

# Flagelos y Motilidad

Bacterias se pueden trasladar:

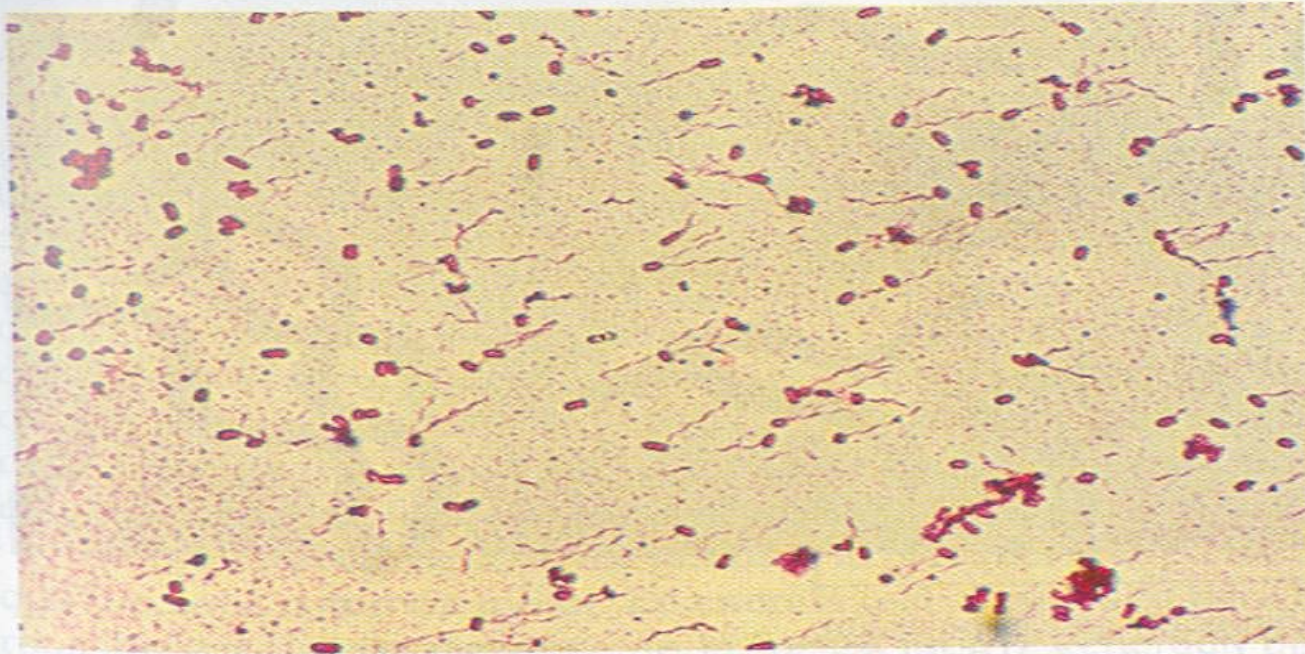
- En una superficie sólida por deslizamiento
- En un medio acuoso mediante vesículas de gas
- \_\_\_\_ La mayor parte de los procariotas utilizan flagelos para moverse.

# Flagelos y Motilidad

Flagelos bacterianos: 20nm de ancho.

- Flagelos se encuentran unidos a la célula por un extremo, el otro extremo está libre.
- Los flagelos se mueven por rotación

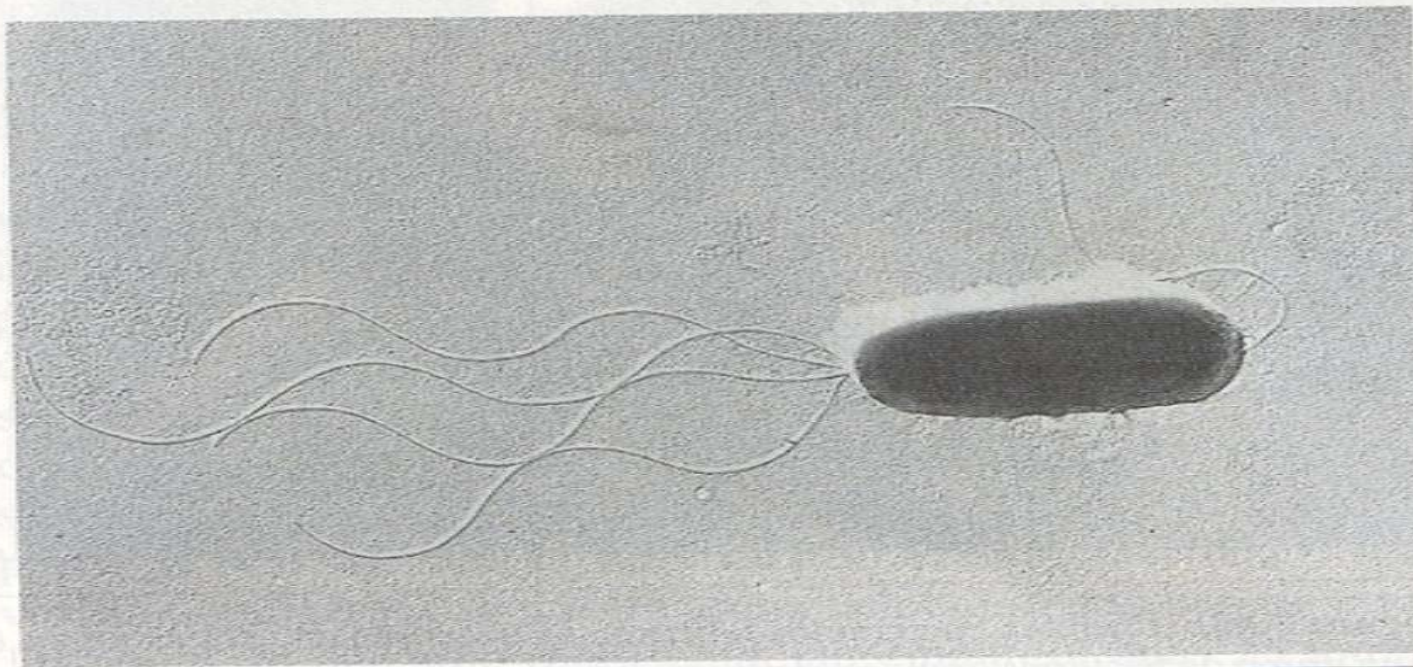
# FLAGELOS TEÑIDOS EN *PROTEUS mirabilis*



D. E. Snyder

**Figura 3.45** Microfotografía de células del bacilo *Proteus mirabilis* teñidas para poder observar los flagelos.

# CÉLULA CON FLAGELACIÓN POLAR

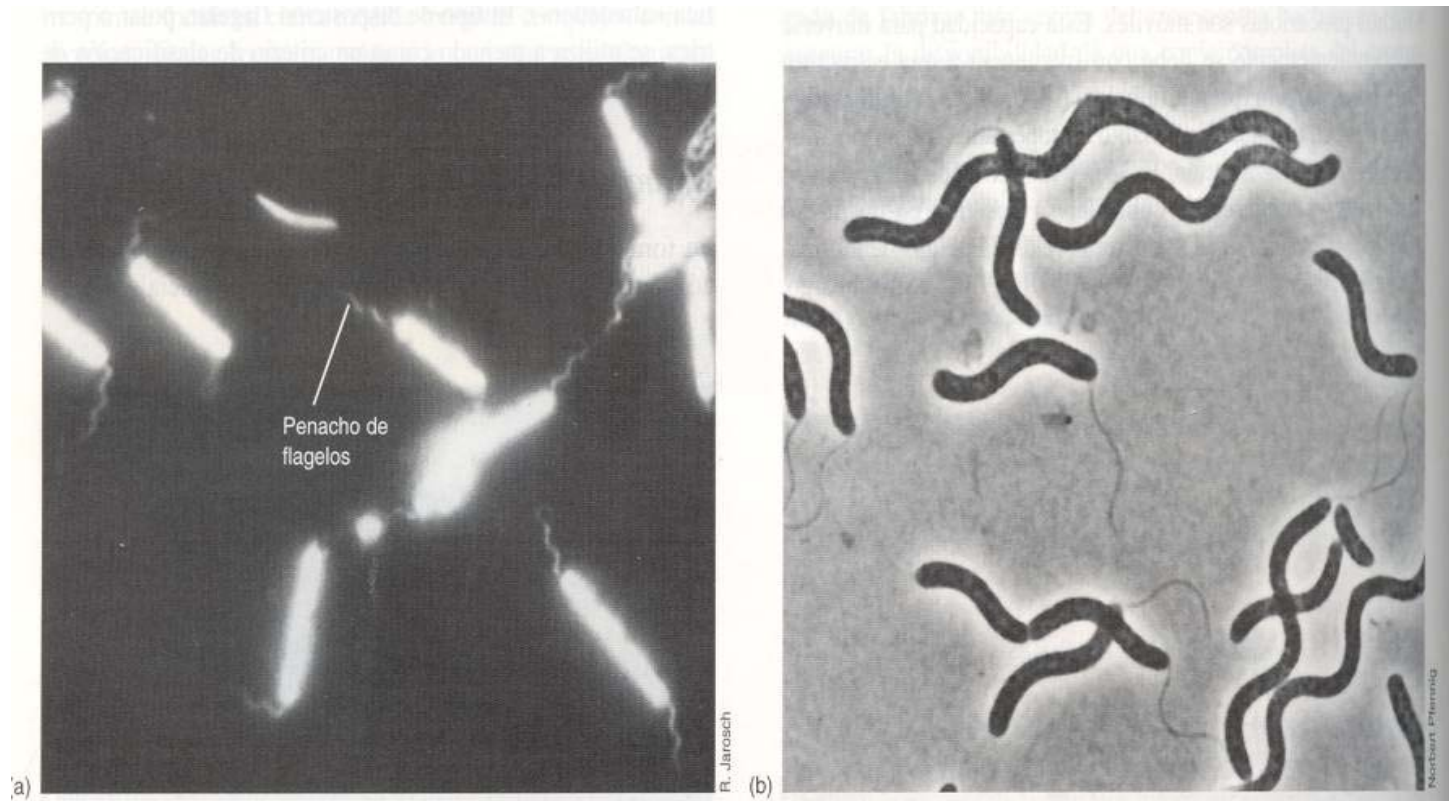


Arthur Kelman

**Figura 3.46** Microfotografía electrónica de una célula bacteriana mostrando los flagelos. La célula tiene una longitud aproximada de 3  $\mu\text{m}$ .



# FLAGELOS BACTERIANOS



**Figura 3.48** Flagelos bacterianos tal como se observan en células vivas. (a) Microfotografía en campo oscuro de un grupo de bacterias grandes, de forma bacilar, con penachos flagelares en cada polo. La anchura de una célula es de  $2\ \mu\text{m}$  aproximadamente. (b) Microfotografía de contraste de fases del bacilo fototrófico, de gran tamaño, *Rhodospirillum rubrum*. Una célula mide aproximadamente  $3 \times 30\ \mu\text{m}$ .

# DISPOSICIÓN DE LOS FLAGELOS

- Flagelación polar

Flagelos en uno o ambos extremos de las células.

Uno o varios flagelos (lofotrica)

- Flagelación períttrica

Flagelos en varios lugares alrededor de las células.

Disposición de los flagelos, se utiliza en la clasificación.

# ESTRUCTURA FLAGELAR

- Estan constituídos de la proteína Flagelina
- Los flagelos tienen forma helicoidal
- Presentan longitud de onda que es constante para cada organismo
- Semejante en eubacterias y arqueas
- Los flagelos se encuentran unidos a la pared o a las membranas a través del gancho, el que a su vez va unido al sistema motor mediante tres o dos anillos (Gram - o +)

# SÍNTESIS DE FLAGELOS

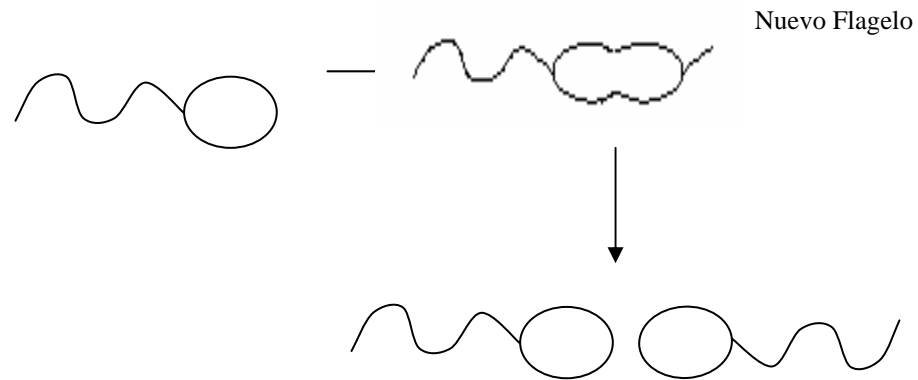
- La síntesis de los componentes flagelares y la movilidad depende de varios genes.
- Existe un riguroso control de la síntesis de flagelos en las células tanto por factores metabólicos como por señales dependientes del ciclo celular.



# SÍNTESIS DE FLAGELOS

- Flagelos no crecen desde la base (como cabello) sino desde la punta.
- Si se rompe una parte de la punta el flagelo se regenera.
- En las bacterias con flagelación períttrica durante la división celular, los flagelos se distribuyen equitativamente entre las dos células hijas.

# SINTESIS DE FLAGELOS



# MOVIMIENTO FLAGELAR

- Las células flageladas se mueven por rotación de los flagelos y estos se mueven a partir de su cuerpo basal, que funciona como un motor, mediante la energía protón motriz.
- La rotación de los flagelos no es a velocidad constante, sino que esta aumenta o disminuye según la fuerza protón motriz.
-

# MOTILIDAD EN EUCARIOTAS

- Muchas células eucarióticas son mótils, existiendo dos tipos de órganos: Flagelos y Cilios.
- Flagelos, estructuras filamentosas, contituídas por proteínas microtúbulos distintas que en los procariotas, los organismos que los poseen se mueven serpenteando, no por rotación de los flagelos.
- La energía para mover los microtúbulos proviene de ATP

# MOTILIDAD EN EUCARIOTAS

- Los cilios son similares a los flagelos eucarióticos pero más cortos y numerosos.
- Los cilios se mueven como los remos de un bote, todos funcionando en forma sincronizada, provocando un rápido desplazamiento del organismo.
- Los cilios aparecen en los protozoos ciliados.
- Movimiento ameboide (pseudópodo)

# QUIMIOTAXIS, FOTOTAXIS Y OTRAS TAXIAS

- Los procariotas que son mótils presentan una ventaja selectiva en ciertas condiciones ambientales. Los procariotas entran en contacto en la naturaleza con gradientes fisicoquímicos.
- El objetivo de la maquinaria para la motilidad es responder en sentido positivo o negativo a estos gradientes, dirigiendo el movimiento de la célula para acercarse o alejarse de una molécula señal.

# QUIMIOTAXIS, FOTOTAXIS Y OTRAS TAXIAS

- Los movimientos dirigidos se llaman taxias
- QUIMIOTAXIS es una respuesta a señales químicas
- FOTOTAXIS es una respuesta a la luz.
- No esta presente en todos los procariontes
- Quimiotaxis positiva célula se acerca.
- Sustancias atrayentes +
- Sustancias repelentes –

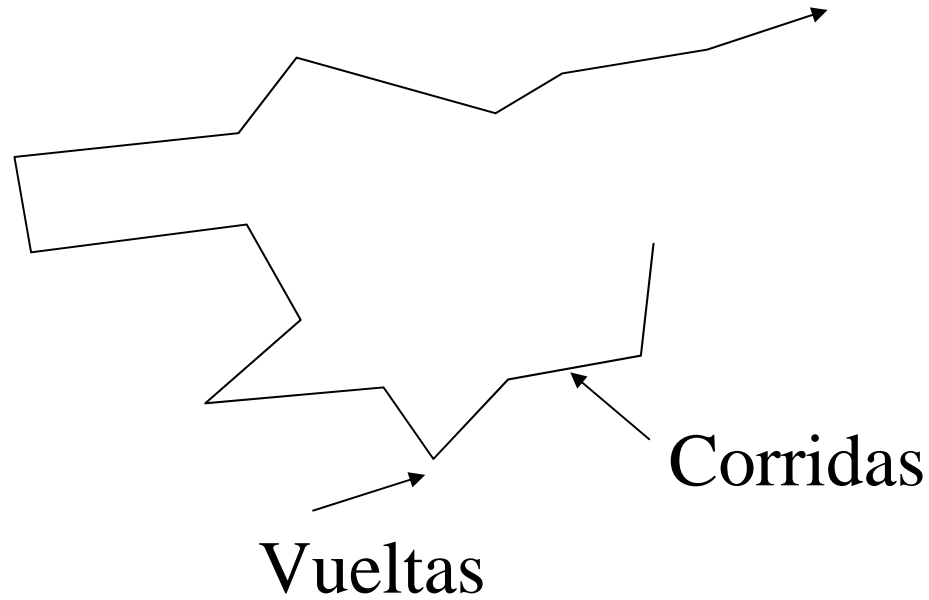


# QUIMIOTAXIS

- Respuesta de la célula a las señales moleculares del ambiente es temporal, no espacial.
- La ausencia de un gradiente propicia el movimiento aleatorio de las células. Los movimientos son pequeños desplazamientos o carreras en las que nada suavemente y luego da una voltereta y cambia de dirección al azar.

# QUIMIOTAXIS

- Sin gradiente



# Gradiente de Atracción

# QUIMIOTAXIS

- La existencia de un gradiente quimiotáctico hace que desaparezcan los movimientos sin sentido. El organismo capta concentraciones elevadas de una sustancia quimiotáctica ( a través de un muestreo periódico de las sustancias de su entorno) los en linea recta se hacen más largos y los aleatorios menos frecuentes. Como resultado el organismo se acerca al nutriente.

# QUIMIOTAXIS

- Quimiotaxismo implica participación de quimiorreceptores (proteínas) en la membrana que sienten el gradiente químico e interactúan con proteínas citoplasmáticas para afectar la dirección del motor flagelar.

# FOTOTAXIS

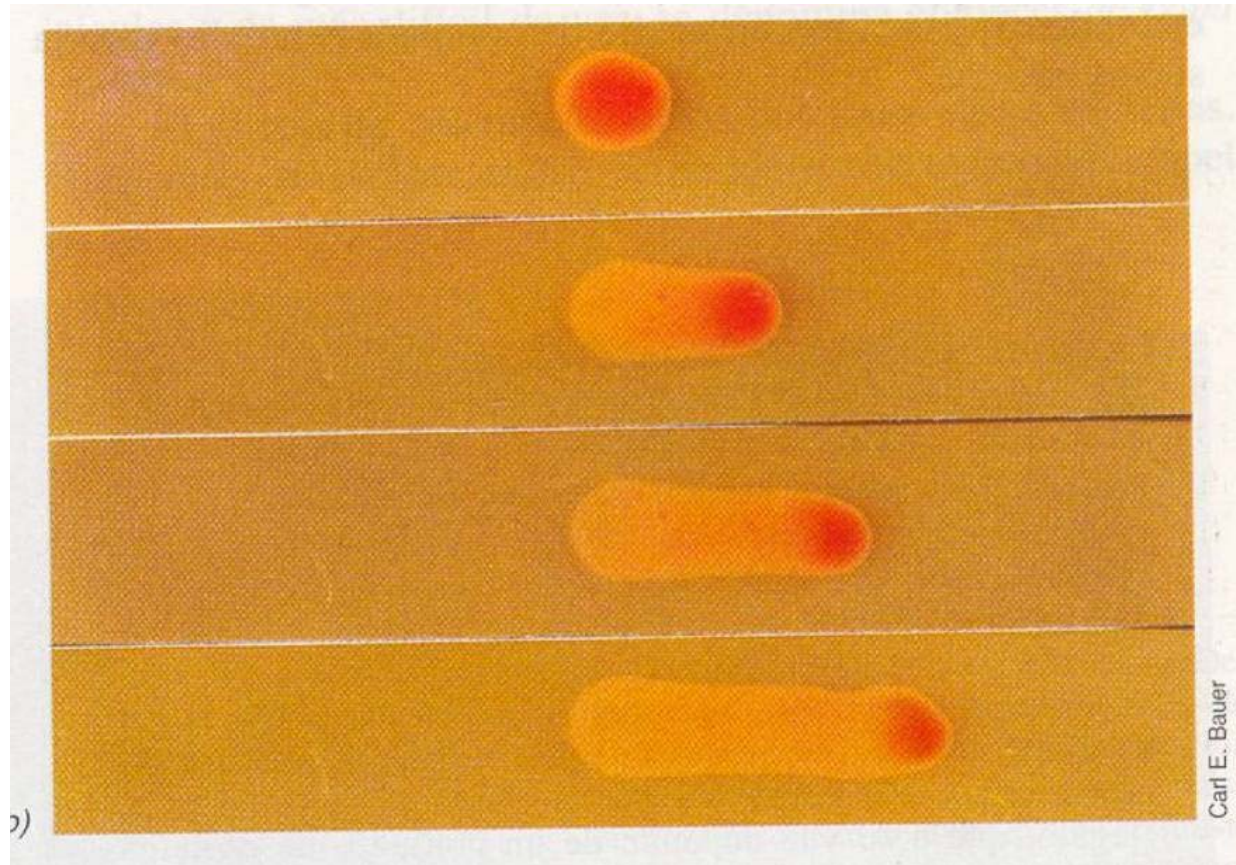
- M.O. fototróficos (fotosintéticos) se mueven hacia la luz.
- La fototaxis les permite a los organismos fotosintéticos localizarse en un lugar para realizar una fotosíntesis más eficiente.
- Hacen movimiento de choque se alejan de la luz, (chocan) y se devuelven hacia la luz. Lo hacen para mantenerse en la luz.(Movimiento Flagelar)

# FOTOTAXIS

- Pueden distinguir entre luz brillante y luz tenue.
- No esta claro el mecanismo pero se podría deber a que los cambios transitorios de ATP servirían para mover los flagelos (se desplazarían hacia la luz para generar ATP).
- Actuarían fotoreceptores que interactuarían con las proteínas que controlan la rotación flagelar



# FOTOTAXIS DE UNA COLONIA DE UNA BACTERIA FOTOTRÓFICA (2h)



# OTRAS TAXIAS

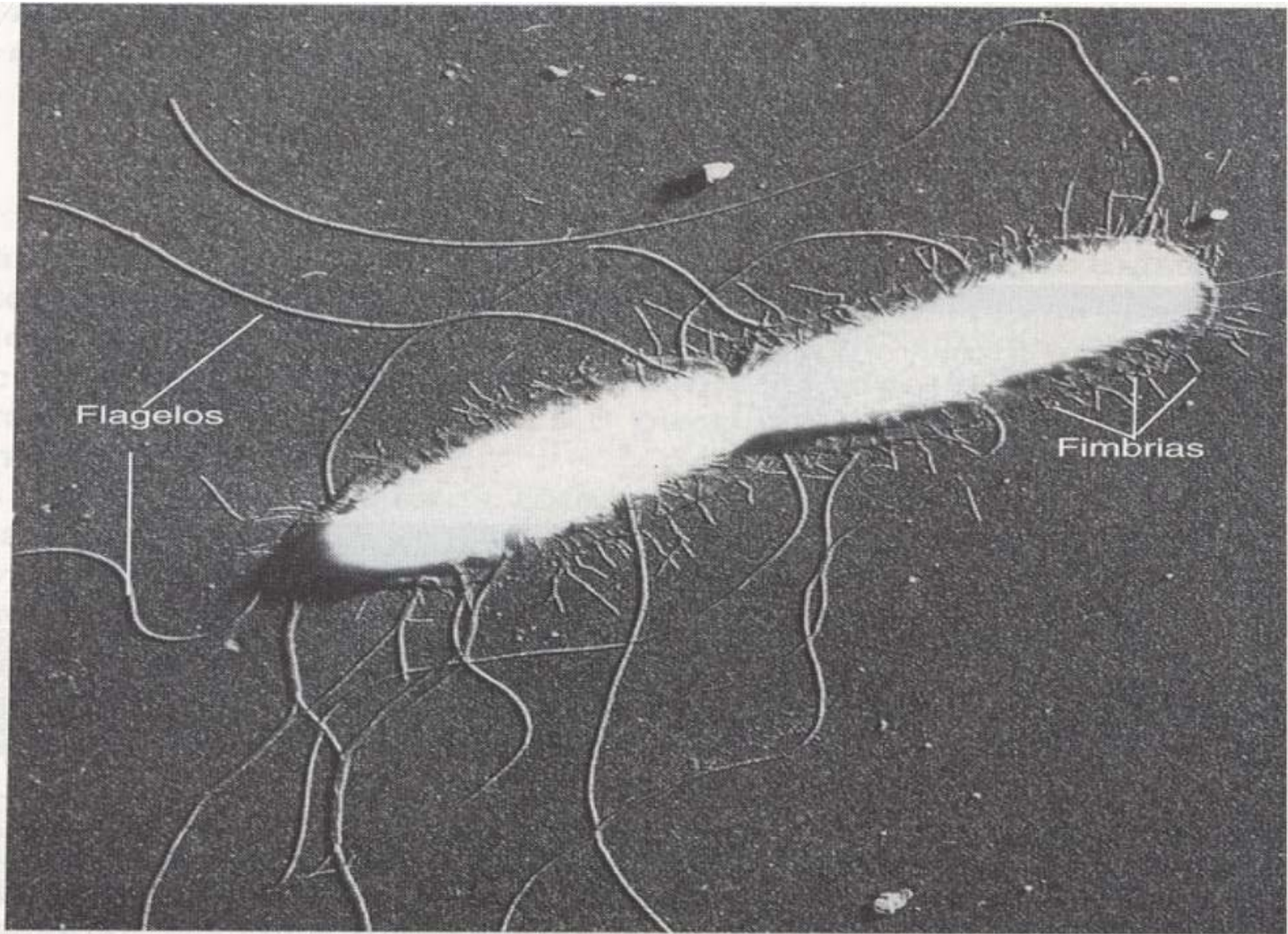
- Movimiento de aproximación o alejamiento a zonas oxigenadas de alta fuerza iónica.
- Las células muestrean periódicamente su microambiente
- Magnetotaxis.

# ESTRUCTURA DE LA SUPERFICIE CELULAR BACTERIANA E INCLUSIONES CELULARES

- Algunos procariotas pueden producir algunas estructuras a nivel superficial, también pueden producir algunas estructuras que se localizan en el interior de la célula.
- Algunos procariotas no producen ningún tipo de estas estructuras.

# FIMBRIAS Y PILI

- Las fimbrias y pili presentan una estructura similar a los flagelos pero no participan en la motilidad. Las fimbrias son bastante más cortas que los flagelos y mucho mas numerosas. Son de naturaleza proteica. No todos los organismos poseen fimbrias y la capacidad para fabricarlos es un rasgo hereditario.



**Figura 3.56** Microfotografía electrónica de una célula en división *Salmonella typhi* que muestra los flagelos y las fimbrias. El diámetro de célula individual es de unas  $0,9\ \mu\text{m}$ .

# FIMBRIAS

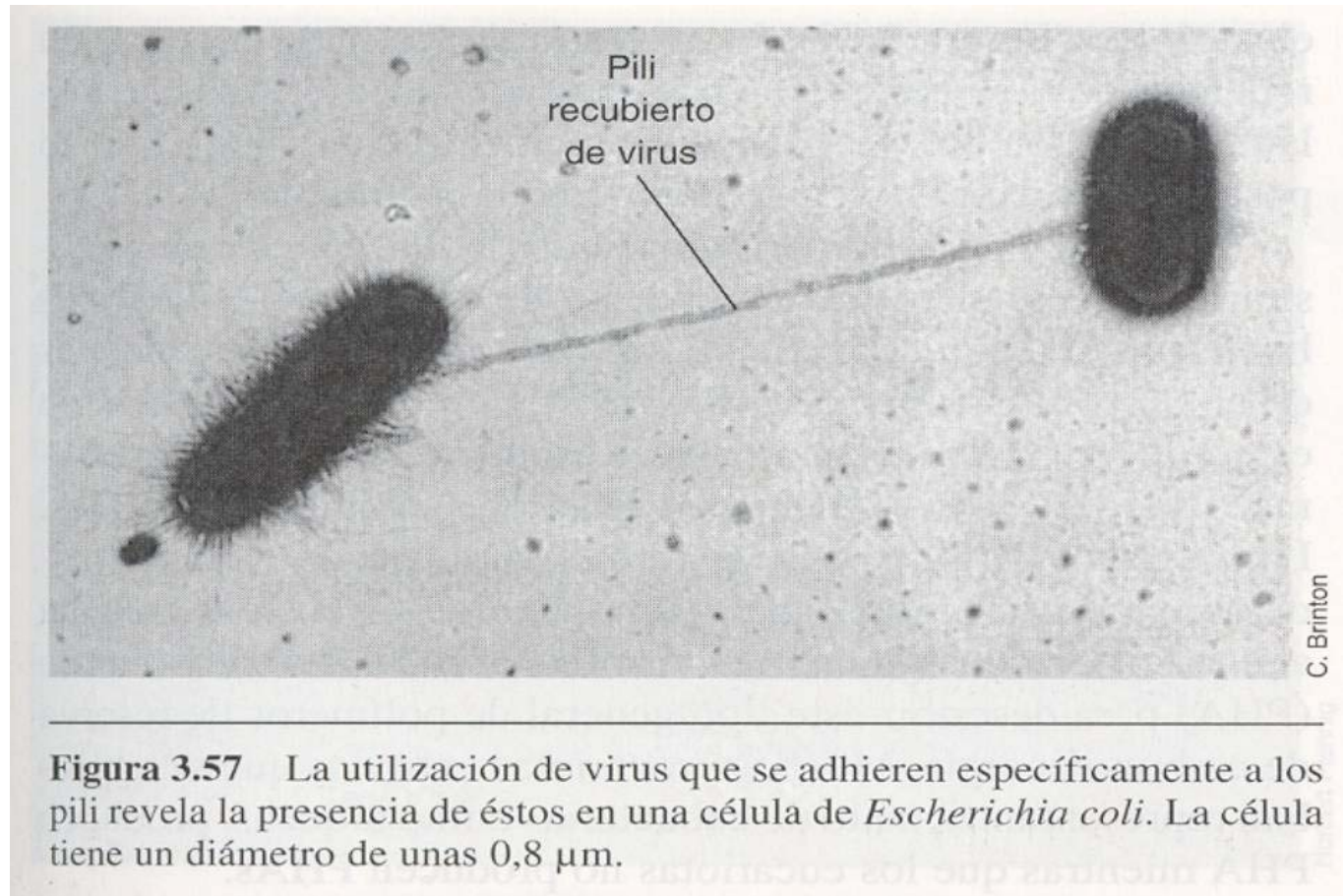
- No se conoce su función, pero favorecen la fijación a superficies (tejidos animales) o la formación de películas o la fijación a las superficies líquidas.

# PILI

- Los pili son estructuralmente similares a las fimbrias pero más largos y solamente existe uno o unos pocos sobre la superficie.
- Se pueden observar con el microscopio electrónico.
- Los pili participan en el proceso de conjugación en procariotas.
- También los pili contribuyen a la fijación de algunas bacterias procariotas a tejidos humanos.



# PRESENCIA DE PILIS EN *E. coli*



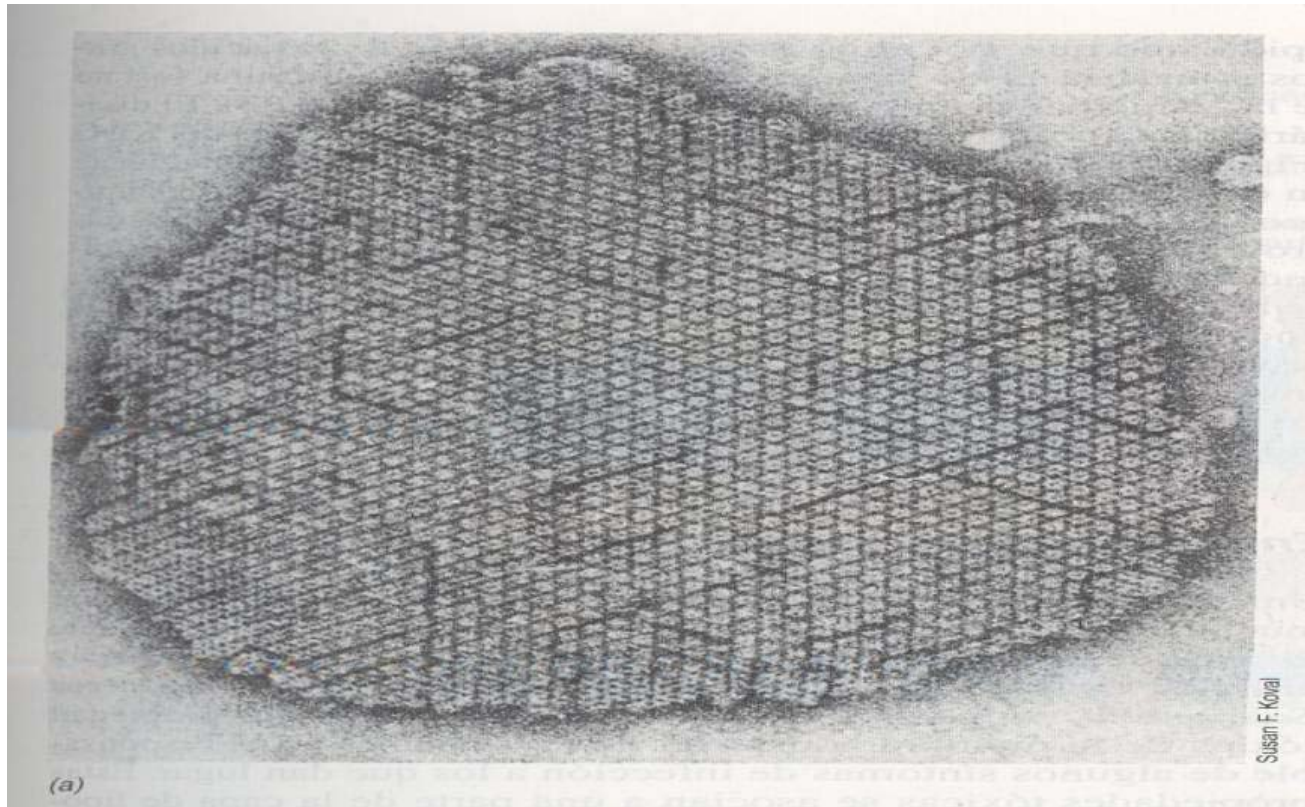
# CAPAS DE LA ESTRUCTURA PARACRISTALINA (capas S)

- Muchos procariotas contienen una capa en la superficie celular formada por una disposición bidimensional de proteínas.
- Se han detectado en muchos grupos filogenéticos de las bacterias y en casi todas las arqueas. Asociándose a los LPS de las Gram negativas, a las capas de peptidoglicano de las gram positivas e incluso directamente a la membrana en algunas arqueas.

# CAPAS DE LA ESTRUCTURA PARACRISTALINA (capas S)

- Se desconoce su función pero como se encuentran en la superficie podrían servir como una barrera de permeabilidad externa para intercambio de moléculas pequeñas.
- La presencia de capas S en las bacterias patógenas las protege de los mecanismos de defensa del hospedador.
-

# CAPA S EN UNA ARQUEA CON SIMETRIA HEXAGONAL



**Figura 3.31** Capa S y otros tipos de pared celular en Archaea (a) Microfotografía electrónica de transmisión de una porción de una capa S que muestra la naturaleza paracrística de esta capa de la pared celular. La capa S que se muestra corresponde al procarionta *Aquaspirillum serpens* (un miembro de Bacteria); esta capa S presenta una simetría hexagonal como ocurre en muchas de las capas S encontradas en Archaea. (b) Estructura del pseudopeptidoglicano, el polímero de la pared celular de la especie *Methanobacterium*. Observe el parecido con la estructura del peptidoglicano que se muestra en la Figura 3.28. (c) Estructura de la pared celular de *Halococcus*, una arquea extremadamente halófila. La pared consta de un patrón de tres unidades que se repiten. Observe la abundancia de grupos sulfato. AU, ácido urónico; Glu, glucosa; Gal, galactosa; GluNac, N-acetilglucosamina; GalNac, N-acetilgalactosamina; gly, glicina; GulNUA, ácido N-acetilglucosaminurónico; Man, manosa.

# CAPSULAS Y CAPAS MUCOSAS: EL GLICOCALIZ

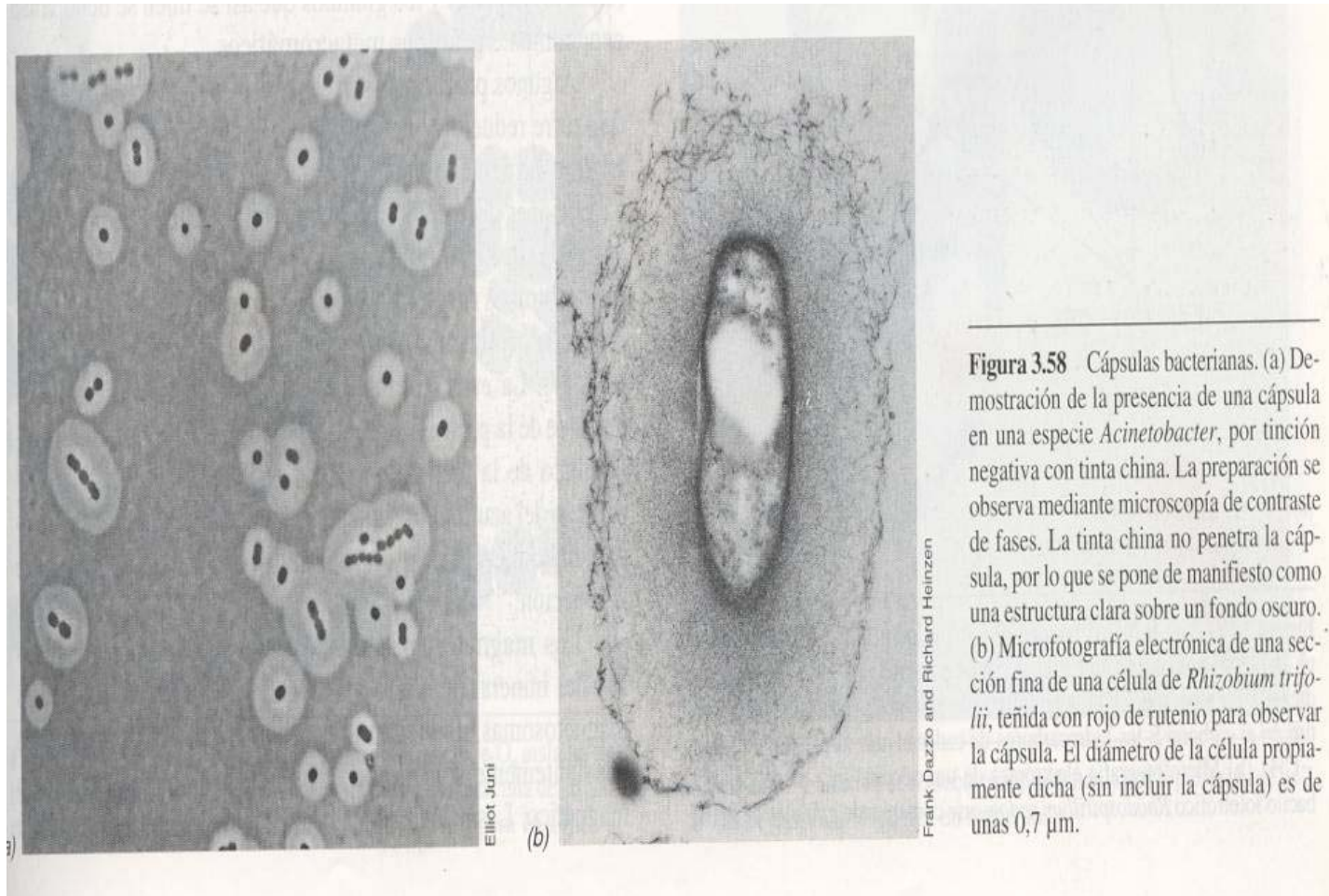
- Se denomina cápsulas, capas mucosas o glicocáliz a una sustancia viscosa o pegajosa que producen algunos microorganismos en su superficie.
- Esta capa está constituida por polisacáridos y raramente de proteínas, pueden ser glicoproteínas, polialcoholes o aminoazucares.
- Puede ser rígido o deformable (distintos tipos) según el M.O.

# CAPSULAS Y CAPAS MUCOSAS: EL GLICOCALIZ

- El glicocáliz tiene varias funciones en las bacterias:
- Juegan importante rol en la adherencia de patógenos a los hospederos.
- La cápsula también le sirve para evitar la fagocitosis
- El glicocáliz fija agua, por lo que podría ayudar a evitar la desecación de estas células.



# CAPSULAS BACTERIANAS (a teñida con tinta china, b micrografia electrónica)





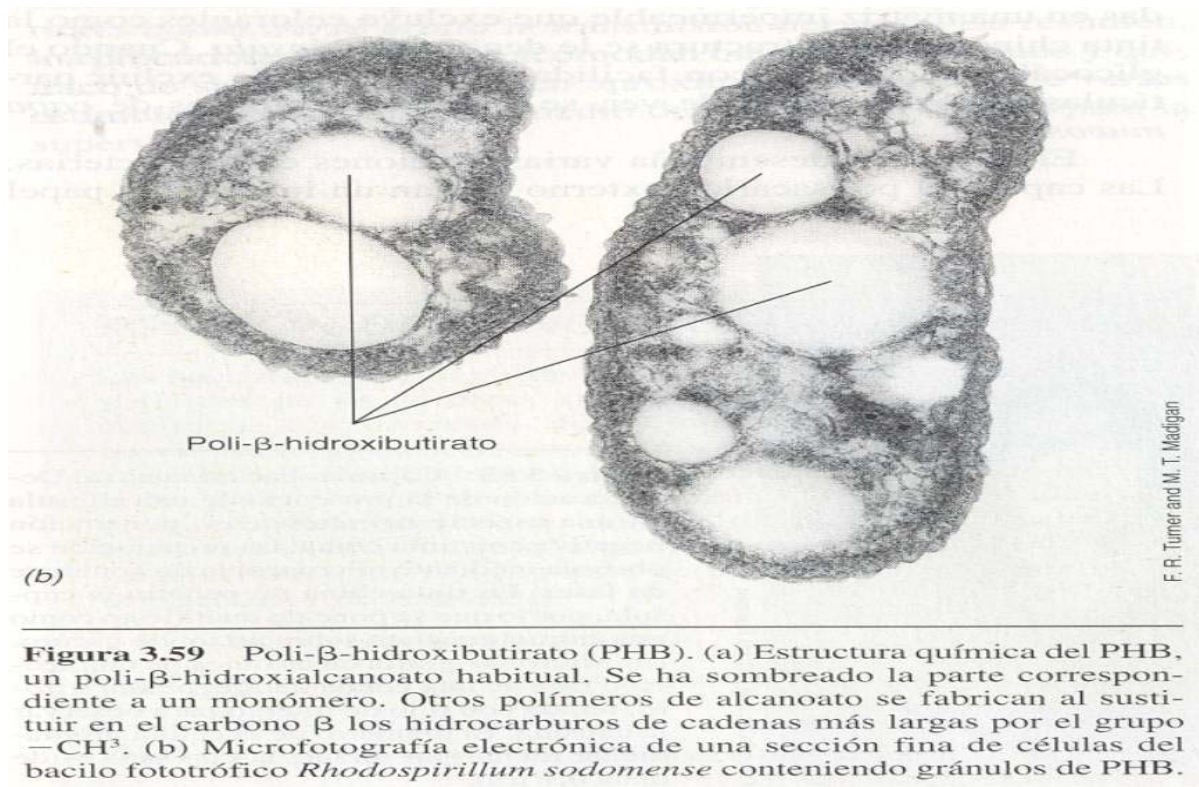
# SUSTANCIAS DE RESERVA

- Las células presentan normalmente gránulos u otras inclusiones que varían en composición según el M.O. pero en la mayoría de los casos su función es almacenar alguna sustancia nutritiva.
- Estas inclusiones se pueden observar al microscopio de contraste de fases, en general este material se encuentra rodeado por una sustancia lipídica.

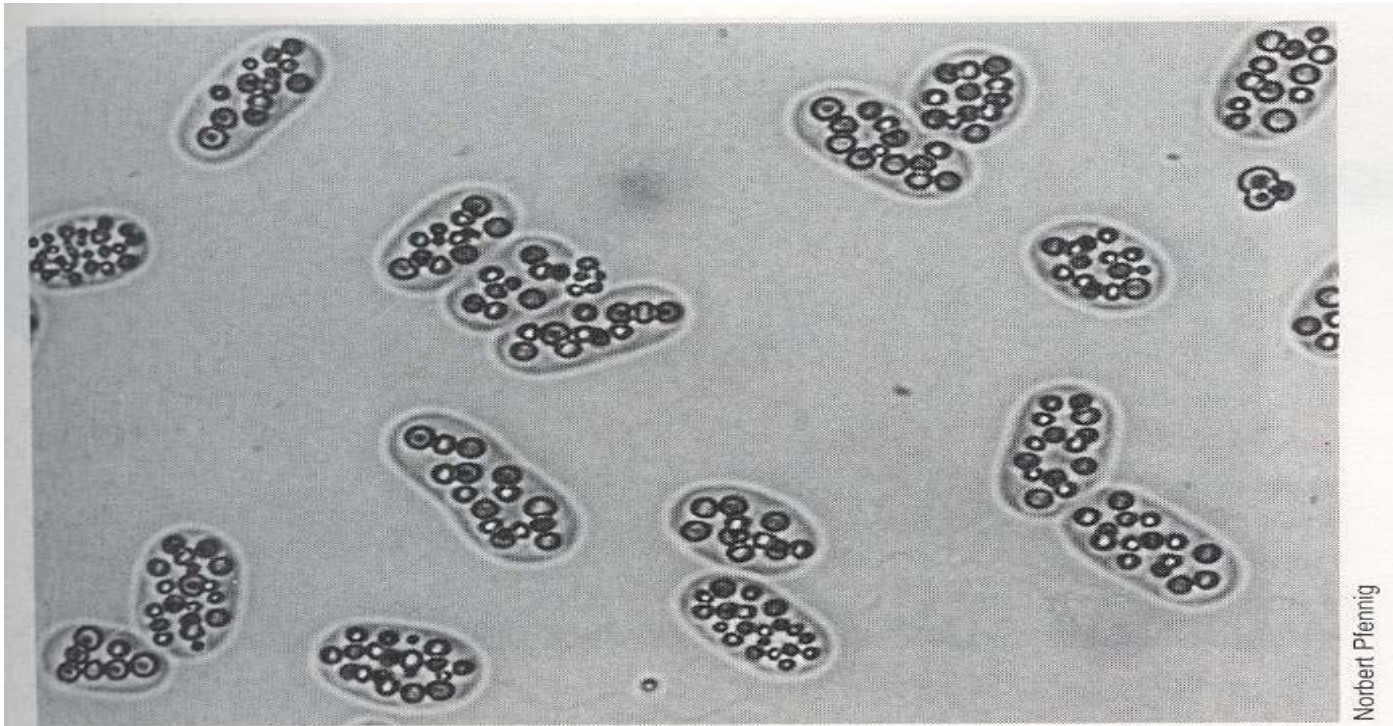
# SUSTANCIAS DE RESERVA

- Polihidroxibutirato (PHB) es uno de los compuestos de reserva más comunes en bacterias, arqueas y m.O. eucariontes.
- Glucógeno (se puede ver con el microscopio electrónico o con el óptico luego de teñir las células con yodo).
- **OTRAS SUSTANCIAS DE RESERVA**
- Polifosfatos, S, magnetosomas (partículas de óxido de hierro (magnetotaxis)).

# GRÁNULOS DE POLIHIDROXIBUTIRATO



# CÉLULAS CON GRÁNULOS DE AZUFRE



Norbert Pfennig

**Figura 3.60** Microfotografía de campo claro de células del bacilo púrpura del azufre *Chromatium buderii*. Obsérvense los glóbulos de azufre en el interior de la célula. Una célula individual mide aproximadamente  $4 \times 7 \mu\text{m}$ .

# VESÍCULAS DE GAS

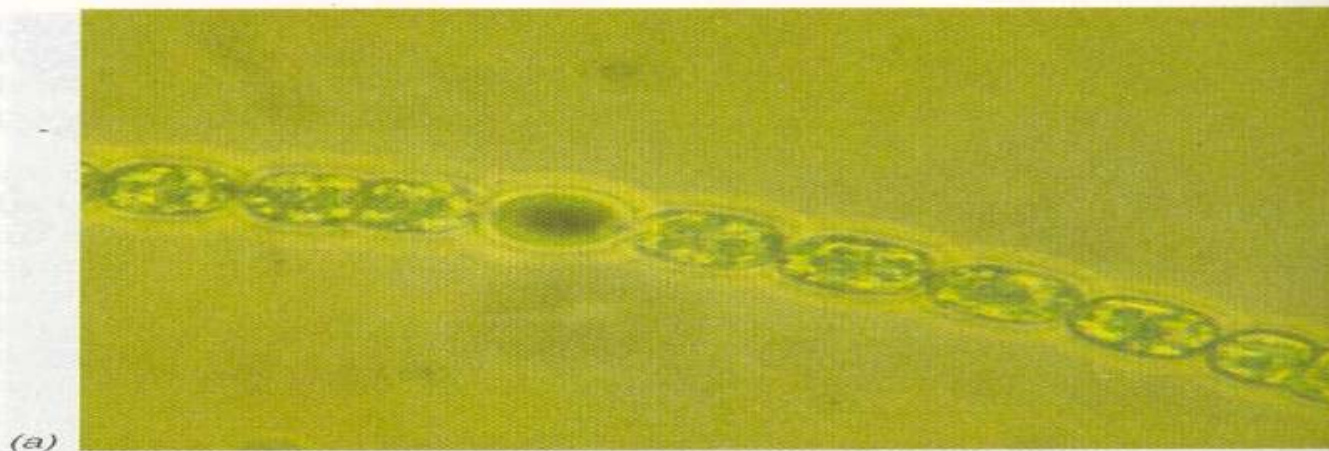
- Muchos M.O. que flotan en los lagos y mar lo hacen porque disponen de vesículas de gas, lo que les permite moverse en el agua.
- Ej. Cianobacterias, bacterias fotosintéticas y no fotosintéticas, arqueas.
- Son estructuras huecas pero rígidas que están compuestas de proteínas.
- Se encuentran en el citoplasma en número variable, son impermeables al agua, y a los solutos, pero permeables a los gases.



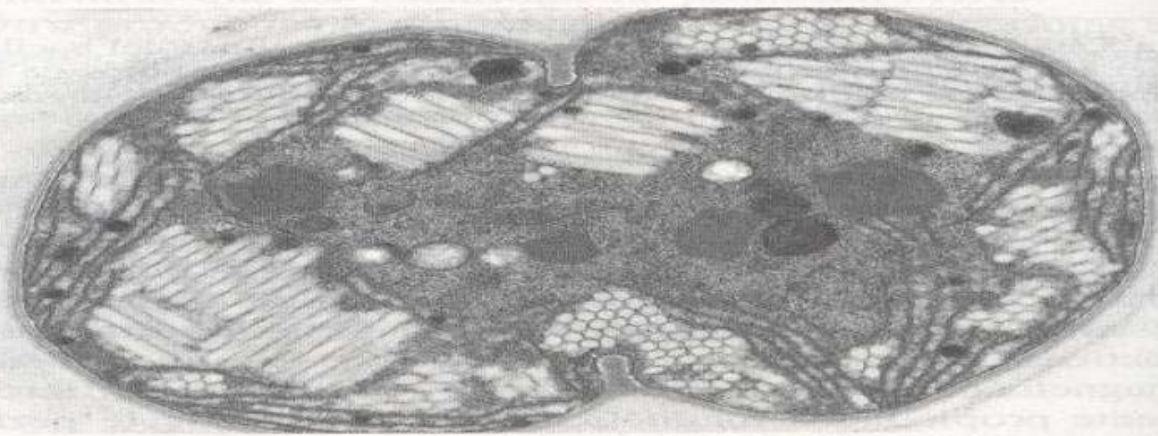


T. D. Brock

**Figura 3.62** Flotación de cianobacterias, provocada por la presencia de vesículas de gas, en un lago rico en nutrientes.



(a)



(b)

**Figura 3.64** Vesículas de gas de las cianobacterias *Anabaena* *Microcystis*. (a) *Anabaena flos-aquae*. La célula del centro (un heterocisto) carece de vesículas de gas. En las otras células, las vesículas se ven como objetos brillantes que dispersan la luz. (b) Microfotografía electrónica de transmisión de la cianobacteria *Microcystis*. Las vesículas de gas se disponen en forma de haces que pueden observarse aquí en sección longitudinal y transversal.

# ENDOSPORAS

- Estructuras especiales producidas por algunas células, son células diferenciadas:
- Resistentes al calor.
- No se destruyen ni con sustancias químicas ni desecación, radiación, etc...
- Aparecen al agotarse el medio nutritivo.
- Se observan al microscopio de luz son impermeables a los colorantes.
- Existen otro tipo de esporas pero tiene menor resistencia al calor.

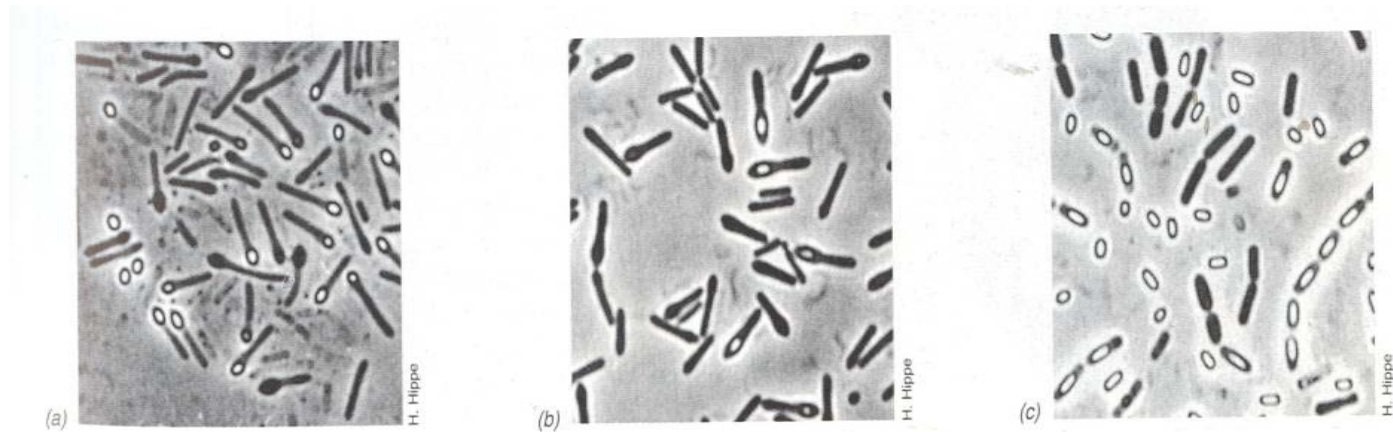


# ENDOSPORAS

- Bacterias que forman esporas se encuentran en el suelo, cualquier muestra de suelo puede contener endosporas.
- Su reconocimiento fue muy importante en el desarrollo de métodos de esterilización, en la preparación de medios de cultivos y en alimentos, etc.
- Existen otras esporas, pero con otras características.

- Las endosporas se forman al interior de la célula.
- Pueden observarse con el microscopio óptico, también mediante tinciones específicas.
- Las endosporas se pueden localizar en distintas partes de las células: terminal, subterminal y central.

# ENDOSPORAS BACTERIANAS: TERMINAL, SUBTERMINAL Y CENTRAL



**Figura 3.66** La endospora bacteriana. Microfotografías de contraste de fases que ilustran varios tipos de morfologías de endosporas y sus localizaciones intracelulares. (a) Terminal. (b) Subterminal. (c) Central.

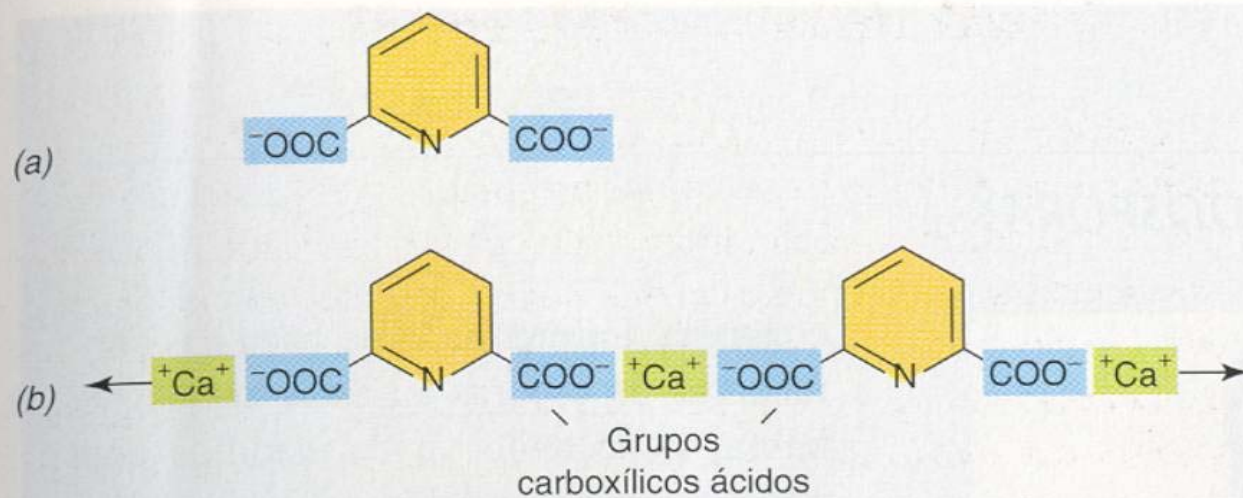


# ESTRUCTURA DE LA ENDOSPORA

- Su estructura es más compleja que la de una célula, ya que posee muchas capas.
- La capa más externa es el **exosporium** una fina capa de naturaleza proteica.
- Dentro de ella se encuentran las **cubiertas de la espora** que también se componen de proteínas, bajo la cubierta se tiene el **córtex** (corteza) de peptidoglicanos y dentro está el **núcleo o protoplasto de la espora** que contiene la pared celular, membrana, citoplasma, nucleóide, etc

# ESTRUCTURA DE LA ENDOSPORA

- Ácido dipicolínico (DPA) se encuentra sólo en las esporas, y está presente en todas las endosporas.
- También se encuentra ion  $\text{Ca}^{+2}$  en general unido al DPA, constituyendo el 10% del peso seco de la espora.



**Figura 3.69** Ácido dipicolínico (DPA). (a) Estructura del DPA. (b) Entrecruzamiento de dos moléculas de DPA con participación del  $\text{Ca}^{2+}$  para formar un complejo.

# **PROP. DEL NUCLEO DE LA ENDOSP.**

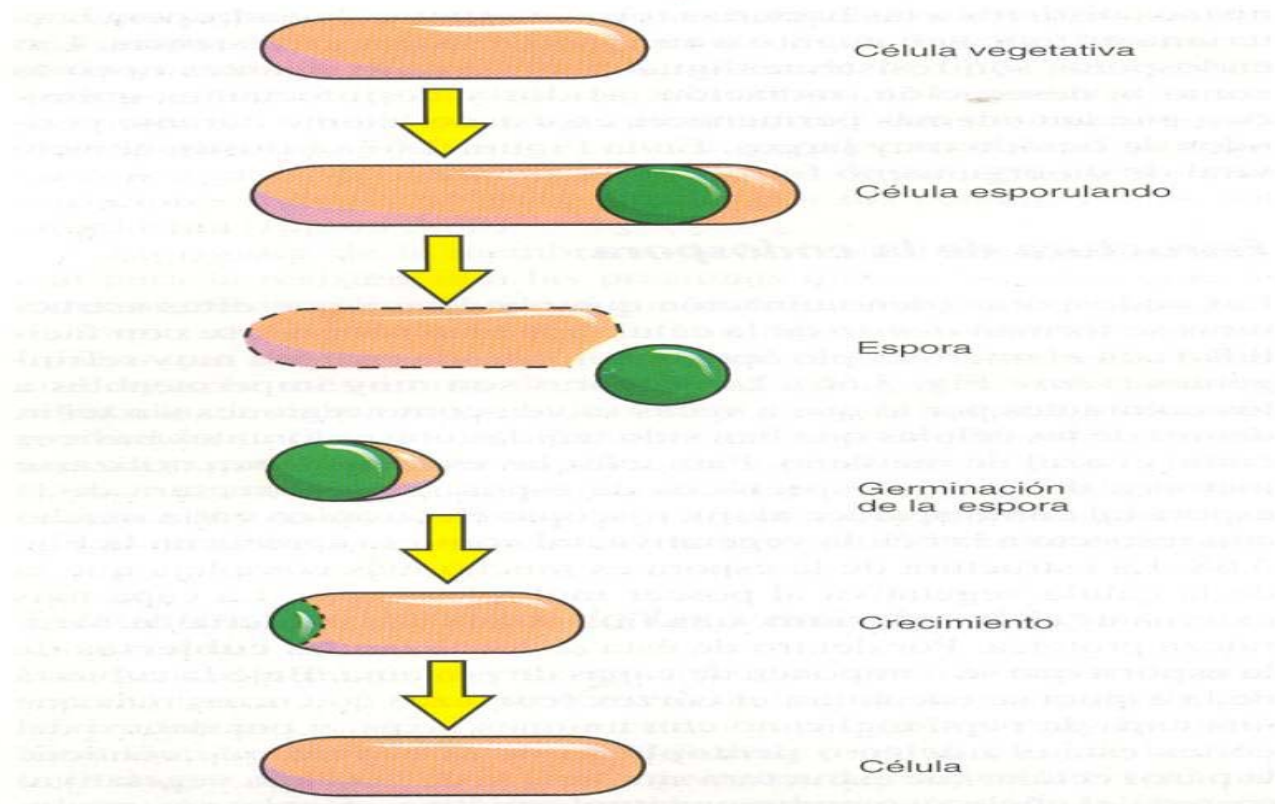
- Además de contener el DPA unido al Ca, el núcleo se encuentra bastante deshidratado (10-30% del contenido de agua de una célula vegetativa). La deshidratación aumenta la termoresistencia, inactiva las enzimas, etc.
- El pH es una unidad más bajo que el del citoplasma y contiene proteínas ácido solubles (SASPs). Estas SASPs protegen al DNA de la desecación, también sirven de fuente energética a la espora en germinación.



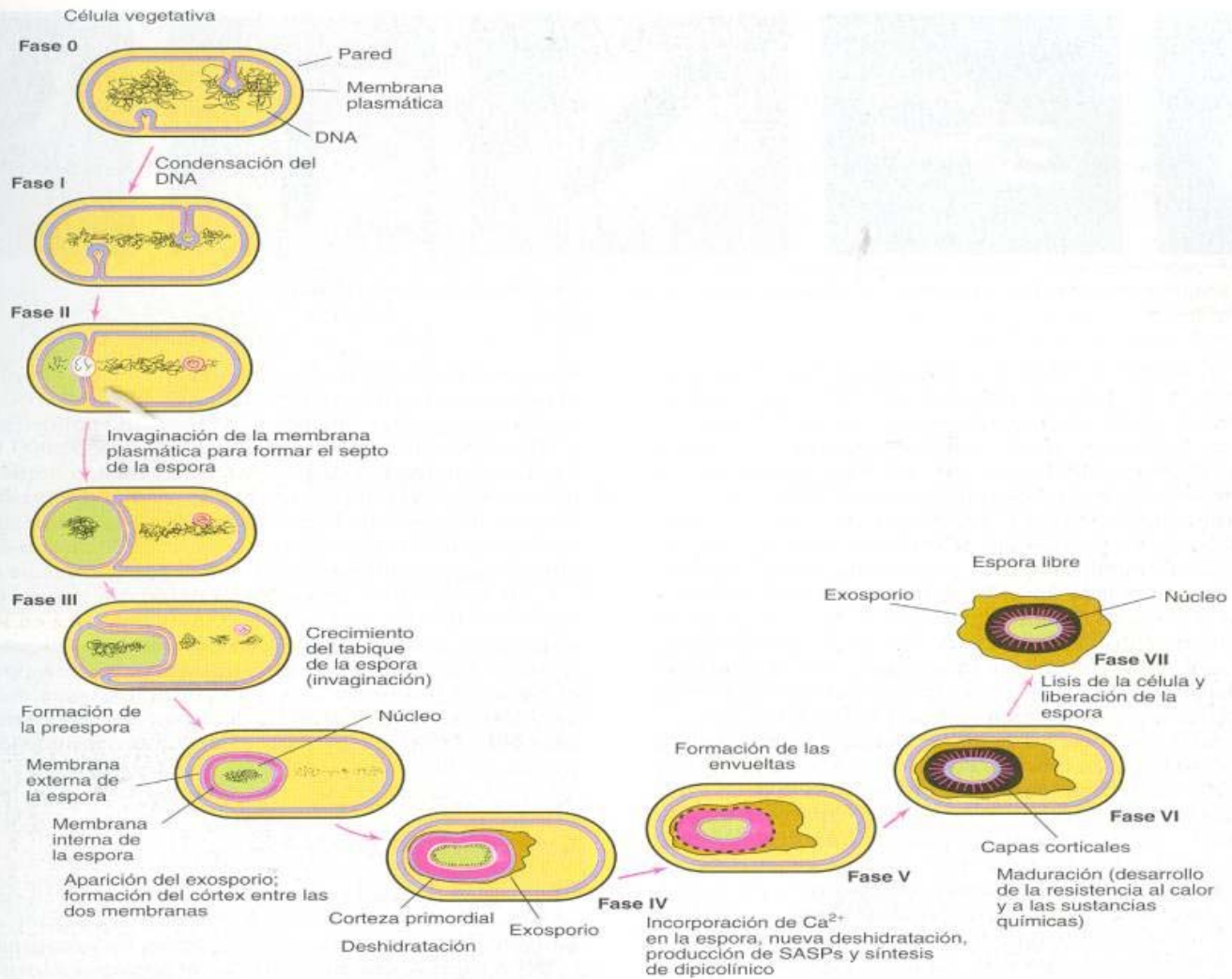
# GERMINACIÓN Y DURACIÓN DE UNA ESPORA

- Activación, Germinación y Crecimiento
- ¿Cuánto dura una endospora?
- *Clostridium aceticum* 34 años
- *Thermoactinomyces* en restos romanos (2000 años)
- *Thermoactinomyces* en sedimentos de un lago (7000 años)
- “Resurrección de esporas” 25-40 millones de años en una abeja en ámbar.

# CICLO DE VIDA DE UN BACILO FORMADOR DE ENDOSPORAS



**Figura 3.67** Ciclo de vida de un bacilo formador de endosporas.



**Figura 3.70** Fases en la formación de una endospora. Las fases señaladas (enumeradas de 0 a VII) se distinguen claramente por microscopía, por lo que se utilizan para estudios de cinética del proceso de esporulación.

# DIFERENCIAS ENTRE ENDOSPORAS Y CÉLULAS VEGETATIVAS:

CARACTERÍSTICAS	CELULA VEGETATIVA	ENDOSPORAS
Estructura	Típica Gram +	Exosp. Envoltorio Corazón.
Apariencia Microscopio	No refractil	refractil
Cont. Ca	Baja	Alta
Ac. Dipicol	Ausente	Presente
Actividad Enzimática	Alta	Baja
Metabolismo Oxígeno	Alta	Baja o Ausente
Síntesis Macromoléculas	Presente	Ausente
mRNA	Presente	Bajo o Ausente
Resistencia al Calor	Baja	Alta
Resistencia a radiación	Baja	Alta
Lisozima	Sensible	Resistente
Contenido Agua	80-90%	10-25%
pH citoplasma	7	5.5 – 6

# **RELACION : ENTRE ORGANELOS Y BACTERIAS**

- **Mitocondrias y cloroplastos contienen DNA (circular) codificando algunos componentes específicos de ellos: rRNA, sRNA y proteínas de cadena respiratoria.**
- **Mitocondrias y cloroplastos contienen sus propios ribosomas: solo 70s.**
- **En citoplasma eucarionte: 80s.**
- **Especificidad de los antibióticos estreptomicina actúa inhibiendo la síntesis proteica en mitocondrias y cloroplastos.**

# **RELACION : ENTRE ORGANELOS Y BACTERIAS**

- **Especificidad de los antibióticos estreptomicina actúa inhibiendo la síntesis proteica en mitocondrias y cloroplastos.**
- **\_Mediante estudios filogénicos se ha mostrado relación entre cloroplastos, mitocondrias y bacterias.**
- **Mitocondrias y cloroplastos son descendientes de diferentes grupos de bacterias (secuencia del RNA ribosomal).**