

Els

microorganismes

# Els bacteris



# Què són els bacteris ?

- Els bacteris son **microorganismes unicel·lulars** amb cèl·lules procariotes.
- Són considerades la **primera forma de vida** que va aparèixer a la Terra fa uns 3800 milions d'anys.
- Representen la forma de vida més abundant en termes de biomassa i nombre de espècies sobre el planeta.
- La mida d'un bacteris **és entre 1 i 5 micres**, més petites que les cèl·lules eucariotes.



# Curiositats:

- El cos humà està format aproximadament per 100 bilions de cèl·lules.
- D'aquestes aproximadament 90 bilions són cèl·lules bacterianes.
- És a dir per cada cèl·lula humana existeixen 10 cèl·lules bacterianes en el nostre cos, la majoria d'elles es localitzen a l'intestí.
- Tots els bacteris del nostre cos fan un pes aproximat d'entre 1 i 2 kg.
- A la nostra mà habiten unes 150 espècies diferents de bactèries.



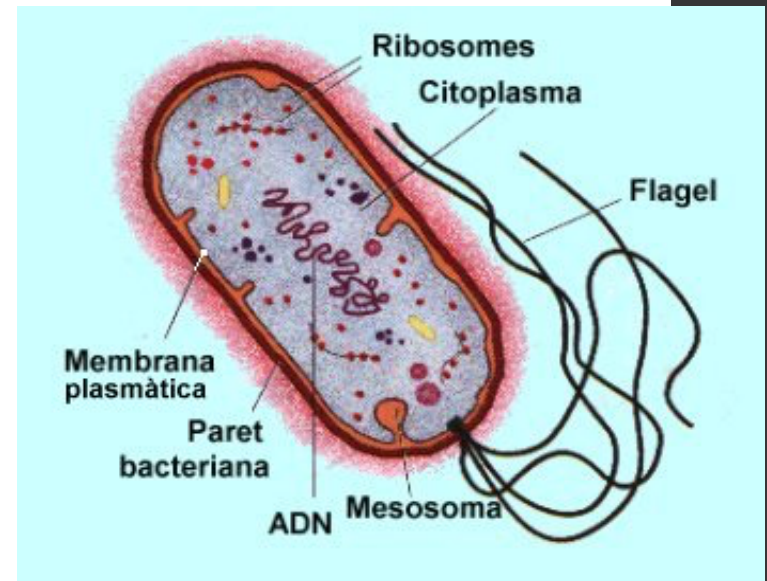
# Els bacteris

1. Composició, estructura i morfologia dels bacteris.
2. Fisiologia dels bacteris :
  - 2.1 Tipus de metabolisme
  - 2.2 Mecanismes de reproducció i parasexualitat bacteriana.
3. Mètodes d'estudi dels bacteris :
  - 3.1 Concepte de soca i espècie
  - 3.2 Tinció Gram i cultiu de bacteris
4. Breu relació de la diversitat bacteriana.
5. Importància dels bacteris en els cicles biogeoquímics, en ciència i com a agents patògens.

# 1. Composició, estructura i morfologia dels bacteris

## • *MORFOLOGIA:*

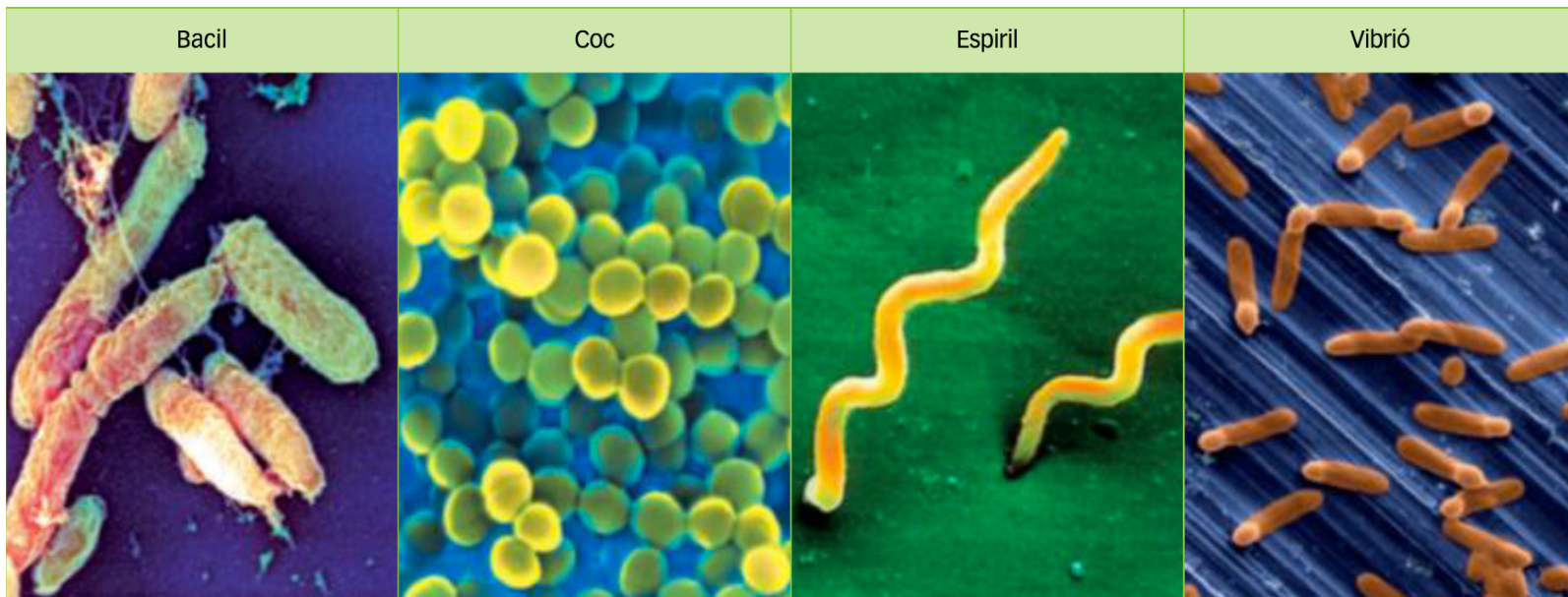
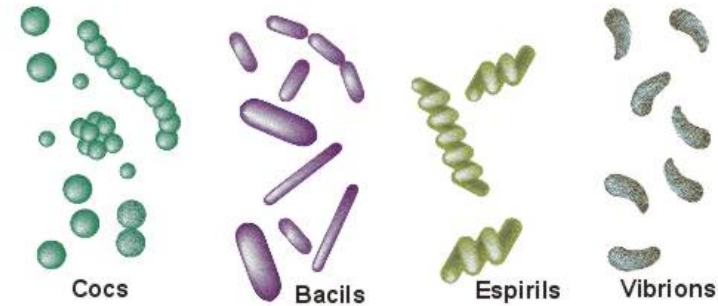
1. Càpsula bacteriana (no sempre)
2. Paret bacteriana
3. Membrana plasmàtica amb mesosomes
4. Citoplasma :
  - ribosomes
  - inclusions
  - cromosoma (DNA) circular
  - altres orgànuls (no sempre)



## • DIVERSITAT DE FORMES

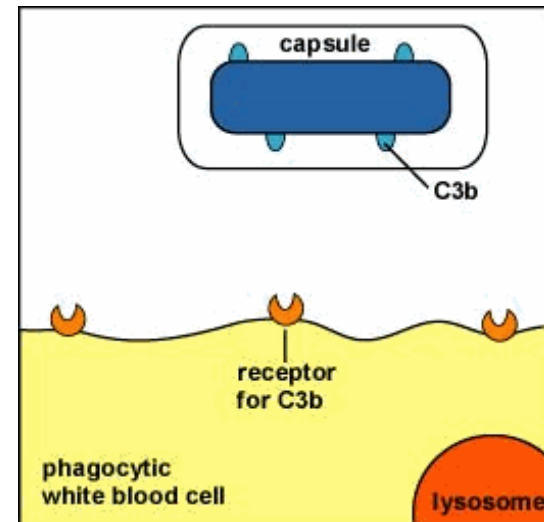
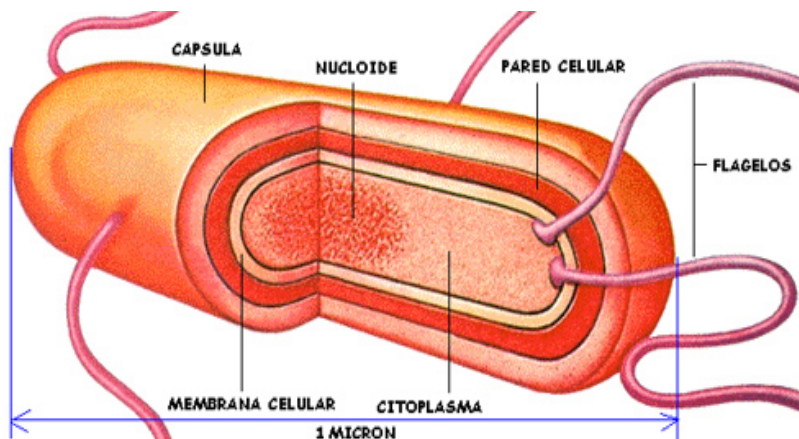
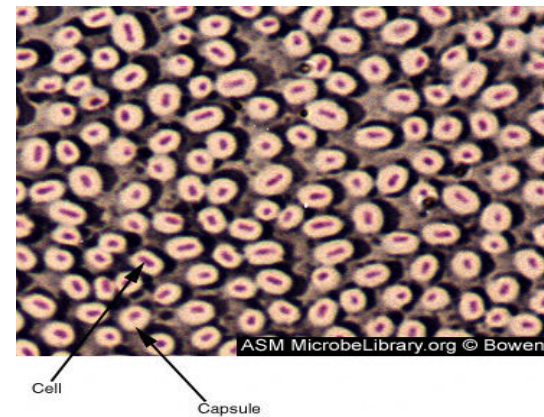
En funció de la seva forma els classifiquem en:

- **cocs**, bacteris en forma esfèrica
- **estreptococs**, cadenes de cocs
- **bacils**, bacteris en forma de bastó
- **vibrions**, bacteris en forma de coma
- **espiril·les** i **espiroquetes**, bacteris en forma d'espiral.



# 1. CÀPSULA BACTERIANA

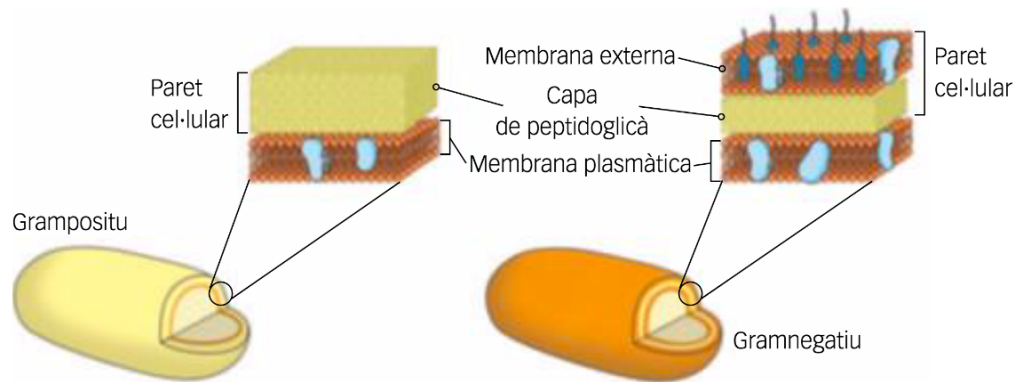
- NO SEMPRE EN TENEN
- Capa mucosa de polisacàrids.
- Pot absorbir aigua i augmentar el gruix (de 100-400 Å).
- Protegeix als bacteris de la dessecació.
- Dificulta l'acció d'anticossos i cèl·lules fagocitàries (molts bacteris patògens tenen càpsula ).





## 2. PARET BACTERIANA

- Coberta rígida que dóna forma al bacteri d'un gruix de 50 a 100 Å.
- La seva composició i estructura ens serveix per a classificar els bacteris en dos grups (**grampositius** i **gramnegatius**).

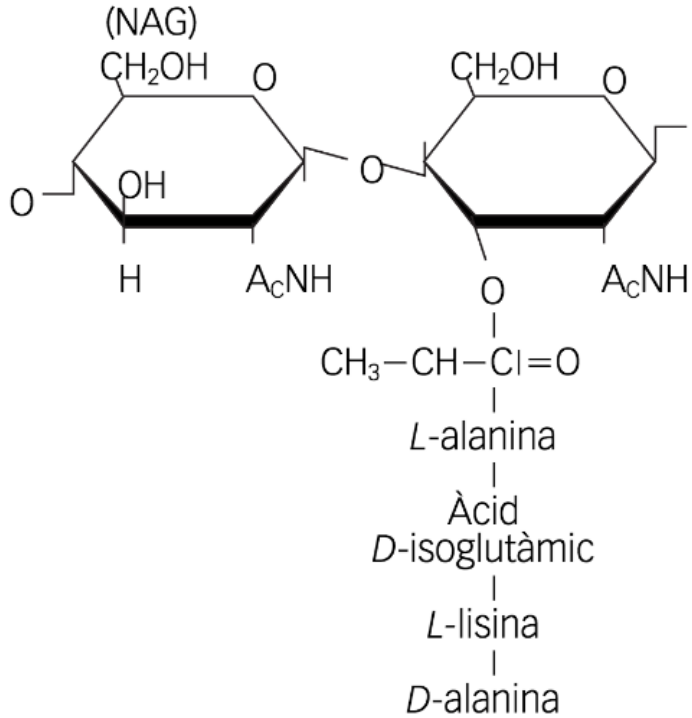
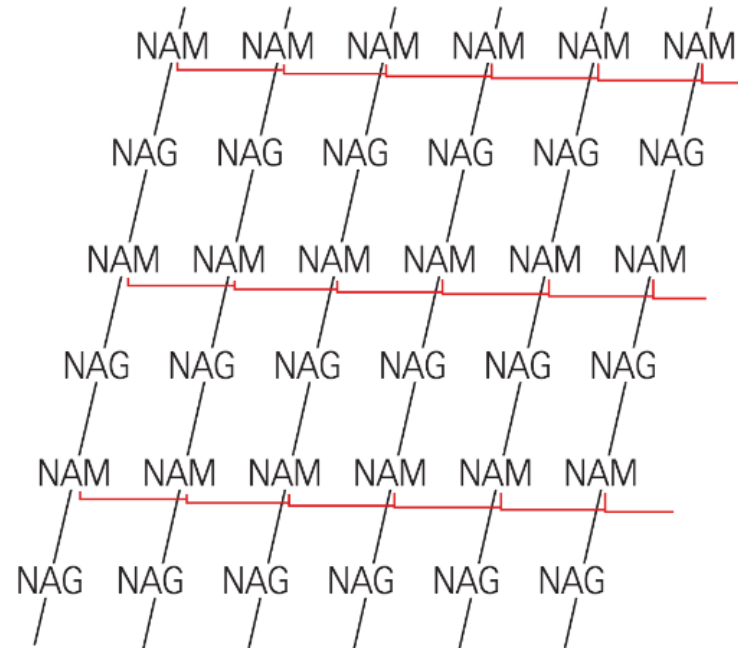


Diferències entre la paret bacteriana de bacteris grampositius i gramnegatius.

- La substància fonamental és la **MUREÏNA**: És un peptidoglicà format per una xarxa de molècules de NAG i NAM unides entre sí per enllaços glicosídics.

NAG = N-acetilglicosamina

NAM = N-acetilmuràmic

**A****B**

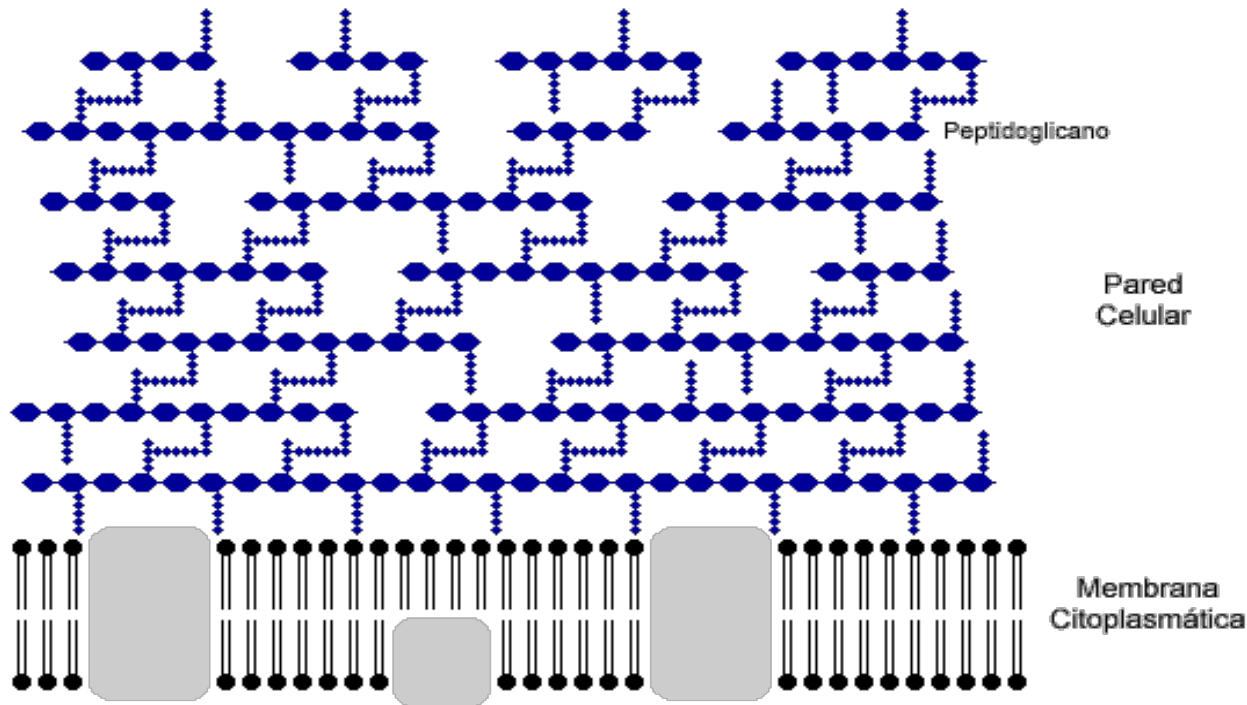
—: Unions encreuades formades per cadenes d'aminoàcids

**A** Molècules base dels peptidoglicans (mureïna) de la paret dels bacteris.

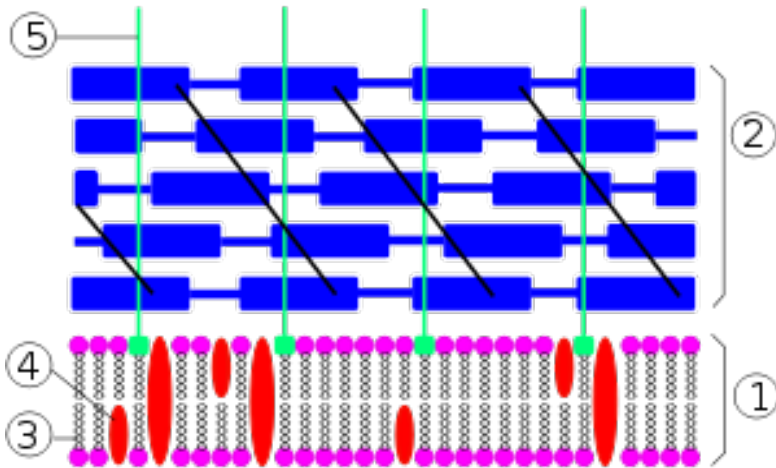
**B** Estructura general dels peptidoglicans.

- La paret pot ser :

- Monoestratificada (capa de mureïna gruixuda amb àcids teïcois)
- **Biestratificada** (capa de mureïna fina + membrana externa formada per bicapa de lípids i proteïnes)

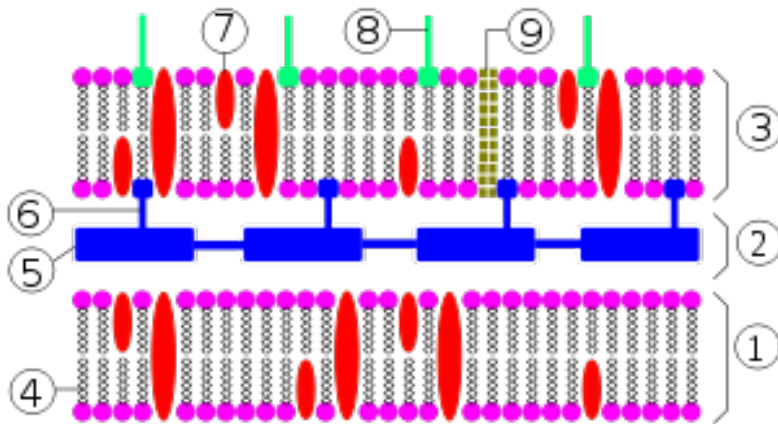


# COMPARACIÓ ESTRUCTURA DE LA PARET BACTERIANA



## Bacteria Gram-positiva. (monoestratificada)

- 1-membrana citoplasmàtica  
(formada per bicapa de fosfolípids 3 i proteïnes 4).
- 2-capa de mureïna amb àcids teicoïcs 5.



## Bacteria Gram-negativa (biestratificada)

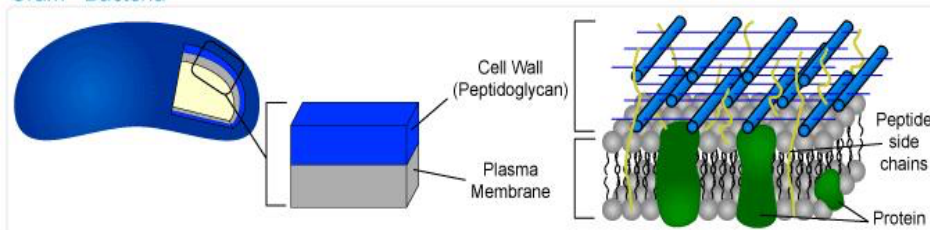
- 1-membrana citoplasmàtica  
(membrana interna) (formada per bicapa de fosfolípids 4 i proteïnes 7).
- 2-espaci periplasmàtic (espai entre les dues membranes)
- 3-membrana externa (formada per bicapa de lípids i proteïnes 7)
- 5- capa de mureïna molt fina

8-lipopolisacàrids  
9-purinas.

# Què és la tinció Gram?

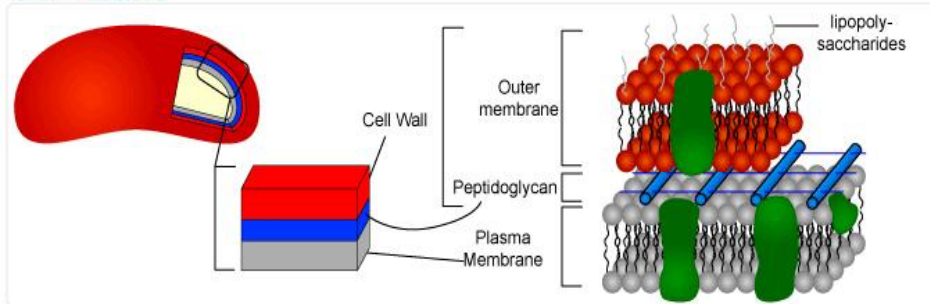
- És una tinció específica dels bacteris
- Poden quedar de color blau (grampositiu) o vermell (gramnegatiu).
- La causa de la diferència de coloració està en la diferent estructura i composició de la paret.

Gram<sup>+</sup> Bacteria



Gram + tenen paret monoestratificada (solament capa gruixuda de mureïna)

Gram<sup>-</sup> Bacteria

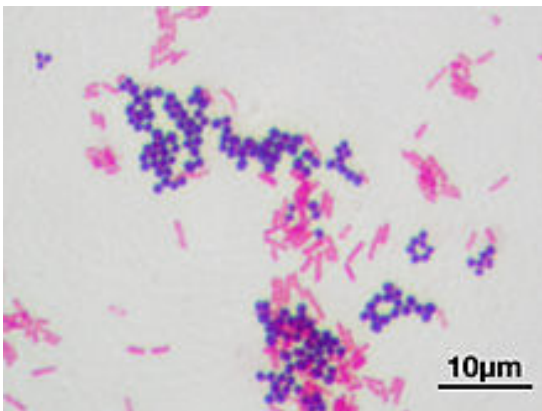


Gram – tenen paret biestratificada (capa de mureïna fina més membrana externa de doblecapa de lípids)

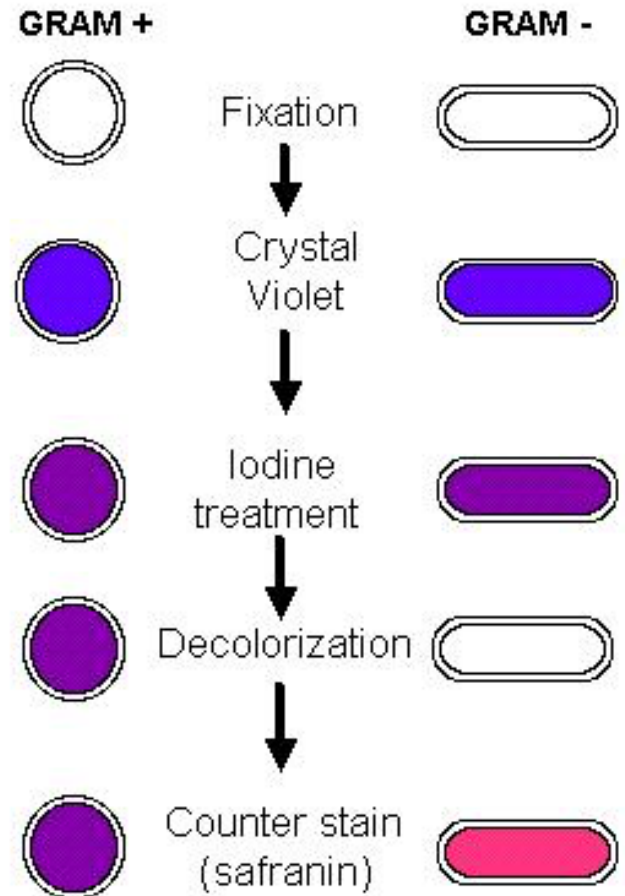
# Com es fa la tinció Gram?

Procediment :

1. **Colorant cristall violeta** : tots els bacteris queden blaus.
2. **Reactiu lugol**: els gram+ formen amb el lugol un esmalt impermeable a l'alcohol.
3. **Alcohol** : només el gram – es decoloren i els gram+ segueixen blaus.
4. **Colorant safranina** : es tenyeisen de **color vermell els gram-** que estan decolorants , però no els gram + que segueixen blaus.



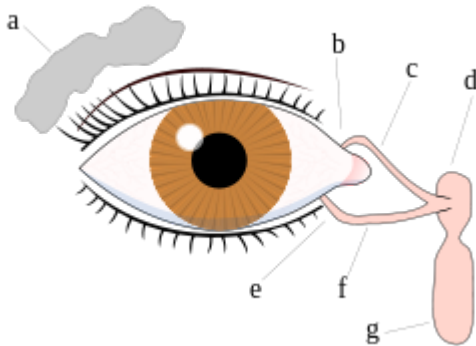
*Bacteris gram+ i gram- al microscopi òptic.*



# FUNCIONS DE LA PARET BACTERIANA

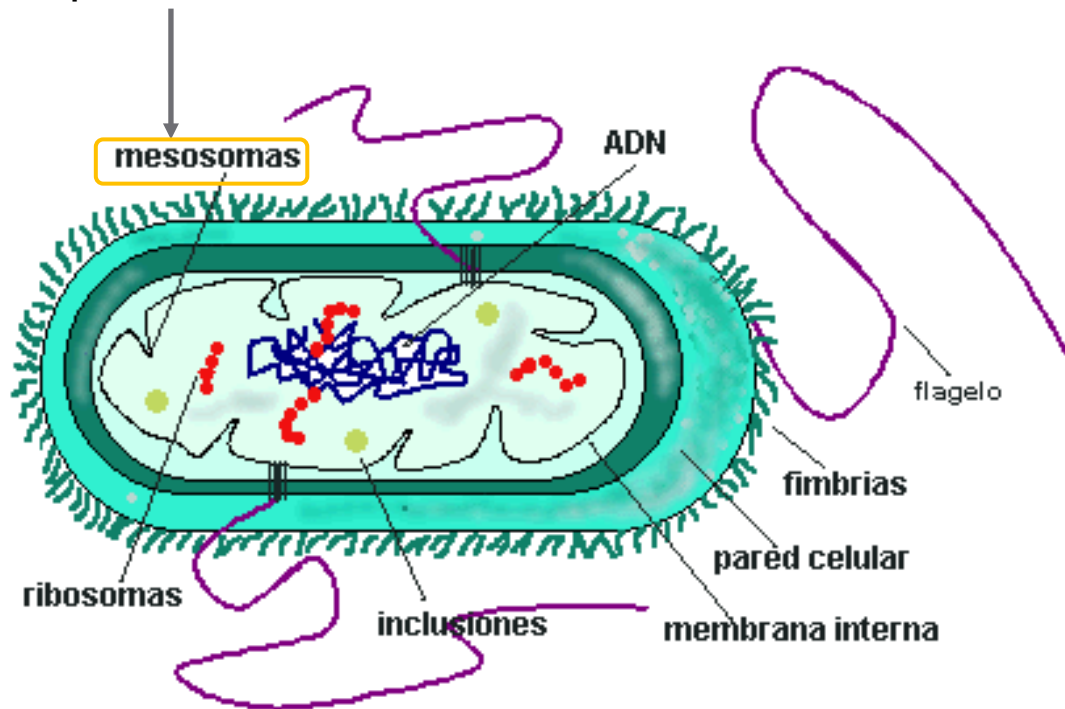
- Mantenir la forma del bacteri.
- **Protecció**: si la paret es destrueix, el bacteri queda inermes davant els canvis de salinitat.
- Moltes substàncies amb propietats bactericides actuen a nivell de la paret:
  - **El lisozim** enzim present a les llàgrimes actua trencant enllaços glicosídics dels peptidoglicans.
  - Molts **antibiòtics** actuen **impedint els enllaços peptídics entre les molècules de NAG i NAM** i per tant impedeixen la proliferació bacteriana.

Glàndules  
llagrimalls



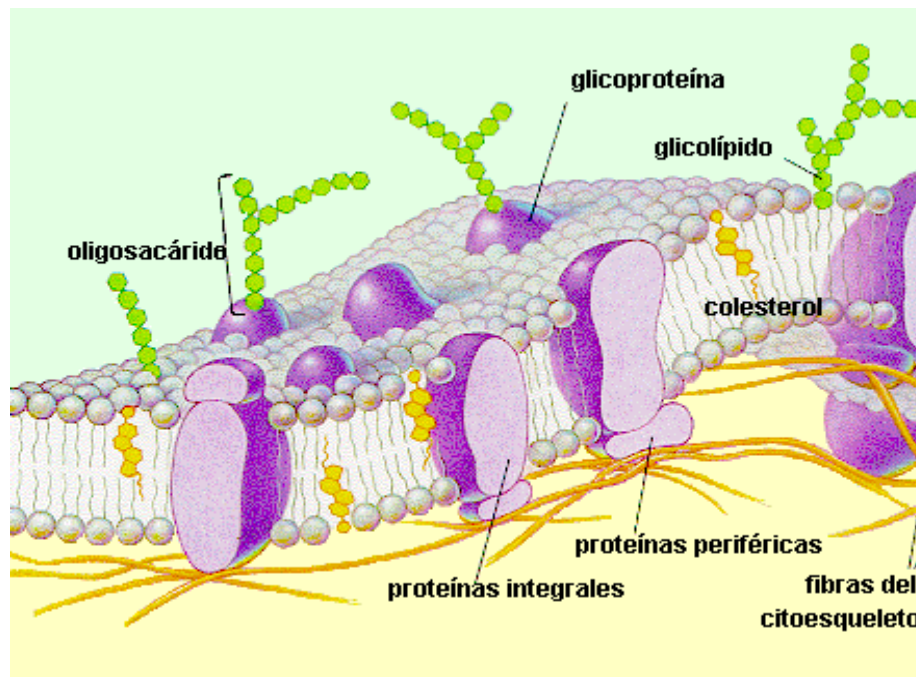
### 3. MEMBRANA PLASMÀTICA

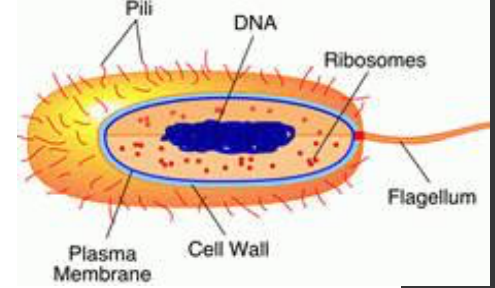
- Coberta que envolta el citoplasma.
- Té l'estructura igual que les cèl·lules eucariotes, doble capa de fosfolípids i proteïnes, de 75Å de gruix.
- En els **mesosomas** (invaginacions) s'hi troben els enzims que contenen enzims que permeten: la respiració bacteriana, la fotosíntesi, duplicació del DNA...





- Les funcions de la membrana són les mateixes que en les cèl·lules eucariotes:
  - Delimiten el bacteri
  - Regulen el pas de substàncies nutritives
  - Conté sistemes enzimàtics que intervenen a:
    - Dirigir la replicació del DNA bacterià per mitjà del DNA-polimerasa
    - Fer la respiració bacteriana (ATP-sintetases a les membranes)
    - Fotosíntesi en els bacteris fotosintètics que no són cianobacteris (fotosistemes I a la membrana)
    - Assimilar nitrogen en forma de  $\text{NO}_3^-$  o  $\text{NO}_2^-$ , o el  $\text{N}_2$  atmosfèric gràcies a enzim nitrogenasa.

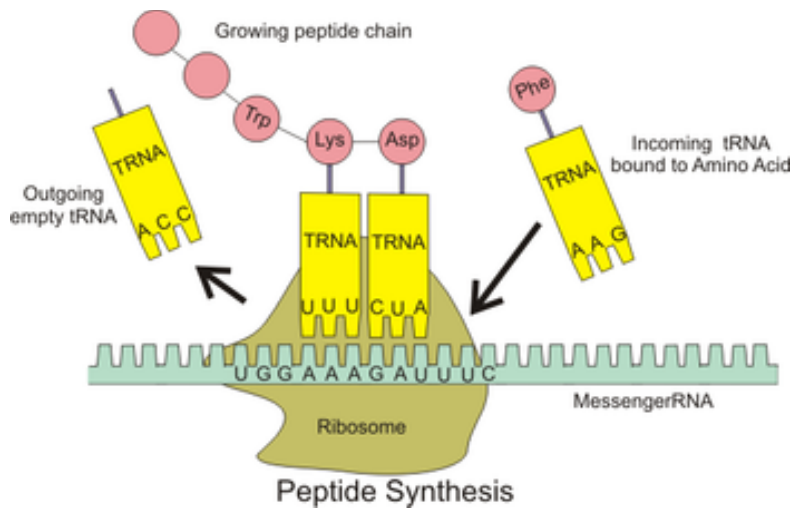




## 4. CITOPLASMA

### 4.1 RIBOSOMES

- Orgànuls encarregats de fer la síntesi de proteïnes.
- Són de mida més petita que els ribosomes dels eucariotes (70S).
- Formats per proteïnes i àcid ribonucleic ribosòmic (RNAr).
- Tenen 2 subunitats que s'uneixen en el moment de sintetitzar proteïnes.



*Esquema de la síntesi de proteïnes*

#### Ribosoma procaríotic

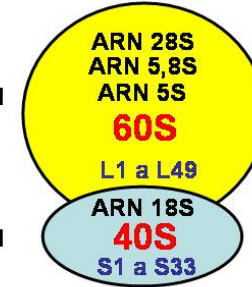


Subunidad grande

Subunidad pequeña

**70S**

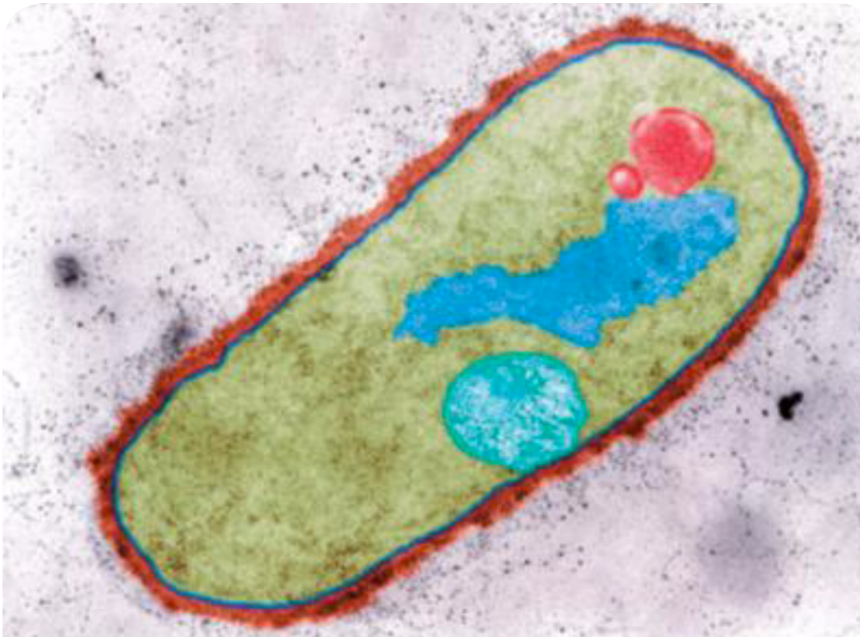
#### Ribosoma eucariotic



**80S**

## 4.2. INCLUSIONS

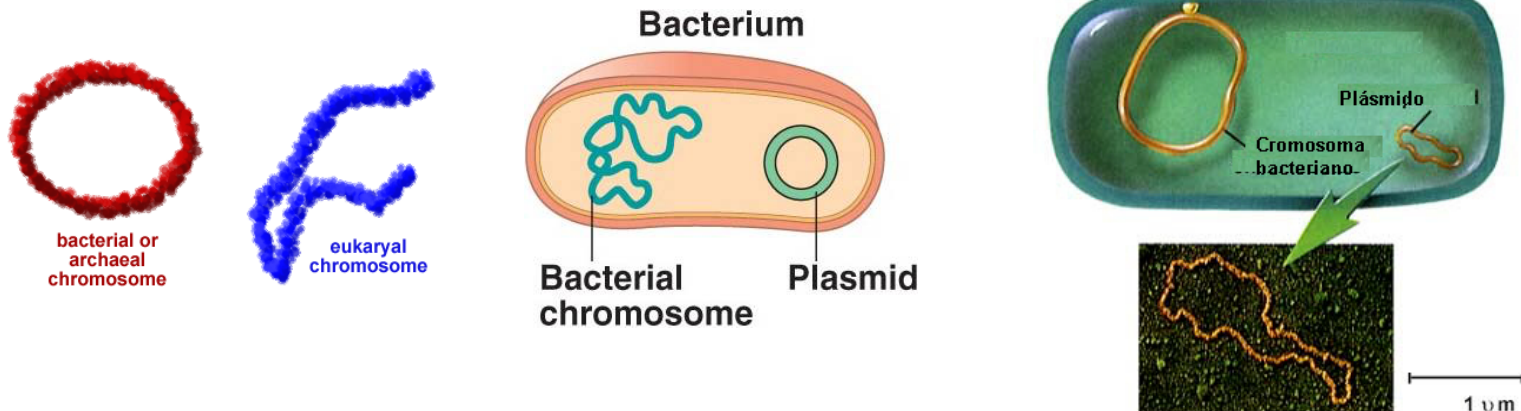
- Grànuls de substàncies de reserva que el bacteri sintetitza en moments d'abundància.
- Disperses en el citoplasma i no tenen membrana plasmàtica
- Poden ser de reserva energètica com els **grànuls de midó** (o de glicogen) i **els dipòsits de lípids** (triacilglicèrids).
- També poden ser de reserva de fòsfor (polifosfat) = grànuls de volutina, o de reserva de sofre (grànuls de sofre).



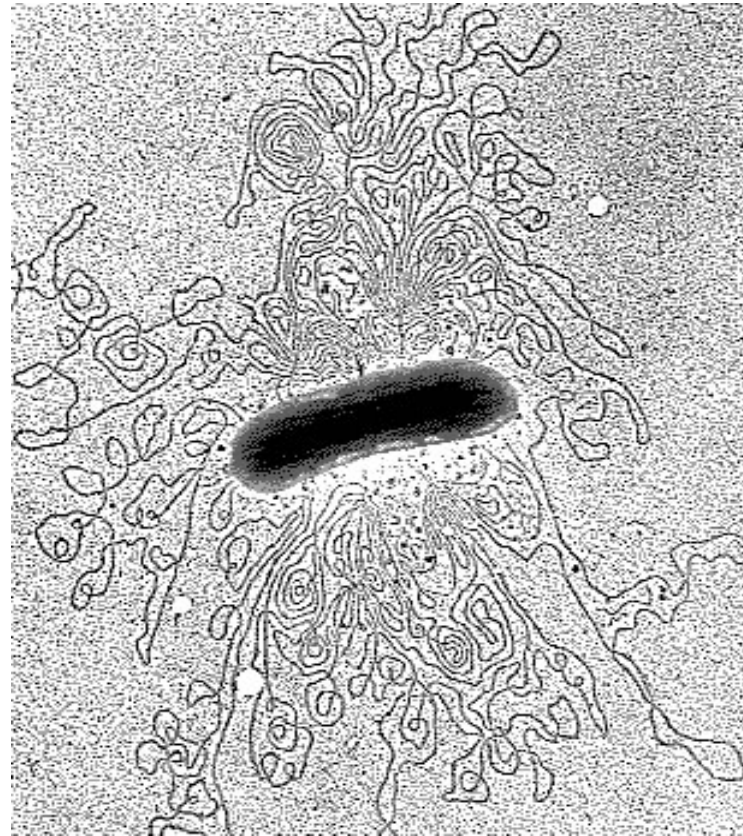
*Micrografia de Bacillus megaterium on es pot apreciar una inclusió de poli- $\beta$ -hidroxibutiral, que emmagatzema carboni i energia, de color rosa*

## 4.3. CROMOSOMA BACTERIÀ

- Doble cadena circular de DNA associat a proteïnes no histones.
- Es troba en el propi citoplasma en una zona anomenada **NUCLEOIDE**.
- Funció: portador de la informació genètica i dirigir el funcionament de tot el metabolisme bacterià.
- Pot haver altres molècules de DNA circular bicatenari, que reben el nom de **PLASMIDIS** (replicació autònoma).
- Els plasmidis que tenen la capacitat reversible d'integrar-se en el cromosoma bacterià reben el nom **d'EPISOMES**.



Sabeu que són aquestes fotografies?

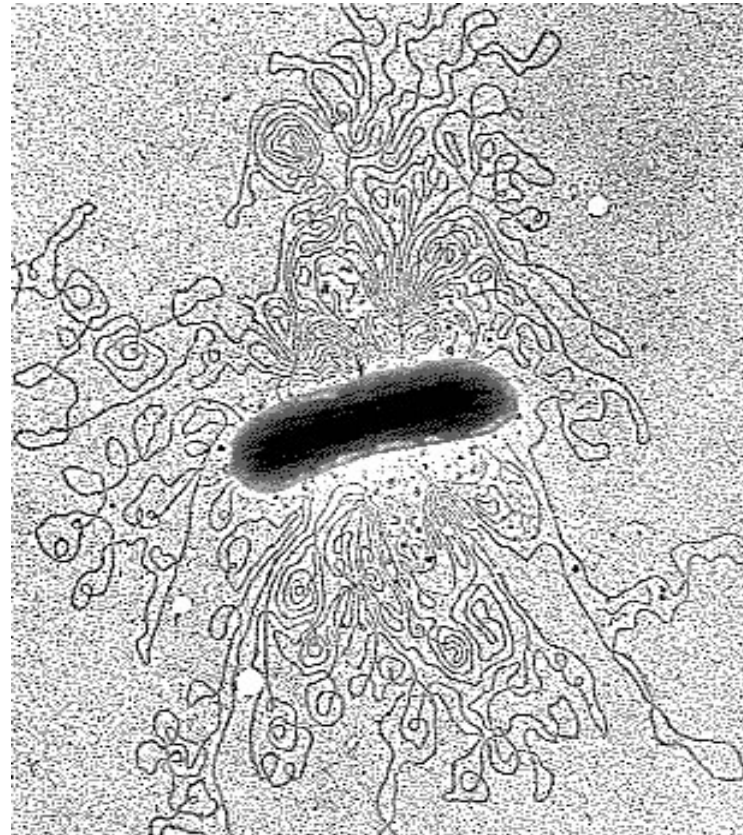


# Sabeu que són aquestes fotografies?



Bacteris en procés de divisió.

S'identifica el cromosoma circular.

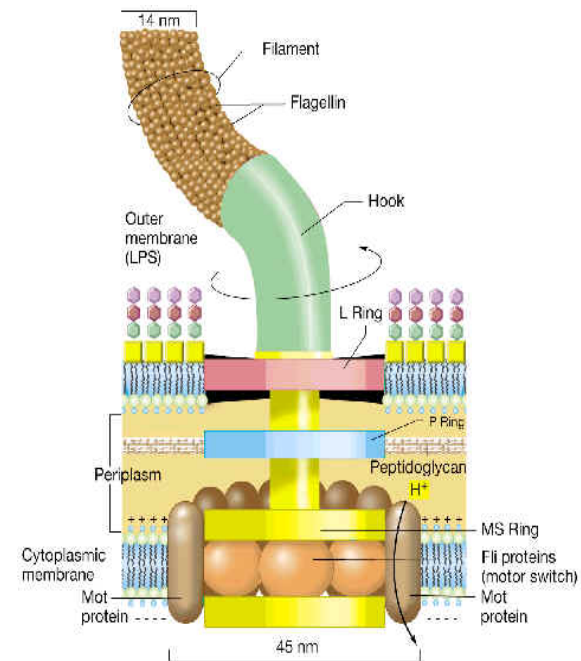
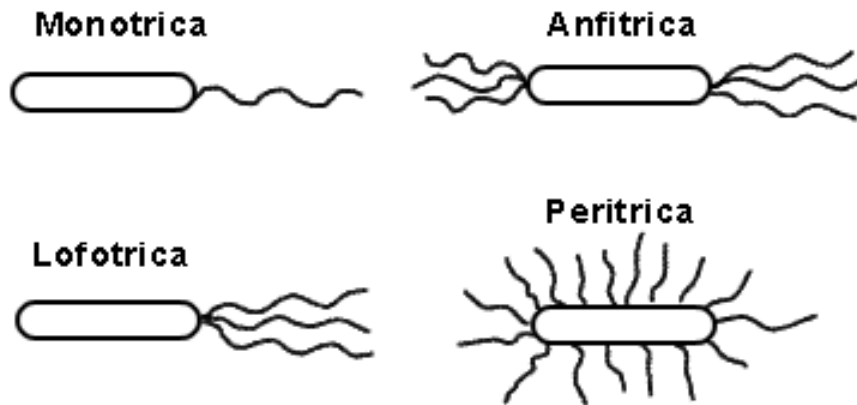
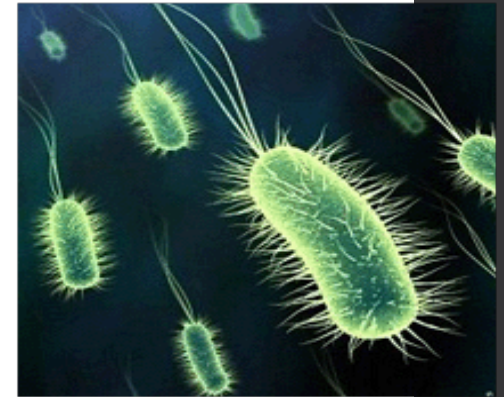


DNA d'un bacteri fora de la cèl·lula

## 4.4 ALTRES ORGÀNULS (no sempre)

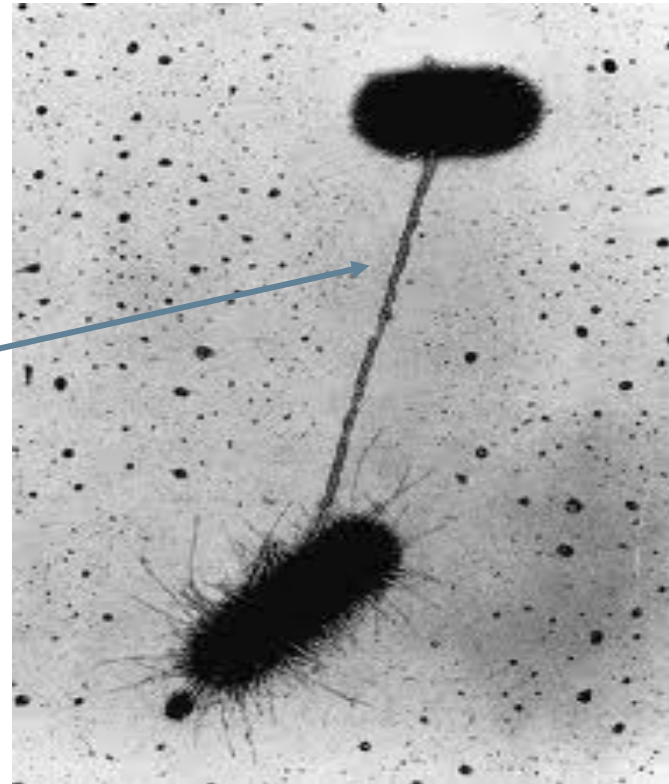
### 1. FLAGELS

- Prolongacions fines amb una longitud molt més gran que el bacteri.
- Ni pot haver des de 1 fins a 100.
- Permeten el moviment dels bacteris.
- Estructura diferent de les cèl·lules eucariotes.
- Segons el nombre i la situació els bacteris poder diferents noms.



## 2. PÈLS

- Estructures allargades i buides.
- Serveixen per **adherir-se** a superfícies.
- Només es troben en gramnegatius.
- N'hi ha 2 tipus :
  - Pèls sexuals o de conjugació: permeten la unió de 2 bacteris per intercanviar material genètic.
  - Pèls d'unió i fímbríes: permeten adherir-se a superfícies com aigua, cèl·lules...





### 3. ORGÀNULS ESPECIALS

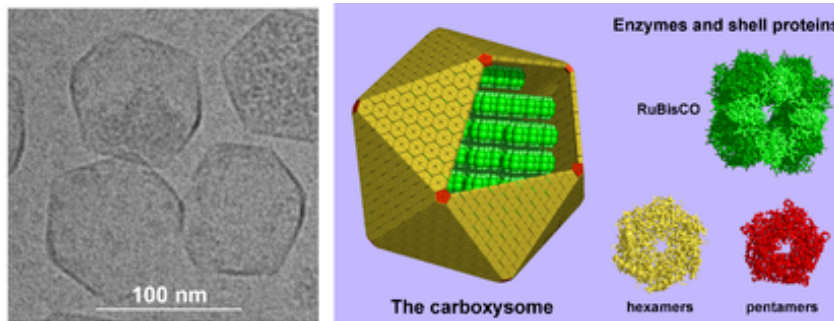
#### • Estructures membranoses intracitoplasmàtiques

##### ➤ MESOSOMES

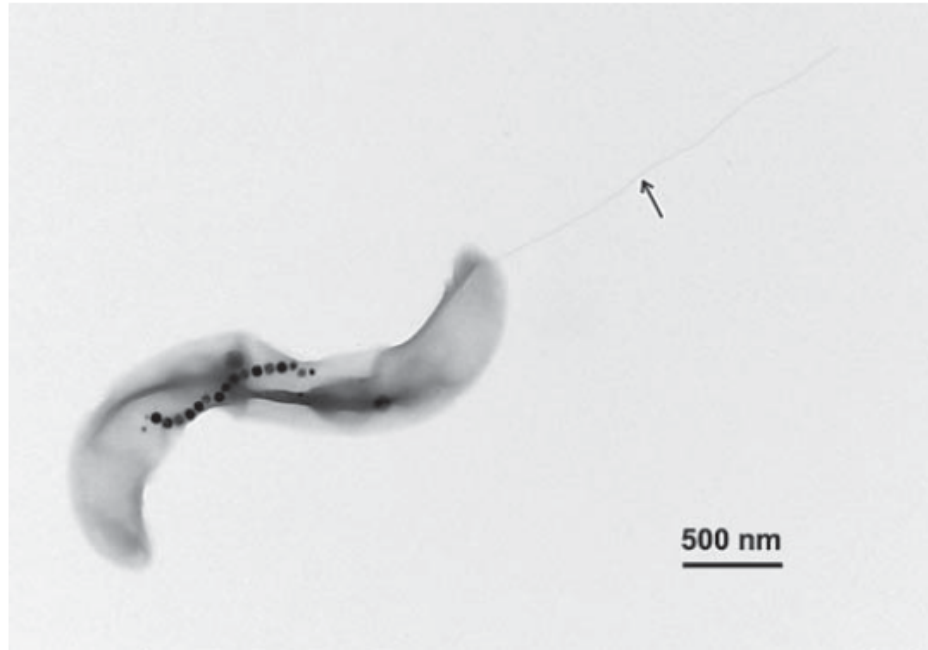
- **CROMATÒFORS:** invaginacions de la membrana plasmàtica dels bacteris. La seva funció és augmentar la longitud de la membrana plasmàtica per augmentar la seva capacitat fisiològica i intervenir en la construcció de l'envàs que divideix les dues cèl·lules filles.
- **CITOMEMBRANES:** invaginacions de la membrana riques en enzims oxidants de diferents compostos de nitrogen presents en els bacteris nitrificants.
- **TILACOIDES:** sàculs delimitats per membranes riques en clorofil·la, separats de la membrana plasmàtica, similars als dels cloroplasts de les cèl·lules vegetals. Realitzen la fotosíntesi amb despreniment d'O<sub>2</sub> com fan les algues i les plantes.

#### • Estructures delimitades per parets proteiques

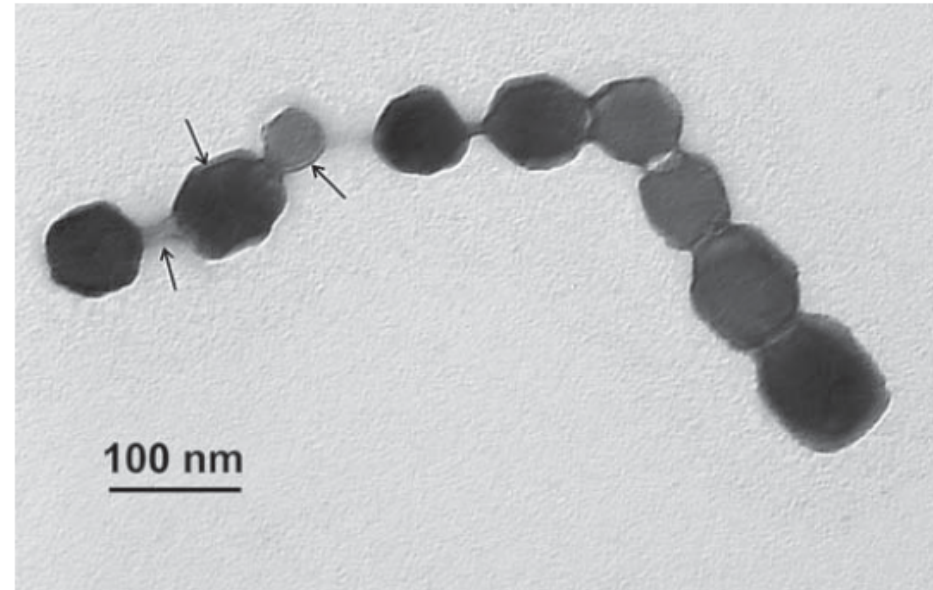
- **CLOROSOMES:** contenen pigments que permeten fer una fotosíntesi en la qual no es desprèn oxigen. Es troben en els bacteris fotosintètics verds.
- **VACÚOLS DE GAS:** contenen gasos que permeten la flotabilitat.
- **CARBOXISOMES:** contenen l'enzim ribulosa-bifosfat-carboxilasa (RUBISCO), que incorpora diòxid de carboni a la MO. Es troben en els cianobacteris i en els bacteris nitrificants.
- **MAGNETOSOMES:** contenen cristalls de magnetita que permeten als bacteris orientar-se. En molts bacteris flagel·lats aquàtics.



## Magnetosomes



**Fig. 1.** Transmission electron microscopy image of a cell of a magnetotactic bacterium collected from the Olentangy River, Columbus, Ohio, USA. Note the chain of electron-dense magnetosomes containing cuboctahedral crystals of magnetite running along the long axis of the cell and the single polar long flagellum (at arrow).

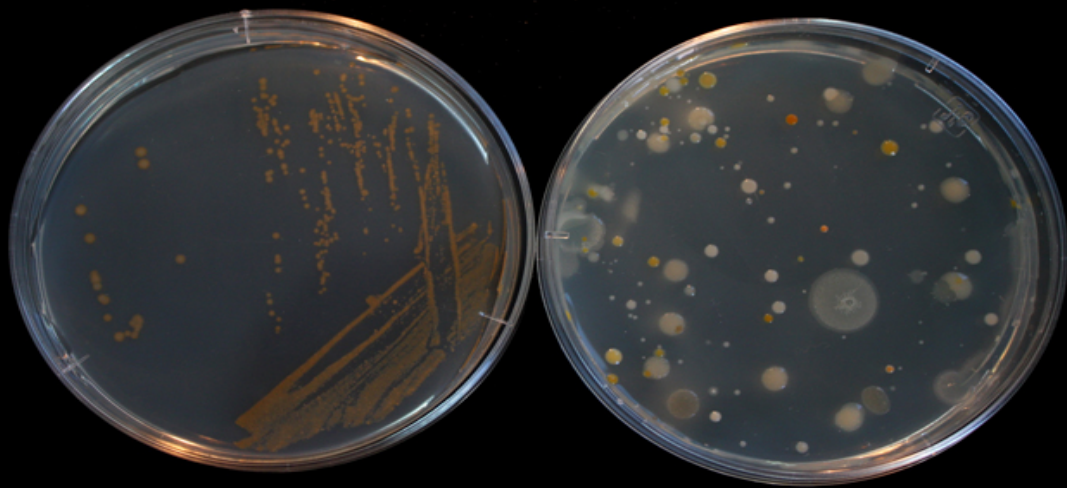


**Fig. 2.** Transmission electron microscopy image of a chain of purified magnetosomes from *M. marinus*. Arrows denote magnetosome membrane.

## 2. Fisiologia bacteriana

- Els bacteris cal estudiar-los en el laboratori.
- Per fer-ho s'utilitzen cultius controlats i purs.
- Els medis de cultiu són dissolucions que contenen els nutrients que el bacteri necessita per al seu creixement.
- Els medis de cultiu poden ser líquids (en un tub d'assaig), en estat de gel (semisòlid) en càpsules de Petri

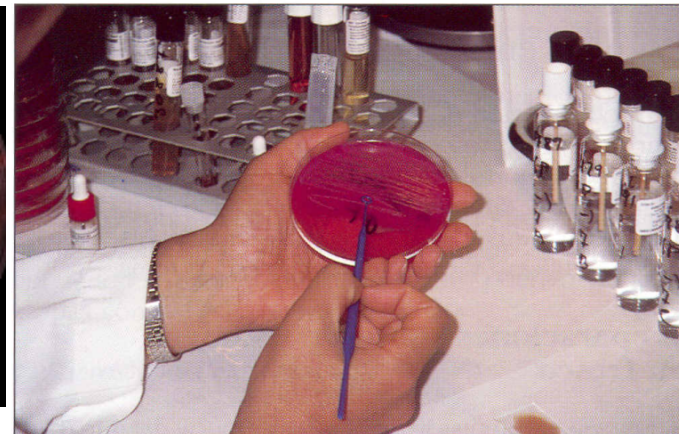
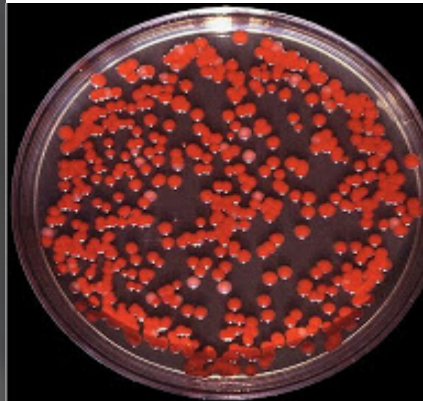




Les taques reben el nom de **colònies bacterianes**.

Dels bacteris d'una mateixa espècie que provenen d'un mateix cultiu es diu que són de la mateixa **SOCA**.

Colònies



Els bacteris com tots els éssers vius fan les tres funcions vitals: *NUTRICIÓ, RELACIÓ I REPRODUCCIÓ*.

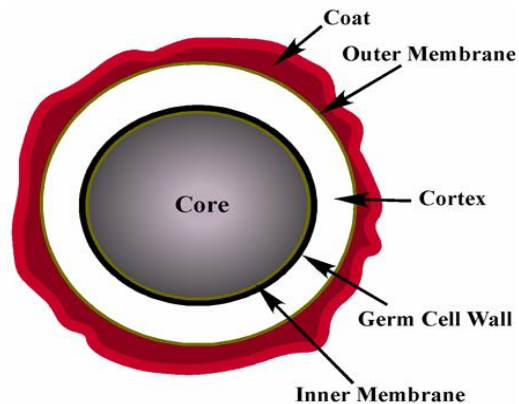
1. Funció de nutrició: Presenten tot tipus de metabolismes.

Poden ser :

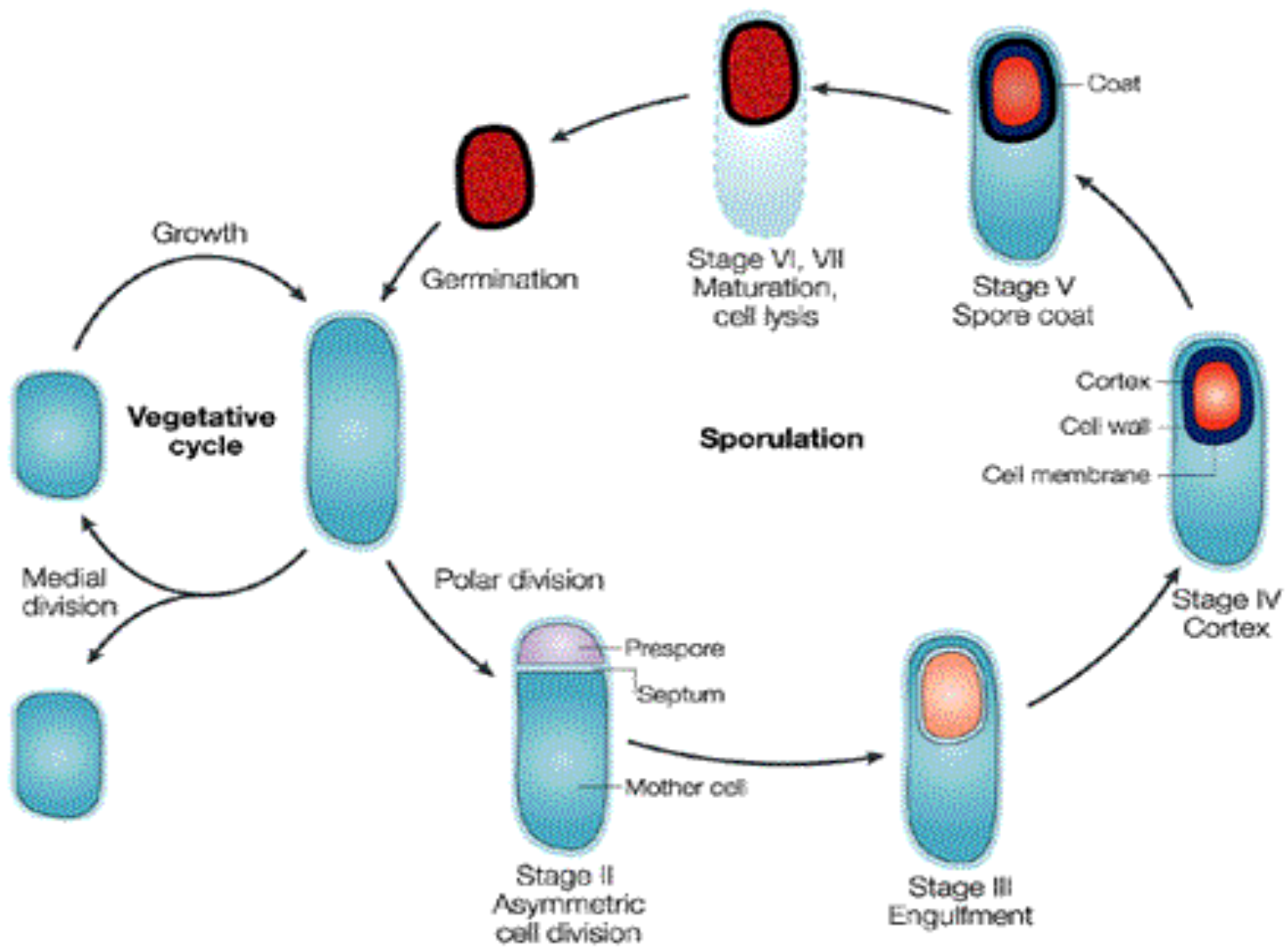
- FOTOAUTÒTROFS (fan la fotosíntesi): bacteris verds i porpres sulfuris i els cianobacteris
- FOTOHETERÒTROFS: bacteris verds i porpres no sulfuris que requereixen energia lluminosa
- QUIMIOAUTÒTROFS: bacteris nitrificants
- QUIMIOHETERÒTROFS: s'alimenten de MO morta (bacteris patògens).

## 2. Funció de relació: donar resposta a estímuls

- Tenen mobilitat : per reptació o per flagels.
- Tenen fototactisme i quimiotactisme : responen a estímuls lluminosos o químics
- **Fan espores com a forma de resistència:** els bacteris que viuen al sòl entren en períodes de metabolisme reduït i protegeixen el seu DNA, al voltant del qual formen una complexa coberta que dóna lloc a **l'endòspora**.
  - Quan la resta de la cèl·lula bacteriana es destrueix, les endòspores queden lliures al sòl i s'anomenen **EXÒSPORES**, que poden sobreviure molt de temps en condicions ambientals adverses (T de 80°, o en condicions de sequera).
  - Quan les condicions tornen a ser adequades, germinen i donen lloc a bacteris amb totes les seves funcions.

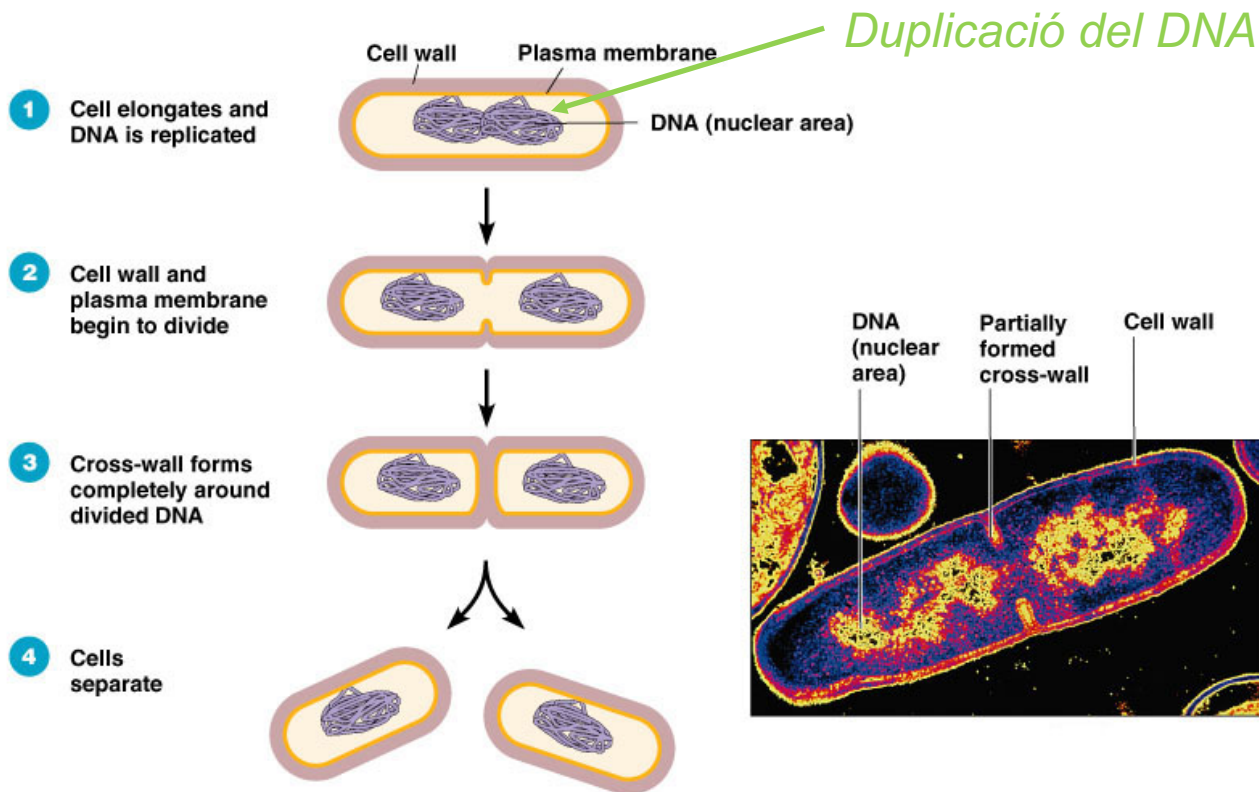


*Espora de resistència*



### 3. Funció de reproducció

- La reproducció dels bacteris és asexual per bipartició o fissió binària.
- Prèvia a la divisió es produeix la duplicació del DNA.



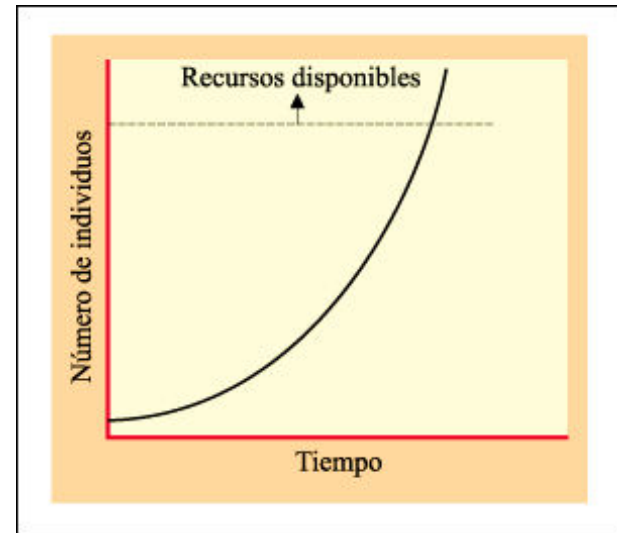
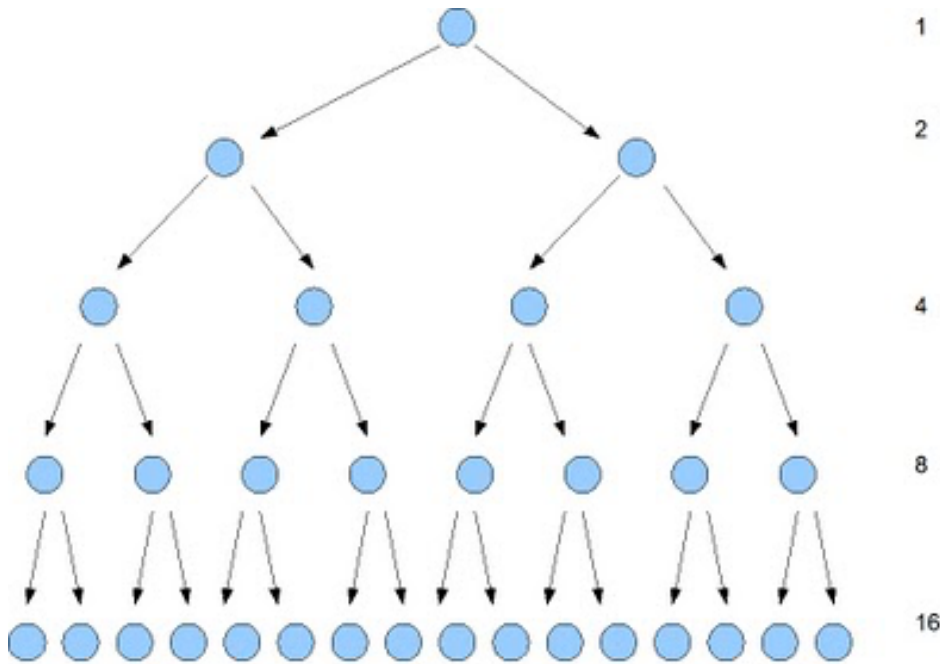
**(a)** A diagram of the sequence of cell division.

**(b)** A thin section of a cell of *Bacillus licheniformis* starting to divide.





# El creixement bacterià és exponencial!!!



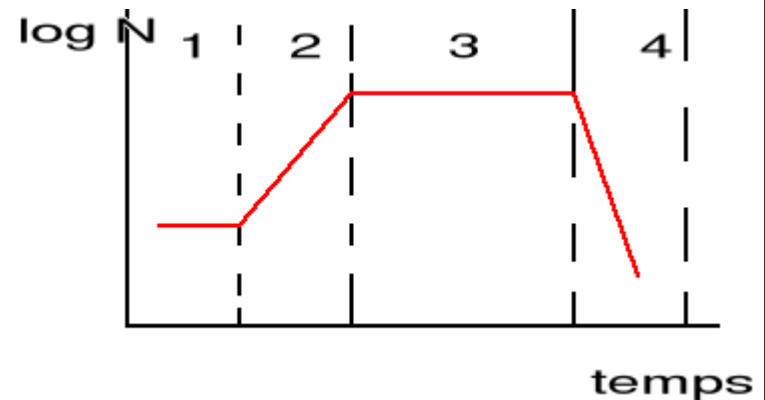
Això seguiria així fins que s'acabessin els recursos i aleshores el grafic seria :

**1<sup>a</sup> Fase: inicial o de latència.**

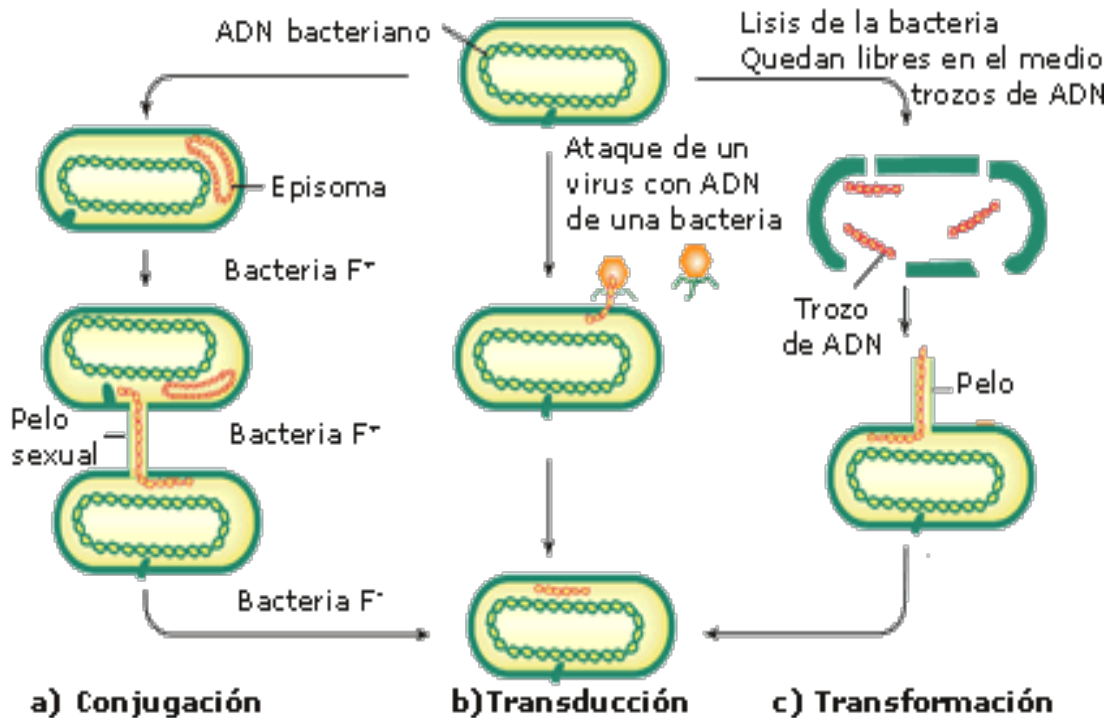
**2<sup>a</sup> Fase: exponencial**

**3<sup>a</sup> Fase: estacionària**

**4<sup>a</sup> Fase: de mort**



- Els bacteris tenen mecanismes relacionats amb la **reproducció parasexuals**.
- Són mecanismes mitjançant els quals els bacteris **poden intercanviar informació genètica** amb altres bacteris siguin o no de la mateixa espècie.
- Hi ha tres tipus de mecanisme parasexuals:
  - **CONJUGACIÓ**
  - **TRANSDUCCIÓ**
  - **TRANSFORMACIÓ**



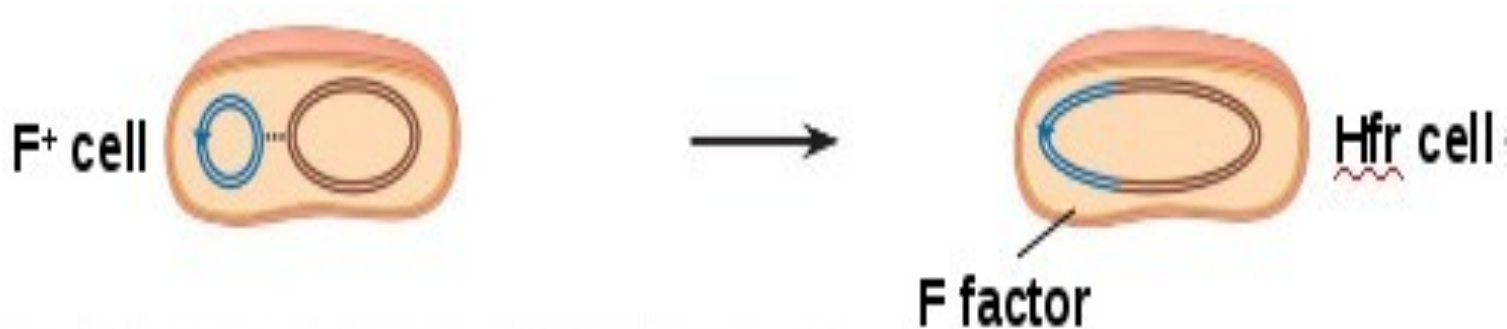
# 1. CONJUGACIÓ

**La conjugació** és la transferència directa de material genètic entre dos cèl·lules bacterianes que s'uneixen de forma temporal.

- La transferència és en una única direcció: des d'una cèl·lula donadora fins a una cèl·lula receptora.
- La cèl·lula donadora utilitza els pèls sexuals per fixar-se a la cèl·lula receptora.
- La capacitat de formar pèls sexuals durant la conjugació ve donada per la presència d'un fragment de DNA especial anomenat factor F.

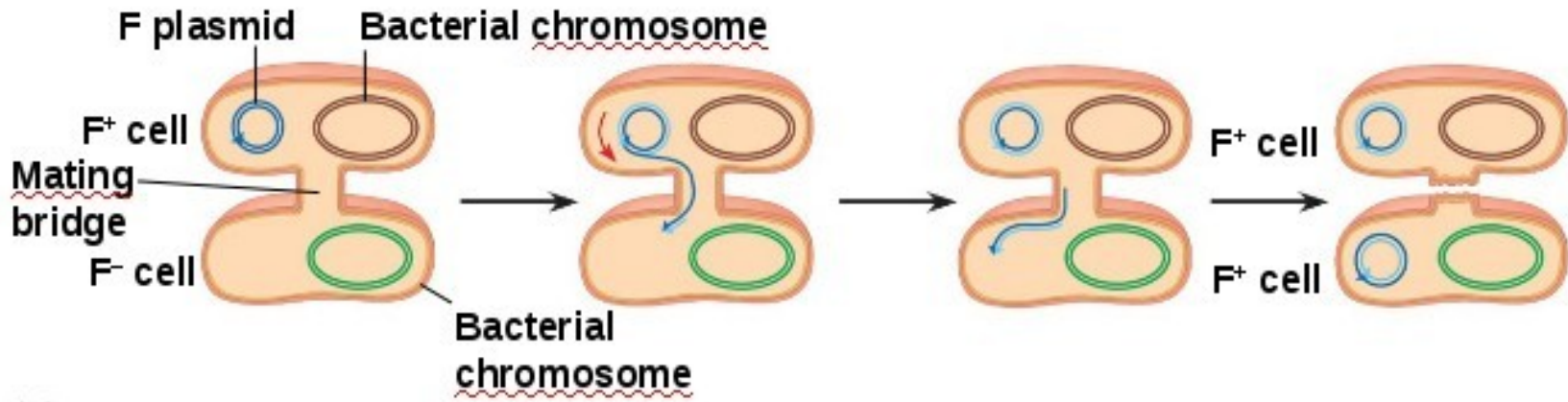
## El factor F pot trobar-se de dues maneres:

- Com un fragment extracromosòmic o **plasmidi F**
  - ✓ Les **cèl·lules F<sup>+</sup>** o donadores contenen el plasmidi F
  - ✓ Les **cèl·lules F<sup>-</sup>** o receptors, no contenen el plasmidi F
- Integrat en el cromosoma bacterià o **EPISOMA**
  - ✓ Les cèl·lules que contenen el factor F integrat s'anomenen **cèl·lules Hfr**.



- Dos tipus de conjugació:
  - a) Conjugació i transferència d'un plasmidi des d'una cèl·lula donadora F<sup>+</sup> a una cèl·lula receptora F<sup>-</sup>
  - b) Conjugació i transferència de part del cromosoma bacterià des d'una cèl·lula donadora Hfr a una receptora F<sup>-</sup>, amb recombinació.

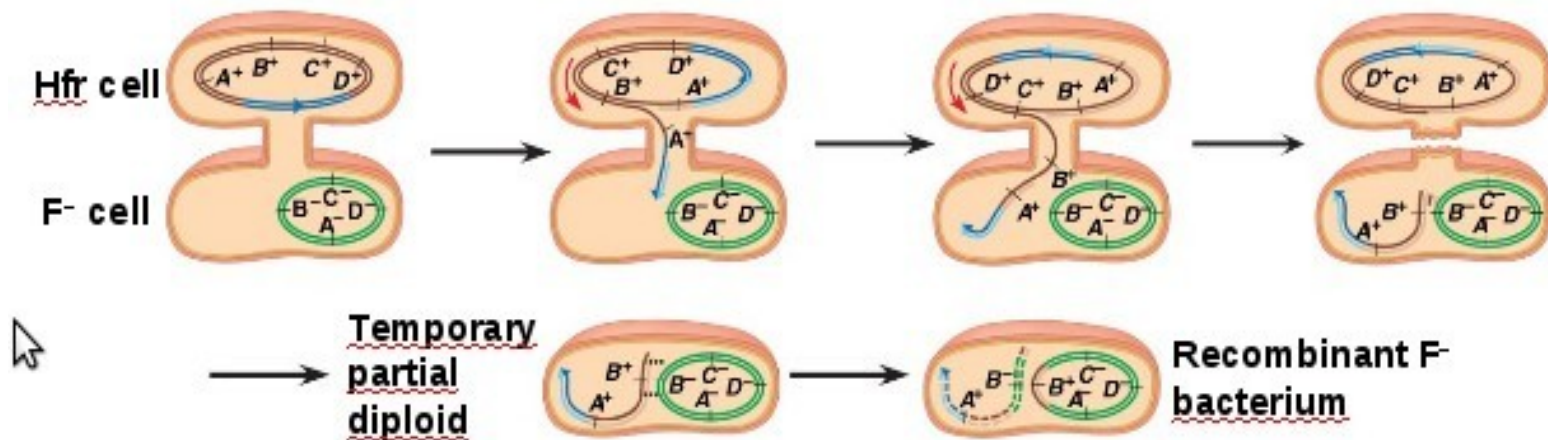
# 1. Conjugació i transferència d'un plasmidi des d'una cèl·lula donadora F<sup>+</sup> a una cèl·lula receptora F<sup>-</sup>



- Una cèl·lula portadora d'un plasmidi F (cèl·lula F<sup>+</sup>) origina un pont d'aparellament amb una cèl·lula F<sup>-</sup>.
- Es trenca una de les cadenes del plasmidi F per un punt específic i comença a moure's cap a la cèl·lula receptora.
- Una cadena parental de DNA del factor F passa a través del pont i cada cadena parental actua com a motlle per a la síntesi d'una segona cadena en la seva respectiva cèl·lula.
- En la cèl·lula receptora el plasmidi es fa circular.
- La transferència i la replicació originen un plasmidi F complet a cada cèl·lula.

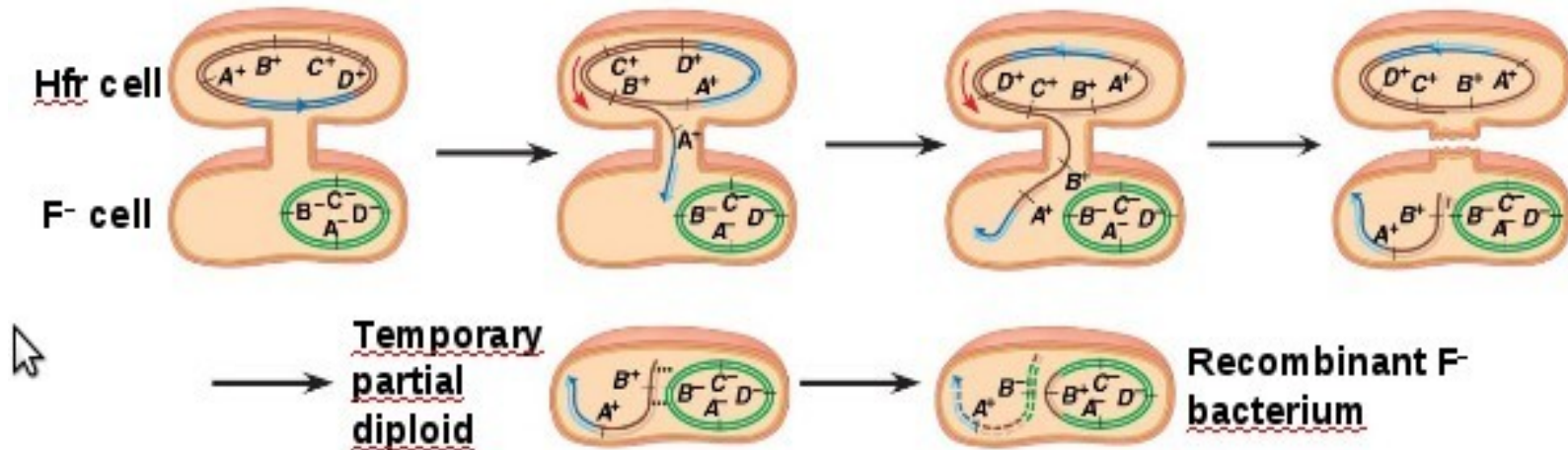
**Resultat:** una cèl·lula F<sup>+</sup> transforma en F<sup>+</sup> una cèl·lula F<sup>-</sup> després de la conjugació.

## 2. Conjugació i transferència de part del cromosoma bacterià, des d'una cèl·lula donadora Hfr a una cèl·lula receptora F-



- Una cèl·lula portadora del factor F integrat (cèl·lula Hfr) origina un pont d'aparellament amb una cèl·lula F-.
- Es trenca una de les cadenes del factor F per un punt específic i comença a moure's cap a la cèl·lula receptora arrossegant amb ella el DNA bacterià adjacent.
- La cadena simple de cada cèl·lula serveix de motlle per a la síntesi de la segona cadena (les cadenes filles es mostren en color més clar).
- Els moviments aleatoris dels bacteris produeixen sovint el trencament del pont d'aparellament abans que el cromosoma sencer i la resta del factor F hagin estat transferits, interrompent-se així la conjugació.





- El DNA de la cèl·lula Hfr continua essent el mateix, mentre que la cèl·lula F- adquireix DNA nou, part del qual és cromosòmic.
- Es produeix recombinació entre la regió homòloga del fragment de cromosoma transferit (marró) i el cromosoma de la cèl·lula receptora (verd).
- El fragment de DNA que no queda integrat al bacterià es degrada.

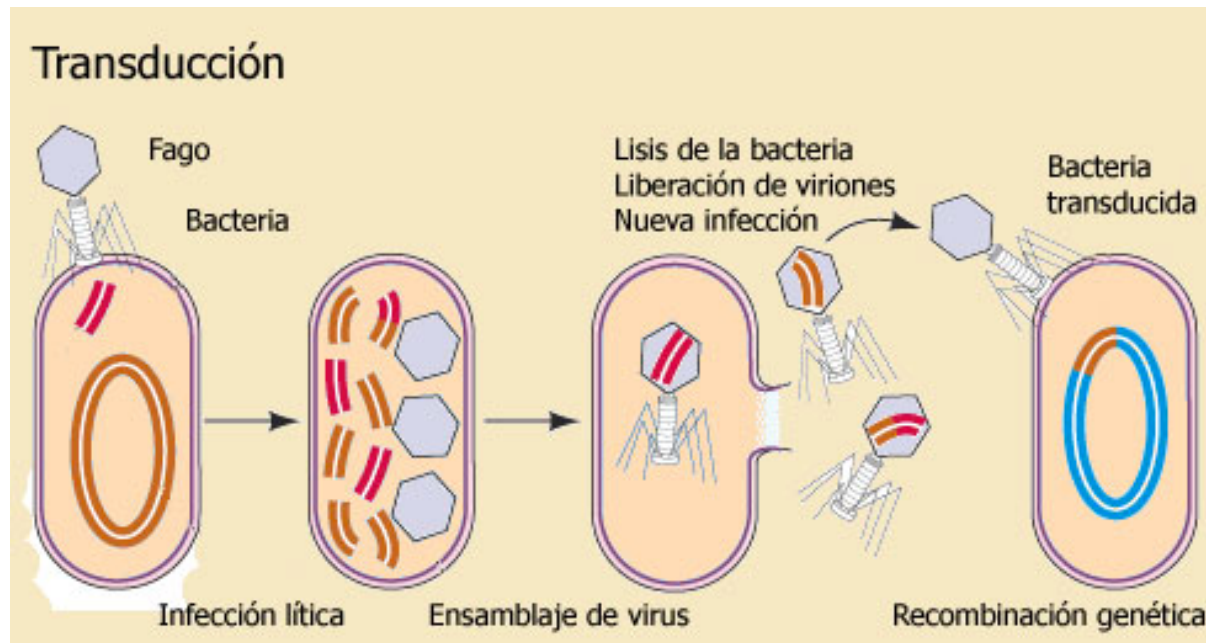
**Resultat:** la cèl·lula receptora contè una nova combinació de gens però no factor F, és una cèl·lula recombinant F-.

La posterior reproducció per fissió binària d'aquest bacteri donarà lloc a una població de bacteris recombinats amb gens derivats de dos cèl·lules diferents.

## 2. Transducció

Intercanvi de material genètic, entre dos bacteris, mitjançant un agent transmissor que sol ser un virus.

El virus conté un fragment de DNA d'un bacteri i quan parasita un altre bacteri, li introdueix el fragment de DNA del primer.



# 3. Transformació

Un bacteri introdueix al seu interior fragments de DNA que estaven lliures en el medi, possiblement per lisi (trencament) d'altres bacteris.

