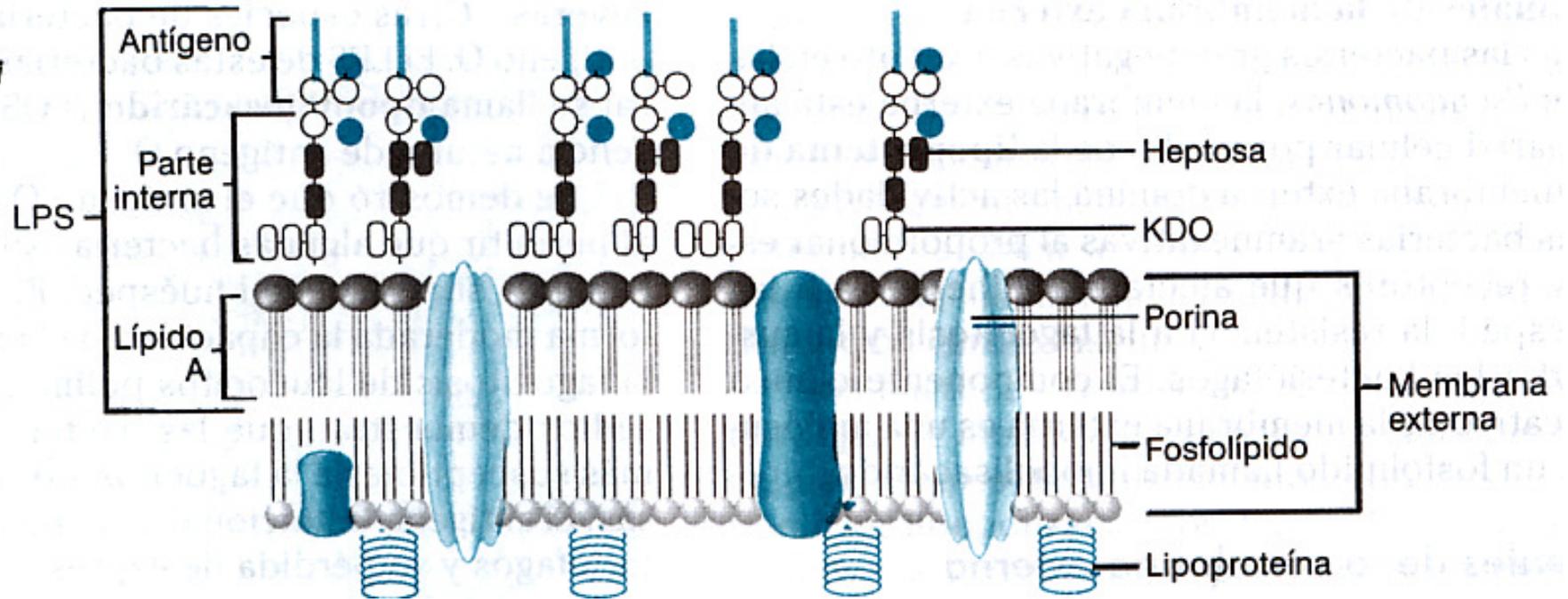
**El antígeno O** (el más externo). Es de estructura variable y naturaleza **glucídica**. Parece que permite a la bacteria resistir a los procesos de fagocitosis por parte de células del sistema inmunitario. Por el contrario favorece la infección por bacteriófagos. En una infección los anticuerpos se generan generalmente contra el Antígeno O, por lo que las técnicas de diagnóstico de una enfermedad se dirigen a determinar si se hallan presentes Ac frente al Ag O.

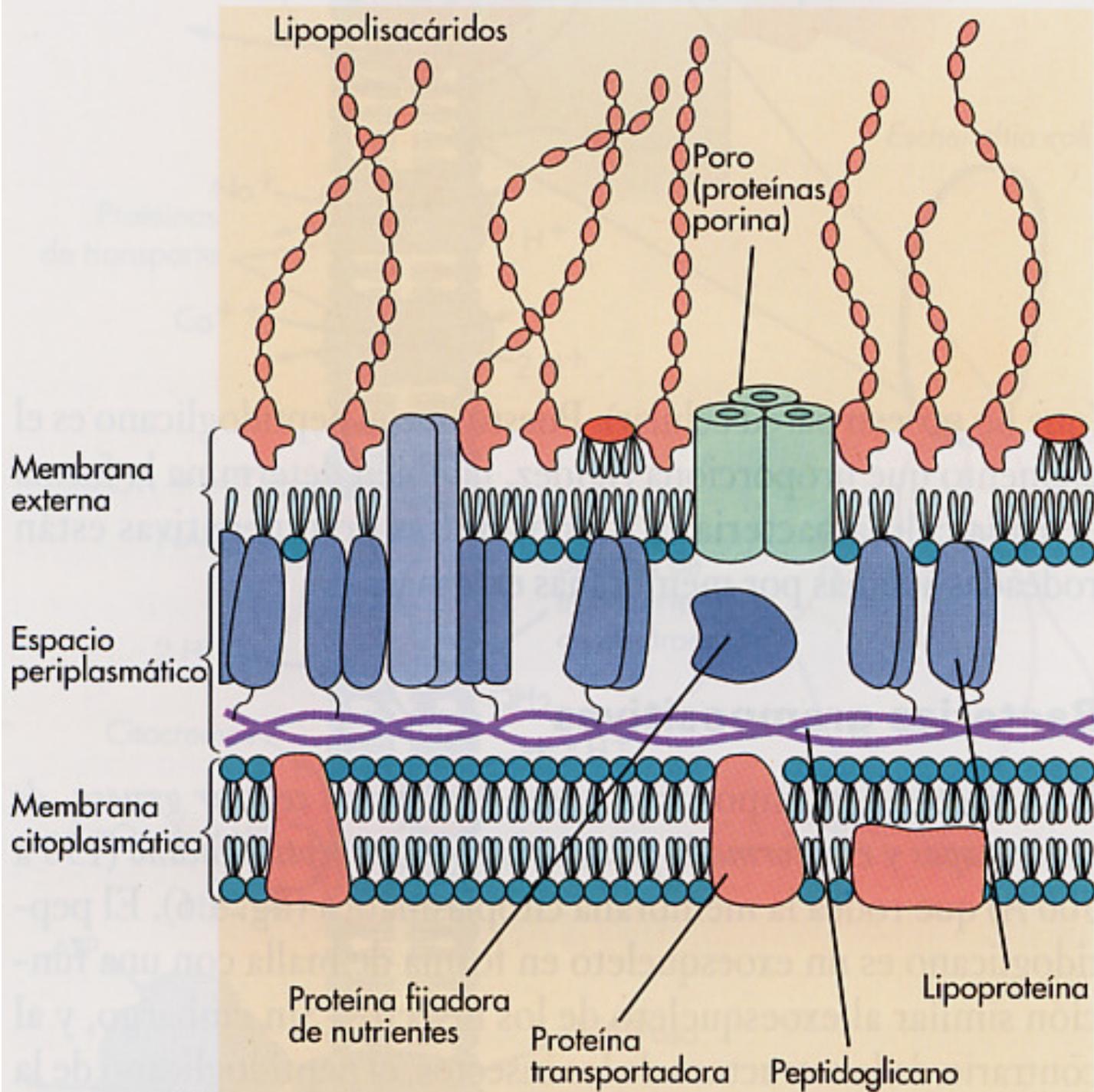
**Parte interna:** sirve para unir el Ag O al lípido A. De estructura variable y naturaleza **glucídica**.

**Lípido A**, en la parte exterior de la membrana externa. Es un **glucofosfolípido**. Aunque toda la molécula de LPS se conoce como endotoxina, es en realidad la porción de lípido A la **auténtica endotoxina**, tóxica para ciertas células y capaz de originar la **sepsis** por bacterias gramnegativas.

# ESTRUCTURA DEL LIPOPOLISACÁRIDO (solo en bacterias gramnegativas)

A. LPS en  
*Escherichia coli*





**B**

**TABLA 3.2.** Estructuras de la membrana bacteriana

Estructura	Constituyentes químicos
Membrana plasmática	Fosfolípidos, proteínas y enzimas que participan en los mecanismos de producción de energía, creación de un potencial de membrana y transporte
Pared celular <b>Envoltura</b>	
Bacterias grampositivas	
Peptidoglicano	Cadenas tipo glicano de <i>N</i> -acetilglucosamina y ácido <i>N</i> -acetilmurámico, unidas mediante un puente peptídico
Ácido teicoico	Fosfato de polirribitol o glicerol-fosfato unidos al peptidoglicano
Ácido lipoteicoico	Ácido teicoico unido a lípidos
Bacterias gramnegativas	
Peptidoglicano	Versión más delgada del peptidoglicano que se encuentra en las bacterias grampositivas
Espacio periplasmático	Enzimas que participan en los mecanismos de transporte, degradación y síntesis
Membrana externa	Fosfolípidos con ácidos grasos saturados
Proteínas	Porinas, lipoproteínas, proteínas de transporte
Lipopolisacárido	Lípido A, polisacárido central ( <i>core</i> ), antígeno O
Otras estructuras	
Cápsula	Polisacáridos (disacáridos y trisacáridos) y polipéptidos
Pili	Pilina, adhesinas
Flagelos	Proteínas motoras, flagelina
Proteínas	Proteína M de los estreptococos (como ejemplo)

**TABLA 3.4.** Características de la membrana de las bacterias grampositivas y gramnegativas

Características	Grampositivas	Gramnegativas
Membrana externa	-	+
Pared celular	Gruesa	Delgada
Lipopolisacárido	-	+
Endotoxina	-	+
Ácido teicoico	Presente a menudo	Ausente
Esporulación	En algunas cepas	No
Cápsula	Presente a veces	Presente a veces
Lisozima	Sensible	Resistente
Actividad antibacteriana de la penicilina	Más susceptible	Más resistente
Producción de exotoxina	Algunas cepas	Algunas cepas

***CITOPLASMA***

# CARACTERÍSTICAS DEL CITOPLASMA

Citoplasma = citosol (agua y sustancias en disolución) + orgánulos.

Es una disolución acuosa de sales, azúcares, vitaminas, enzimas, coenzimas... que presenta una gran simplificación estructural. Carece de retículo endoplasmático (RE), mitocondrias, aparato de Golgi, centrosomas etc. Es más viscoso que el citoplasma eucariótico y carece de corrientes citoplasmáticas.

Los únicos orgánulos que existen son **ribosomas libres** (no unidos a membranas). Los ribosomas contienen un 60% de RNA y un 40% de proteínas. Tienen unos 20 nm de diámetro.

Los **ribosomas de los procariontes** son de **70 S** (Svedbergs). Una unidad S es una constante de sedimentación que nos indica la masa y tamaño de un orgánulo. **Los ribosomas eucariotas son de 80 S**, es decir, de mayor tamaño.

## Características de los ribosomas procarióticos:

**Tamaño.-** 21 x 29 nm.

**Pm del ribosoma.-**  $2,8 \cdot 10^6$ .

**La subunidad menor.-**

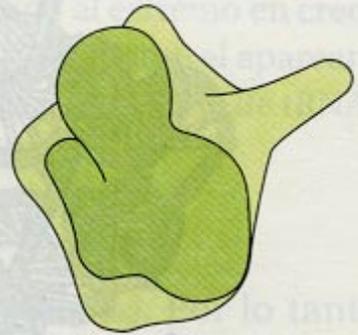
- . Coeficiente de sedimentación: **30 S** . Peso molecular:  $1 \cdot 10^6$ .
- . RNA: Está constituida por una sola molécula de **RNA de 16 S**, con 1500 nucleótidos.
- . Además posee aproximadamente **21 proteínas diferentes (S1, S2...S21)**.

**La subunidad mayor.-**

- . Coeficiente de sedimentación: **50 S** . Pm de  $1,8 \cdot 10^6$ .
- . **RNA**: Una molécula de **23 S**, con 3000 nucleótidos.  
Otra molécula de **5 S**, con 120 nucleótidos.
- . **34 proteínas ribosómicas diferentes (L1, L2...L34)**, con una sola copia de cada una de ellas.

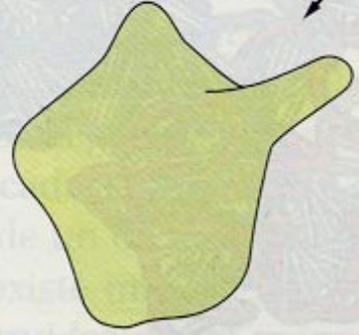
Nota.- (El peso molecular medio de un nucleótido es aproximadamente de 300, se puede calcular el peso molecular sabiendo el número de nucleótidos).

70S



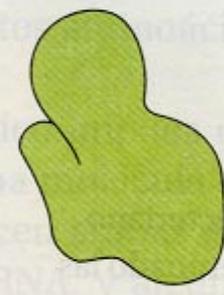
M 2 500 000

50S



M 1 600 000

30S



M 900 000

rRNA 5S



120 nucleótidos

rRNA 23S



2900 nucleótidos

34 proteínas

RIBOSOMA DE LA CÉLULA PROCARIOTA

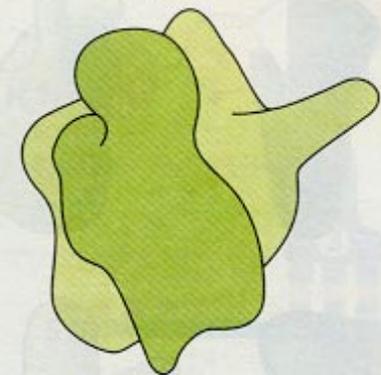
rRNA 16S



1540 nucleótidos

21 proteínas

80S



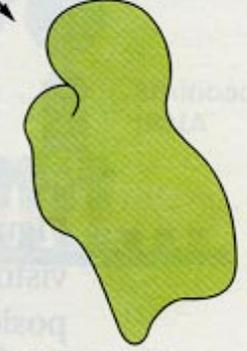
M 4 200 000

60S



M 2 800 000

40S



M 1 400 000

rRNA 5S



120 nucleótidos

rRNA 28S



4700 nucleótidos

~49 proteínas

RIBOSOMA DE LA CÉLULA EUCARIOTA

rRNA 5,8S



160 nucleótidos

rRNA 18S



1900 nucleótidos

~33 proteínas

En la célula eucariota, muchos ribosomas se encuentran unidos a membranas formando el retículo endoplasmático. En las células procariotas los ribosomas no se unen a membranas, pero se encuentran frecuentemente en agregados de distintos tamaños llamados **polirribosomas**. En cada polirribosoma se formarían varias proteínas o varias cadenas polipeptídicas para una misma cadena. Estos ribosomas se mantienen unidos gracias a una molécula de RNA mensajero que los enlaza.

En el citoplasma de las **bacterias fotosintéticas**, como ya hemos dicho antes, también existen unos orgánulos llamados **tilacoides o cromatóforos** (con pigmentos) que cumplen una función parecida a la de los cloroplastos de las células eucariotas fotosintéticas, pero que tienen distinta estructura. Solo excepcionalmente en algunas bacterias fotosintéticas la clorofila aparece incluida en una membrana simple (no doble, como en los plastidios), y sin crestas ni laminillas internas.

# LA REGIÓN NUCLEAR: EL DNA

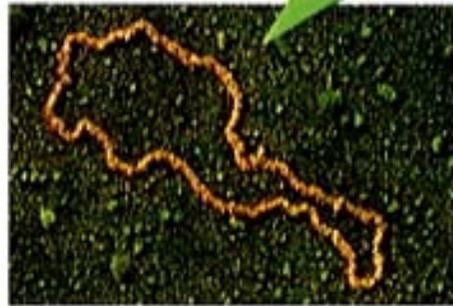
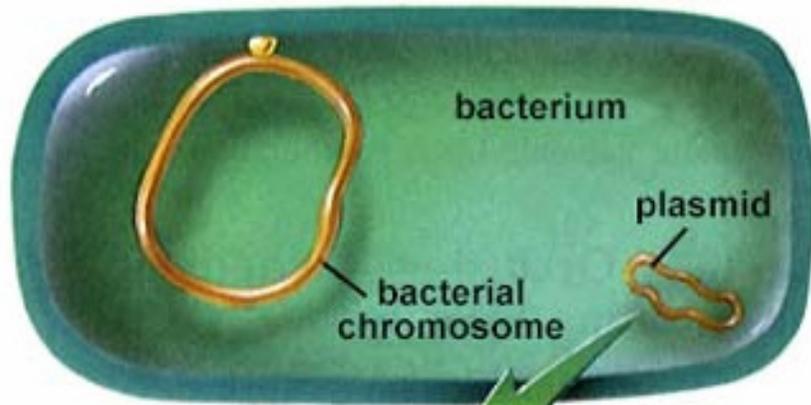
Los procariotas **no poseen un verdadero núcleo** como los eucariotas. Sí existe una región nuclear (a veces llamada **nucleoide**) que al microscopio electrónico contiene un delgado material fibrilar no rodeado de membrana, que es el **cromosoma bacteriano**. Este material fibrilar es en todos los organismos procariotas **DNA bicatenario cerrado covalentemente, generalmente circular** (aunque existen excepciones, con cromosomas lineares). Este DNA **no está unido a histonas** (proteínas básicas del núcleo de las células eucarióticas, que intervienen tanto en la formación de la cromatina, como del cromosoma), aunque sí a **otro tipo de proteínas básicas**.

La molécula de DNA estirada posee una longitud mucho mayor que la de la propia célula: por ejemplo, en *Escherichia coli*, que tiene un tamaño de unas 2 micras, el DNA tiene de 1100 a 1400 micras (y  $4,3 \cdot 10^6$  pares de bases). Como hemos dicho, en muchas bacterias la molécula es **circular**, es decir, se cierra sobre sí misma y carece de extremos libres.

Las bacterias son **organismos haploides**, con un solo cromosoma, pero cuando las células bacterianas van a dividirse, en ocasiones se replica varias veces el cromosoma y cada individuo puede tener varias copias de ese cromosoma (*E.coli* puede albergar hasta 10 copias).

Además muchas bacterias poseen pequeños fragmentos de DNA de cadena doble, separados del cromosoma, muchas veces también circulares, cerrados covalentemente, que reciben el nombre de **plásmidos**. Suelen contener de 5 a 100 genes: de resistencia a antibióticos (plásmidos R), producción de toxinas o factores de penetración en tejidos, resistencia a metales pesados como el Hg, producción de bacteriocinas (proteínas tóxicas producidas por bacterias que matan a otras de su misma especie) etc). Los plásmidos pueden ser transferidos de una bacteria a otra y tienen capacidad de **replicación autónoma**, con independencia del cromosoma bacteriano.

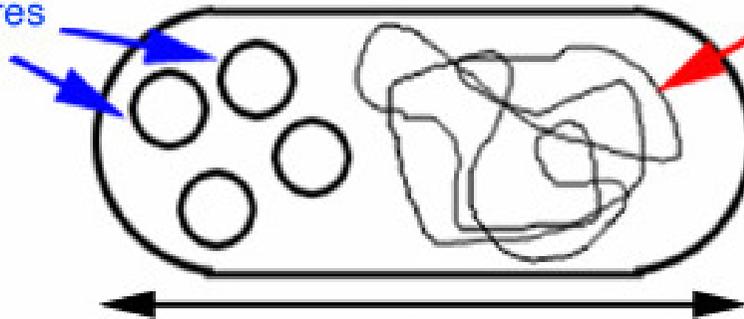
No obstante, algunos plásmidos, llamados **episomas**, tienen capacidad de **integrarse reversiblemente en el cromosoma bacteriano** y replicarse junto a él.



1  $\mu\text{m}$



plásmidos,  
pequeños cromosomas  
circulares  
 $\pm 5.000$  bp



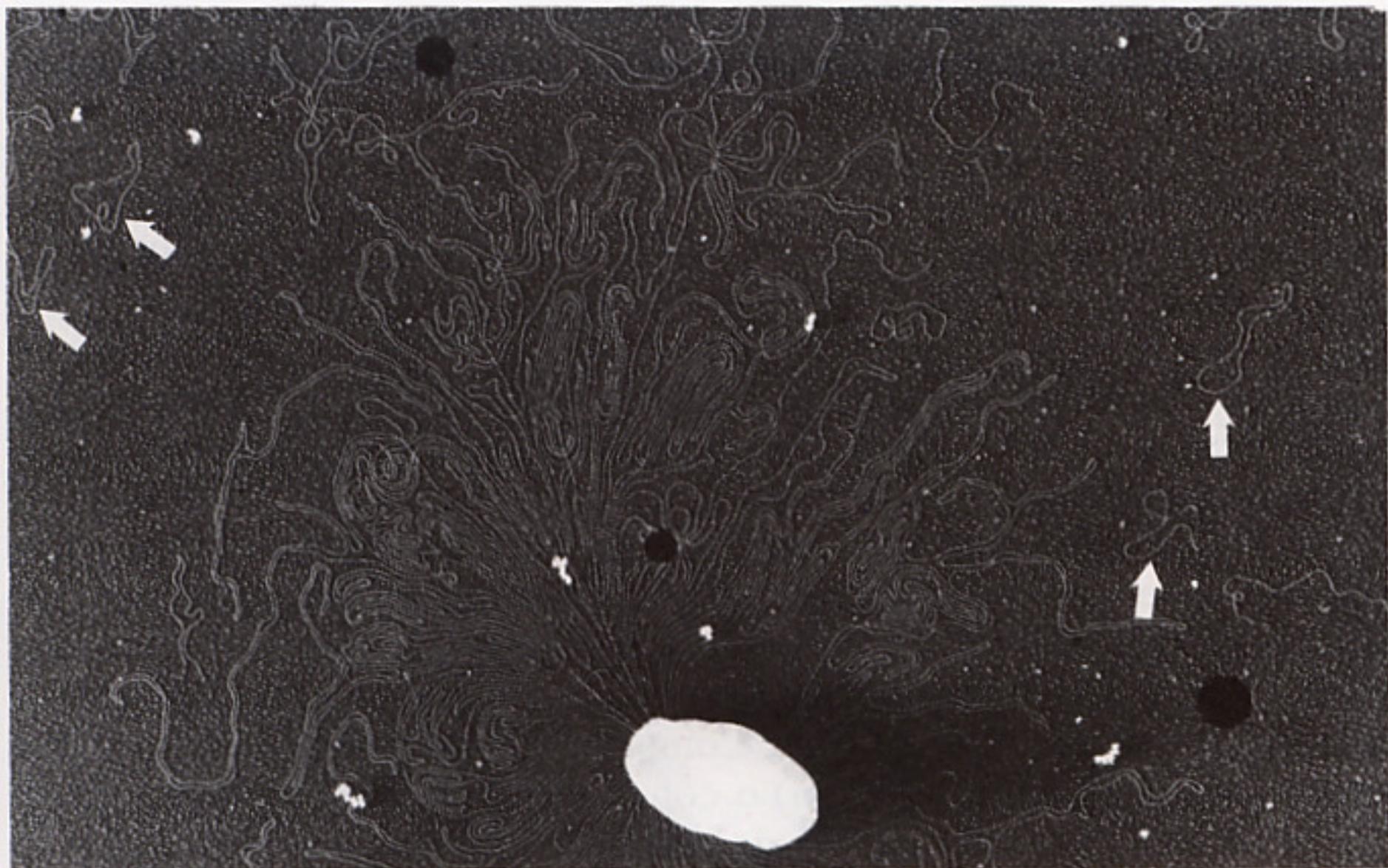
cromosoma bacteriano  
circular  
4.300.000 bp  
1,3 mm

*E. coli*  
(bactéria)

1  $\mu\text{M}$

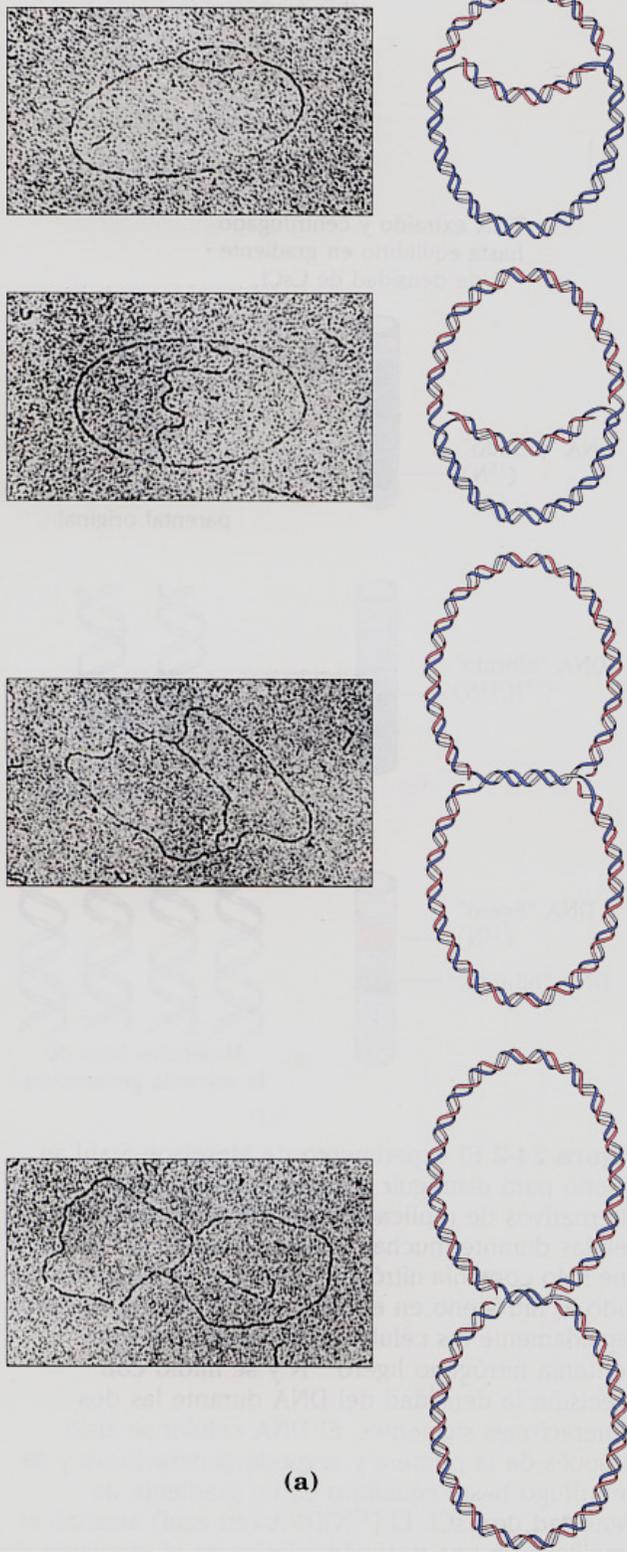
*Jp herveg y m barcia-macay, septiembre 2005*

Para que os animéis a hacer dibujos sencillos...



**Figura 23-3** Micrografía electrónica del DNA de una célula lisada de *E. coli*. Las flechas indican la localización de diversos DNA plasmídicos circulares y de pequeño tamaño. Los puntos negros y las manchas blancas son artefactos de la preparación.

La **división celular** se produce por **fisión binaria** (no es una mitosis). Se produce la duplicación de todos los constituyentes celulares que después se reparten ordenadamente entre las dos células hijas. Inicialmente se duplica el DNA separándose las dos cadenas y formándose sobre cada una de ellas una nueva cadena de DNA. Se cree que esta replicación se produce gracias a que el DNA se fija en algún punto de la membrana plasmática. Una vez replicadas, cada una de las dos moléculas dobles se dirige hacia cada una de las dos mitades de la célula en división, se reparten los orgánulos y a continuación aparece un **septo** (tabique) en la **región del mesosoma** que se va alargando de forma similar a como ocurre en las células eucariotas, hasta que al final se forman dos células hijas idénticas.

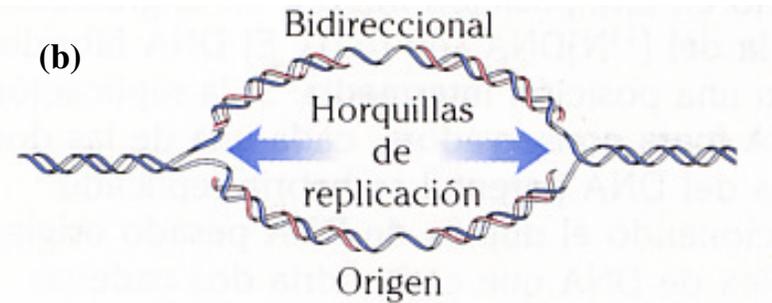


(a)

**Figura 24-3** La replicación de un cromosoma circular forma una estructura que se parece a la letra griega theta ( $\theta$ ). **(a)** El marcado con ( $^3\text{H}$ ) muestra que ambas hebras se replican a la vez (hebras nuevas en rojo). Las micrografías electrónicas ilustran la replicación de un plásmido circular de *E. coli* tal como se ve con autorradiografía.

**(b)** La replicación en *E. coli*, *B. subtilis* y otras bacterias es bidireccional.

**(c)** Autorradiograma de un cromosoma replicante de *E. coli* tomado de un cultivo después de crecer en [ $^3\text{H}$ ]timidina durante dos generaciones.



(c)

# DIVISIÓN CELULAR: FISIÓN BINARIA

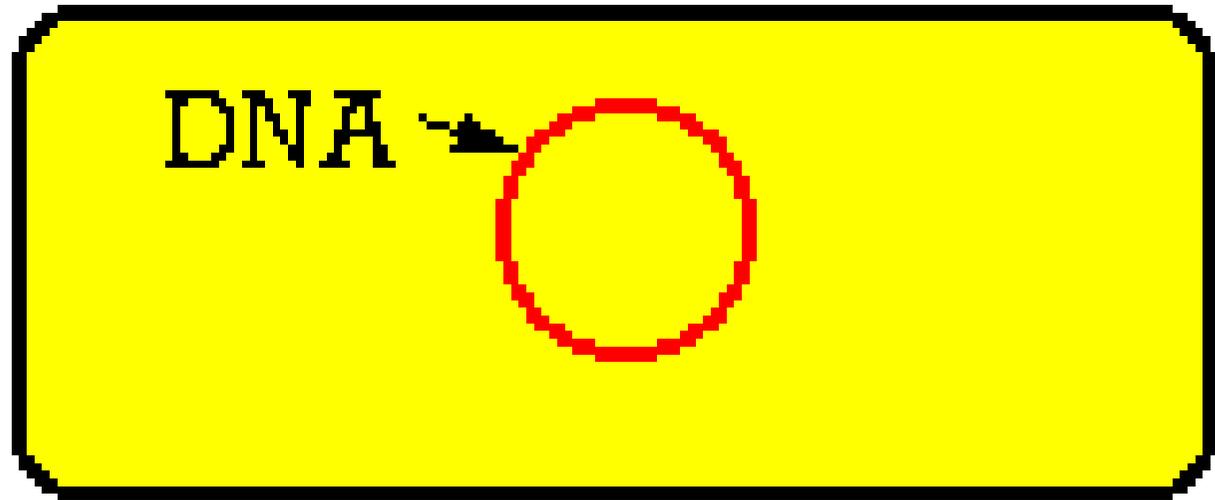


Rod-Shaped (bacilos) Bacterium, *E. coli*,  
dividing by binary fission (TEM x 92,750).

This image is copyright Dennis Kunkel



Rod-Shaped Bacterium, hemorrhagic *E. coli*, strain 0157:H7 (division) (SEM x22,810).



**START**

# OTRAS ESTRUCTURAS CELULARES

Las bacterias pueden tener además:

## Inclusiones de reserva

Son acúmulos de sustancias orgánicas (reserva de C o N) o inorgánicas (reserva de P o S). A veces aparecen rodeadas de proteínas.

Puede haber inclusiones orgánicas de polisacáridos (glucógeno en *E.coli*), gránulos de ácido poli  $\beta$  hidroxibutírico (PHB), hidrocarburos y gránulos de cianoficina (en cianobacterias).

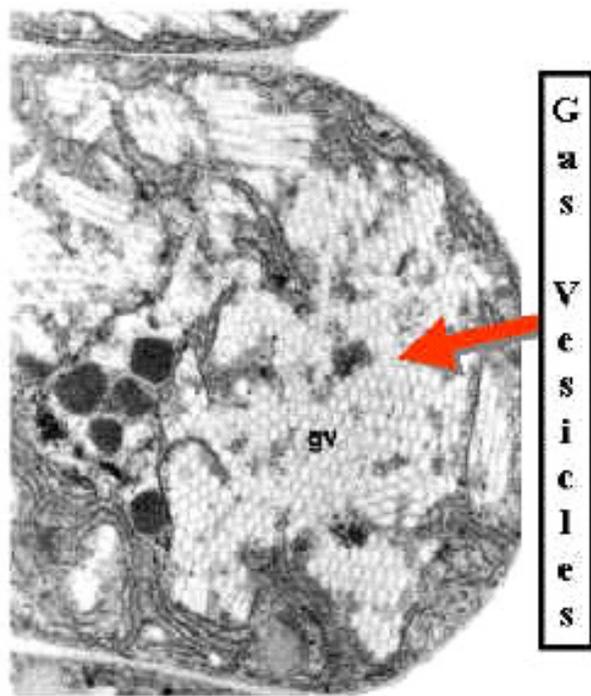
Las inclusiones inorgánicas pueden ser de polifosfatos o gránulos de azufre.

**Table 12. Some inclusions in bacterial cells.**

Cytoplasmic inclusions	Where found	Composition	Function
glycogen	many bacteria e.g. <i>E. coli</i>	polyglucose	reserve carbon and energy source
polybetahydroxybutyric acid (PHB)	many bacteria e.g. <i>Pseudomonas</i>	polymerized hydroxy butyrate	reserve carbon and energy source
polyphosphate (volutin granules)	many bacteria e.g. <i>Corynebacterium</i>	linear or cyclical polymers of PO <sub>4</sub>	reserve phosphate; possibly a reserve of high energy phosphate
sulfur globules	phototrophic purple and green sulfur bacteria and lithotrophic colorless sulfur bacteria	elemental sulfur	reserve of electrons (reducing source) in phototrophs; reserve energy source in lithotrophs
<u>gas vesicles</u>	aquatic bacteria especially cyanobacteria	protein hulls or shells inflated with gases	buoyancy (floatation) in the vertical water column
parasporal crystals	endospore-forming bacilli (genus <i>Bacillus</i> )	protein	unknown but toxic to certain insects
<u>magnetosomes</u>	certain aquatic bacteria	magnetite (iron oxide) Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	orienting and migrating along geo-magnetic field lines
<u>carboxysomes</u>	many autotrophic bacteria	enzymes for autotrophic CO <sub>2</sub> fixation	site of CO <sub>2</sub> fixation
phycobilisomes	cyanobacteria	phycobiliproteins	light-harvesting pigments
<u>chlorosomes</u>	Green bacteria	lipid and protein and bacteriochlorophyll	light-harvesting pigments and antennae

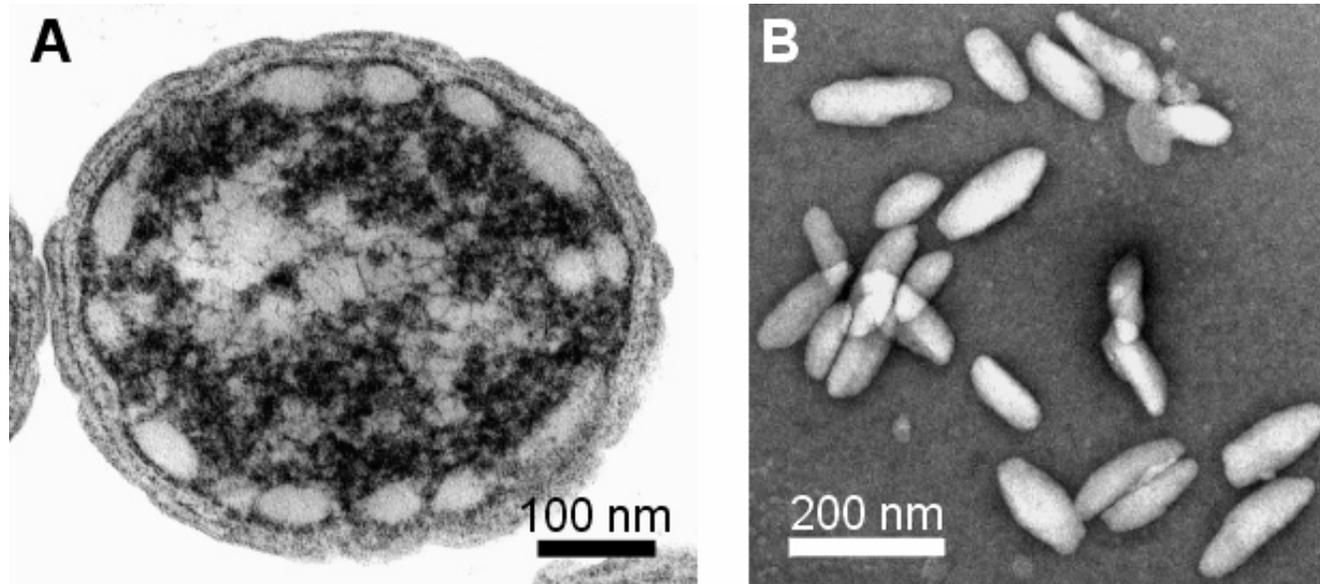
Como el nuevo currículo de la UPNA, incluye textualmente los *vacuolas de gas, clorosomas y carboxisomas* (y además las separa de las inclusiones, por aquello de que siguen libros de Bachiller), vamos a describir estas inclusiones expresamente. A veces se consideran organulos citoplasmáticos bacterianos, pero no están rodeados de membrana, aunque algunos de ellos están rodeados por envueltas proteicas.

**Vacuolas de gas:** son inclusiones de proteínas (impermeables al agua, pero permeables a los gases) en cuyo interior se albergan gases. Son muy refringentes. Aparecen en cianobacterias acuáticas y su finalidad es favorecer la flotabilidad de la bacteria, permitiendo a las bacterias vivir a la profundidad adecuada para su modo de vida (luz, oxígeno y otros nutrientes adecuados).

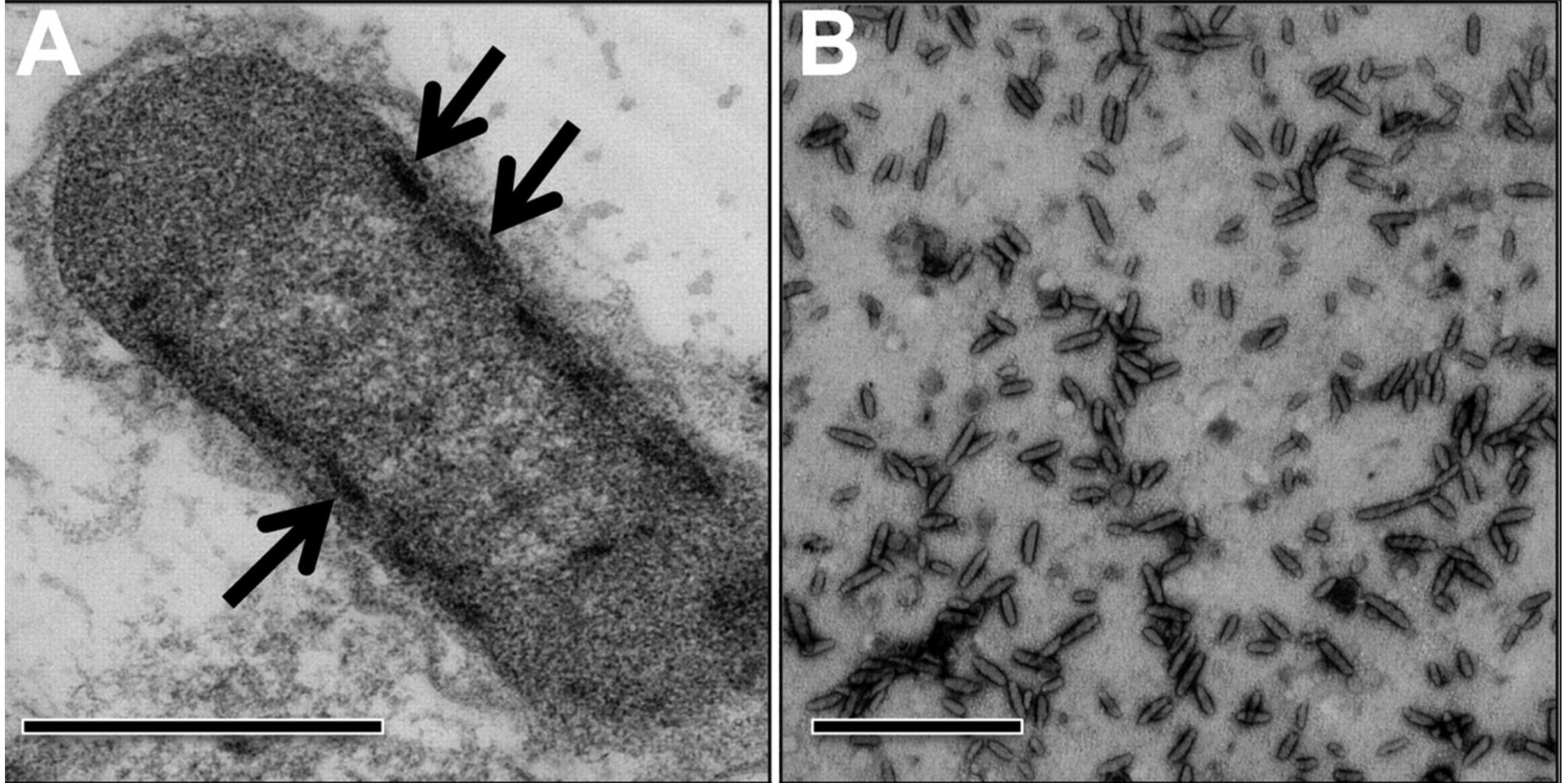


Vacuolas de gas en una cianobacteria

**Clorosomas:** son inclusiones lípidos (carotenoides) y proteínas (quinonas) con bacterioclorofila, solo visibles al ME. Aparecen en bacterias verdes fotosintéticas y se disponen debajo de la membrana plasmática. Su finalidad es actuar como pigmentos antena para la recolección de la luz.



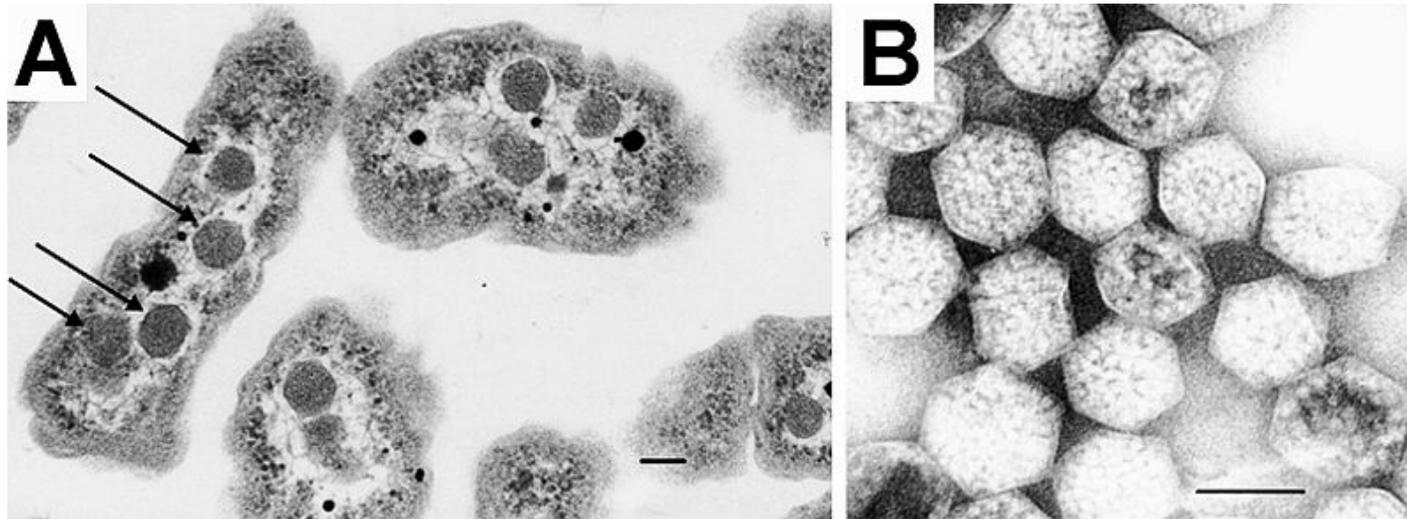
**Figure 1.** Transmission electron micrograph of (A) a thin-section of a *Chl. tepidum* cell showing the chlorosomes as large white bodies attached to the cytoplasmic membrane (Frigaard et al. 2002), and (B) isolated chlorosomes from *Chl. tepidum* (Frigaard et al. 2004).



Micrografías electrónicas de *Ca* ". *Chloracidobacterium thermophilum* "célula y un campo de clorosomas negativamente manchadas. (A) clorosomas (flechas) son visibles como electrón-opacos de tipo varilla objetos adpresos al velo lateral interna de la membrana celular. Las secciones finas se tiñeron con 2% (peso / volumen) de acetato de uranilo antes de la visualización. (B) clorosomas se tiñeron con acetato de uranilo al 1% (peso / vol). Bares, 500 nm.

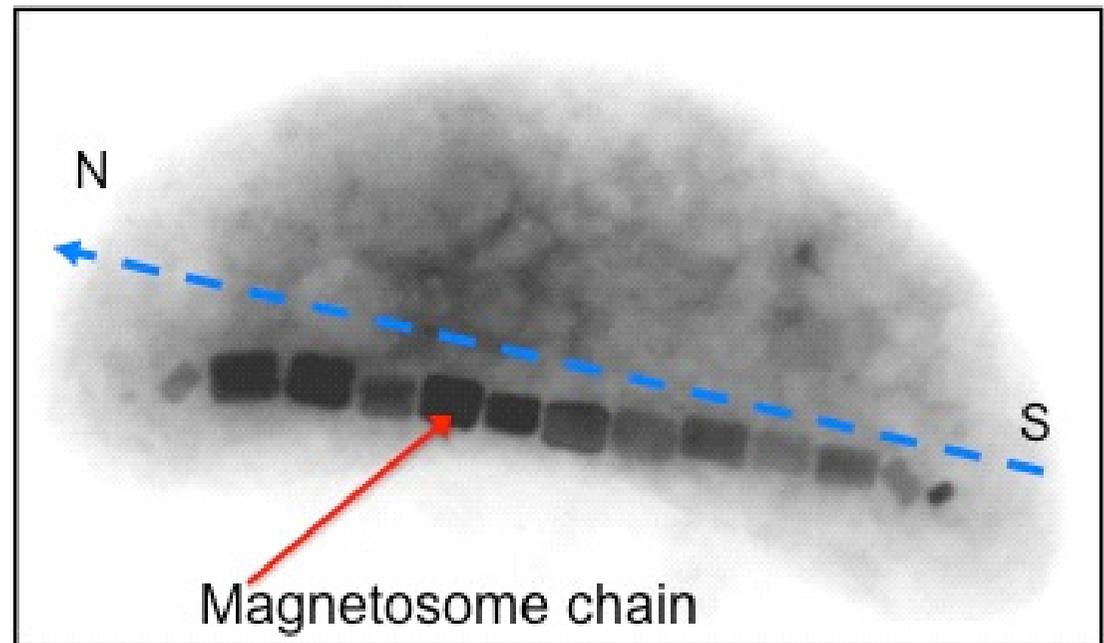
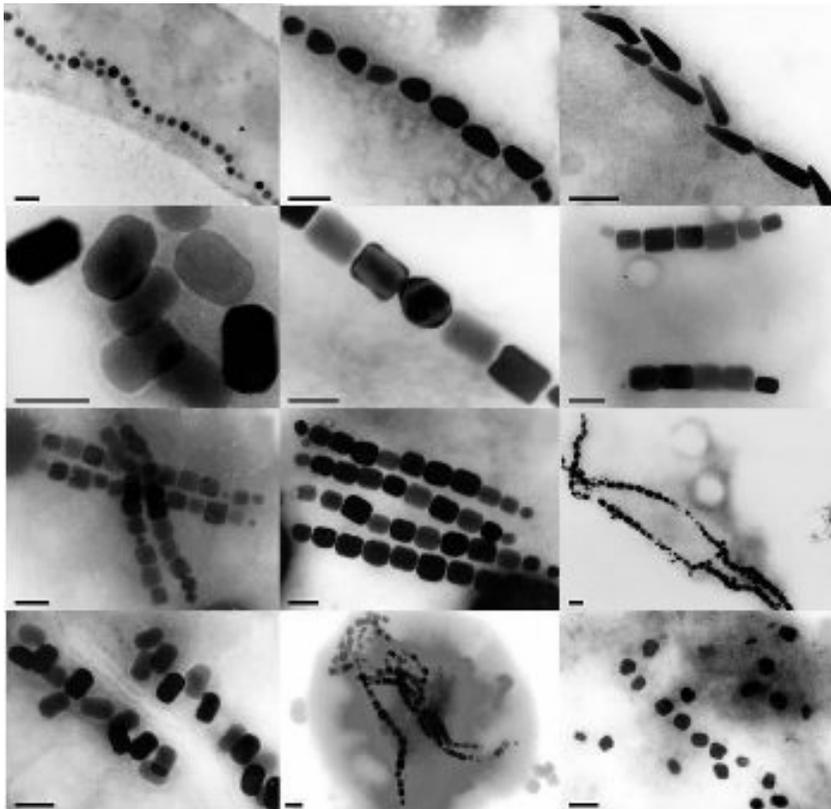
*Chloracidobacterium thermophilum* es una ácidobacteria **recientemente descubierta en el Parque Nacional Yellowstone (2007)**

**Carboxisomas:** son inclusiones que contienen enzimas para la fijación autótofa de CO<sub>2</sub>, es decir, contienen moléculas de *ribulosa 1,5 bisfosfato carboxilasa oxigenasa (rubisco)*. Aparecen en muchas bacterias autótrofas (Cianobacterias, algunas bacterias púrpúreas y algunas quimioautótrofas) y su función es la fijación autótrofa del CO<sub>2</sub> atmosférico en el ciclo de Calvin.



(A) A thin-section electron micrograph of *H. neapolitanus* cells with carboxysomes inside. In one of the cells shown, arrows highlight the visible carboxysomes. (B) A negatively stained image of intact carboxysomes isolated from *H. neapolitanus*. The features visualized arise from the distribution of stain around proteins forming the shell as well as around the RuBisCO molecules that fill the carboxysome interior. Scale bars indicate 100 nm.

**Magnetosomas** (estos no los cita el currículo): son orgánulo sensores de campo magnético terrestre. Aparecen en ciertas bacterias acuáticas flageladas. Contienen cristales de Magnetita  $Fe_3O_4$ . Orientan a las bacterias sobre las líneas del campo magnético terrestre.



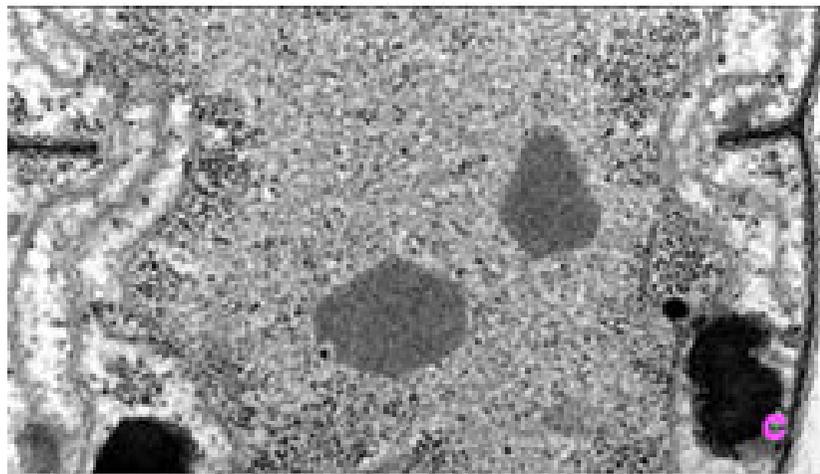


Figure 27. A variety of bacterial inclusions. a. PHB granules; b. a parasporal BT crystal in the sporangium of *Bacillus thuringiensis*; c. carboxysomes in *Anabaena viridissima*, showing their polyhedral shape; d. sulfur globules in the cytoplasm of *Beggiatoa*

# Flagelos (=látigo).

Muchas bacterias son móviles gracias a que poseen unos apéndices especiales, los flagelos, estructuras que permiten el movimiento de las células. Son apéndices largos y delgados que se unen por un extremo a la célula. No son visibles al microscopio óptico, porque sólo tienen unos 20 nm de grosor.

Por la disposición del flagelo las bacterias reciben distintos nombres:

-**Monotricas** (*mono*, uno; *tricos*, pelo): un solo flagelo unido a un extremo de la célula.

Ej: *Pseudomonas sp.*

-**Lofotrica** (*lofo*, penacho; *tricos*, pelo): tienen un penacho de flagelos en uno de los extremos. Ej: *Pseudomonas fluorescens*.

-**Peritricas** (*peri*, alrededor; *tricos*, pelo): cuando hay varios flagelos alrededor de la célula, que parten de diversos lugares de la superficie celular. Ej. *Proteus morganii*.

Los flagelos se utilizan para la clasificación de las bacterias. Generalmente tienen una estructura helicoidal y se encuentran unidos a una placa membranosa situada inmediatamente por debajo de la membrana celular. Están formados por una proteína globular, la **flagelina**, que forma un triple helicoide.

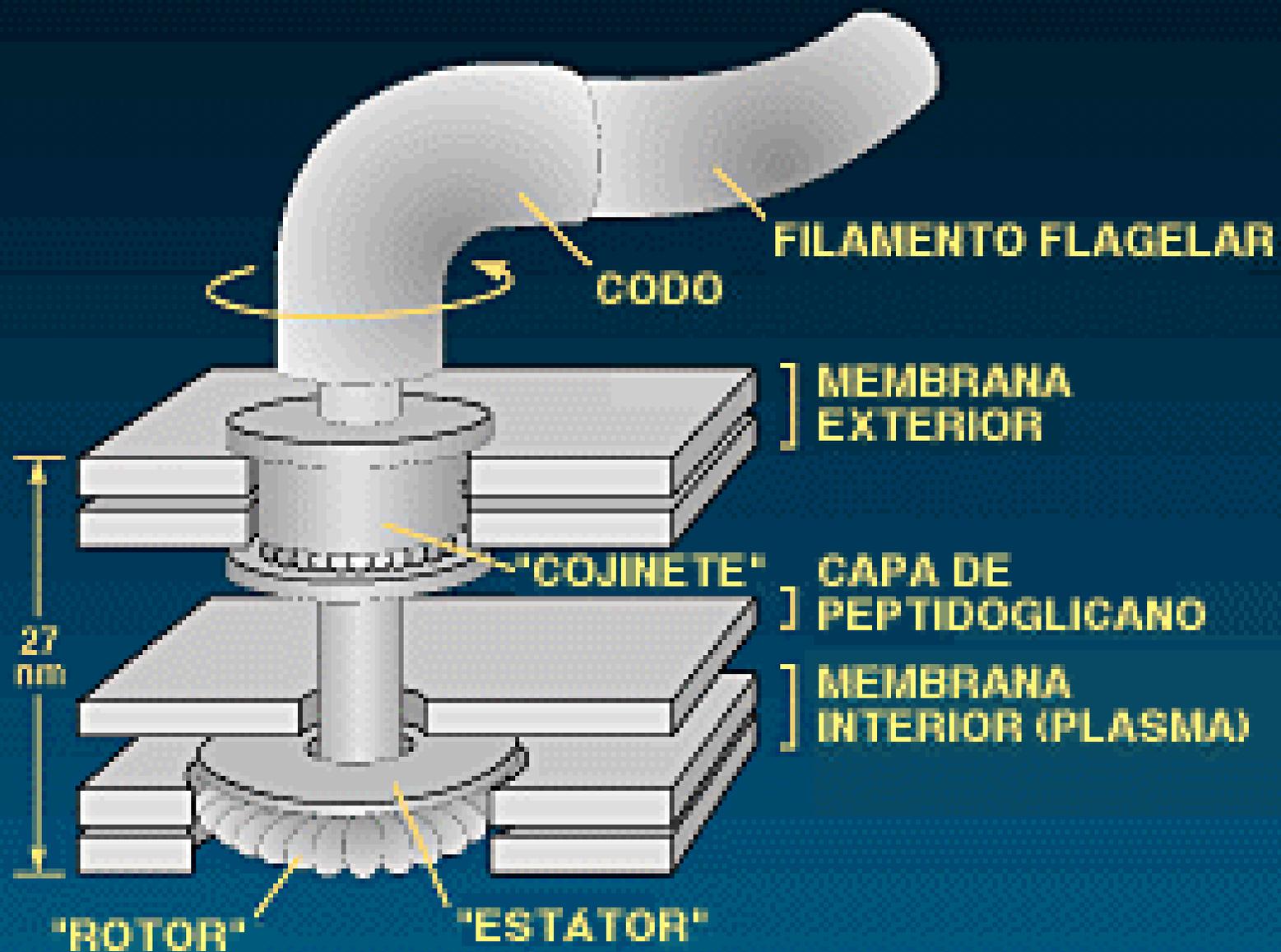


DIAGRAMA CONCEPTUAL DEL  
MECANISMO DEL MOTOR DE *E. COLI*

## **Fimbrias**

Son estructuras similares a los flagelos pero no relacionadas con la motilidad. Son más numerosos y más cortos. Favorecen la fijación de las bacterias al sustrato.

**Pelos.** *Pili* es el plural de *pilum*, pelo. Similares a las fimbrias, pero más largos y en menor número. Actúan como receptores específicos para algunos tipos de virus. Algunos están en relación con la conjugación bacteriana y se denominan pelos sexuales.

## **Cápsula, mucus y sustancias adhesivas.**

Algunas **bacterias y cianofíceas** segregan en su superficie materiales mucosos. Si forman una capa compacta, se llaman **cápsulas** y si son laxas se denominan **capas mucosas**. Por ejemplo, los *Neumococos*, que son bacterias patógenas para el hombre, poseen siempre cápsula o son capaces de desarrollarla. Los *Neumococos* no encapsulados son incapaces de producir la enfermedad.

Entre las **cianobacterias**, *Nostoc* es una especie cuyas células segregan una sustancia mucilaginosa.

# ENDOSPORAS BACTERIANAS

Las **bacterias grampositivas** (solo esporulan las bacterias grampositivas, por ejemplo *Bacillus* y *Clostridium*, *Clostridium tetani* y *Clostridium botulinum*) son capaces de formar esporas muy resistentes al calor. Reciben el nombre de **endoesporas** porque se forman en el interior de las células, donde se ven como cuerpos refringentes que no se tiñen (son muy impermeables a los colorantes). Las esporas tienen un contenido muy bajo en agua.

La espora bacteriana es muy compleja estructuralmente y presenta varias capas:

Exosporio: cubierta fina y delicada.

Cubierta proteica.

Membrana externa

Córtex o corteza: constituido por muchas capas concéntricas, de composición similar a la pared.

Pared celular.

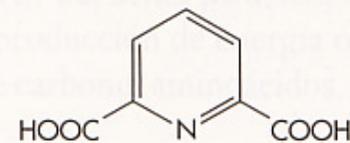
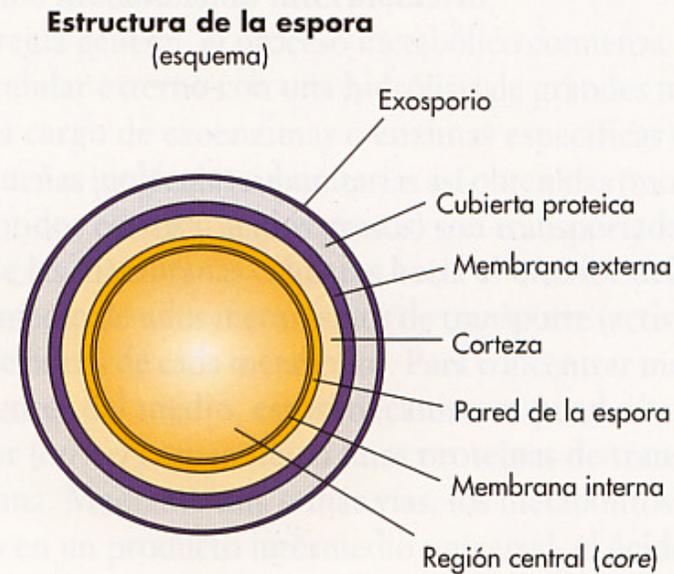
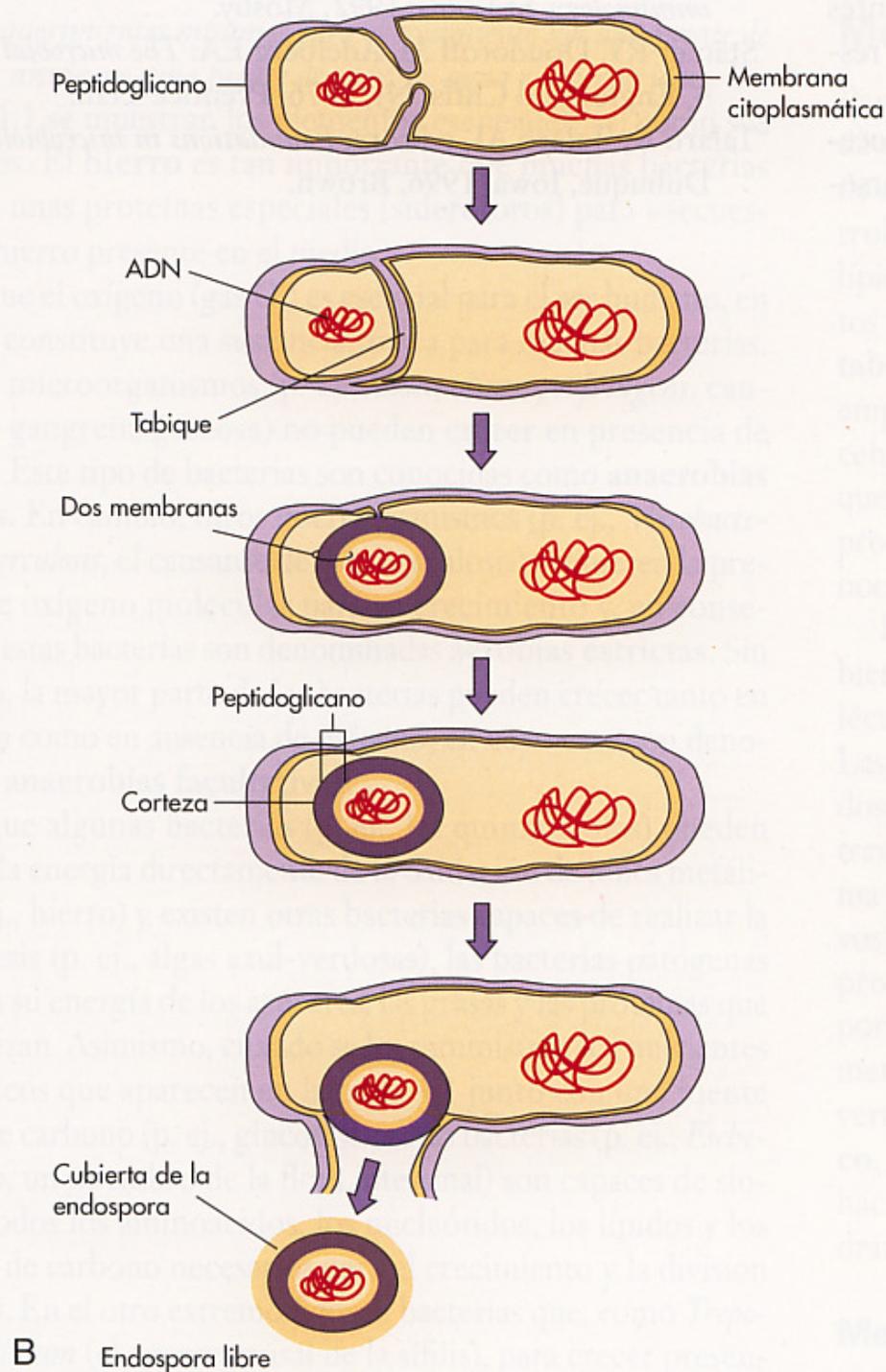
Membrana.

Región central con el DNA y ribosomas etc.

La espora es una estructura latente, una forma de resistencia de la bacteria, que le permite permanecer sin desarrollarse durante largos periodos de tiempo. Cuando germina queda convertida en una célula vegetativa. **No se conoce este proceso en las gramnegativas.**

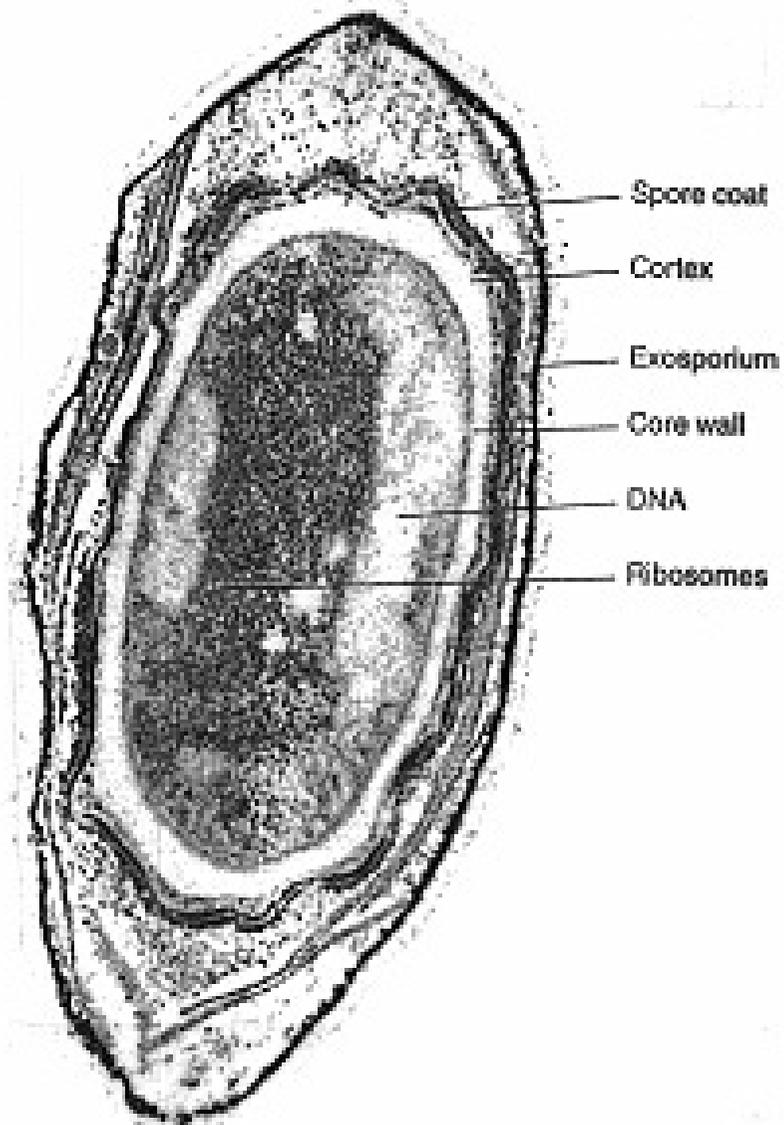
Buscar información acerca del **botulismo** (*Clostridium botulinum*) y del **tétanos** (*Clostridium tetani*).

# FORMACIÓN DE ESPORAS BACTERIANAS EN BACTERIAS GRAM POSITIVAS



A Ácido dipicolínico

**FIGURA 3.13.** Endosporas. A) estructura de una espora. B) esporogénesis, el proceso de la formación de endosporas.



## Esporas en *Clostridium botulinum*

Figure 35. Electron micrograph of a bacterial endospore. The spore has a core wall of unique peptidoglycan surrounded by several layers, including the cortex, the spore coat and the exosporium. The dehydrated core contains the bacterial chromosome and a few ribosomes and enzymes to jump-start protein synthesis and metabolism during germination.

Una vez formada la espora, la célula madre se autolisa y la libera. Esta espora puede permanecer inerte años, décadas e incluso siglos. Cuando caen en medios apropiados se desencadena su **germinación** y se reinicia la actividad metabólica, de modo que cada espora origina una nueva célula vegetativa capaz de dividirse.

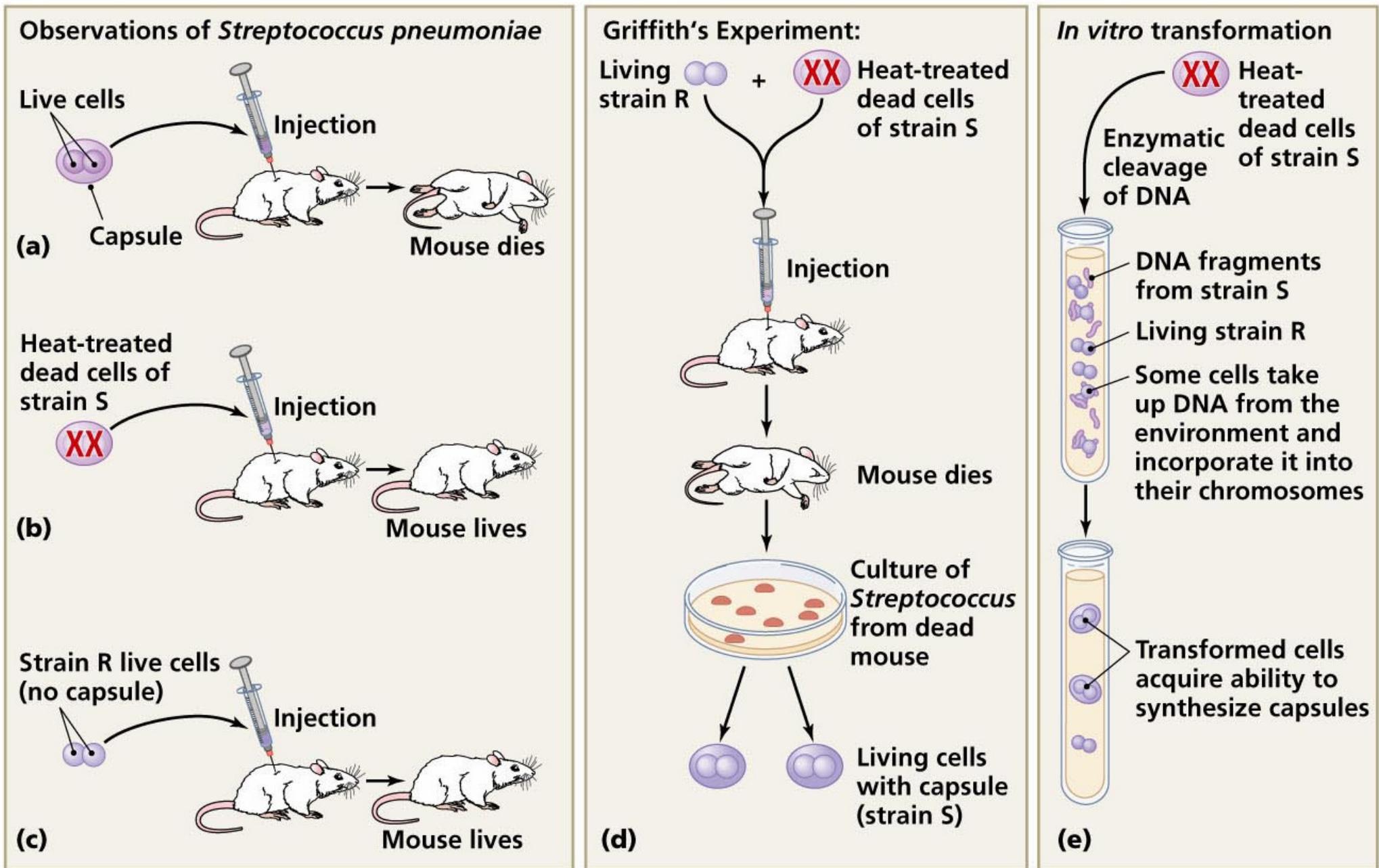
***RECOMBINACIÓN  
GENÉTICA EN  
PROCARIOTAS***

La recombinación genética es el proceso por el cual elementos genéticos de dos genomas separados de dos bacterias, llegan a unirse dentro de una de ellas. En las células procariotas, este proceso es fragmentario e incluso aleatorio y se produce fundamentalmente por tres mecanismos: transformación, transducción y conjugación.

**Transformación.** Es el proceso por el cual **el DNA libre se inserta directamente en una célula receptora** llamada célula competente. Sólo son transformables determinadas cepas de determinados géneros de bacterias. La primera bacteria en la que se descubrió el mecanismo de la transformación fue en *Diplococcus pneumonie*.

Este proceso se da espontáneamente en la naturaleza. Si se inocula (introduce) a un ratón 2 cepas de bacterias, una resistente a la penicilina y otra resistente a la estreptomicina, se pueden aislar más tarde cepas resistentes a ambos antibióticos. Se trata en este caso un proceso de herencia de genes de células muertas. Hemos visto también al principio de este capítulo como los neumococos no encapsulados y no virulentos se **transformaban** en neumococos encapsulados y virulentos cuando incorporaban el DNA procedente de neumococos encapsulados muertos, según demostraron **Avery, MacLeod y McCarty**. También es conocido que si se inocula (introduce) a un ratón 2 cepas de bacterias, una resistente a la penicilina y otra resistente a la estreptomicina, se pueden aislar más tarde cepas resistentes a ambos antibióticos. Se trata en este caso un proceso de herencia de genes de células muertas.

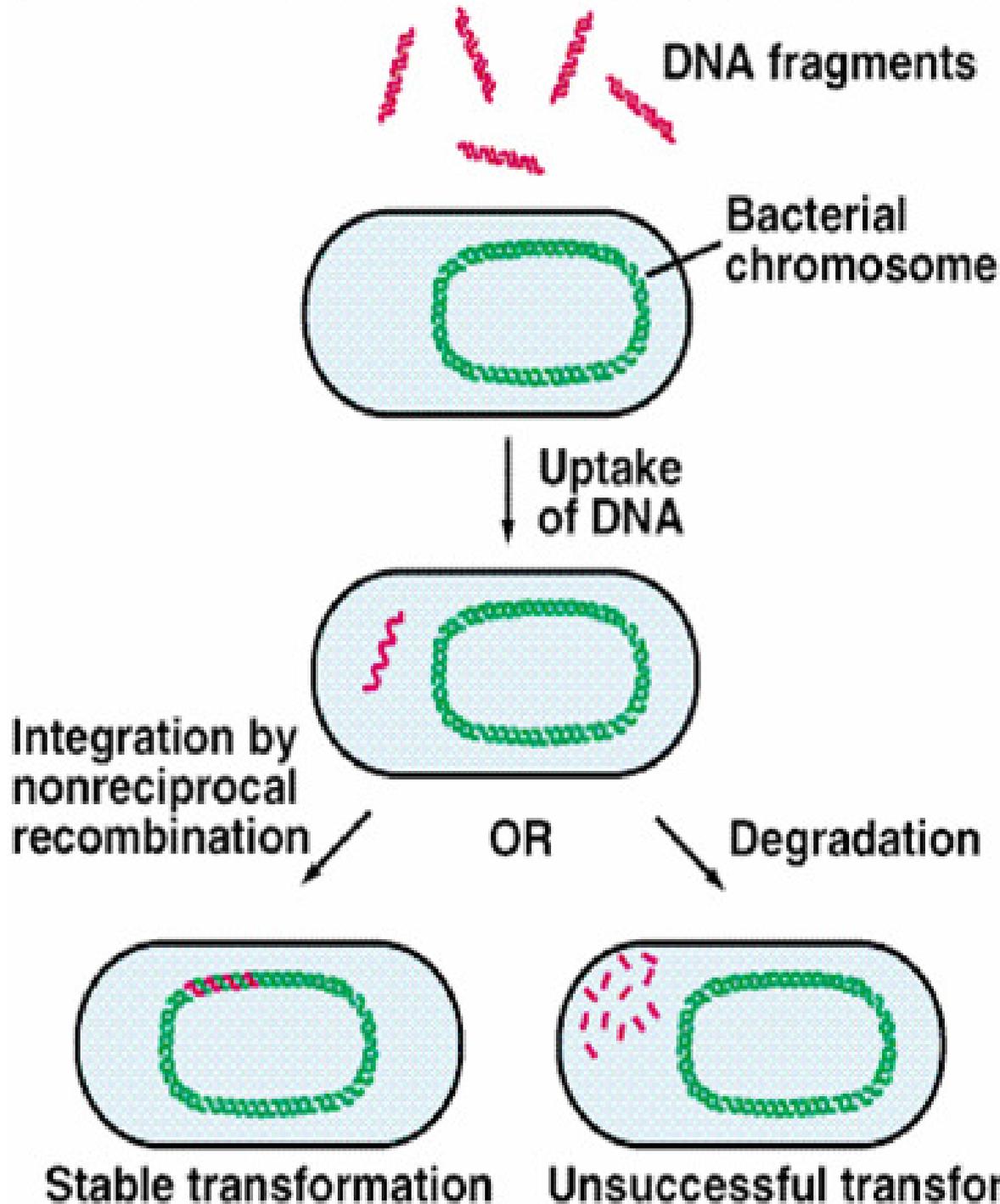
Este proceso, como ya sabemos, ha sido usado en importantes estudios de genética molecular. Se añade a células competentes DNA preparado en el laboratorio para que la célula produzca algunas sustancias deseadas por el hombre.



Copyright © 2006 Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.

Transformation was first demonstrated by Frederick Griffith in 1928. Griffin (knowing nothing about DNA) concluded that some "transforming principle" was passed from the dead smooth (pathogenic) strain to the live rough (nonpathogenic) strain.

(a) Transformation with DNA fragments



(b) Transformation with a plasmid

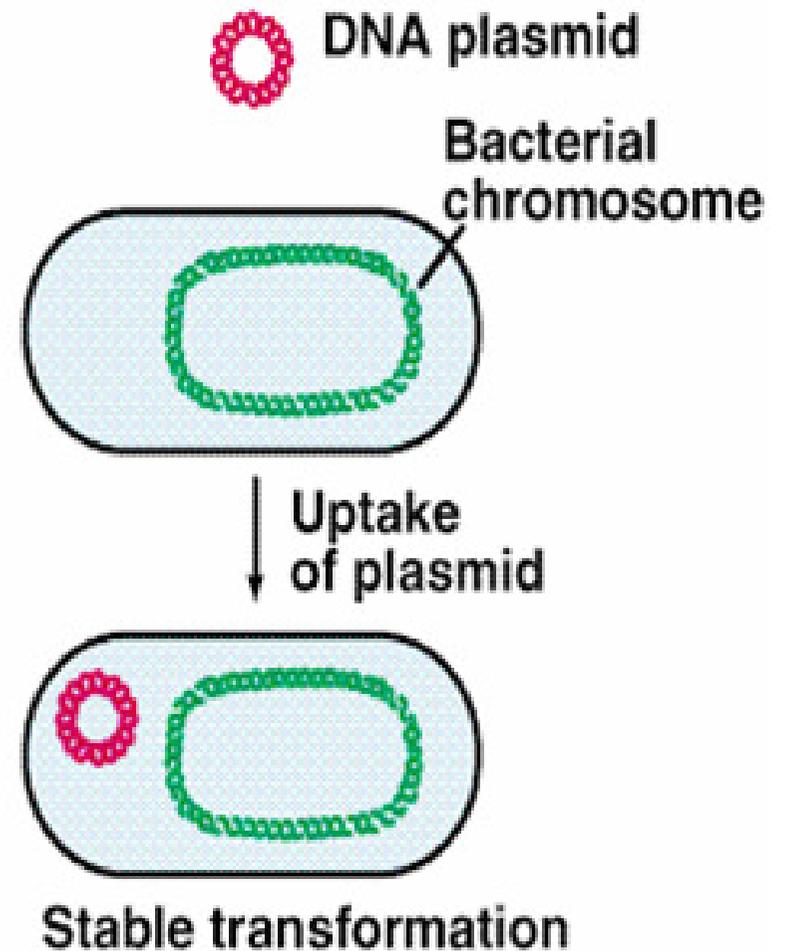


Diagram of bacterial transformation.

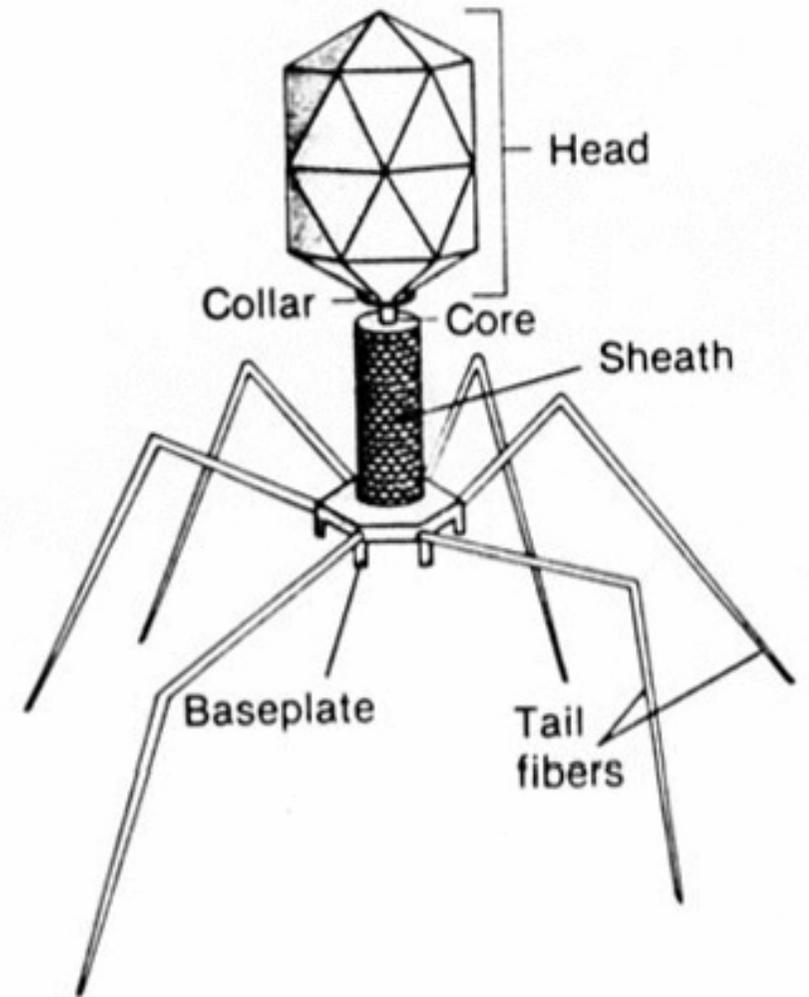
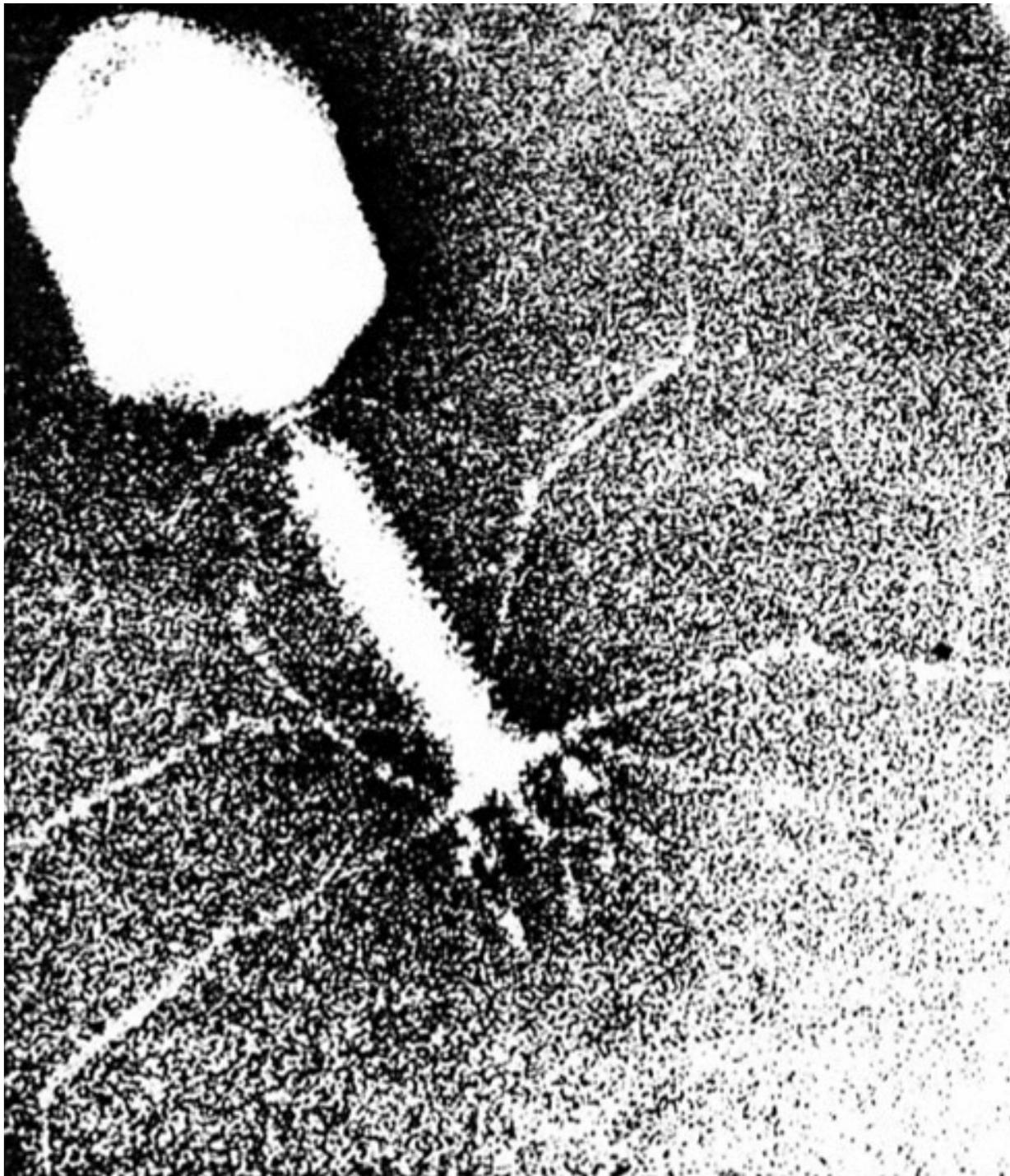
**Transducción.** El DNA se transfiere de una célula procariota a otra por medio de **virus**. Cuando un virus atenuado infecta a una célula en ciertas condiciones, puede integrarse en el genoma de la célula receptora que va a poder transferir no solo sus propios genes sino también los del virus e incluso genes de la célula hospedera anterior a la que parasitó el virus.

En el caso de los fagos (virus bacterianos o bacteriófagos), si el virus se reproduce por **vía lítica**, formando miles de viriones en una sola célula que después morirá, puede ser que en el momento de la formación de los viriones, después de que el cromosoma bacteriano se haya fragmentado, algunos de los genes de la bacteria sean encapsulados junto con el DNA vírico.

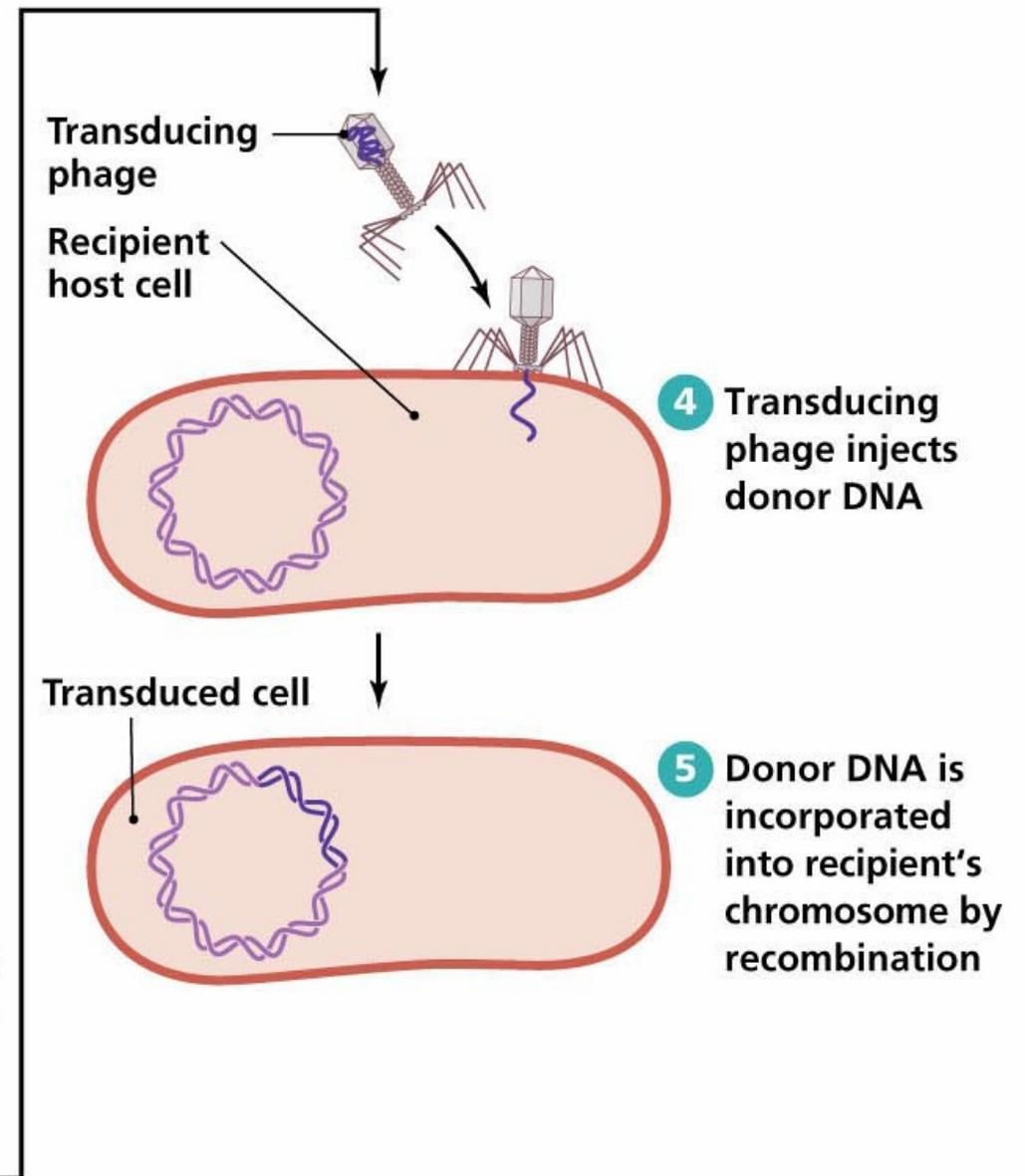
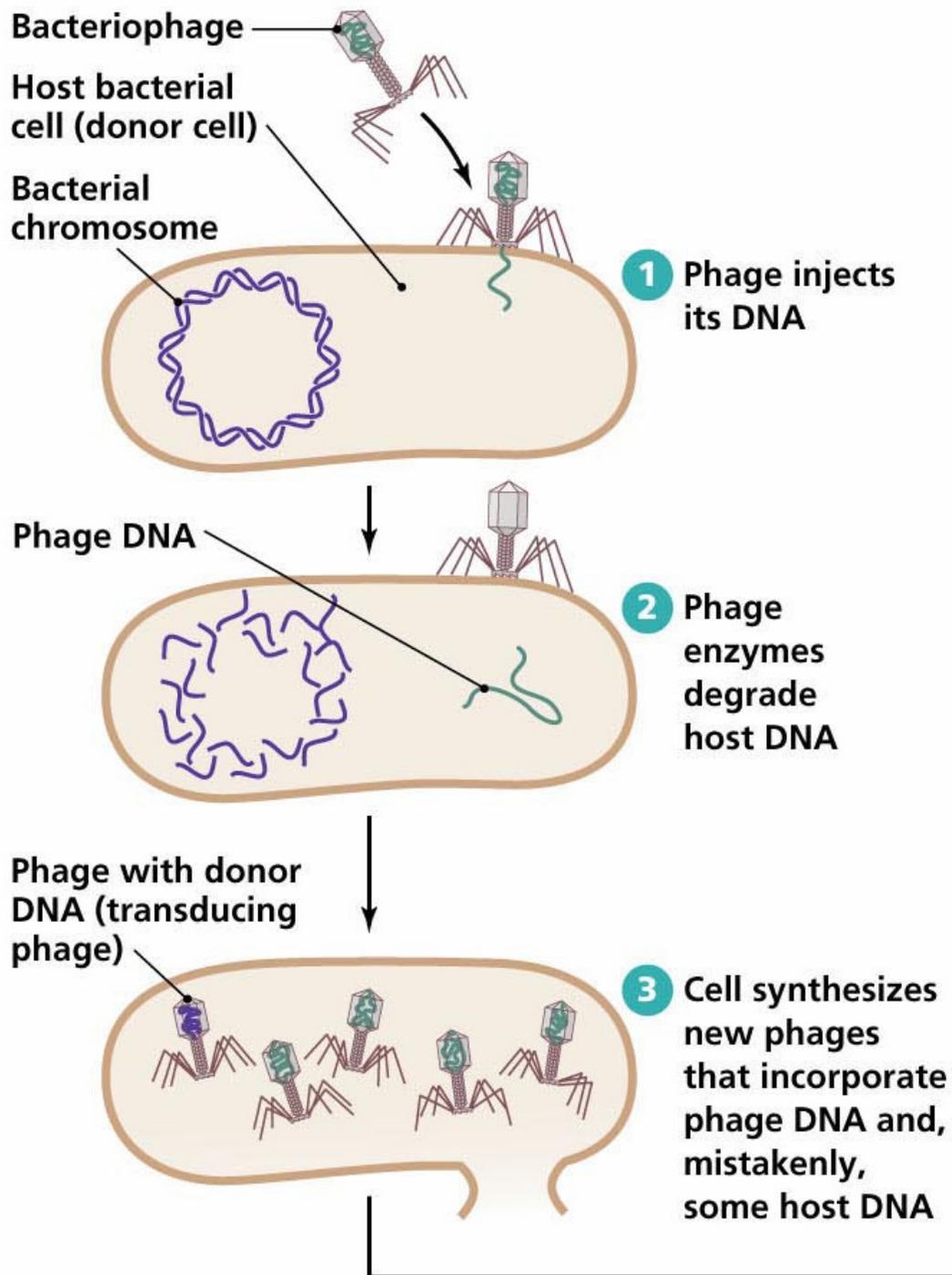
Cuando el virus infecta a una nueva célula bacteriana le transfiere estos genes procedentes de la anterior célula parasitada. En algunos casos pueden incluso **transferirse** todo el cromosoma bacteriano (**transducción general**). Si el virus se reproduce **por vía lisogénica**, su ácido nucleico se incorpora al cromosoma bacteriano y se reproduce a la vez que la bacteria.

Cuando inicia la vía lítica de nuevo puede arrastrar genes de la bacteria que pueden ser incorporados dentro de una cápsida y **transferirse** a una nueva célula bacteriana, generalmente la **transducción es restringida**. En ambos casos, en las siguientes infecciones víricas, las bacterias pueden adquirir los genes no solo víricos, sino también de la bacteria anterior.

La transducción, como ya sabemos, se utiliza también, al igual que la transformación, para transferir genes a una célula en los experimentos de ingeniería genética o en experimentos de terapia génica para el hombre.



An electron micrograph, and a diagram, of a bacteriophage. This is called a **T4** bacteriophage.

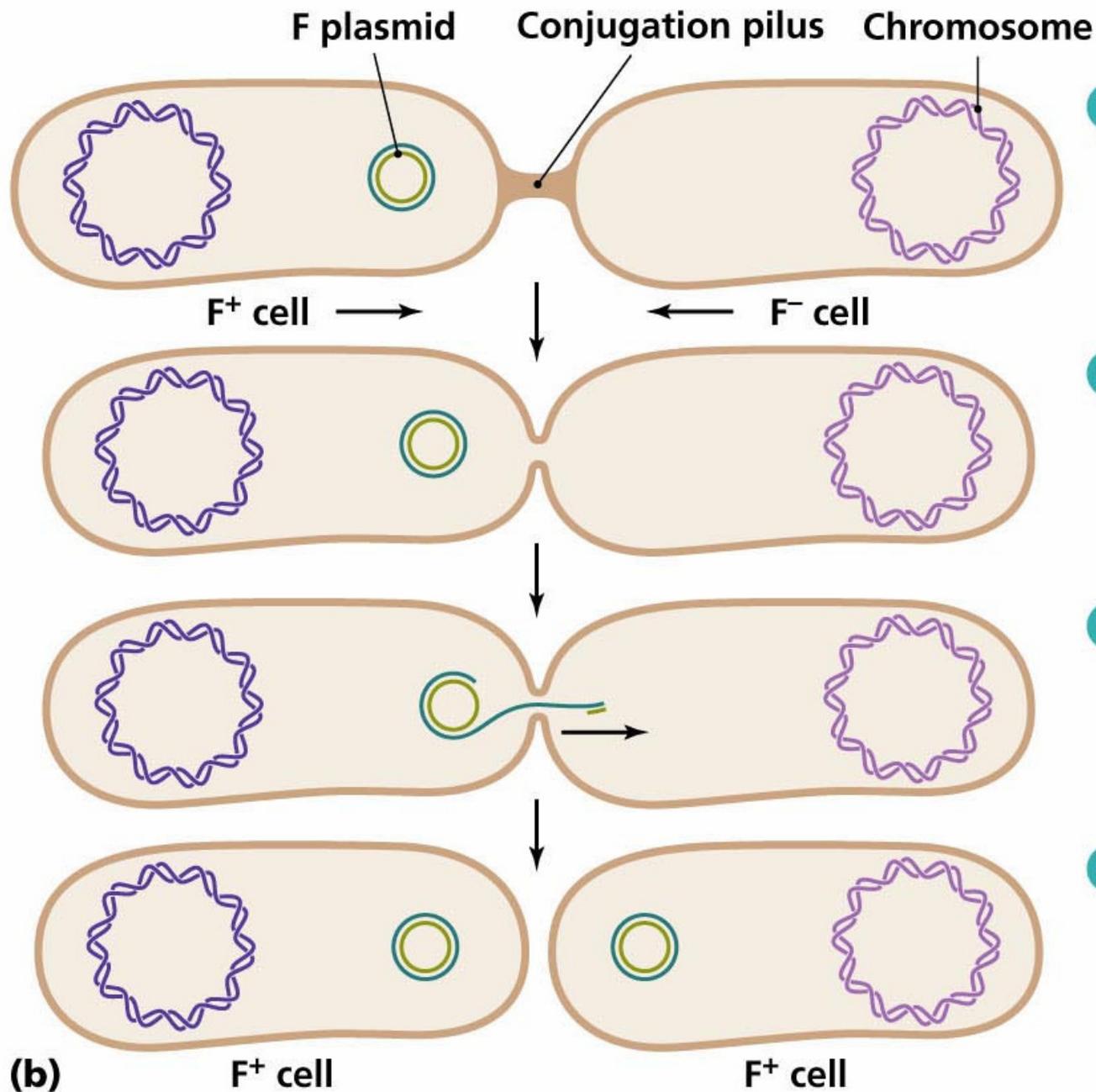


**Conjugación.** Es un proceso de recombinación genética que implica el **contacto entre las dos células**. Este proceso se asemeja bastante al modo de recombinación sexual de los eucariotas, pero difiere en que generalmente sólo se transmiten **pequeños fragmentos** de su genoma. A veces, solo a veces, se transfiere gran cantidad de su genoma.

Existen unas cepas receptoras capaces de incorporar ese genoma y otras cepas donadoras. Como sabemos, además del cromosoma bacteriano, casi todos los tipos de bacterias contienen pequeñas moléculas de DNA también circulares y capaces de autorreplicarse llamadas **plásmidos**. En ocasiones son capaces de integrarse en el cromosoma bacteriano. Se han descrito unos 12 plásmidos en *Escherichia coli*, de los cuales uno de los más estudiados es el **plásmido F**. Contiene unos 25 genes, algunos de los cuales controlan la producción de pelos (*pili*). Solo las células F+ presentan pelos en su superficie, mientras que las células F- carecen de ellos.

Por conjugación y por medio de uno de esos pelos (pelos sexuales) se puede transferir el plásmido F desde las células F+ (dadoras) a las células F- (receptoras). Cuando esto ocurre, las células F- se transforman en células F+ y desarrollan pelos. A veces el factor o plásmido F se incorpora al cromosoma bacteriano y se forman células Hfr (alta frecuencia de recombinación), que pueden transferir también genes a células F- por conjugación (diapositiva oculta).

La conjugación bacteriana se utiliza menos en ingeniería genética, pero las células bacterianas también son capaces de incorporar plásmidos por transformación. Si los plásmidos contienen un gen extraño (DNA recombinante), la célula podrá incorporarlo como un gen más.



**1** Donor cell attaches to a recipient cell with its pilus. The pilus draws the cells together.

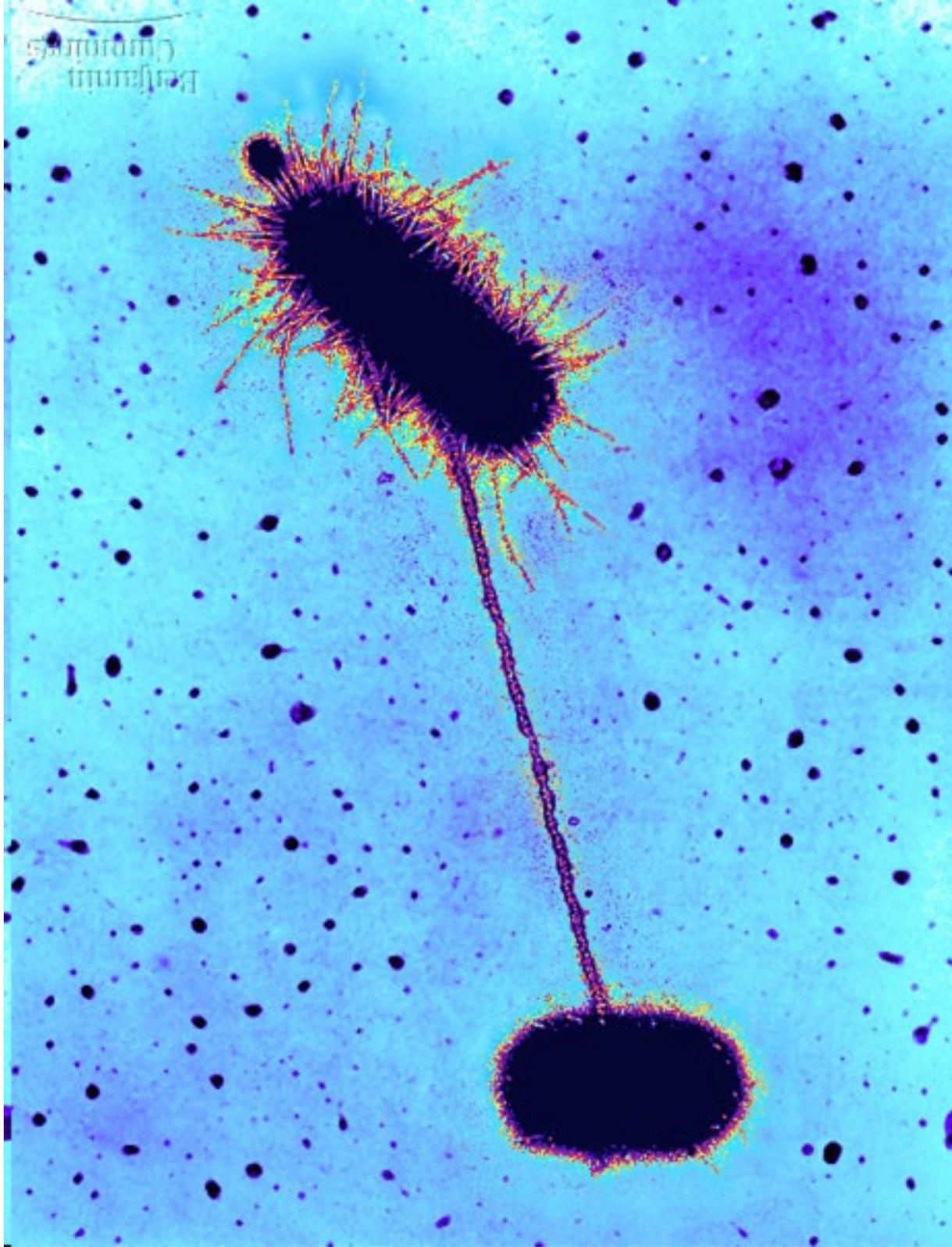
**2** The cells contact one another.

**3** One strand of plasmid DNA transfers to the recipient.

**4** The recipient synthesizes a complementary strand to become an  $F^+$  cell; the donor synthesizes a complementary strand, restoring its complete plasmid.

**(b)**  $F^+$  cell

$F^+$  cell

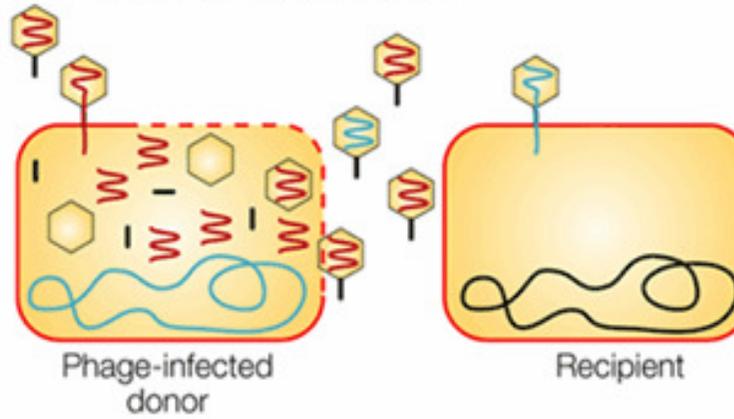


The F plasmid contains *tra* genes that build the pilus and control the integration of the DNA into the chromosome. Helicase, the enzyme that unwinds DNA for replication or insertion, was first identified in the F plasmid.

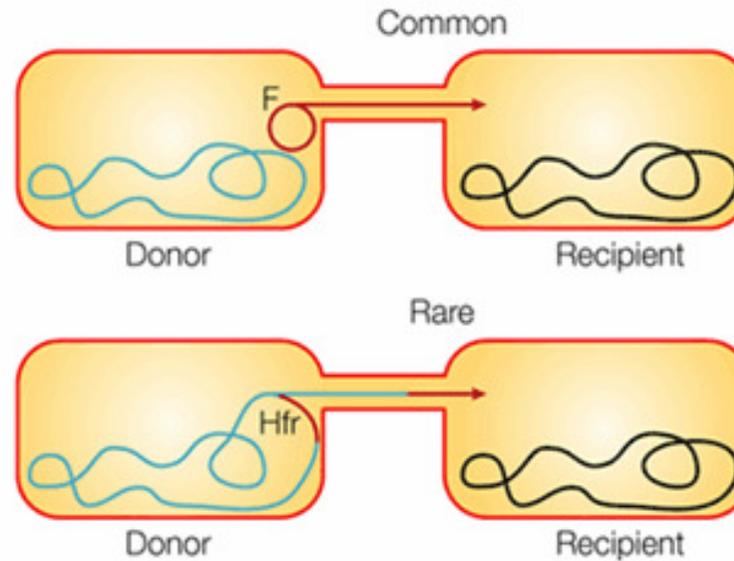
El plásmido F contiene los genes *tra* para la formación del pelo sexual y para controlar la integración del DNA en el cromosoma de la célula receptora. También fue identificada en el plásmido F una *helicasa*, que abre el DNA para su replicación o inserción.

# RESUMEN DE LOS TRES PROCESOS

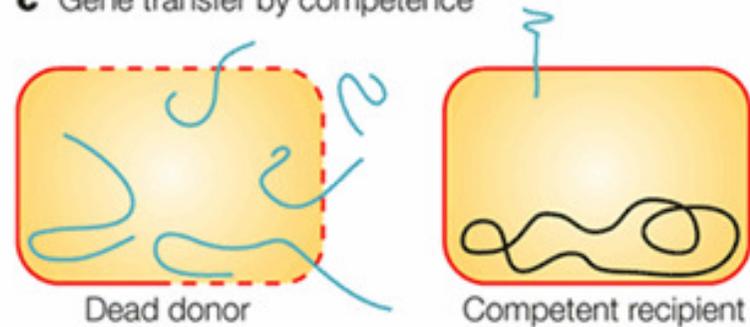
**a** DNA transfer by transduction



**b** DNA transfer by conjugation



**c** Gene transfer by competence



# ***CLASIFICACIÓN DE LAS BACTERIAS***

La unidad taxonómica de la microbiología es el clon o cepa.

El **clon o cepa** es una población de células genéticamente idénticas procedentes de **una única célula**. El término **especie** en microbiología se refiere a **una colección de cepas o clones parecidos** que difieren significativamente de otros grupos o clones. Pero lógicamente este concepto es bastante ambiguo y da lugar a interpretaciones subjetivas; en ocasiones, lo que para unos autores son cepas pertenecientes a una misma especie, para otros pueden ser dos especies distintas.

La mayoría de los géneros no se prestan a clasificaciones superiores. Esta es la razón por la que no hay una clasificación satisfactoria de las bacterias sino que se reúnen en grupos. Para establecer estos grupos se utilizan aspectos morfológicos, se utiliza la química de la pared celular, las sustancias de reserva, las inclusiones celulares (qué hay en el citoplasma), los pigmentos, las fuentes de energía, los productos de fermentación, sus necesidades gaseosas, la temperatura y el pH óptimo, su sensibilidad a los antibióticos, las relaciones simbióticas, sus caracteres inmunológicos, el hábitat, etc...

Por ejemplo: las **bacterias del ácido láctico**, las del **ácido propiónico**, **cocos aerobios**, **bacterias esporógenas**, **bacterias entéricas**, **bacilos gramnegativos**, **bacterias fotosintéticas**...

***FISIOLÓGÍA  
BACTERIANA***

# Estudio de la diversidad de microorganismos. Sus formas de vida. Bacterias y virus.

Diversidad de microorganismos. **Dominio Eukarya y Archaea.**

**Dominio Bacteria:** eubacterias. Introducción.

Morfología bacteriana. Los modelos morfológicos: cocos, bacilos, espirilos, espiroquetas, vibrios, bacterias filamentosas, bacterias con apéndices.

Estructura bacteriana. Introducción: pared, m. plasmática, ribosomas, inclusiones, orgánulos especiales tilacoides, vacuolas de gas, clorosomas y carboxisomas, cromosoma, flagelos, pelos.

Fisiología bacteriana; nutrición; relación y reproducción.

Tipos de bacterias según su fisiología: B. purpúreas y verdes, cianobacterias, b. nitrificantes, b. fijadoras de N, b. entéricas, espiroquetas, b. del ácido láctico, micoplasmas.

**Virus:** Concepto Los virus son organismos acelulares.

Estructura y composición de los virus.

Clasificación de los virus: según la arquitectura de la cápsida y según la presencia o ausencia de envoltura.

Multiplicación y ciclo biológico

ciclo de los virus ciclo lítico y ciclo lisogénico.

Virus patógenos y aplicaciones de los virus, virioides y priones.

los antidogmáticos retrovirus

Repetimos aquí algunos conceptos vistos anteriormente, y adelantamos otros que veremos más adelante, al dar el metabolismo celular, pero estructurados en forma de “Fisiología”.

Las bacterias pueden colonizar todos los medios y vivir de todas las formas posibles:

Hay bacterias **parásitas**, que viven sobre un ser vivo causándole un perjuicio. Algunas de ellas son patógenas (causan enfermedades) para el hombre. Son enfermedades causadas por bacterias el **cólera**, la **difteria**, la **meningitis**, el **tifus**, la **tuberculosis**, la **amigdalitis**, el **tétanos**, el **botulismo**, la **lepra** etc.

Hay bacterias **saprófitas**, que viven en materia orgánica en descomposición o bien transforman la materia orgánica. Como ejemplo tenemos las **bacterias del yogurt**, que producen la fermentación láctica del azúcar de la leche (es un disacárido, la **lactosa**).

Hay bacterias **simbióticas**, que se asocian a otros organismos y ambos se benefician. Un ejemplo lo constituyen las bacterias fijadoras de nitrógeno atmosférico, que se asocian a las raíces de plantas superiores y enriquecen los campos en ese elemento (en  $N_2$ ). Ejemplo ***Rhizobium***.

Hay bacterias **autótrofas**. Recordad que los autótrofos sintetizan materia orgánica a partir de materia inorgánica, estos organismos obtienen todo el carbono que necesitan para sus reacciones de biosíntesis a partir de  **$CO_2$  atmosférico**. Algunas bacterias son **fotosintéticas**, tienen clorofila como las plantas superiores y utilizan la energía solar como fuente de energía. Otras son **quimiosintéticas** y no utilizan la energía solar por carecer de clorofila, éstas bacterias obtienen la energía de la oxidación de compuestos inorgánicos.

Otra forma de clasificar a los seres vivos en general y a las bacterias en particular, según su tipo de nutrición, es incluirlas en grupos diferentes, según la fuente de carbono y la fuente de energía que emplean:

**Por la fuente de carbono:**

- **Autótrofos.** Utilizan el CO<sub>2</sub> atmosférico como fuente de carbono, es decir materia inorgánica.
- **Heterótrofos:** obtienen todo el carbono que necesitan de moléculas orgánicas.

**Por la fuente de poder reductor** (de donde obtienen los protones y los electrones para las reacciones de reducción, de biosíntesis en particular).

- Los **organotrofos** utilizan compuestos orgánicos como fuente de protones y electrones.
- Los **litotrofos** utilizan compuestos inorgánicos como fuente de protones y electrones.

**Según la fuente de energía** que emplean para formar ATP

- Los **fototrofos** utilizan como fuente de energía la luz solar. La mayoría son fotoautótrofos, aunque hay algunos fotoheterótrofos
- Los **quimiotrofos** obtienen energía de la oxidación de compuestos químicos. La mayoría son autótrofos (quimiosintéticos o quimioautótrofos), aunque este término se podría emplear también para los heterótrofos (quimioheterótrofos).

Aunque esto parece un poco complicado, en la práctica hay dos grandes grupos de seres vivos: los **heterótrofos** (que además son organotrofos, se les podría llamar también quimioheterótrofos) y los **autótrofos** que pueden ser **fotosintéticos** (fotoautótrofos) o **quimiosintéticos** (quimioautótrofos, que además suelen ser litotrofos). Además existen algunos organismos que utilizan la energía solar como fuente de energía, pero no utilizan el CO<sub>2</sub> atmosférico como fuente de C, son los **fotoheterótrofos**.

Las bacterias tienen representantes en todos estos grupos y como digo, hablaremos de ellas al hablar de la fotosíntesis bacteriana y de la quimiosíntesis.

**Fotoautótrofas** (autótrofas fotosintéticas): Bacterias verdes y purpúreas del S y cianobacterias. Fotosíntesis bacteriana

**Quimioautótrofas** (autótrofas quimiosintéticas o quimiolitótrofas). Bacterias nitrificantes, del Fe, etc. Quimiosíntesis.

**Heterótrofas** (quimioheterótrofas). Bacterias parásitas y patógenas del hombre, las saprófitas, las simbióticas.

**Fotoheterótrofas**: bacterias verdes y purpúreas no sulfúreas.

## Asexual por bipartición o fisión binaria

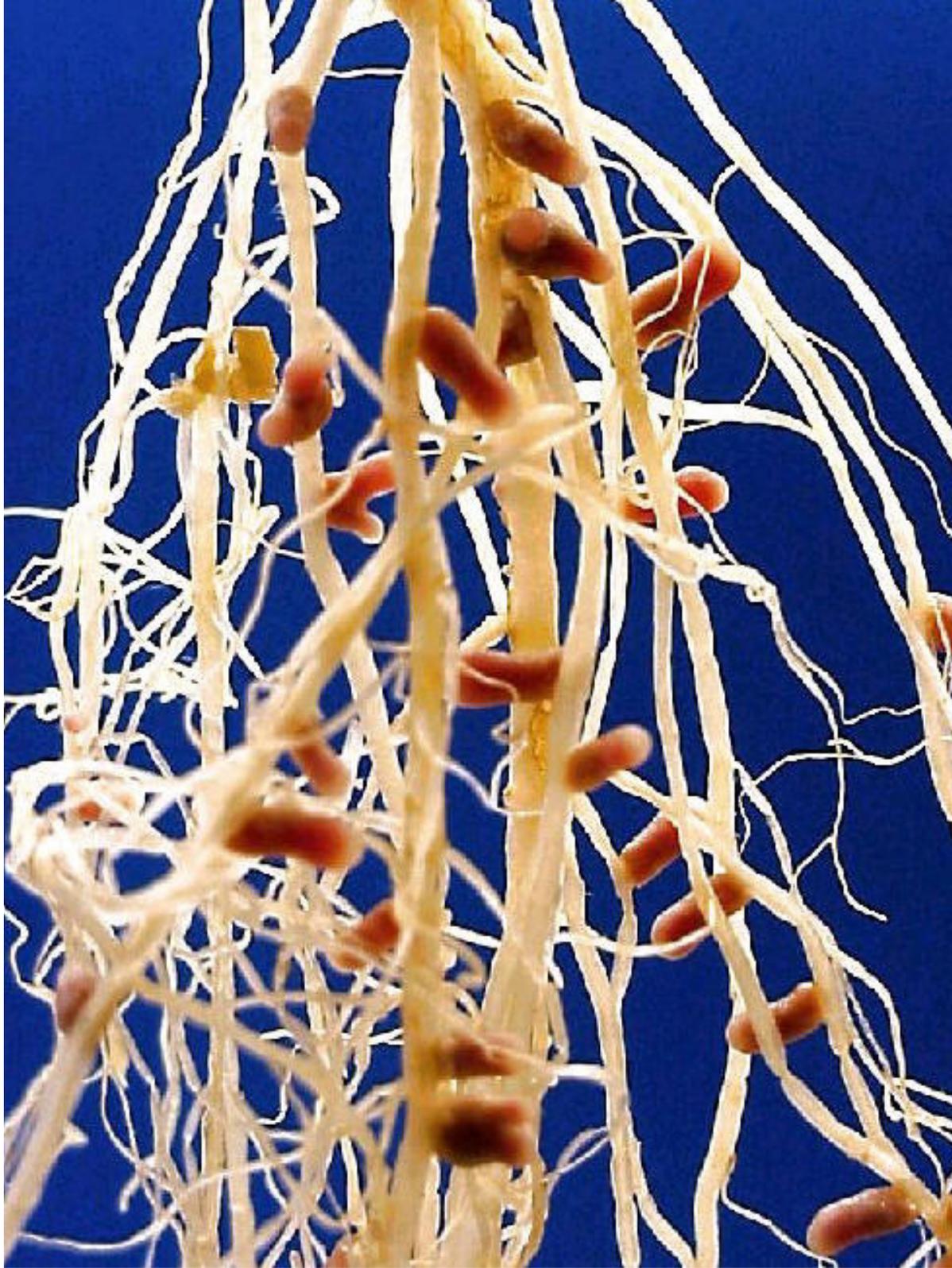
Este mecanismo solo permite a la bacteria la posibilidad de aumentar su variabilidad genética por mutación.

## Mecanismos parasexuales

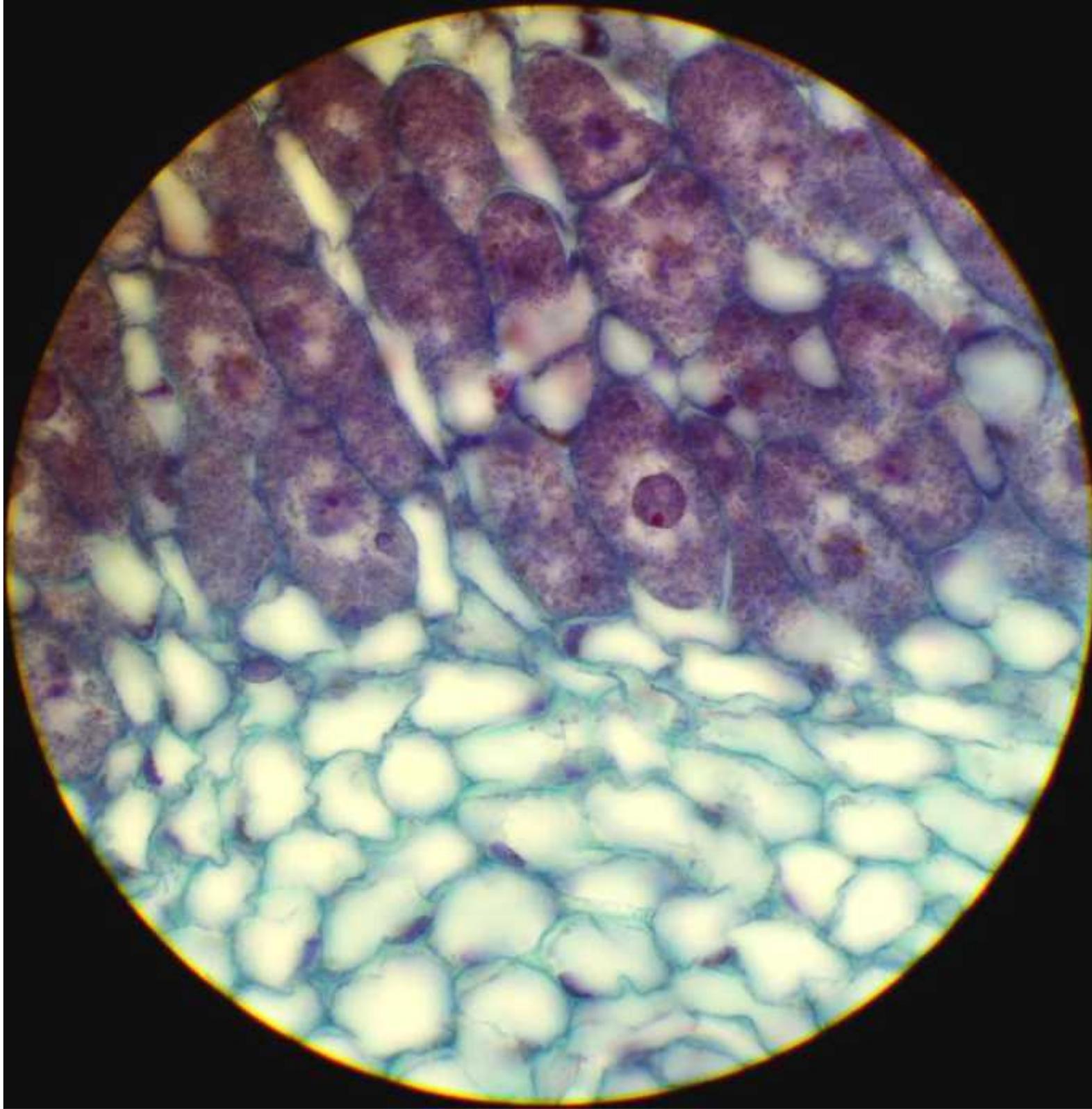
Mecanismos de transferencia genética horizontal, mediante los cuales intercambian información genética, de esta forma una bacteria pasa información a otra **de la misma generación**. Hay que hablar de la **transformación**, de la **transducción** y de la **conjugación**.

***EJEMPLOS DE  
BACTERIAS***

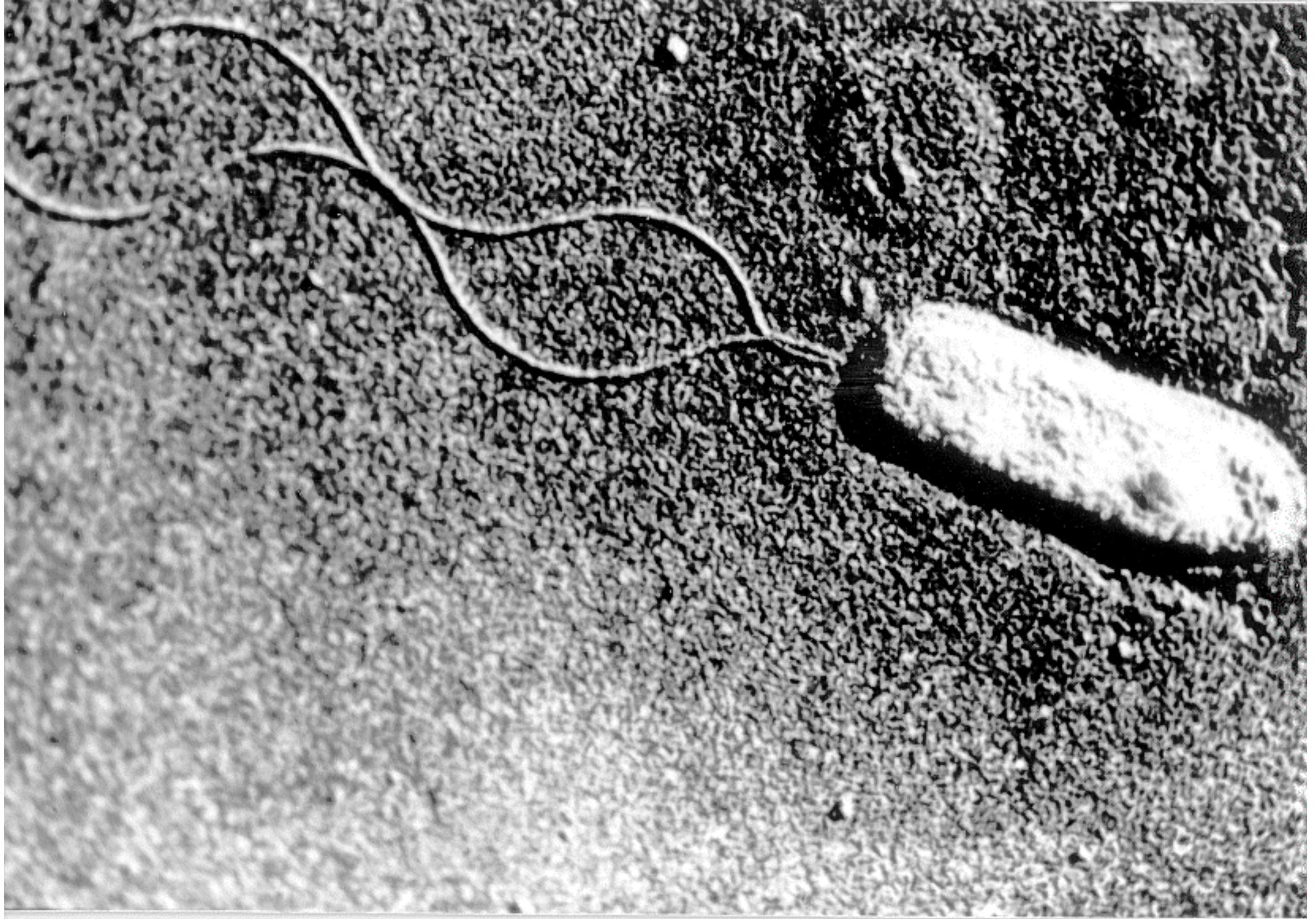
***SIMBIÓTICAS***



Nódulos de *Rhizobium* ,  
bacteria simbiótica con las  
raíces de una planta de  
guisante.

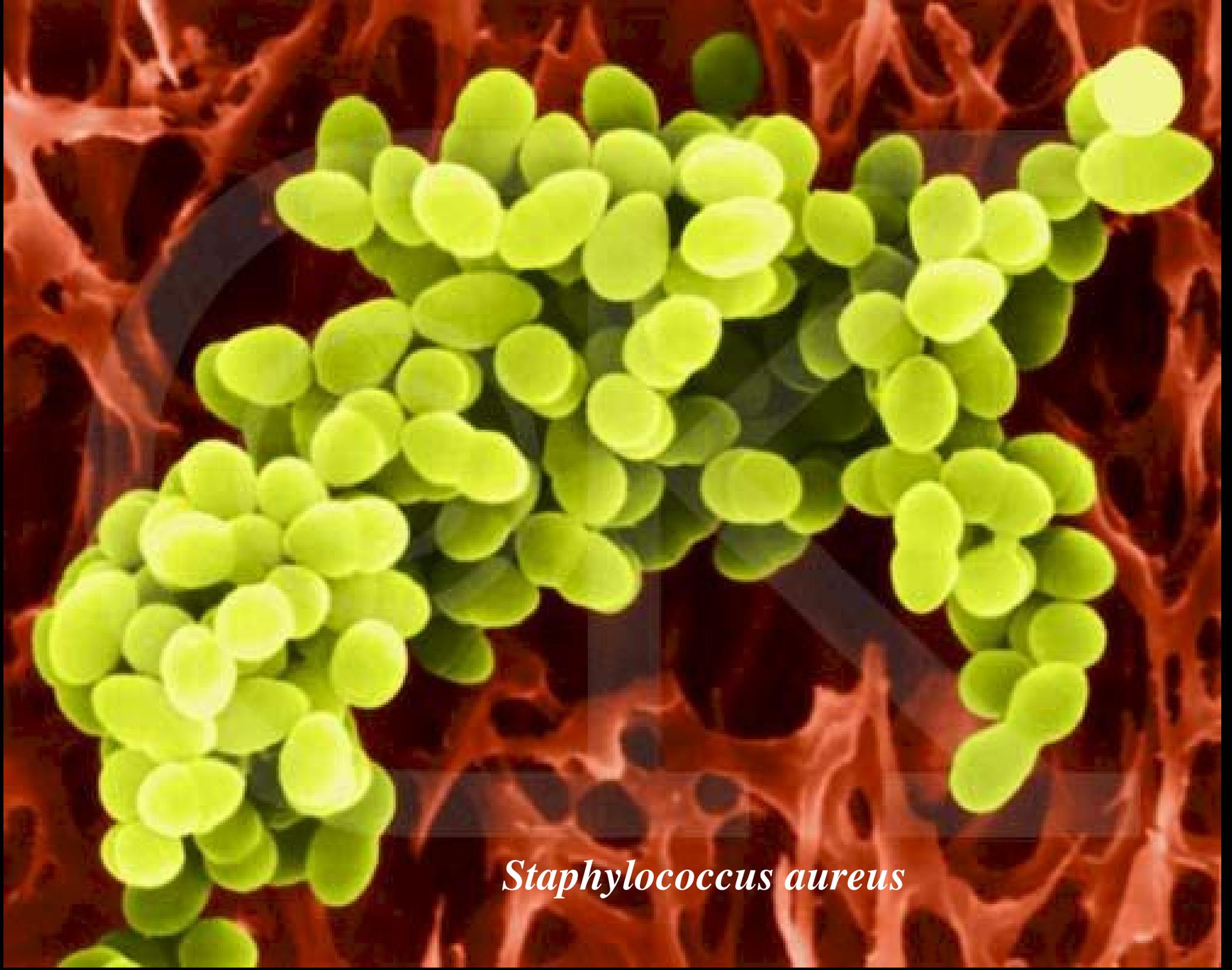


Las células  
intensamente  
teñidas  
contienen  
*Rhizobium*.

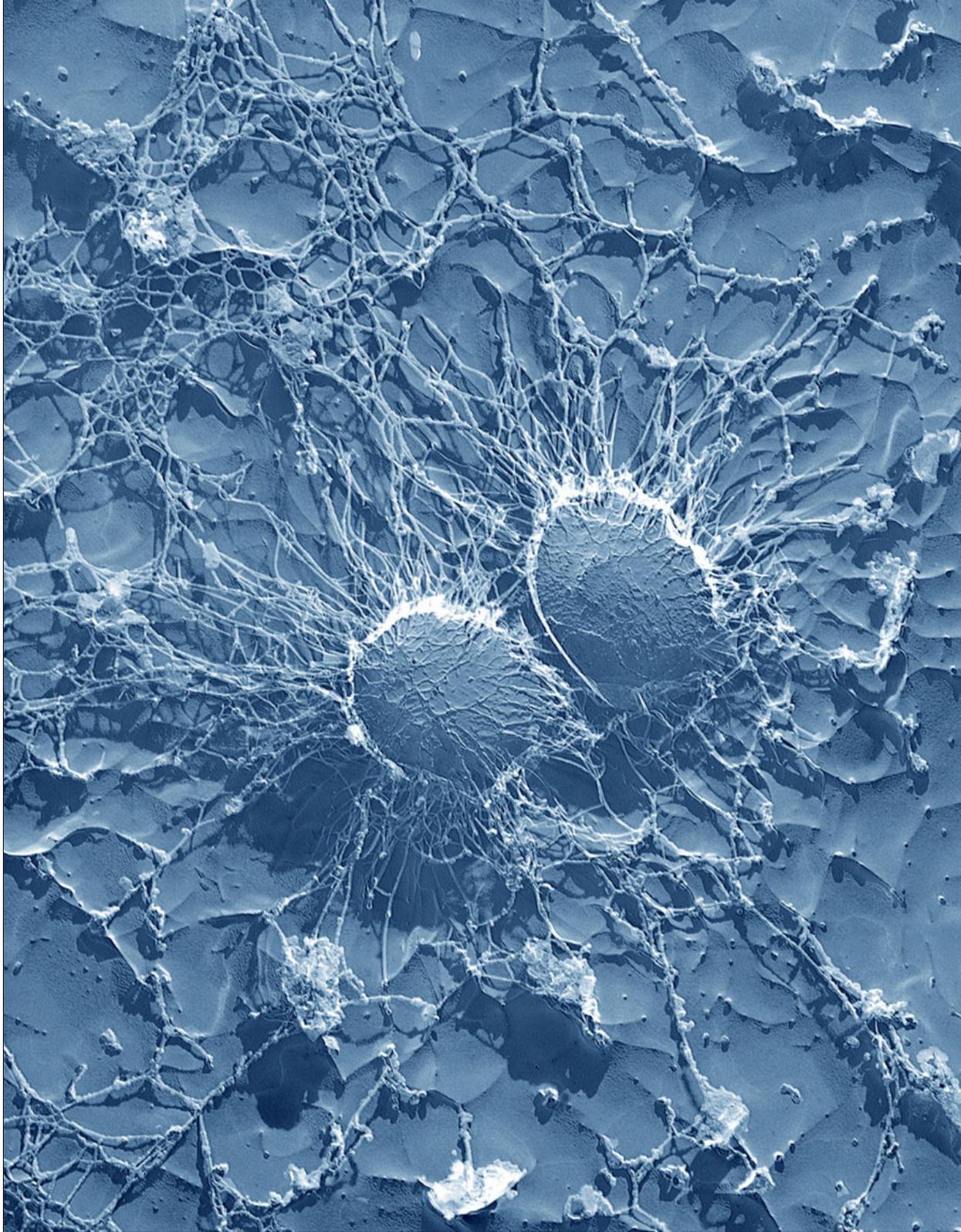


*Rhizobium leguminosarum*

***PARÁSITAS  
PATÓGENAS PARA  
EL HOMBRE***



*Staphylococcus aureus*



Bacterial cells of the  
bacteria  
(*Staphylococcus  
aureus*) which is one of  
the causal agents of  
mastitis in dairy cows.  
Its large capsule  
protects the organism  
from attack by the  
cow's immunological  
defenses.  
Magnified 50,000X.

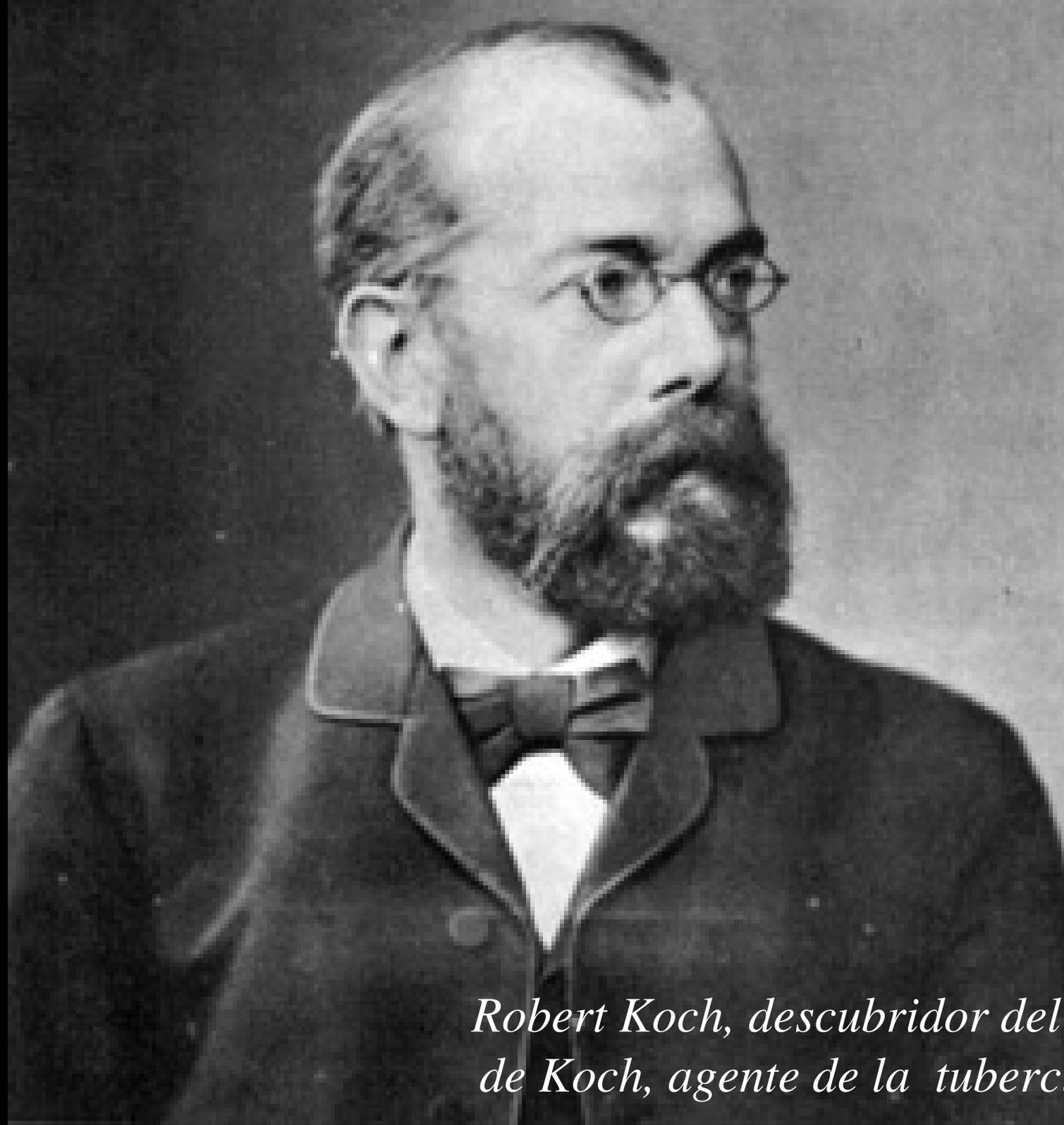
dairy cows: vacas  
lecheras

## Síndrome del shock tóxico

Enfermedad febril aguda causada por una toxina (TSST-1) producida por gérmenes de la familia *Staphylococcus aureus*. **En el 90% de los casos se produce en mujeres que usan tampones durante la menstruación.** *S. aureus* se ha encontrado en cultivos vaginales y en ocasiones en sangre. Se han dado casos que no tienen relación con la menstruación, como en niños y personas con una infección estafilocócica de una herida, quemadura, absceso o como complicación de una infección torácica, si bien en estos casos la infección es debida a otra toxina producida por *S. aureus*. Las manifestaciones clínicas son fiebre con temperaturas mínimas de 38,5 °C, hipotensión (con una presión sistólica inferior a 90 mmHg), insuficiencia renal, mareos, exantema con descamación posterior (especialmente en palmas y plantas), hiperemia faríngea, conjuntival y/o vaginal, vómitos y diarrea, mialgias, hepatitis y trombocitopenia. Otras manifestaciones pueden ser encefalopatía tóxica, rabdomiólisis (muerte fibrilar de músculo estriado con excreción de mioglobina en orina), hematuria microscópica, síndrome de distrés respiratorio y gangrena de los dedos. **El índice de mortalidad es del 3%.**

- **Tuberculosis (TBC)**

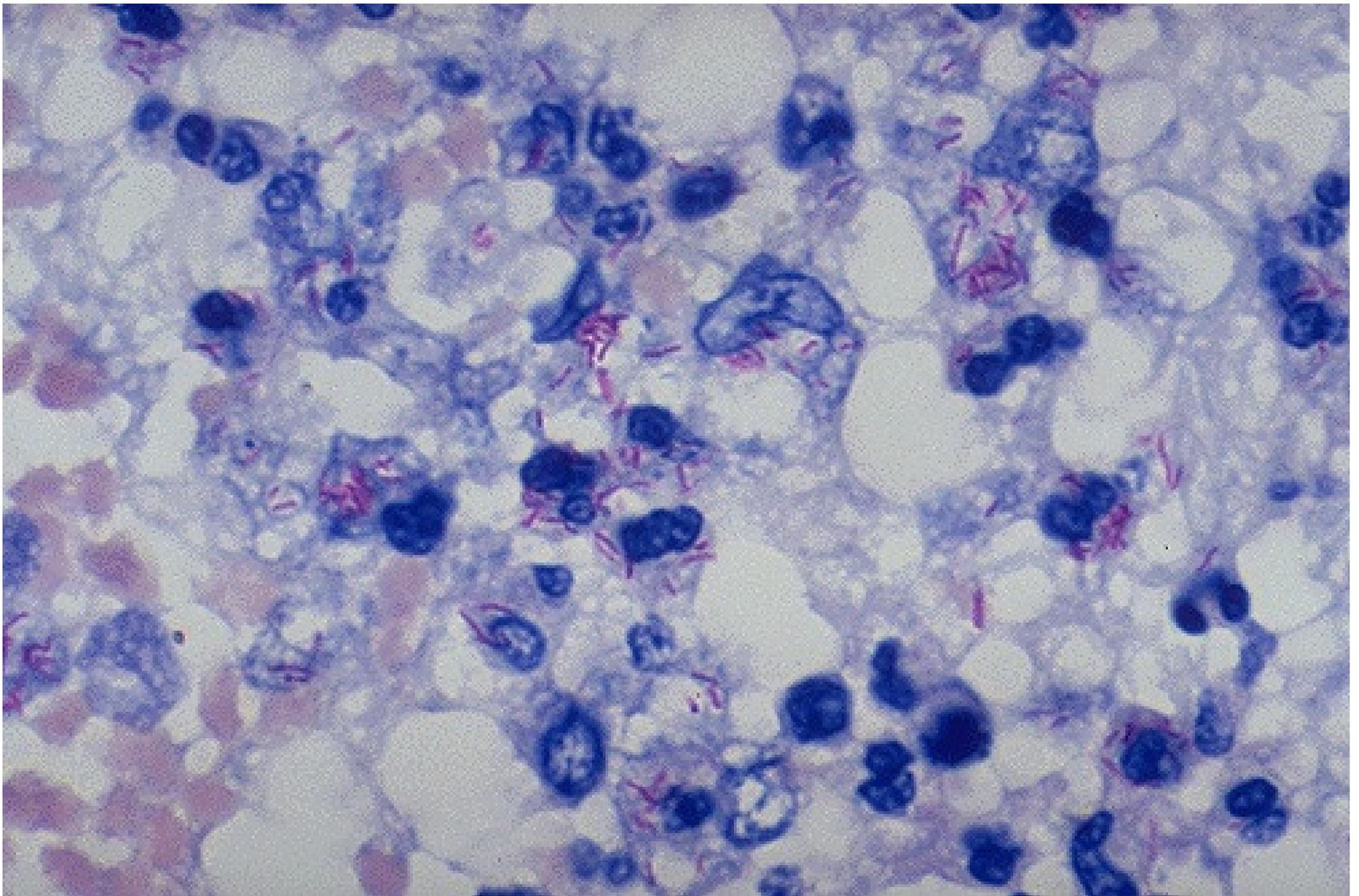
Enfermedad infecciosa crónica causada por el bacilo *Mycobacterium tuberculosis* y en muy raras ocasiones por *Mycobacterium bovis*. Se calcula que hoy día mueren más de tres millones de personas cada año en todo el mundo por TBC y que la enfermedad afecta a más de 1.500 millones de individuos. La TBC constituye la enfermedad infecciosa asociada al sida más importante, hasta el punto de que mientras éste no sea controlado es posible que la tuberculosis no sea eliminada, y hay que tener presente que a finales de la década de los ochenta se contemplaba con optimismo la posibilidad de erradicarla definitivamente en los países desarrollados. En la actualidad se consideran como agentes infecciosos de la TBC humana: *Mycobacterium tuberculosis* (el más importante, con mucho), *M. bovis*, *M. africanum* y el bacilo de Calmette y Guérin (BCG). La TBC se contagia casi siempre por inhalación (vía aérea), si bien requiere un contacto prolongado, en pocos casos por ingestión y de forma excepcional por inoculación cutánea. Desde el pulmón el bacilo se propaga por diseminación broncógena o es transportado por vía linfática o hematógena por todo el organismo, donde produce lesiones destructivas en el momento de su extensión tras largos períodos de latencia. La infección puede ser primaria (primoinfección tuberculosa), que casi siempre es asintomática, y cuando cursa con síntomas clínicos (TBC primaria) cura o produce meses o años más tarde enfermedad tuberculosa (TBC de reactivación del adulto). Aunque en la mayor parte de las personas la TBC primaria no progresa, produce modificaciones inmunológicas en el huésped que alteran la respuesta a infecciones primarias posteriores o a la reactivación de la infección primaria y permiten identificar al infectado (prueba de la tuberculina). La infección tuberculosa se localiza generalmente en los pulmones.



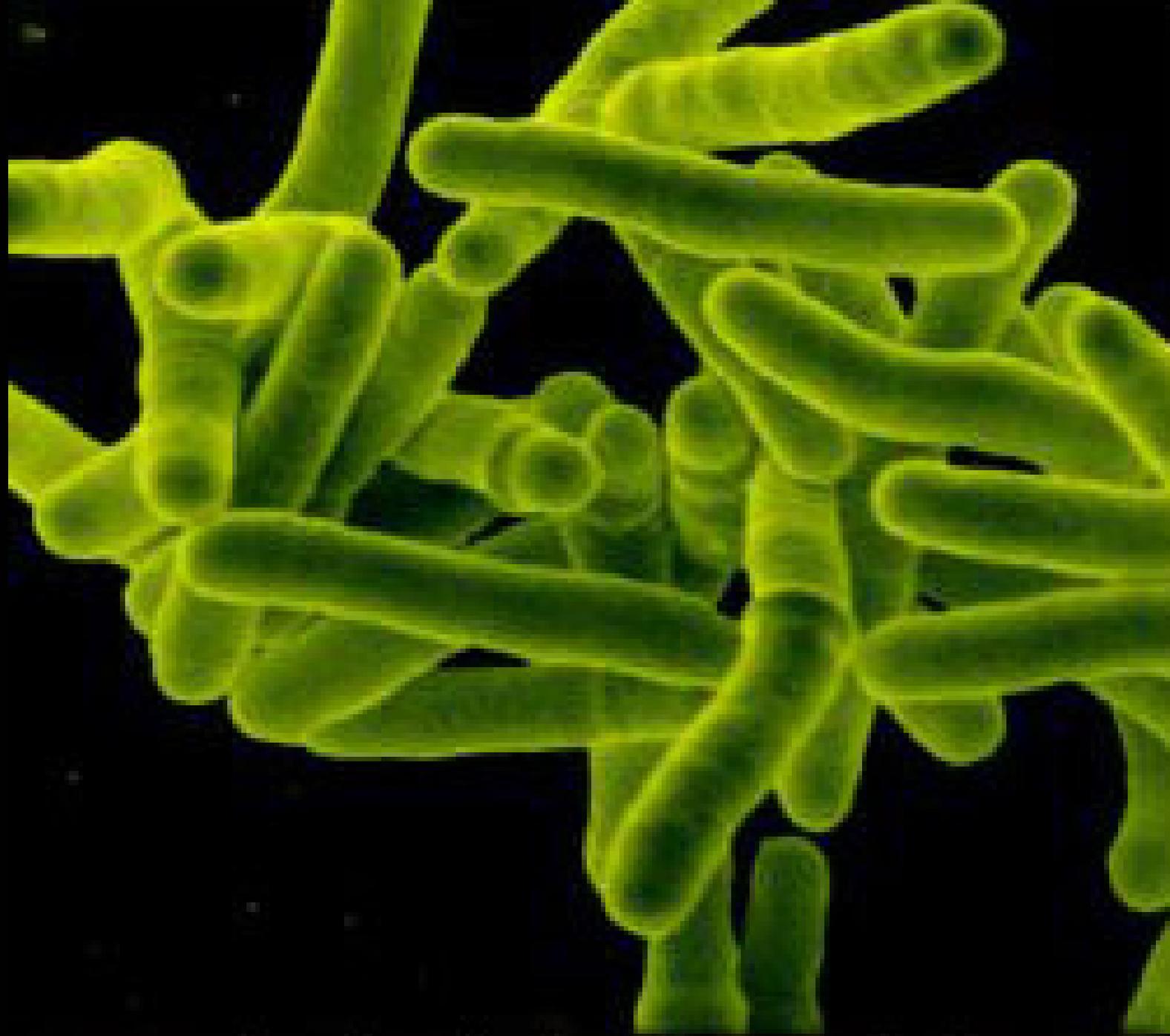
*Robert Koch, descubridor del bacilo de Koch, agente de la tuberculosis*

*Mycobacterium tuberculosis*





*Mycobacterium tuberculosis*



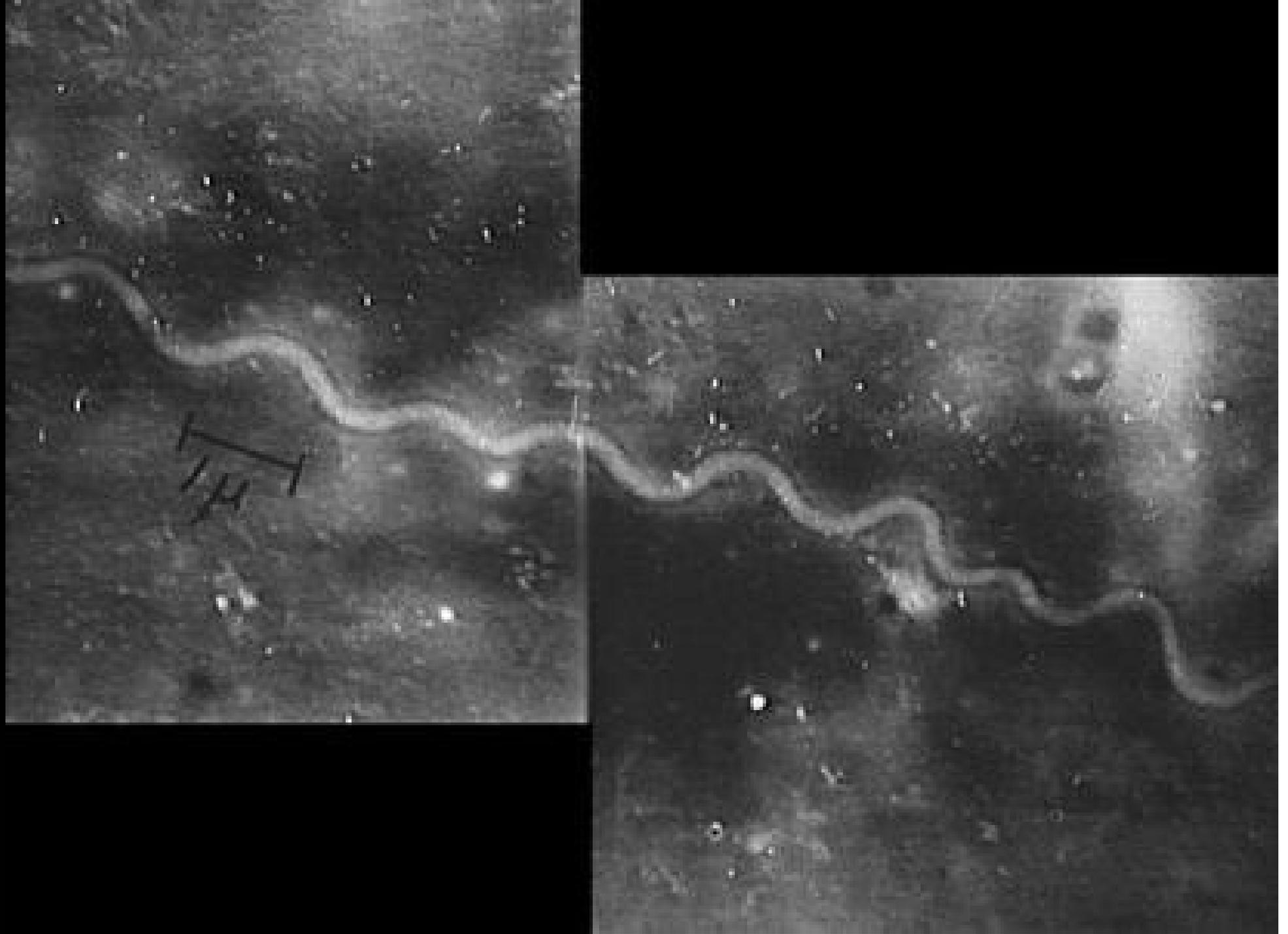
Scanning Electron Micrograph of  
*Mycobacterium tuberculosis*

## **Sífilis**

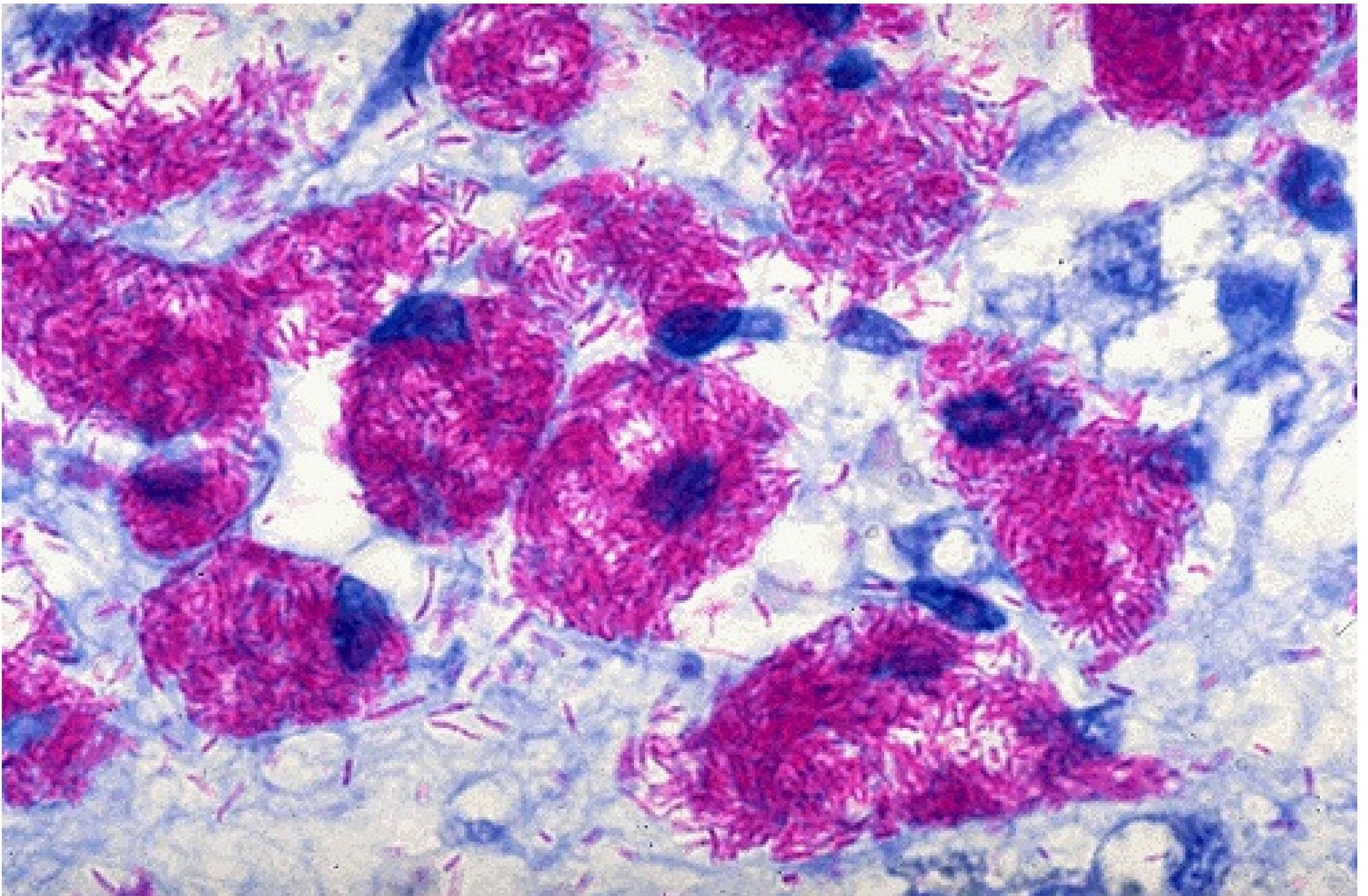
*Otro nombre: lúes.*

Infección sistémica crónica de distribución universal transmitida por contacto sexual. El microorganismo responsable es la espiroqueta móvil *Treponema pallidum*. Desde el punto de vista epidemiológico, la sífilis se clasifica en precoz y tardía. La primera comprende los períodos clínicos primario y secundario, y las latencias y recidivas que le ocurren al paciente en los dos primeros años de la infección. La sífilis precoz es muy contagiosa y se transmite por vía sexual o transplacentaria. Con un adecuado tratamiento la remisión es rápida y sin secuelas ni complicaciones. La sífilis tardía comprende los períodos clínicos de la sífilis terciaria, es poco contagiosa por vía sexual y muy rara por vía transplacentaria; las lesiones crónicas y destructivas son muy difíciles de tratar. Desde que se produce la infección hasta que aparecen los primeros síntomas de la enfermedad suelen transcurrir de dos a cuatro semanas. Desde un punto de vista clínico, la sífilis se divide en primaria, secundaria y terciaria o tardía, en la que se incluye la sífilis congénita.

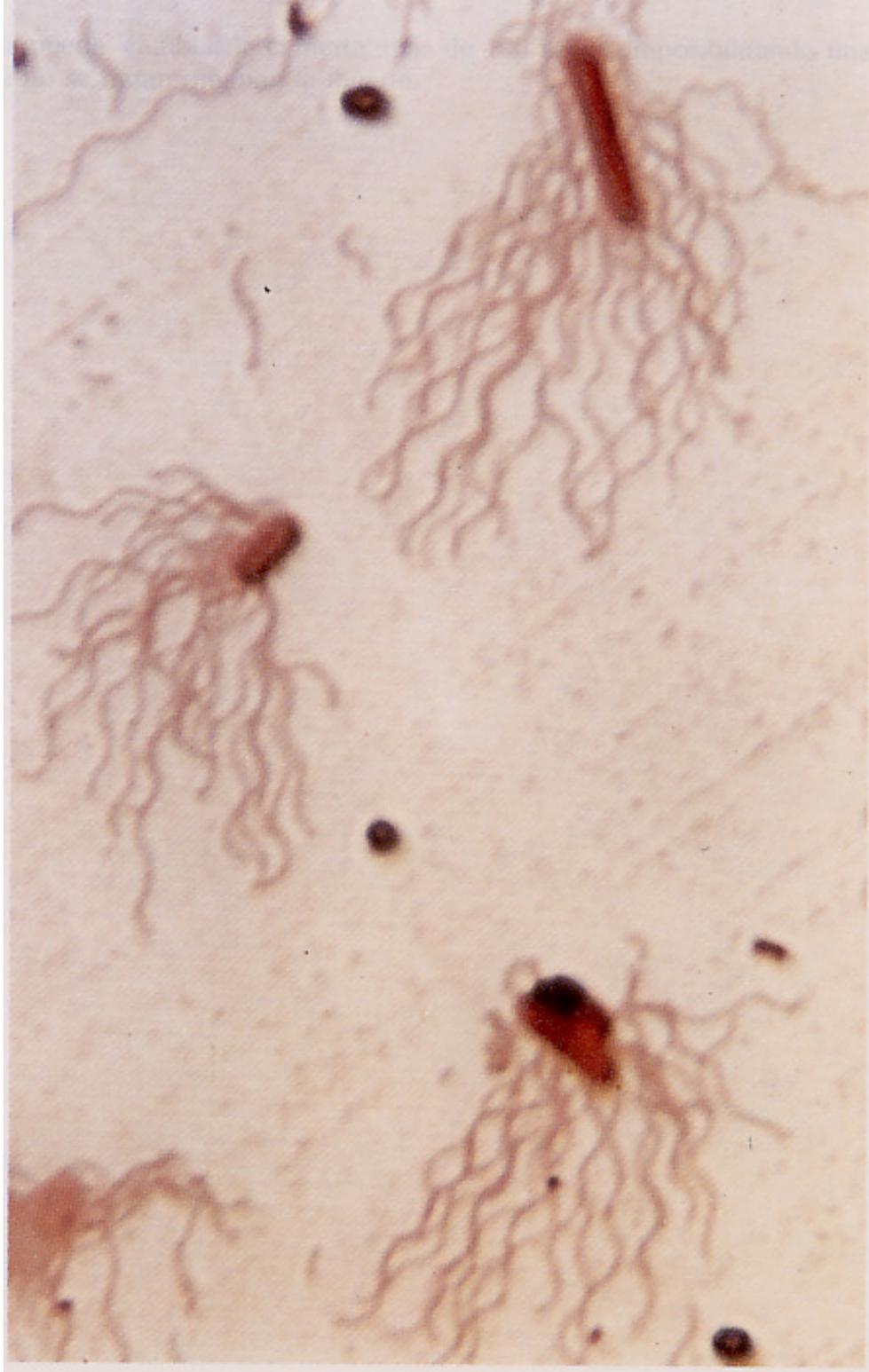




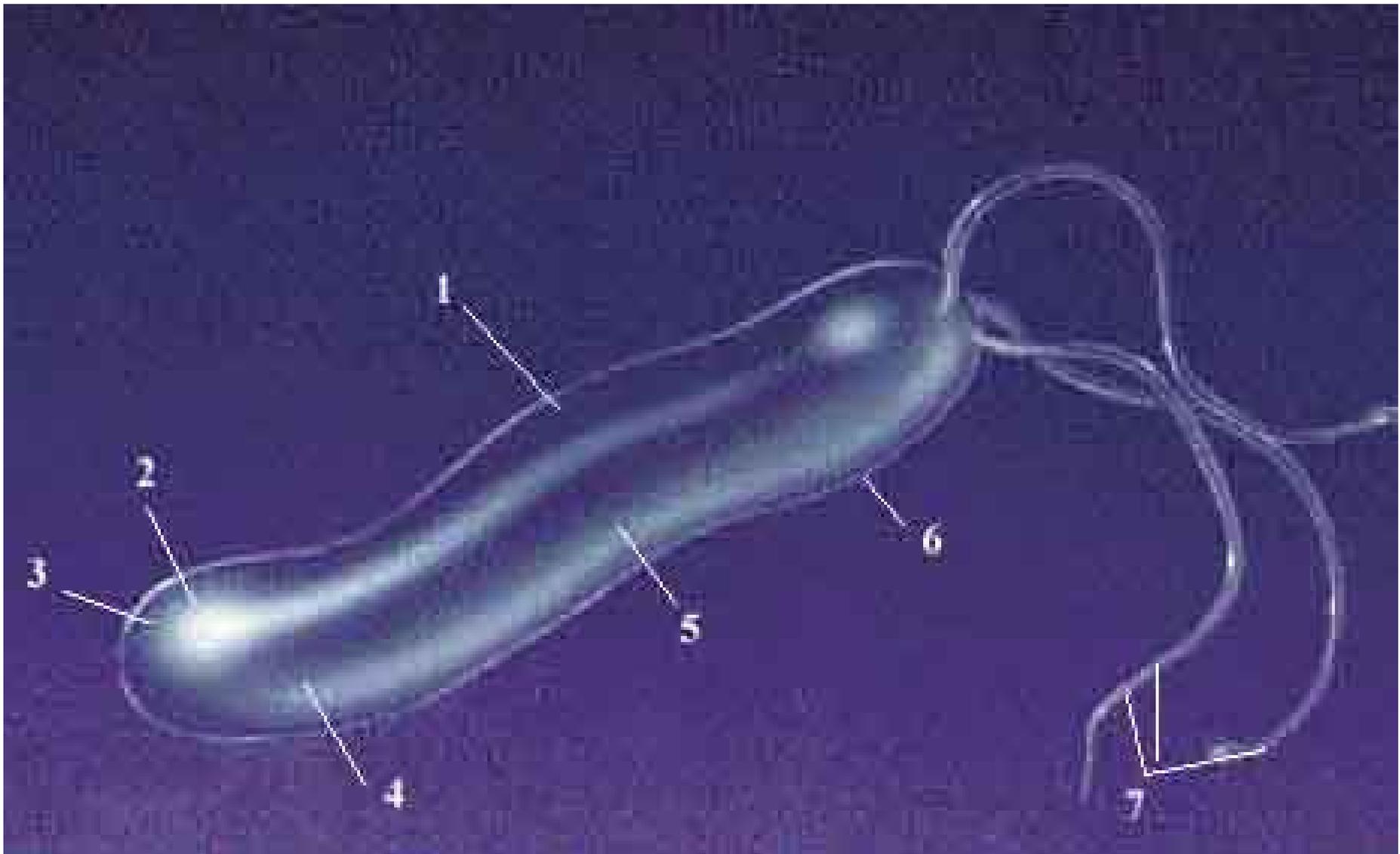
*Treponema pallidum*: sífilis



**A un varón de 36 años HIV+ se le practica una biopsia ganglionar (imagen). La tinción de Ziehl-Nielsen pone de manifiesto la presencia del siguiente germen: *Mycobacterium avium-intracellulare***



**Figura 27-31** Bacteria *Salmonella typhimurium*, en la que pueden verse claramente los flagelos.



*Helicobacter pylori* es una bacteria espiralada Gram (-), con una gran movilidad gracias a los 4 ó 6 flagelos que presenta en uno de sus extremos. Se aisló por primera vez en 1983 a partir de biopsias del epitelio gástrico. La producción de ureasa hidroliza la urea en amonio y agua, protegiéndose así de los efectos del ácido gástrico, alcalinizando el medio a su alrededor. Es probable también que la ureasa tenga efectos tóxicos directos sobre la capa de moco y las células de la mucosa. La motilidad de la bacteria mediada por flagelos le permite pasar a través del medio ácido del estómago, introducirse en la capa de moco y establecerse sobre el epitelio gástrico, donde existe un ambiente neutro que la beneficia.

# Enfermedad inflamatoria pélvica (EIP)

## Definición:

Enfermedad de transmisión sexual causada por microorganismos del género *Chlamidia*, que viven como parásitos en las células.

## Causas, incidencia y factores de riesgo:

La infección clamidial es causada por el organismo *Chlamidia trachomatis*. Se cree es la enfermedad de transmisión sexual más común en los Estados Unidos con un estimado de 3.000.000 a 4.000.000 de casos al año (en comparación con los 2.000.000 de casos de gonorrea declarados y los no declarados que se cree ocurren en dicho país anualmente). La incidencia es mayor en los grupos de bajo nivel socioeconómico y entre los adolescentes.

La clamidia es sumamente importante dadas las consecuencias de una infección no tratada. La mayoría de las infecciones genitales por clamidia **no presentan síntomas** (son asintomáticas) hasta que aparecen las complicaciones.

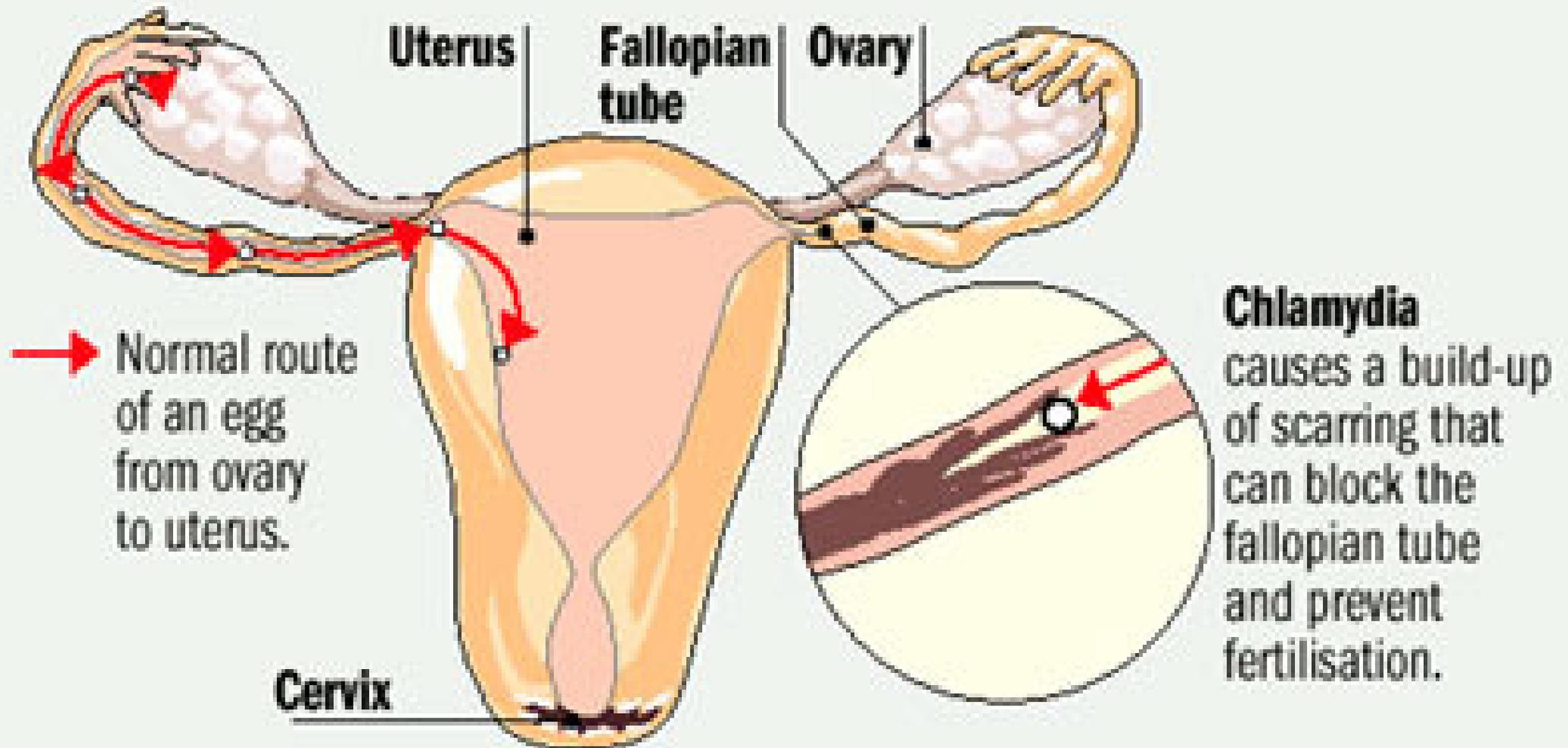
## Clamidia (masculina):

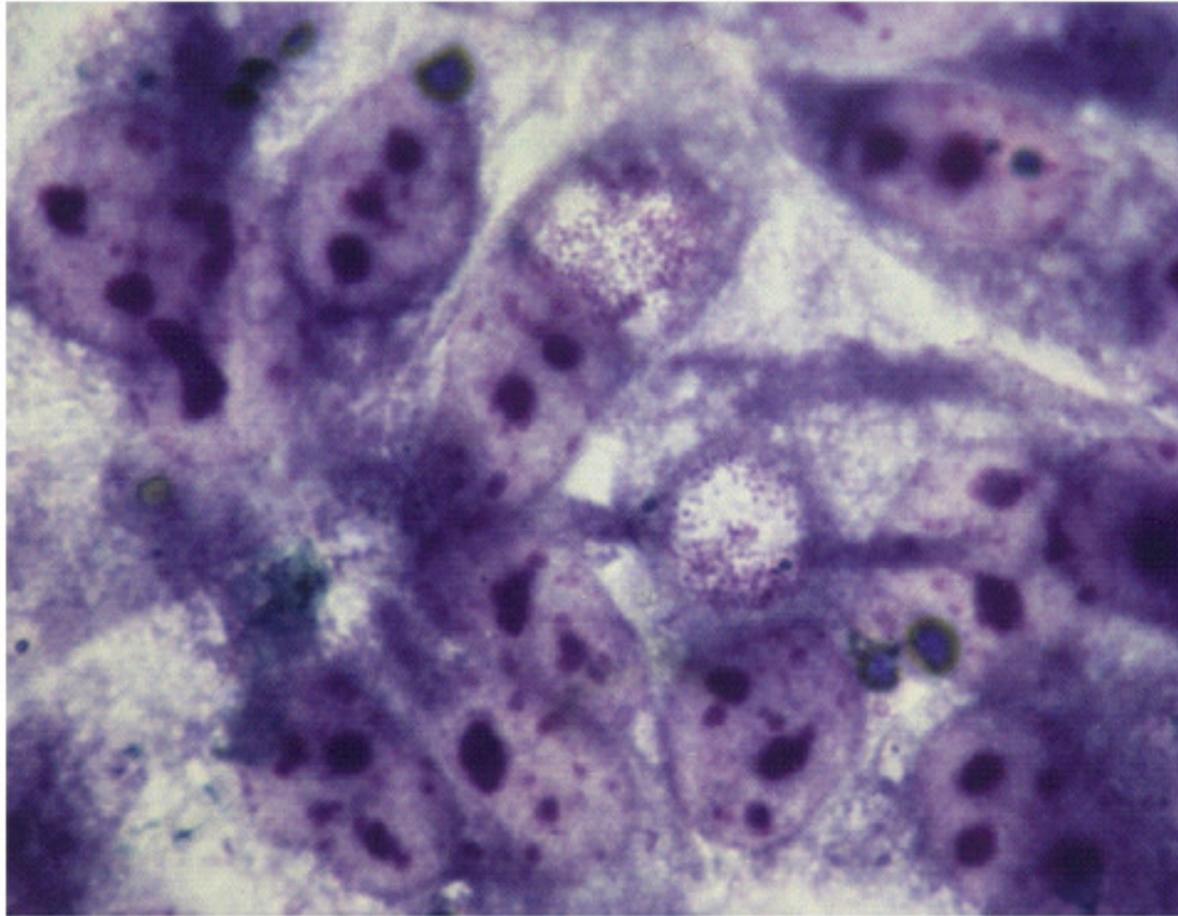
En los hombres, la clamidia produce **síntomas similares a los de la gonorrea** y además puede causar **epididimitis** y **orquitis**.

## Clamidia (femenina):

La infección clamidial suele producir enfermedad inflamatoria pélvica (EIP) que puede provocar **la cicatrización de las trompas de Falopio** y **esterilidad**. Un estimado del 20% de las mujeres que desarrollan EIP quedan estériles. La cicatrización de las trompas incrementa las probabilidades de embarazos ectópicos (embarazo tubárico). Si una mujer es infectada por clamidia mientras está embarazada, la infección puede causar partos prematuros. Además, el bebé tiene una posibilidad mayor de 1 en 3 de desarrollar conjuntivitis clamidial (infección del ojo) y un 15% de posibilidades de desarrollar neumonía clamidial (30.000 casos declarados en los Estados Unidos cada año).

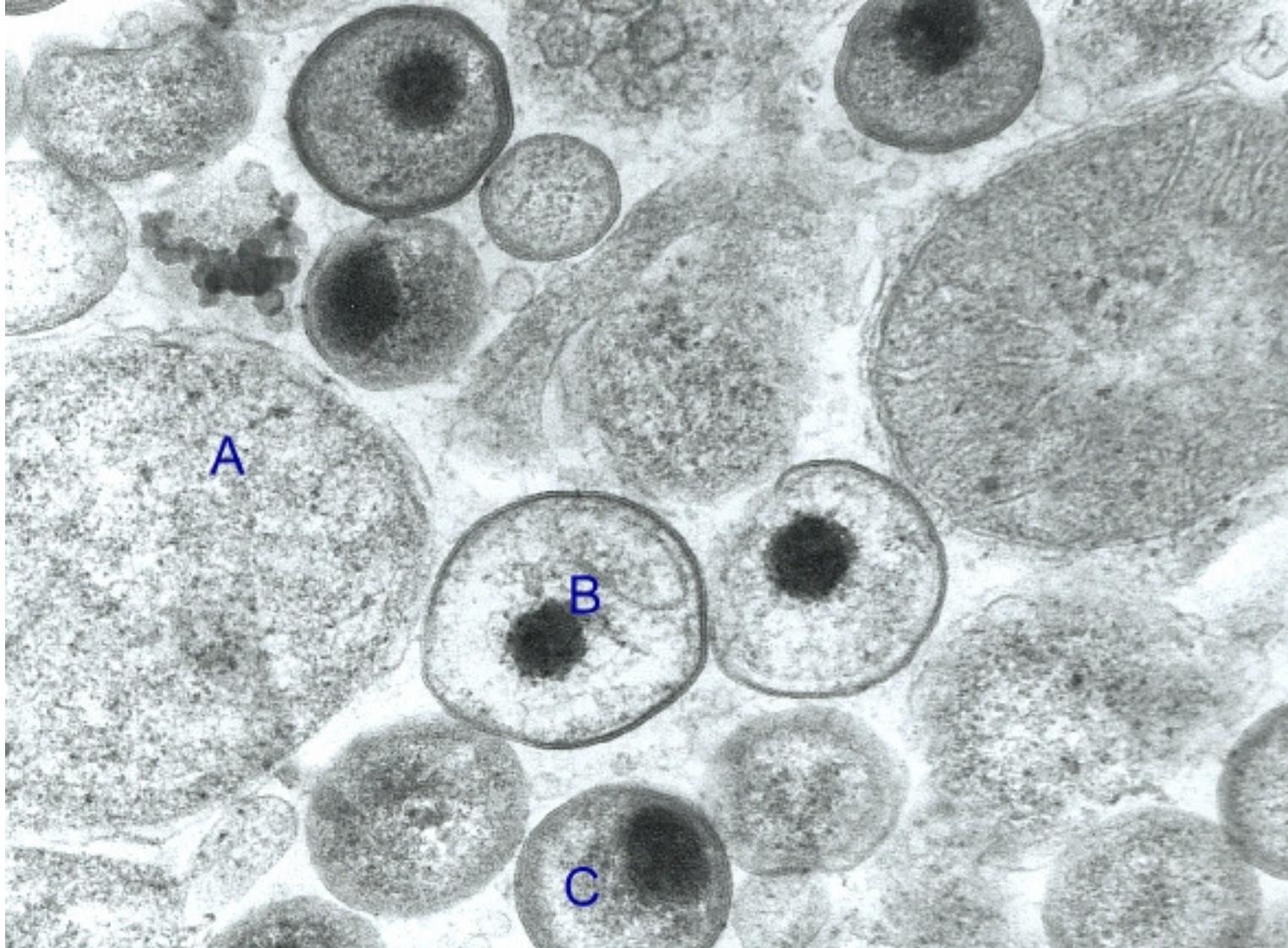
# CHLAMYDIA THE EFFECTS





To be seen each cell are two inclusions with elementary bodies. (Giemsa stain)

(Foto: Prof. Eiko Petersen, Universität Freiburg/Brsg.)



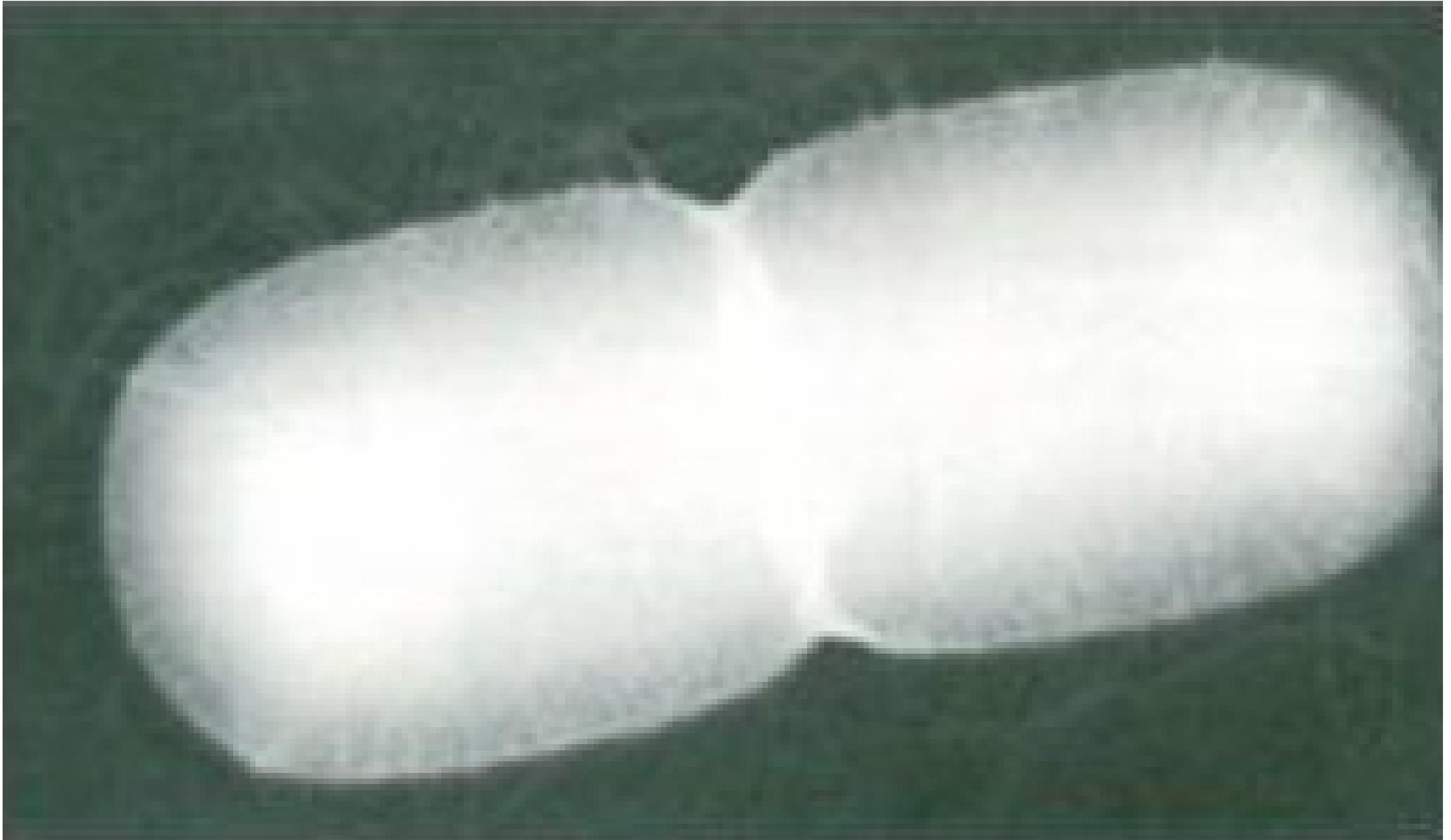
Fotografía de microscopía electrónica de una célula infectada con *Clamidia trachomatis*.

A) Cuerpo reticulado,

B) Forma intermedia entre cuerpo elemental y cuerpo reticulado, y

C) Cuerpo elemental.

Todas estas estructuras que podemos ver se encuentran **dentro de una única inclusión clamidial dentro de una única célula.**



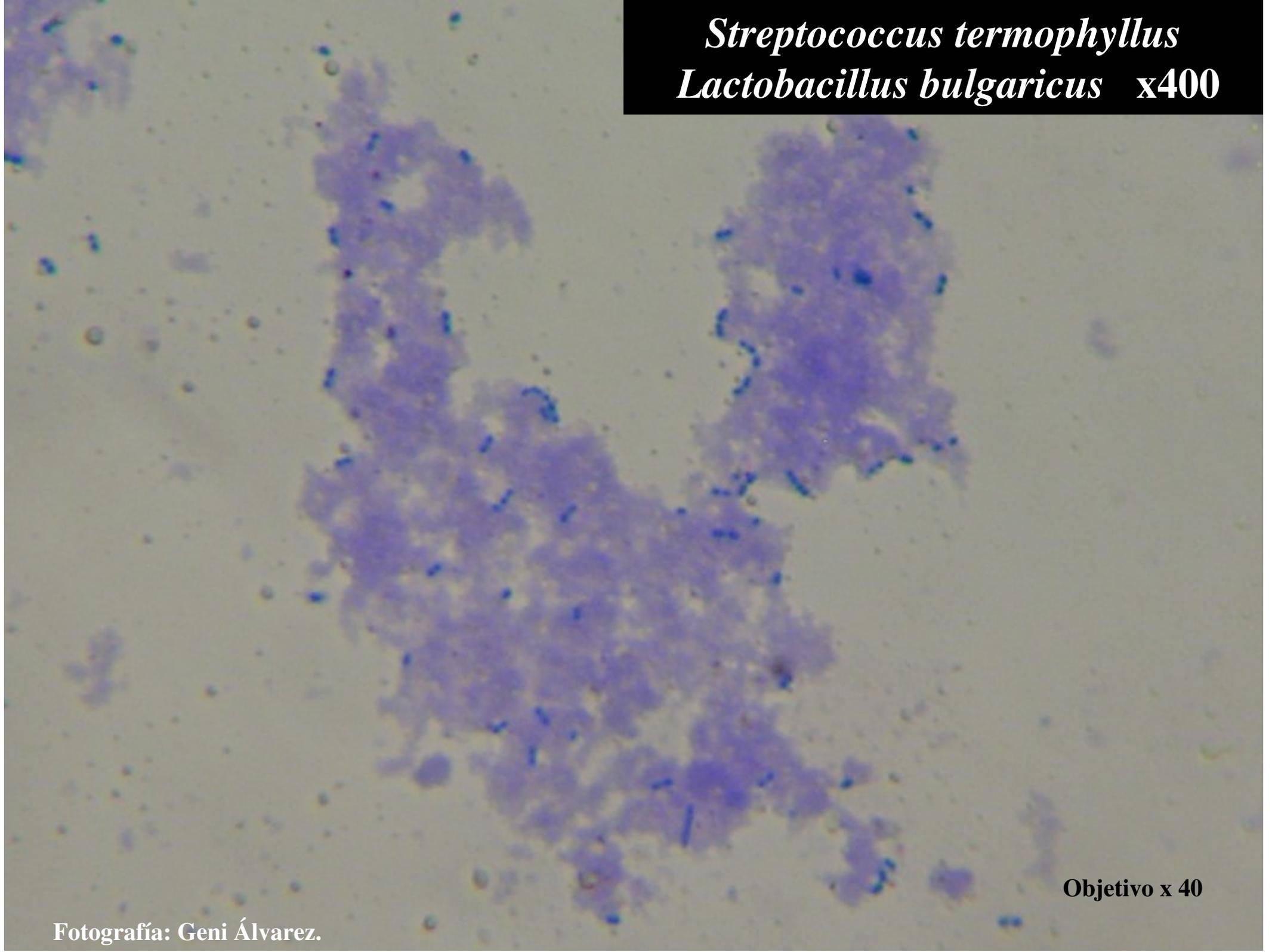
*Bacillus thuringiensis* en división. Es un patógeno de las polillas (no del hombre).

***SAPRÓFITAS***

Gram stain of yogurt, 1000x with *Lactobacillus acidophilus* and *Streptococcus thermophyllus*

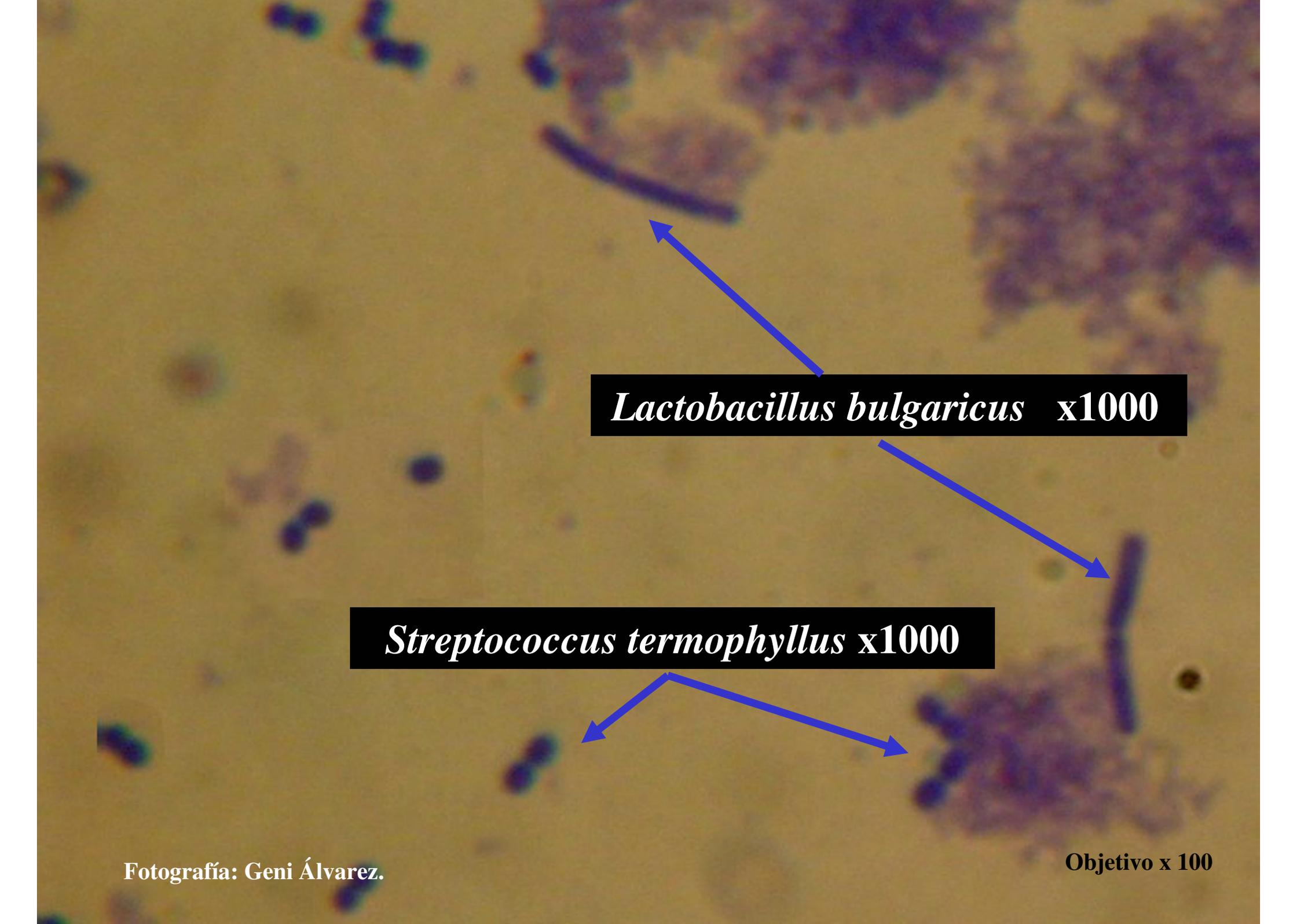


*Streptococcus termophyllus*  
*Lactobacillus bulgaricus* x400



Objetivo x 40

Fotografía: Geni Álvarez.



*Lactobacillus bulgaricus* x1000

The image shows a microscopic view of two bacterial species. *Lactobacillus bulgaricus* is represented by a single, long, thin, purple-stained rod-shaped bacterium. *Streptococcus termophyllus* is represented by a cluster of purple-stained, spherical bacteria. Blue arrows point from the text labels to the corresponding bacterial structures in the micrograph.

*Streptococcus termophyllus* x1000

*Streptococcus termophyllus*

*Lactobacillus bulgaricus* Objetivo x40

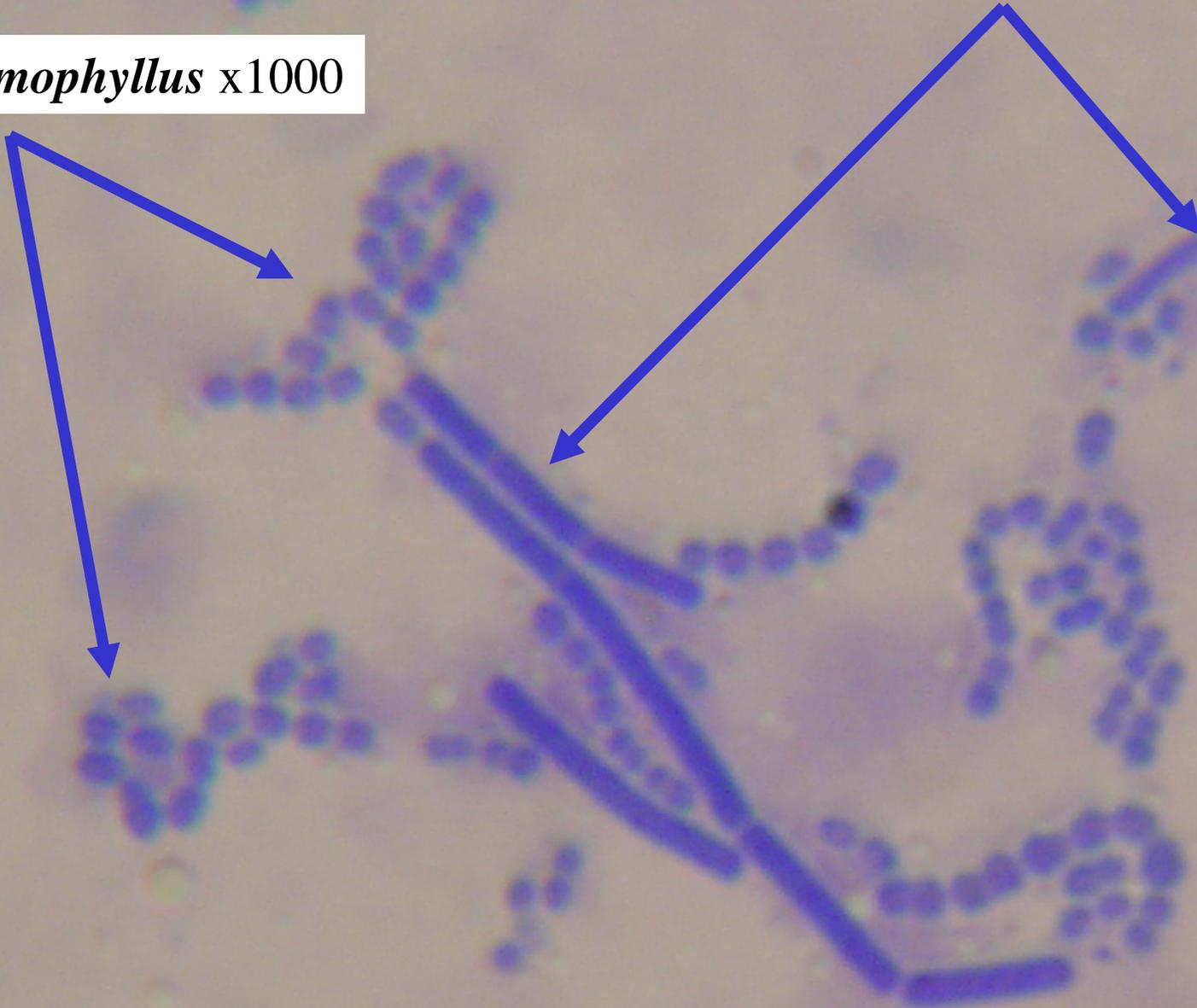
(x400)

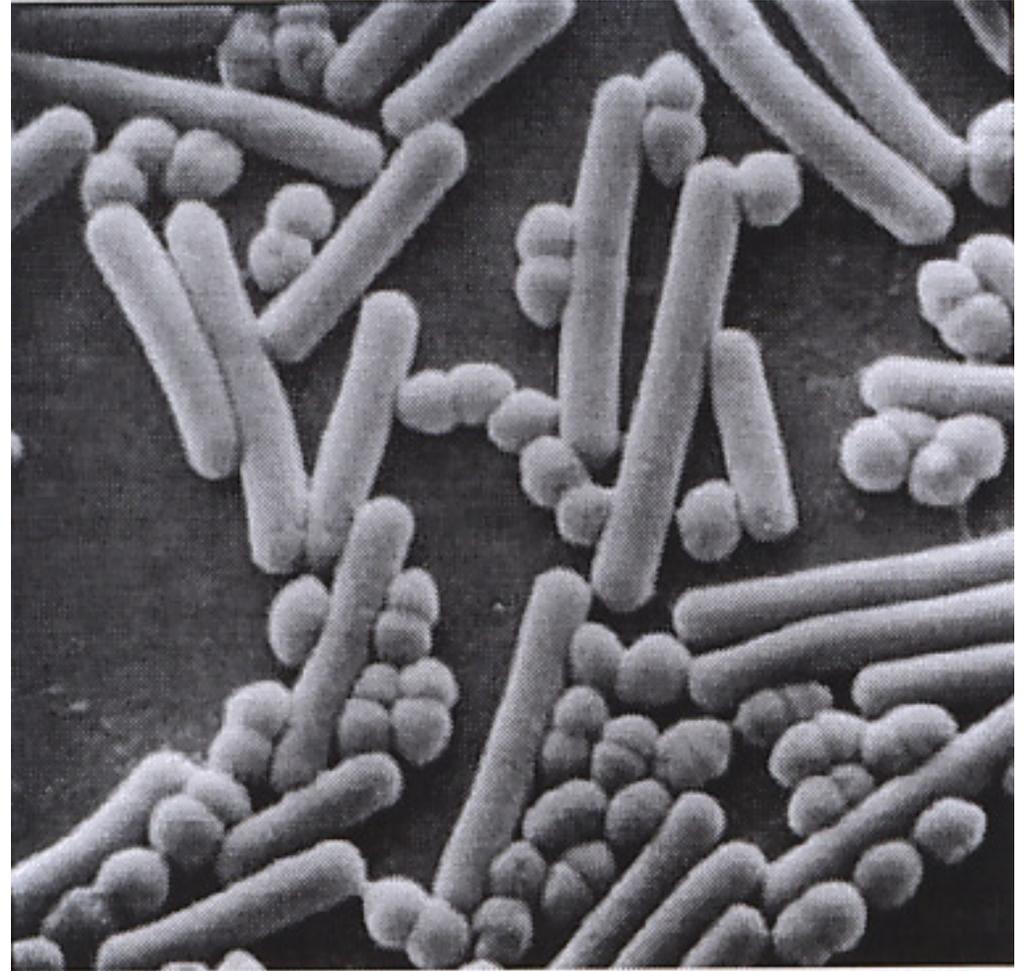
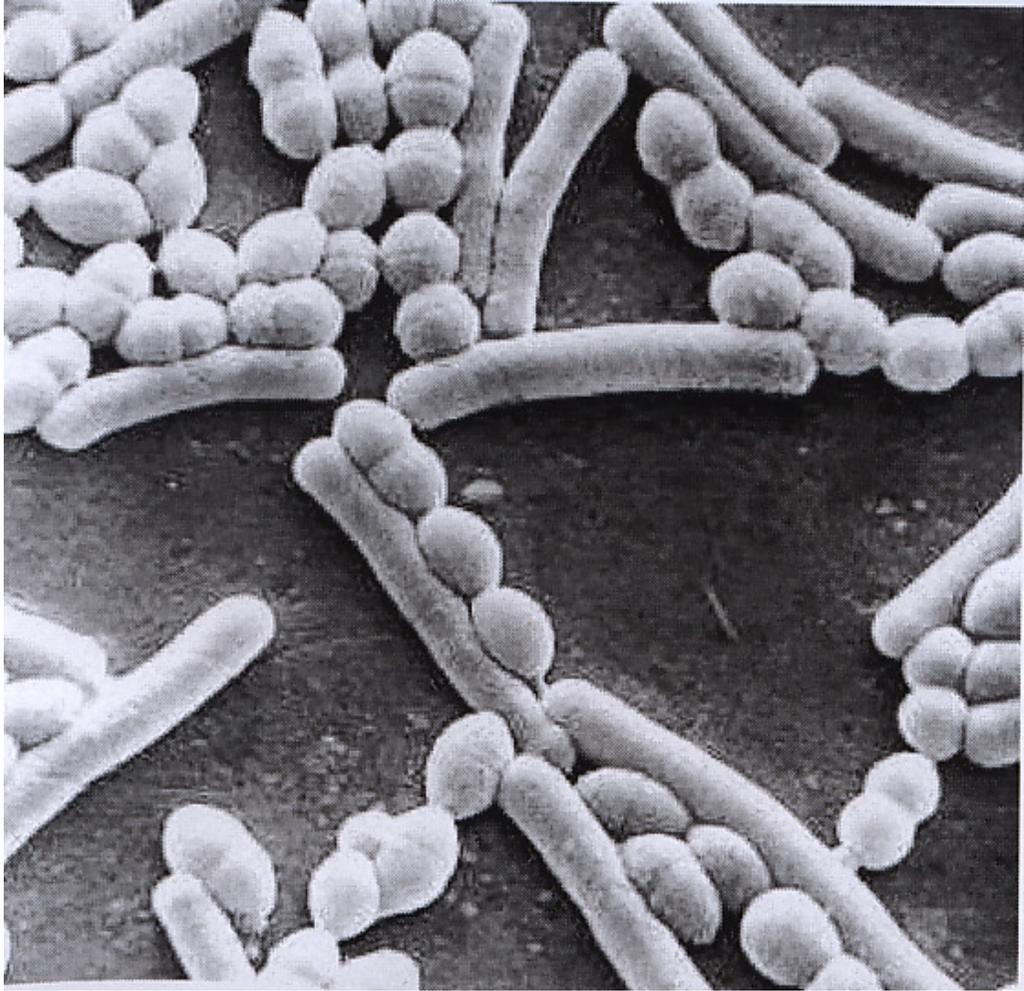


Fotografía: Geni Álvarez.

*Lactobacillus bulgaricus* x1000

*Streptococcus termophilus* x1000





Bacterias del yogur (SEM)

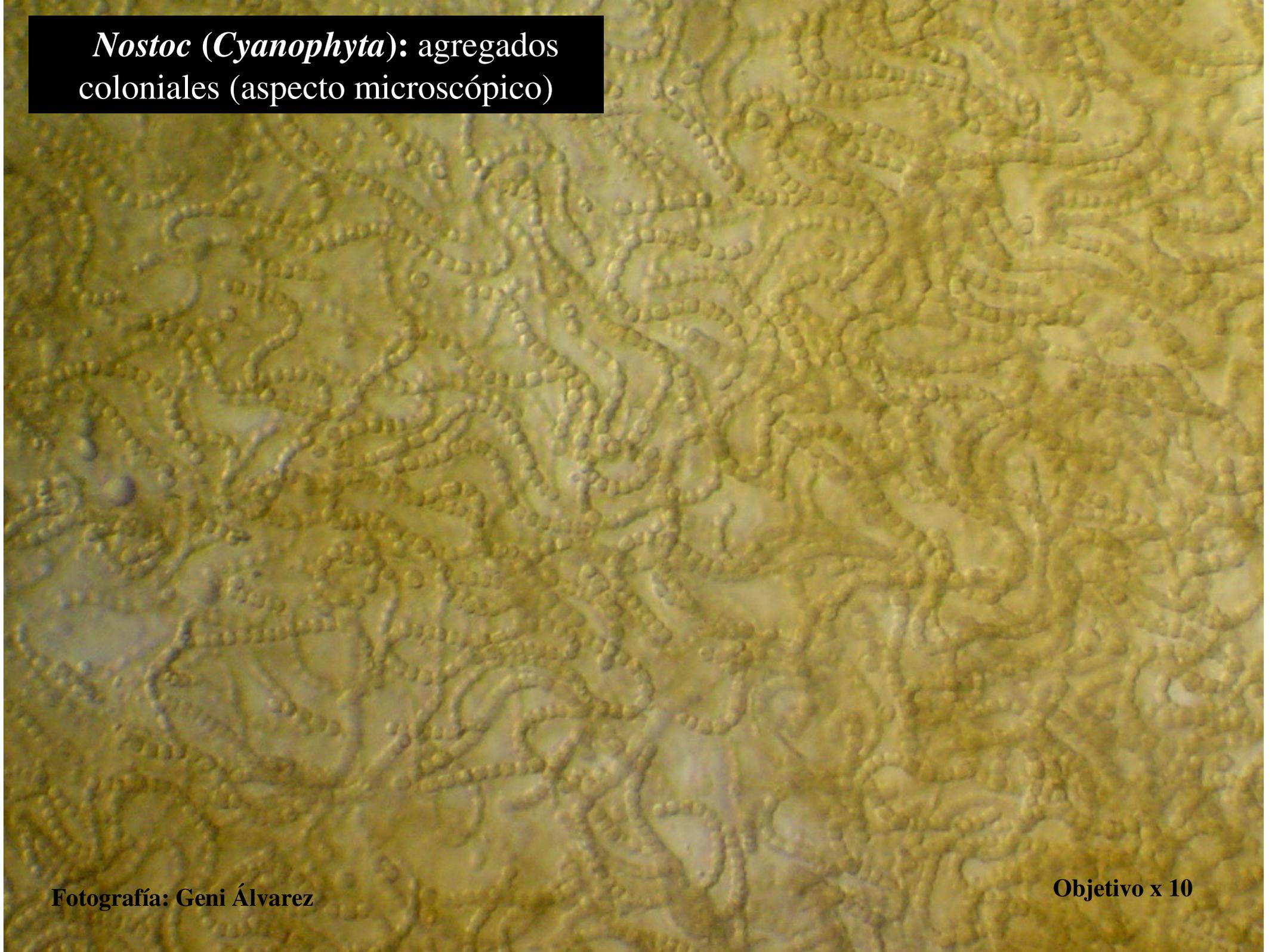
***EJEMPLOS DE  
CIANOBACTERIAS  
AUTÓTROFAS***

*Nostoc (Cyanophyta):* Aspecto macroscópico en ambiente húmedo



Fotografía: Geni Álvarez

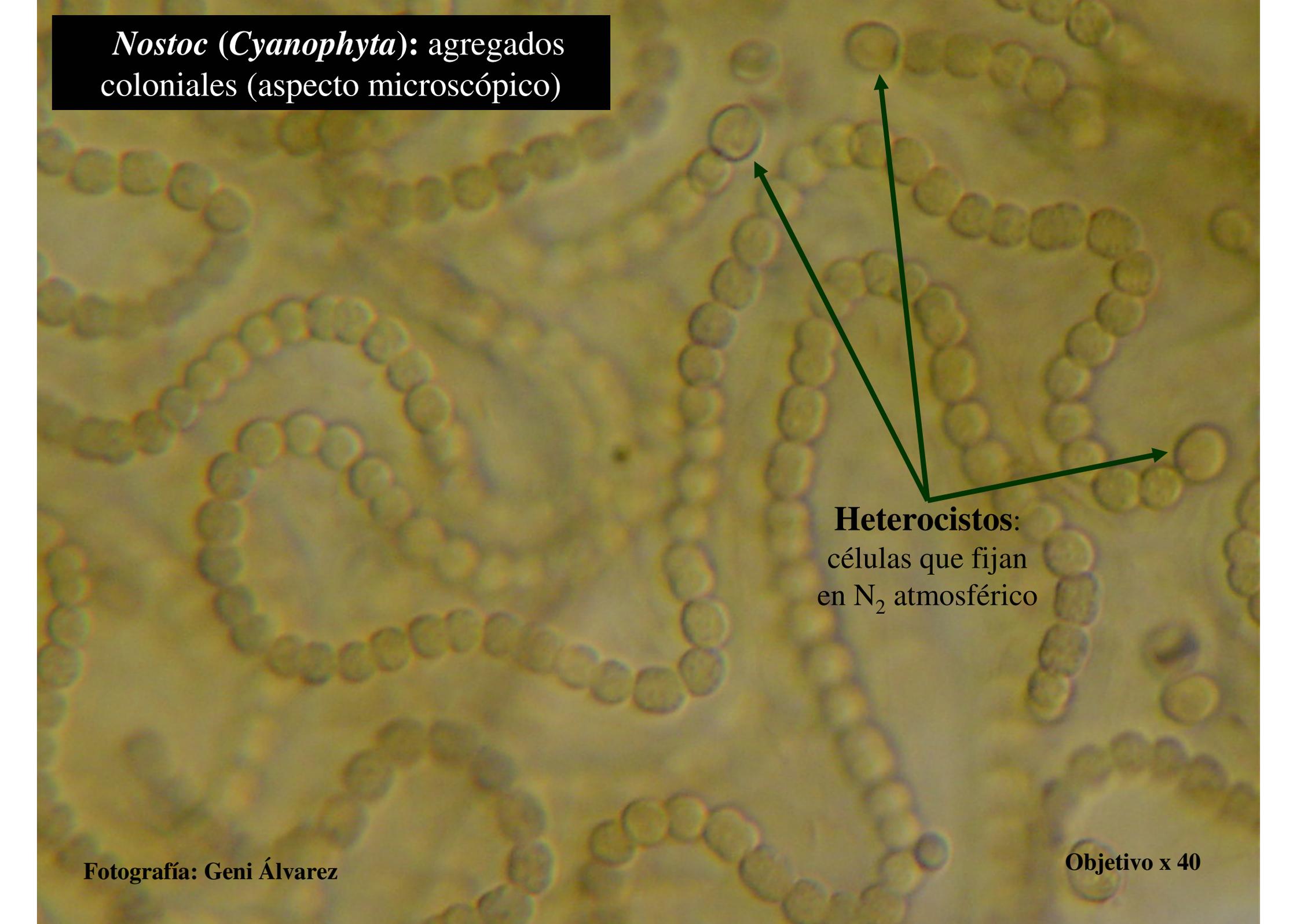
***Nostoc (Cyanophyta):*** agregados  
coloniales (aspecto microscópico)



Fotografía: Geni Álvarez

Objetivo x 10

***Nostoc* (Cyanophyta):** agregados  
coloniales (aspecto microscópico)



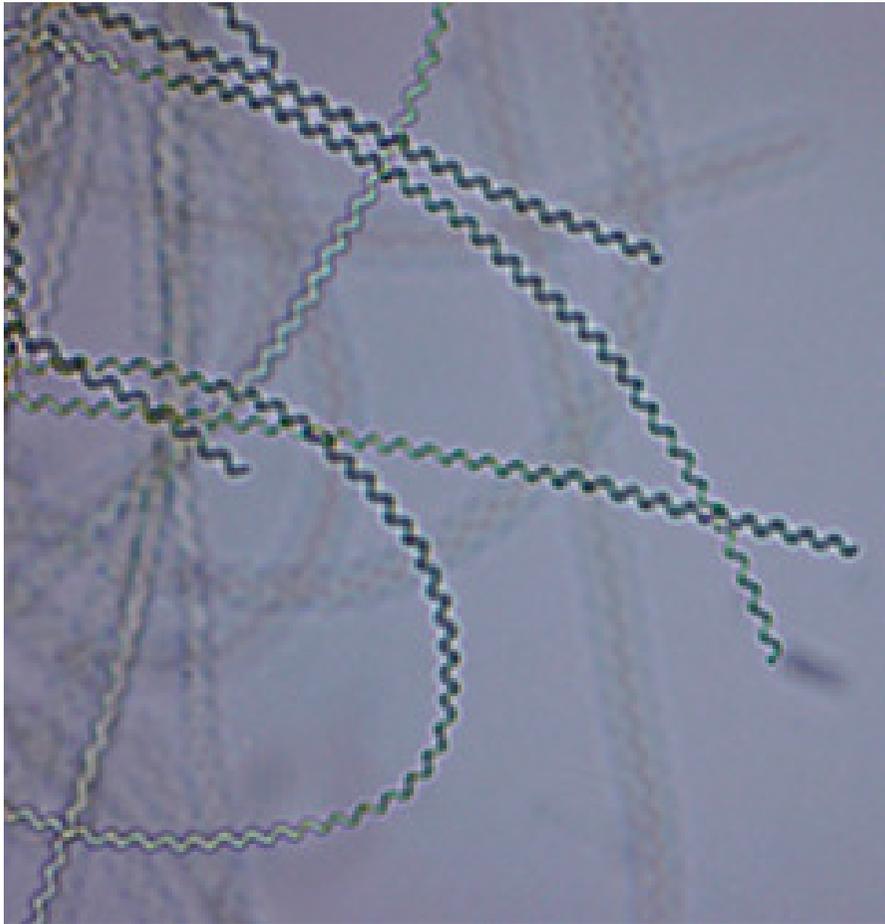
**Heterocistos:**  
células que fijan  
en N<sub>2</sub> atmosférico

*Nostoc* (Cyanophyta): agregados  
coloniales (aspecto microscópico)

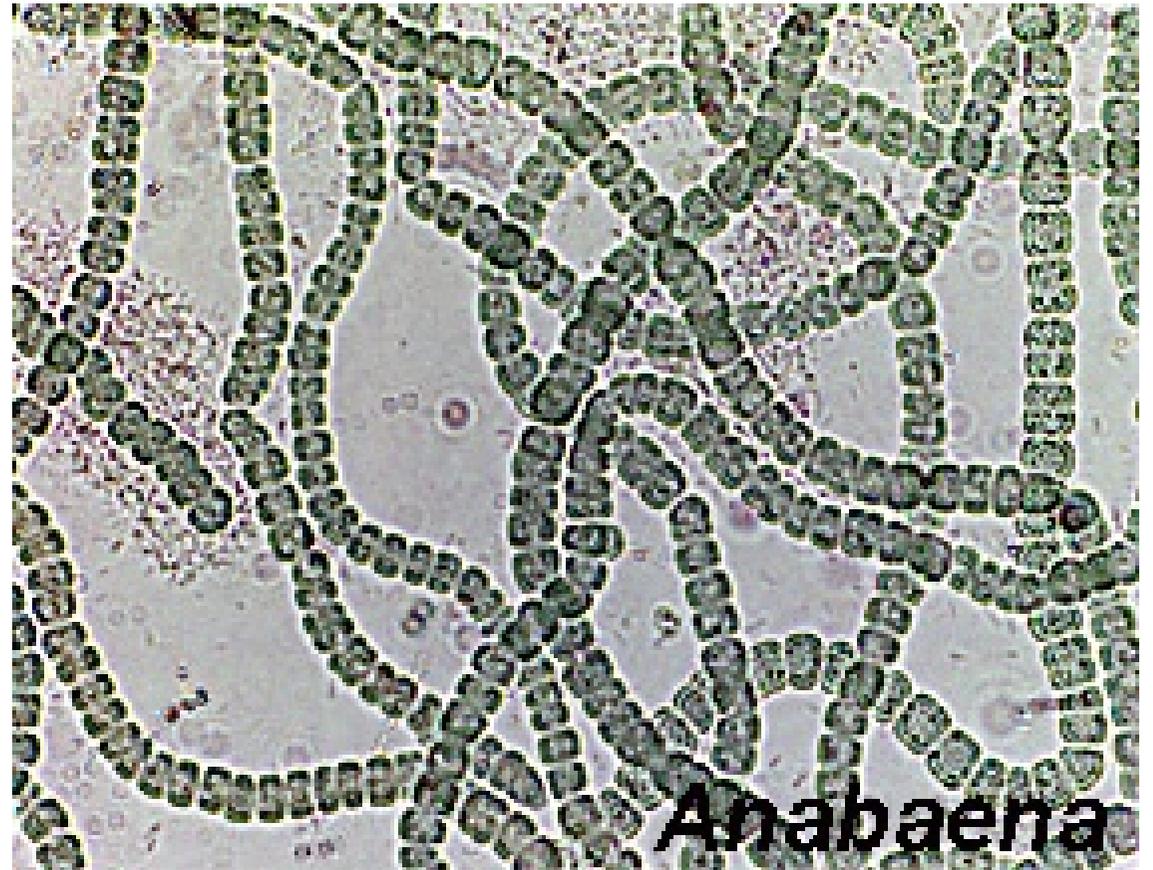


Fotografía: Geni Álvarez

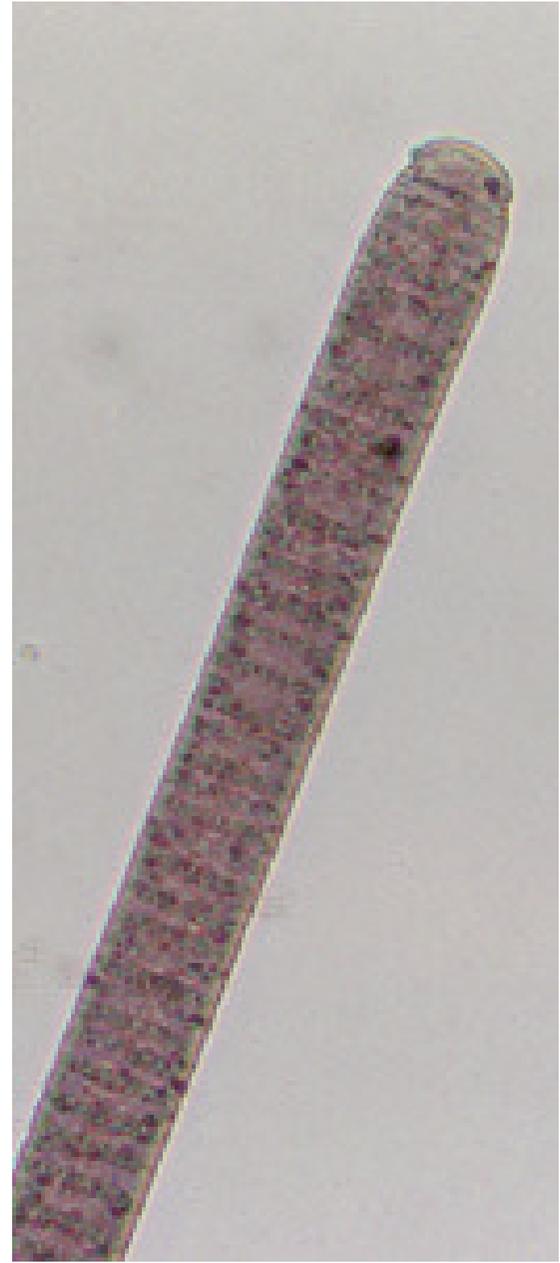
Objetivo x 40



*Spirulina sp.*



*Anabaena sp.*



*Oscillatoria*

**TABLA 3.1.** Principales características de los eucariotas y los procariotas

Características	Eucariotas	Procariotas
Principales grupos	Algas, hongos, protozoos, plantas, animales	Bacterias
Tamaño (aproximado)	> 5 $\mu\text{m}$	0,5-3 $\mu\text{m}$
Estructuras del núcleo		
Núcleo	Membrana nuclear clásica	Sin membrana nuclear
Cromosomas	Cadenas de ADN Genoma diploide	ADN único y circular Genoma haploide
Estructuras del citoplasma		
Mitocondrias	Presentes	Ausentes
Aparato de Golgi	Presente	Ausente
Retículo endoplasmático	Presente	Ausente
Ribosomas (coeficiente de sedimentación)	80S (60S + 40S)	70S (50S + 30S)
Membrana citoplasmática	Contiene esteroides	No contiene esteroides
Pared celular	Ausente o formada por quitina	Es una estructura compleja formada por proteínas, lípidos y peptidoglicanos
Reproducción	Sexual y asexual	Asexual (fisión binaria)
Movimiento	Flagelos con complejos (si existen)	Flagelos simples (si existen)
Respiración	Vía mitocondrial	A través de la membrana citoplasmática

Tomado de: Holt S. En: Slots J, Taubman M, eds. Contemporary oral microbiology and immunology. St. Louis: Mosby, 1992.