

# MICROBIOLOGÍA

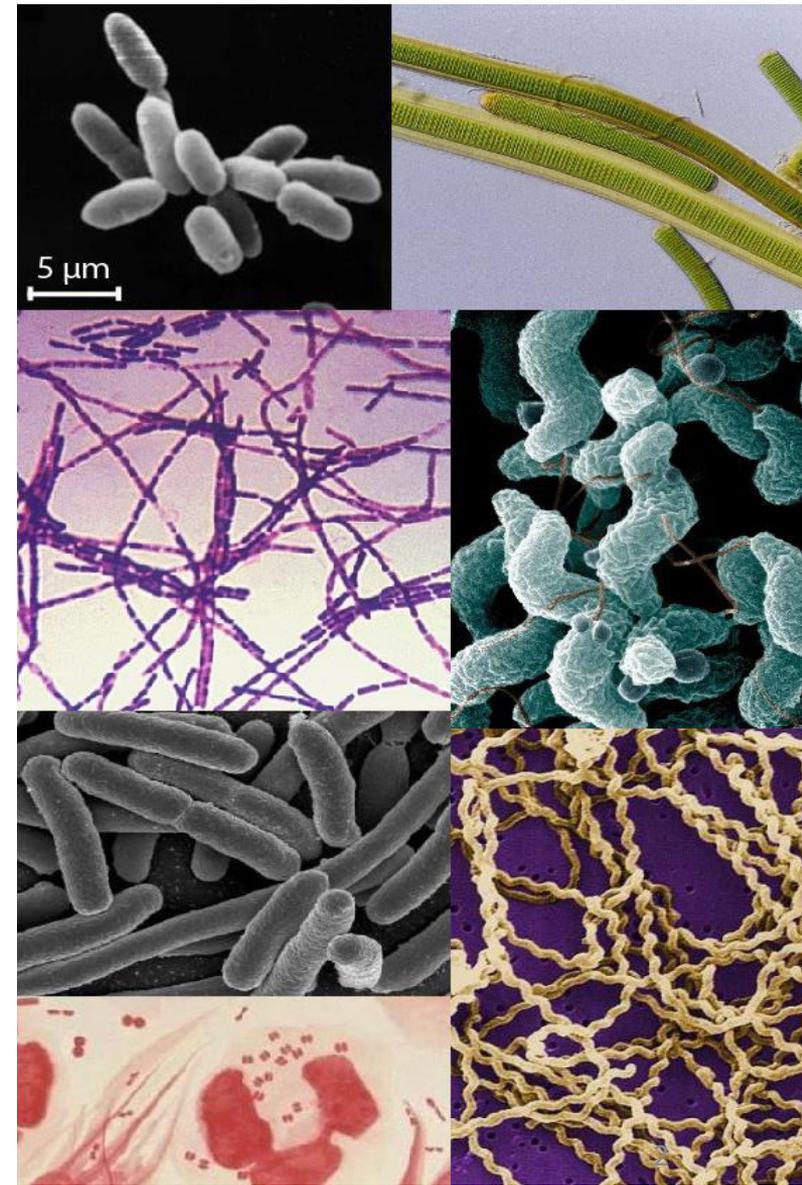
## UNIDAD XI DIVERSIDAD DE LOS MICROORGANISMOS

Bacteroides y Fusobacterium. *Veillonella*. Enterobacterias. Micoplasmas o Mollicutes. Estafilococos y Estreptococos. *Bacillus* y *Clostridium*. Lactobacilos y Listerias. Actinobacterias: Corinebacterias, Micobacterias y Nocardias. Streptomicetos. Proteobacterias I: Bacterias rojas fototrofas: rojas del azufre. Bacterias quimiolitotrofas. Bacterias metanotrofas y metilitrofas. Proteobacterias II: Grupo de *Pseudomonas*. Bacterias del ácido acético. Bacterias del grupo de *Rhizobium*. Proteobacterias III: Bacterias entéricas: *Escherichia*, *Salmonella*, *Shigella*, *Proteus*, *Enterobacter*, *Klebsiella* y *Serratia*. *Vibrio* y *Photobacterium*. *Pasteurella* y *Haemophilus*. Proteobacterias IV: *Neisseria*. *Legionella*. *Bordetella*. *Brucella*. *Francisella*. *Rickettsias*. Proteobacterias V: Bacterias con vaina. Bacterias espiraladas y curvadas, Bacterias gemantes y/o con apéndices. Proteobacterias VI: Bacterias reductoras del sulfato y del azufre: *Desulfovibrio*, *Desulfobacter*, *Desulfuromonas*. Mixobacterias. Epsilon proteobacterias: *Campylobacter*. *Helicobacter*. División de las Bacterias Gram +. Bacterias Gram + de bajo contenido en GC. Bacterias Gram+ de alto contenido en GC. Bacterias fotosintéticas no proteobacterias: Cianobacterias y Prochlorofitas. Bacterias verdes. Espiroquetas. *Nitrospira* y *Deferribacter*. *Chlamydia*. *Planctomyces* y *Pirella*. *Verrucomicrobia*. *Cytophaga*. *Flavobacteria*. Líneas más antiguas: *Deinococcus*. *Thermotoga*. *Thermodesulfobacterium*. *Aquifex*. Dominio *Archaea*. Microorganismos eucariotas.

# El mundo procarionta que podemos observar actualmente es el resultado de más de 4.000 millones de años de evolución



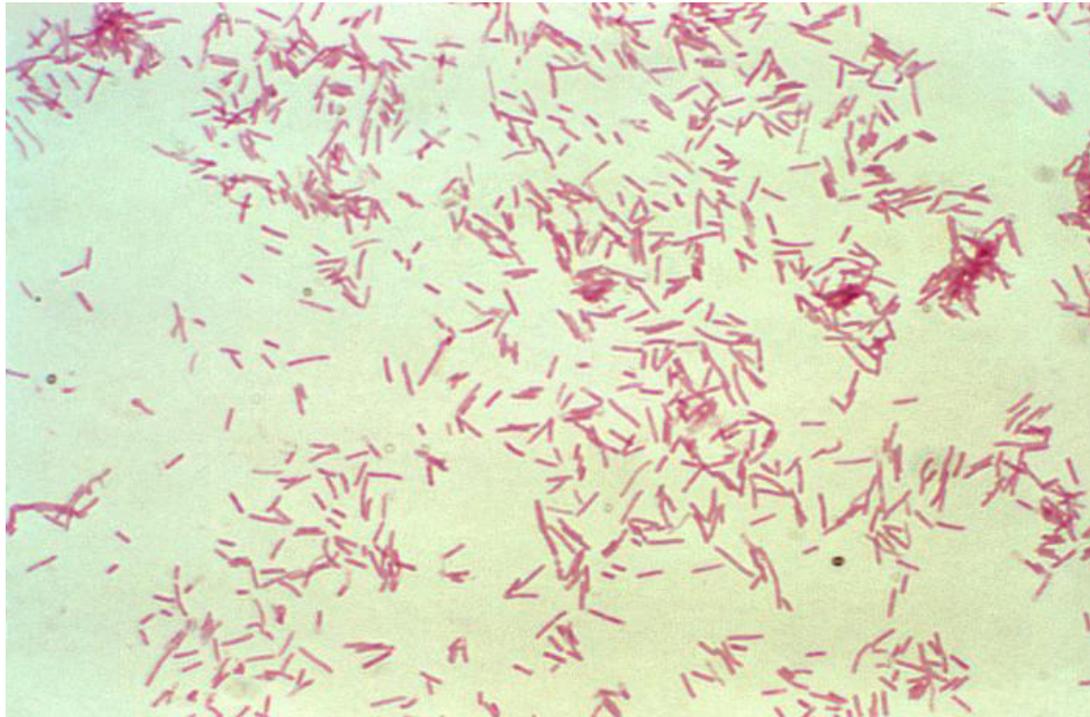
- ❖ Se conocen 7.000 especies de bacterias y arqueas.
- ❖ Es probable que existan miles de especies más, quizás tantas como 100.000-1.000.000 en total.
- ❖ Cuando dispongamos de herramientas más eficientes, tanto moleculares como de cultivo, para sacar a la luz esta diversidad, probablemente descubramos que pese al gran número de especies predicho estamos subestimando el número real.
- ❖ Una estimación precisa del número de especies procariontas está sencillamente fuera de nuestro alcance, tanto tecnológica como conceptualmente.



# Bacteroides



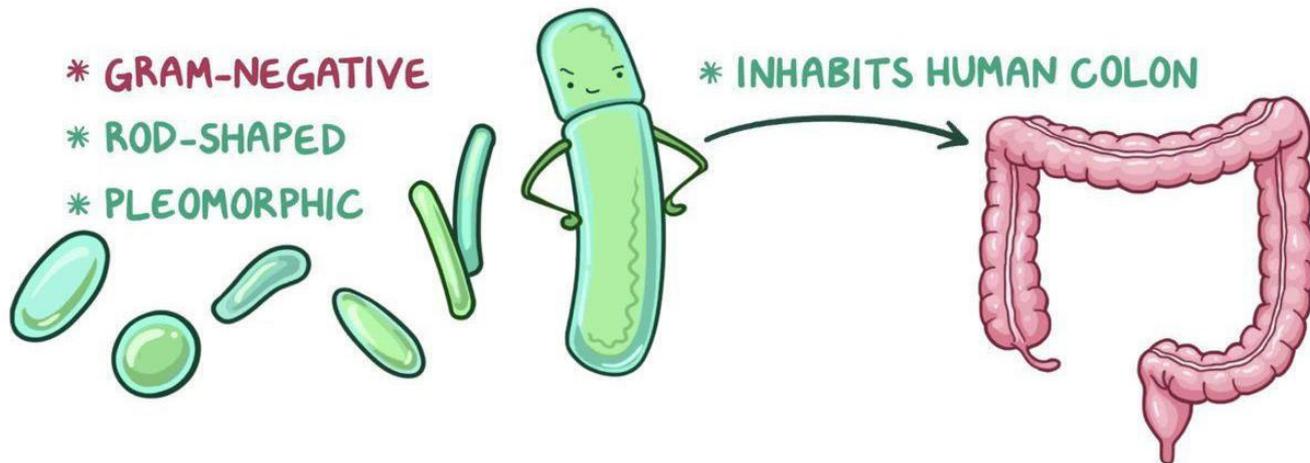
- ❖ Género Gram - con forma de bacilo.
- ❖ ANAEROBIAS (pero toleran el O<sub>2</sub>), no forman endosporas, pueden ser móviles o inmóviles, dependiendo de la especie.
- ❖ El ADN tiene un contenido GC del 40-48%.
- ❖ Inusualmente las membranas contienen ESFINGOLÍPIDOS.
- ❖ También contienen ácido mesodiaminopimérico en su capa de peptidoglicano.
- ❖ La especie tipo es *B. fragilis*.



# Bacteroides



- ❖ Son normalmente **COMENSALES**, constituyendo el principal componente de la microbiota gastrointestinal, vaginal y bucal en los mamíferos.
- ❖ En el intestino del huésped juegan un papel importante en el procesamiento de moléculas complejas en más simples y evitando que otros potenciales patógenos colonicen el tracto digestivo.
- ❖ Concentraciones altas en heces humanas:  $10^{10}$ - $10^{11}$  células/gr.
- ❖ Pueden también crecer en azúcares simples cuando están disponibles, pero su principal fuente de energía son los **POLISACÁRIDOS DE ORIGEN VEGETAL**.
- ❖ Algunas especies (*B. fragilis*) son patógenos oportunistas de los humanos, causando infecciones en la cavidad peritoneal, gastrointestinal y apendicitis mediante la formación de abscesos.
- ❖ Capaces de inhibir la fagocitosis e inactivar los ATB betalactámicos.



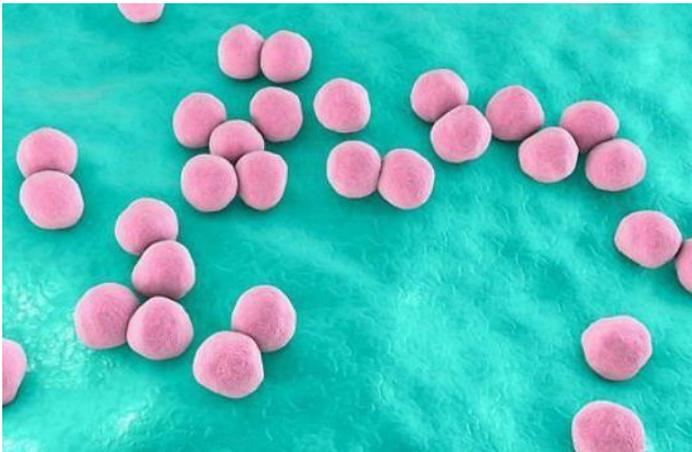


# Fusobacterium



- ❖ Bacterias Gram -, ANAEROBIAS y de aspecto filamentoso.
- ❖ Algunas producen enfermedades periodontales, síndrome de Lemierre, angina de Vincent, orofaringitis y úlcera de piel topical.
- ❖ En humanos, constituyen uno de los principales tipos de flora del aparato digestivo, y se encuentran en muchas partes del tracto gastrointestinal.

## Veillonella



- ❖ Bacterias Gram -, ANAEROBIAS, de morfología cocácea, no móviles y no forman esporas.
- ❖ Crecen a 30-37°C.
- ❖ Forman parte de la microbiota normal del tracto gastrointestinal y mucosa oral de mamíferos
- ❖ Provocan caries dental, abscesos de dientes y encías, sinusitis, osteomielitis, endocarditis<sub>5</sub>

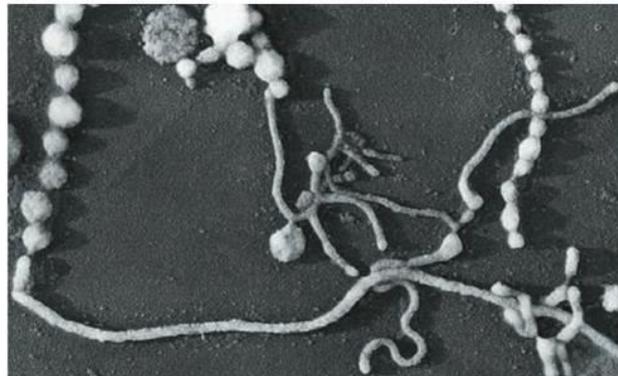
*Veillonella dispar*

# Micoplasmas o Mollicutes



## Bacterias SIN PARED

- ❖ Procariotas inusuales ya que carecen de paredes celulares y se están entre los más pequeños organismos capaces de crecimiento autónomo.
- ❖ NO se tiñen como Gram +, ya que no tienen pared celular debido a la ausencia de componentes clave como el peptidoglicano, el ácido murámico y el ácido diaminopimérico.
- ❖ Emparentados filogenéticamente a las Gram + tanto no esporulantes como formadoras de endosporas.
- ❖ Probablemente tuvieron pared celular pero dejaron de necesitarla debido a sus hábitats tan especiales.
- ❖ Son PARÁSITOS y habitan en hospedadores animales y vegetales



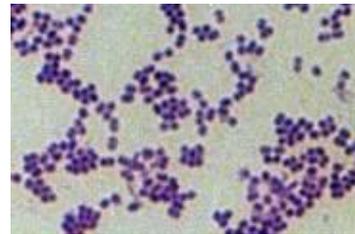
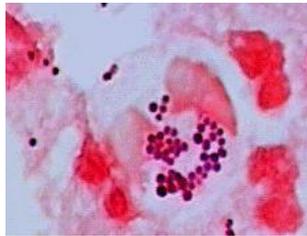
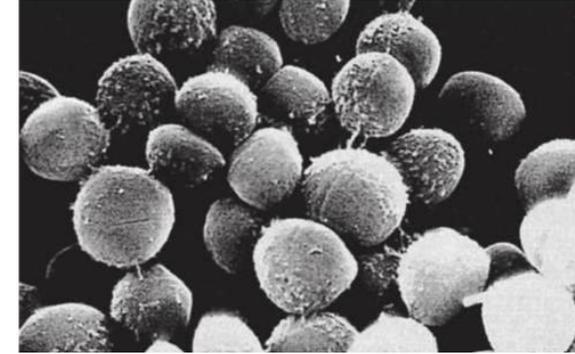
En células de floema

# Estafilococos

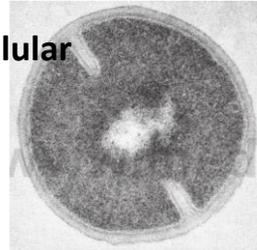
racimo



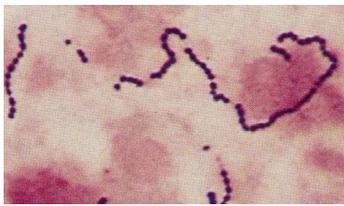
- ❖ Gram + NO formadoras de endosporas (antiguamente junto a las Gram + formadoras de endosporas)
- ❖ AEROBIOS con un típico metabolismo respiratorio.
- ❖ Catalasa + (permite su distinción frente a *Streptococcus*).
- ❖ ANAEROBIO FACULTATIVO y produce ácido a partir de glucosa tanto aeróbica como anaeróbicamente.
- ❖ Típico de *Staphylococcus* formar agrupaciones de células.



Gruesa pared celular



- Comensales y parásitos habituales de humanos y de animales y pueden causar ocasionalmente serias infecciones.
- En humanos hay 2 especies principales:
  - ✓ *Staphylococcus epidermidis* que es un organismo no pigmentado y no patógeno que se encuentra habitualmente en la piel o en las membranas de las mucosas.
  - ✓ *Staphylococcus aureus* de pigmentación amarilla que está asociada muy habitualmente a diversas patologías: furúnculos, pústulas, neumonía, osteomielitis, meningitis y artritis.



# Estreptococos

cadena



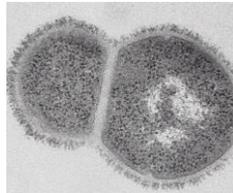
- ❖ El género *Streptococcus* incluye especies homofermentativas con hábitats y actividades bastante diferentes, que tienen una considerable importancia práctica para el hombre.
- ❖ Algunas especies son patógenas para hombres y animales.
- ❖ Como productores de ácido láctico, otros estreptococos juegan un importante papel en la producción de suero de leche, forraje fermentado en silos y otros productos fermentados.
- ❖ Ciertas especies se destacan en la formación de caries dentales.



Se definen 2 géneros para diferenciar los estreptococos patógenos de humanos de los no patógenos.

## *Enterococcus*

De origen básicamente fecal



## *Lactococcus*

Importante en productos derivados de la leche

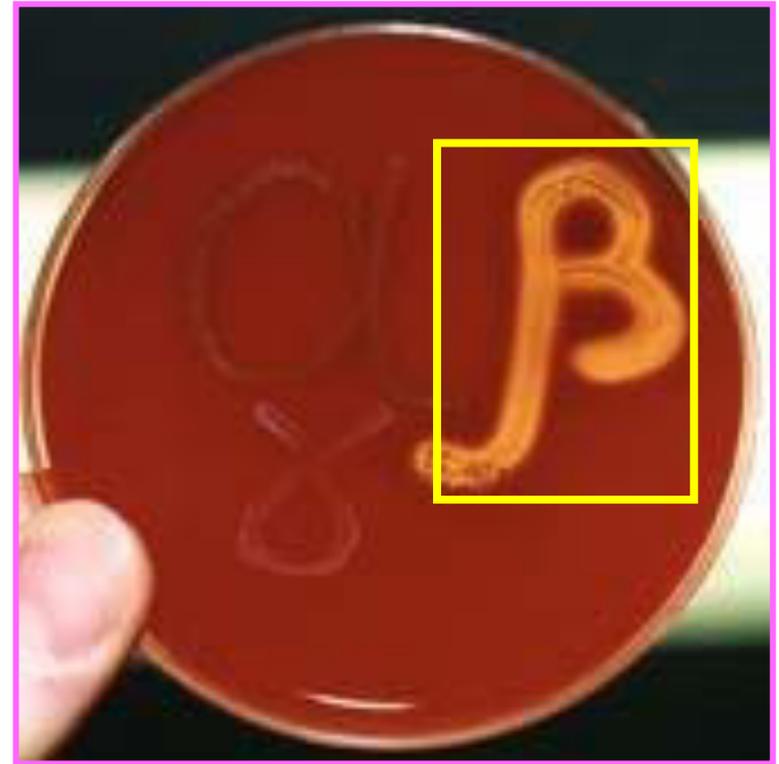
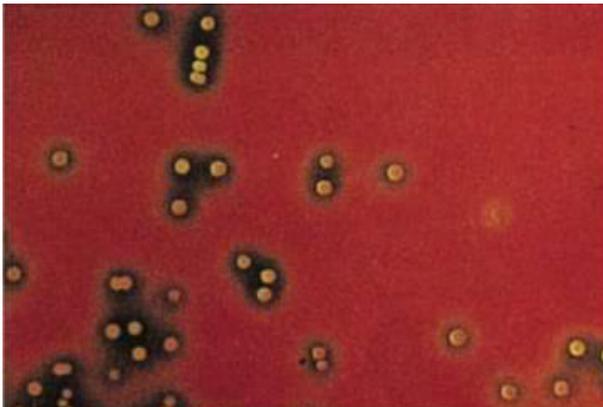


## Dentro del género *Streptococcus* hay 2 grupos

- ❖ La hemólisis en agar sangre es un carácter de importancia considerable en esta subdivisión.
- ❖ En placas de agar sangre, las colonias de aquellas cepas que producen estreptolisina (exotoxina hemolítica) O o S están rodeadas por un gran halo de hemólisis completa de globulos rojos

### $\beta$ -hemólisis

Lisis completa de los glóbulos rojos, aparece una zona transparente alrededor de la colonia.



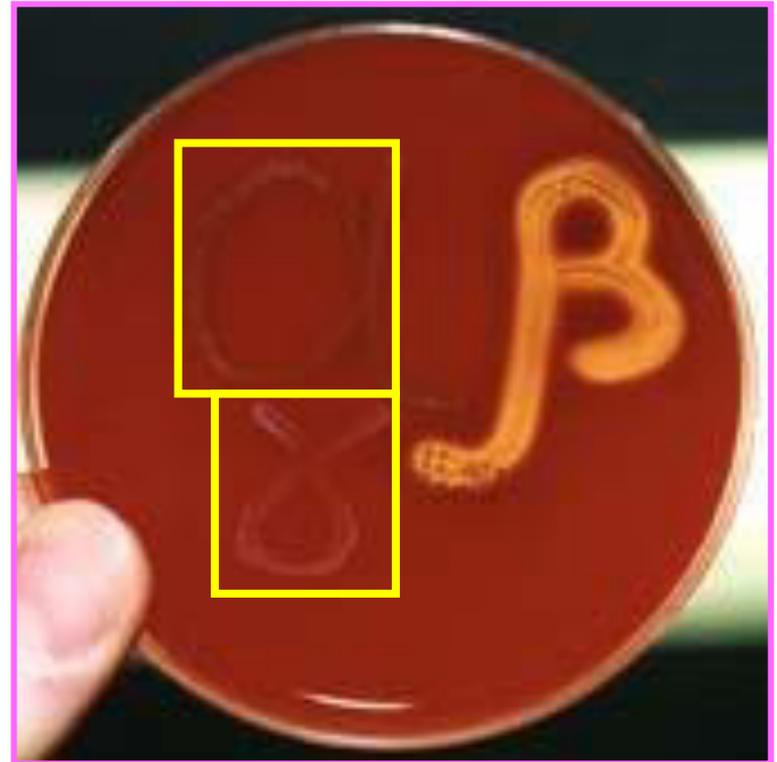
- ❖ Muchos estreptococos, lactococos y enterococos **NO PRODUCEN HEMOLISINAS**.
- ❖ En cambio producen un halo **VERDOSO** o **MARRÓN** alrededor de sus colonias cuando crecen en agar sangre.
- ❖ No se debe a una auténtica hemólisis, sino a la decoloración y pérdida de potasio de los hematíes.
- ❖ Este tipo de reacción se denomina  **$\alpha$ -hemólisis**.

## $\alpha$ -hemólisis

Lisis parcial de los glóbulos rojos, se forma un halo verdoso alrededor de la colonia, por oxidación de la hemoglobina de los glóbulos rojos a metahemoglobina.

## $\gamma$ -hemólisis

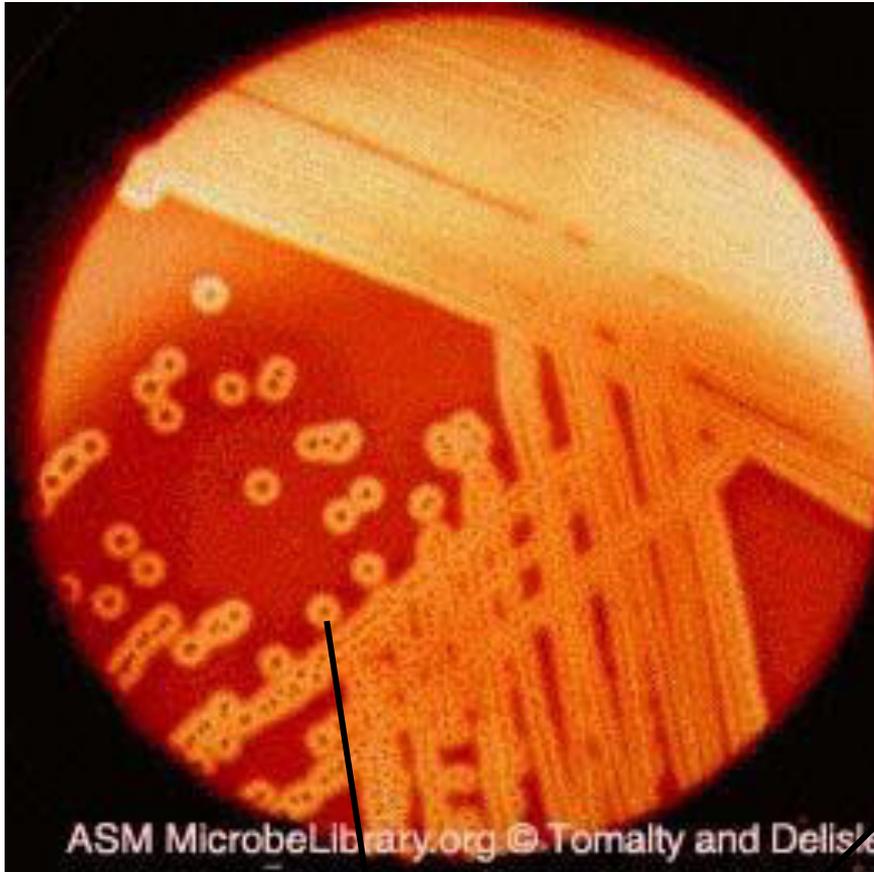
**NO** actúan sobre los glóbulos rojos, **no** forman ningún halo (**SIN HEMOLISIS**).



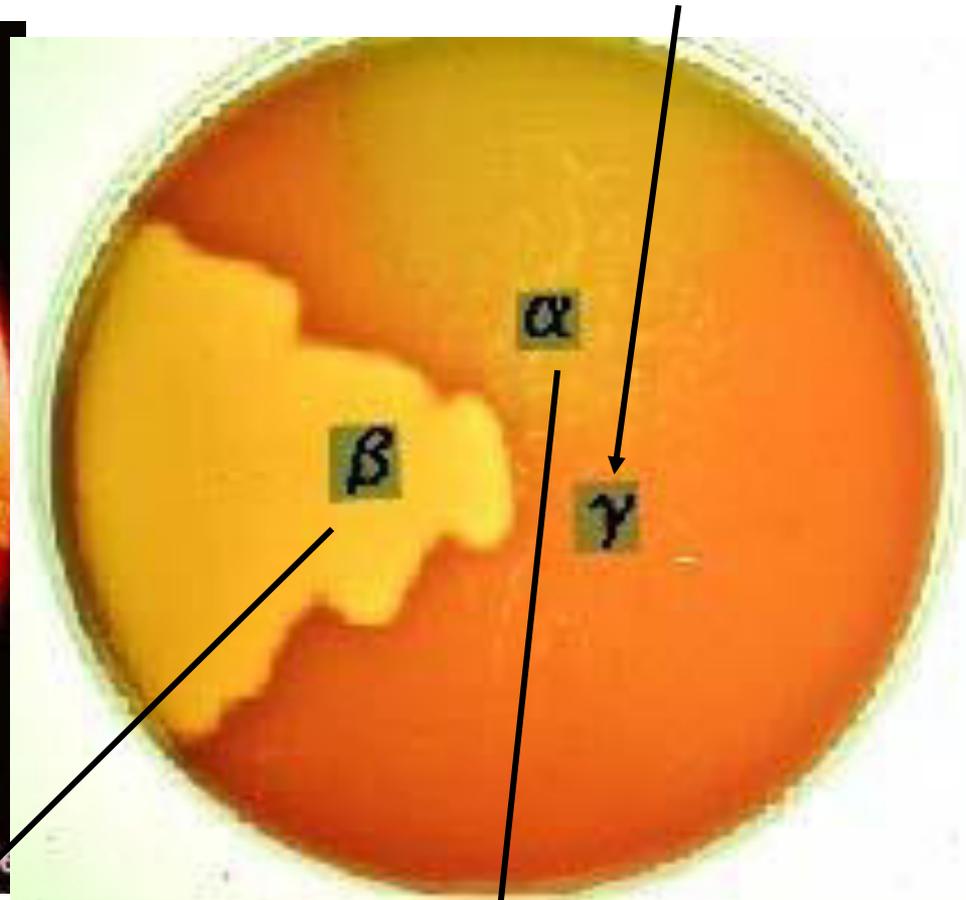
# HEMOLISIS EN AGAR SANGRE



NO HAY HEMÓLISIS



HEMÓLISIS COMPLETA



HEMÓLISIS PARCIAL 11



**$\beta$ -hemólisis**

***Streptococcus pyogenes***



**$\alpha$  hemólisis**

***Escherichia coli***



**$\gamma$  hemólisis**

**(NO hay hemólisis)**

***Staphylococcus epidermidis***





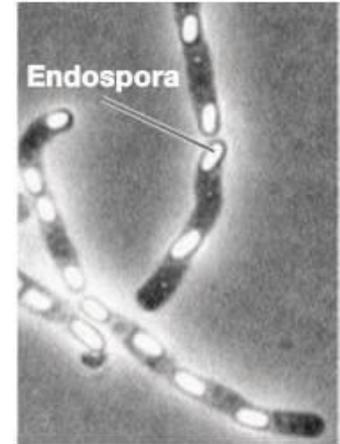
- ❖ Los estreptococos y cocos relacionados también se dividen en grupos inmunológicos conforme a la presencia de antígenos específicos de tipo carbohidrato .
- ❖ Estos grupos antigénicos (o grupos *Lancefield* como se conocen normalmente, en reconocimiento a Rebeca Lancefield, una pionera en la taxonomía de *Streptococcus*) están designados por letras, de la A hasta la O.
- ❖ Los estreptococos  $\beta$ -hemolíticos que se encuentran en humanos normalmente poseen el antígeno A, mientras que los enterococos poseen el antígeno D.
- ❖ Los estreptococos que poseen el antígeno B, que suelen encontrarse asociados a animales, son los causantes de la mastitis (inflamación de la ubre) en vacas y también se los ha relacionado con ciertas infecciones en el hombre.
- ❖ Los lactococos forman parte del grupo antigénico N y no son patógenos.



# BACTERIAS GRAM + FORMADORAS DE ENDOSPORAS

## *Bacillus*

- ❖ Aerobios o anaerobios facultativos.
- ❖ Muchos producen ATB (bacitracina, polimixinas, tirocidina, gramicidina y circulina).
- ❖ En la mayoría estos ATB se liberan durante la esporulación, cuando el cultivo entra en fase estacionaria de crecimiento y una vez que está comprometido a la esporulación.



- *Paenibacillus popilliae* y *B. thuringiensis*, producen larvicidas de insectos.
- *P. popilliae* causa la enfermedad lechosa mortal para las larvas del escarabajo japonés y de otros escarabajos.
- *Bacillus thuringiensis* causa una enfermedad mortal en larvas de muchos grupos distintos de insectos, aunque ciertas cepas son específicas en cuanto al hospedador que afectan.
- Algunas cepas son específicas de lepidópteros como el gusano de seda, el gusano de las coles, oruga de librea y la polilla gitana.
- Otras matan dípteros como mosquitos o moscas negras, otras matan coleópteros como los escarabajos de la papa de Colorado.

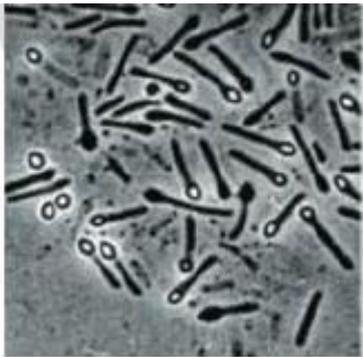
# Clostridium



- ❖ Incluye especies fermentativas.
- ❖ Carecen de cadena respiratoria; en contraposición a las especies de *Bacillus*, obtienen su ATP exclusivamente mediante fosforilación a nivel de sustrato.
- ❖ Se conocen numerosos mecanismos ANAEROBIOS de producción de energía en *Clostridium*.
- ❖ La división del género *Clostridium* en subgrupos se basa fundamentalmente en estas propiedades y en el sustrato fermentable utilizado.

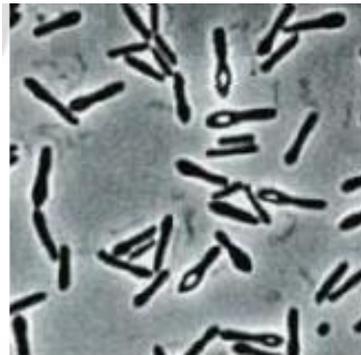
## LOCALIZACIÓN DE LAS ENDOSPORAS

Endosporas subterminales



*Clostridium sporogenes*

Endosporas centrales



*Clostridium bifermentans*



**Algunos fermentan azúcares, produciendo ácido butírico como principal producto final. Algunos también producen acetona y butanol y hubo un tiempo en el que la fermentación clostridial para producir acetona-butanol tuvo relevancia industrial como la principal fuente industrial de dichos productos.**

**Algunos de los que producen acetona-butanol pueden fijar nitrógeno.**

**El fijador de N<sub>2</sub> más potente es *Clostridium pasteurianum*, que probablemente es el responsable de la mayoría de la fijación anaeróbica de N<sub>2</sub> en el suelo.**

**Un grupo fermenta celulosa produciendo ácidos y alcoholes y probablemente estos sean los organismos responsables de la mayoría de la descomposición anaeróbica de celulosa en el suelo.**

**Otro grupo obtiene su energía de la fermentación de aminoácidos.**

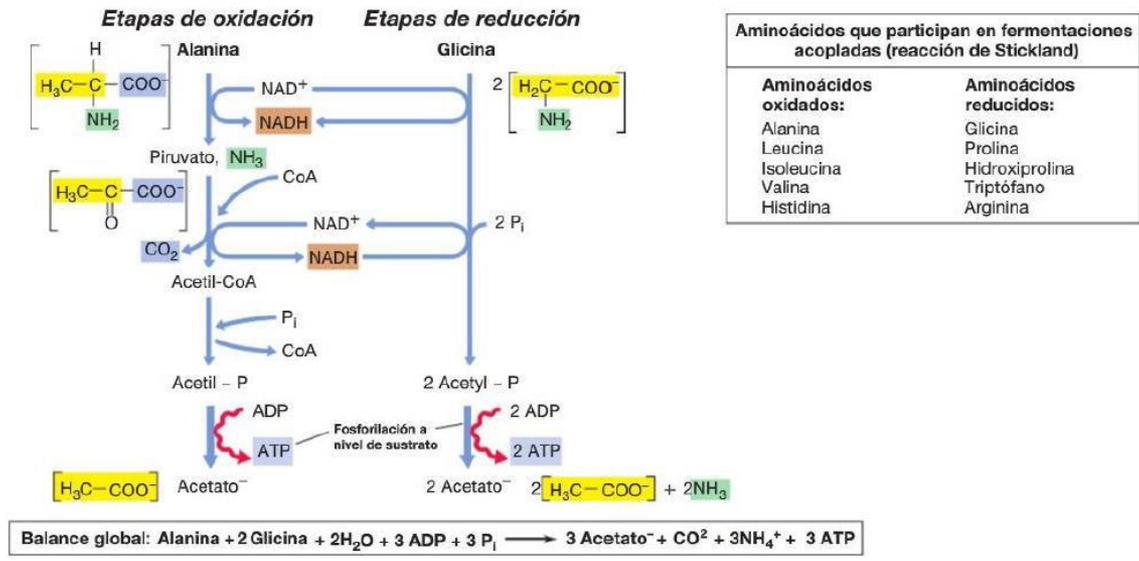
**Algunas especies fermentan aminoácidos individuales, mientras que otras sólo fermentan parejas de aminoácidos.**

**Los aminoácidos que pueden fermentarse individualmente son alanina, cisteína, glutamato, glicina, histidina, serina y treonina.**

**Los productos de fermentación son normalmente acetato, butirato, CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>.**



Al catabolismo enlazado de una mezcla de aminoácidos se le conoce como la reacción de Stickland; por ejemplo *Clostridium sporogenes* enlaza el uso de glicina y de alanina. En la reacción de Stickland un aminoácido ejerce de donante de e<sup>-</sup> y se oxida, mientras que el otro ejerce de aceptor de e<sup>-</sup> y se reduce.



Aminoácidos que participan en fermentaciones acopladas (reacción de Stickland)	
<b>Aminoácidos oxidados:</b>	<b>Aminoácidos reducidos:</b>
Alanina	Glicina
Leucina	Prolina
Isoleucina	Hidroxi prolina
Valina	Triptófano
Histidina	Arginina

Muchos de los productos de la fermentación de aminoácidos por *Clostridium* son sustancias malolientes de olor a putrefacción.

Ácido butírico, ácido isobutírico, ácido isovalérico, ácido caproico, sulfuro de hidrógeno, metilmercaptano (de aminoácidos azufrados), cadaverina (de la Usina), putrescina (de la omitina) y amoníaco.



# Principal hábitat de los *Clostridium*



El suelo, donde viven fundamentalmente en zonas carentes de oxígeno como resultado de la metabolización de compuestos orgánicos por parte de organismos aerobios facultativos.

Además, una serie de *Clostridium* habita en el ambiente anaerobio del tracto intestinal de los mamíferos.

## BOTULISMO

*Clostridium botulinum*



## TÉTANOS

*Clostridium tetani*



## GANGRENA GASEOSA

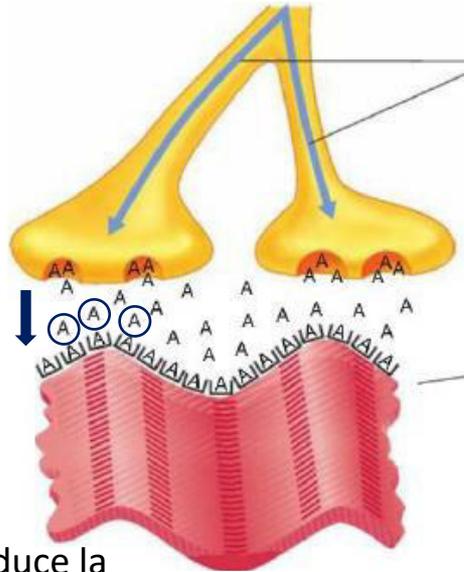
*Clostridium perfringens*



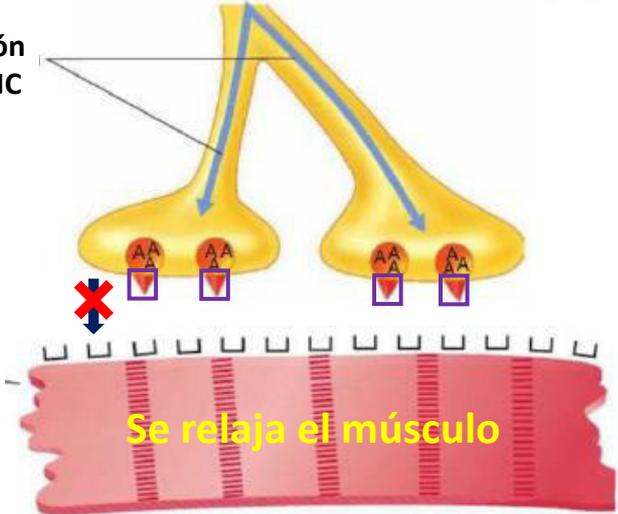
Estos *Clostridium* patógenos no presentan características metabólicas fuera de lo común, pero se diferencian en su capacidad de producir TOXINAS específicas o, en aquellos que causan la gangrena gaseosa, un conjunto de toxinas.

Una importante pregunta ecológica sin resolver es qué papel tienen estas potentes toxinas en el suelo, que es el hábitat natural de estos organismos.

# BUTULISMO



Señales de excitación procedentes del SNC



Músculo

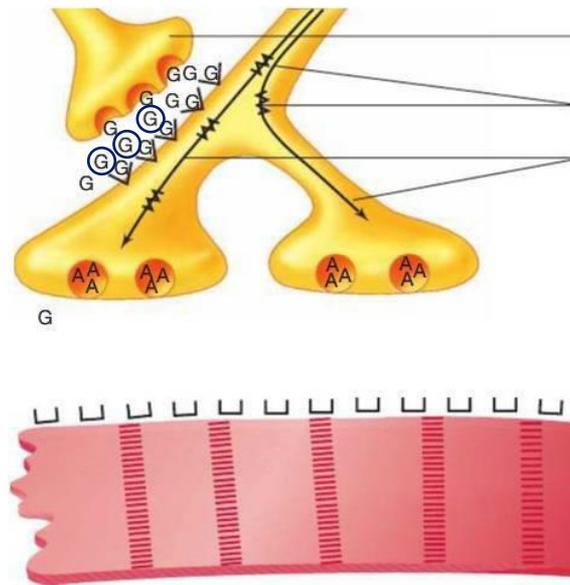
Se relaja el músculo

La toxina botulínica ▲ bloquea la liberación de A inhibiendo la contracción muscular

## Normal

La acetilcolina (A) induce la contracción muscular

# TÉTANOS



Interneurona inhibidora  
Inhibición

Señales de excitación procedentes del SNC



Músculo

Impide que se relaje el músculo

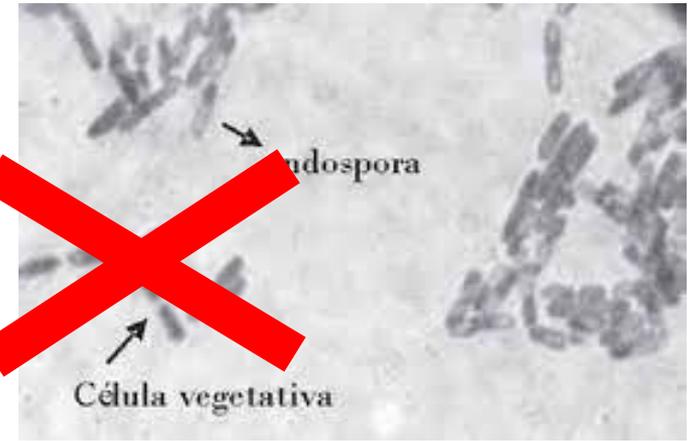
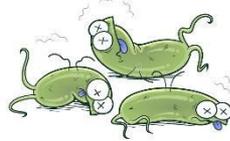
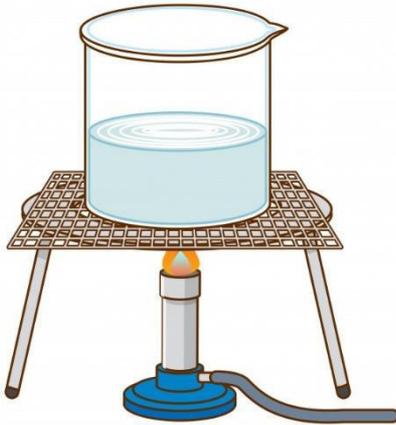
La toxina tetánica ■ se une a la neuronas inhibidoras, bloqueando la liberación de glicina (G)

## Normal

La liberación de glicina (G) de la interneurona detiene la liberación de acetilcolina (A)



Los formadores de endosporas pueden aislarse de manera selectiva a partir de tierra, comida, polvo y otros materiales calentando la muestra a 80°C durante 10 min, un tratamiento que mata las células vegetativas pero que mantiene viables todas las endosporas presentes.

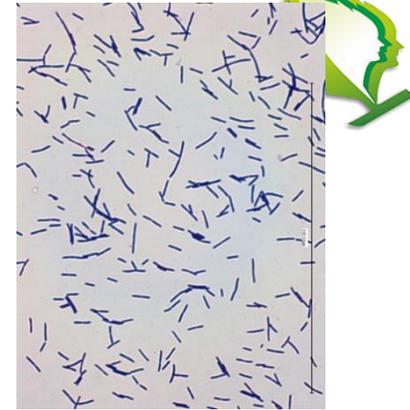


Si se aíslan colonias de las muestras así calentadas en placas con el medio adecuado se obtendrán especies de *Bacillus* o *Clostridium*, según se incuben aeróbica o anaerobiamente.



# Lactobacillus

- ❖ Morfología bacilar, que puede variar desde bacilos largos y esbeltos a bacilos cortos y curvados.
- ❖ La mayoría de las especies son homofermentativas, pero algunas son heterofermentativas.
- ❖ Son habituales en los productos derivados de la leche y algunas cepas se emplean para la preparación de leches fermentadas.
- ❖ *Lactobacillus acidophilus* se emplea en la producción de leche ácida; *L. delbrueckii* en la preparación de yogur; y otras especies se emplean en la producción de Chucrut, forraje fermentado y encurtidos.



Son más resistentes a condiciones ácidas que otras bacterias del ácido láctico ya que son capaces de crecer eficientemente a valores de pH de hasta 4.

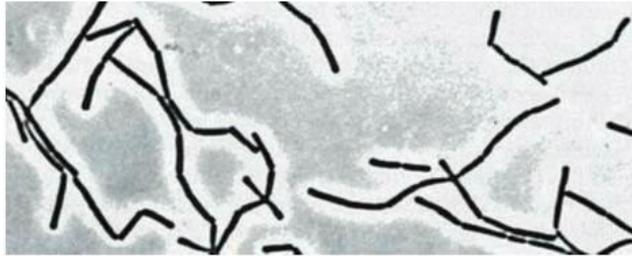
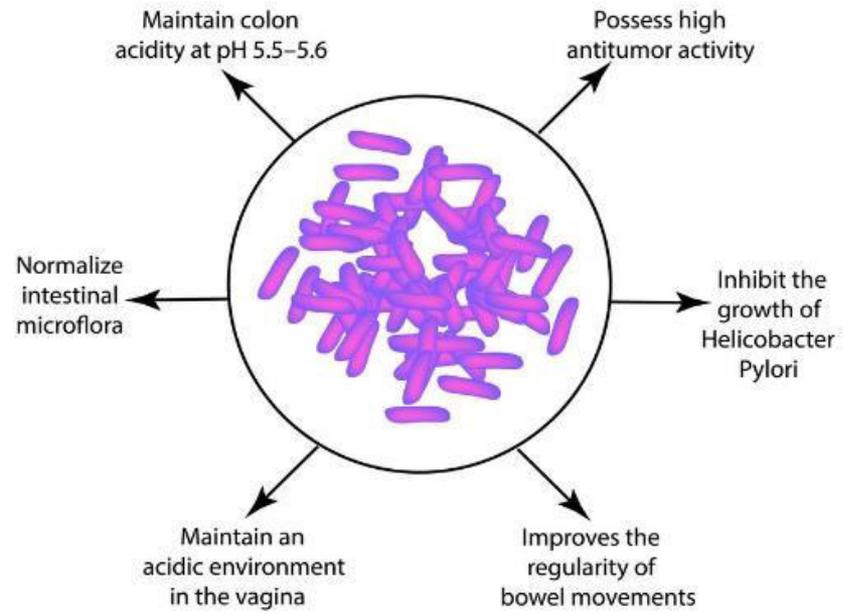
I ❤️  
ACID

Por ello que pueden ser aislados selectivamente de muestras naturales usando un medio rico ácido con carbohidratos como agar peptona con jugo de tomate. Son responsables de los últimos estadios de la mayoría de las fermentaciones lácticas.

**NUNCA O PRÁCTICAMENTE NUNCA, SON PATÓGENOS.**

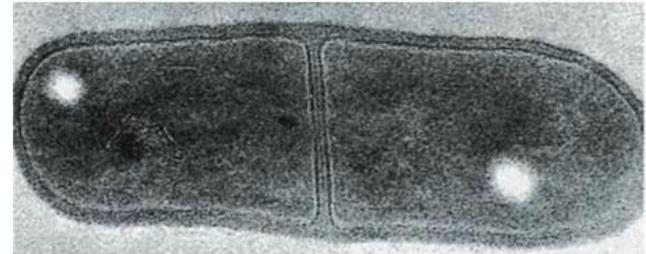


## *Lactobacillus casei*



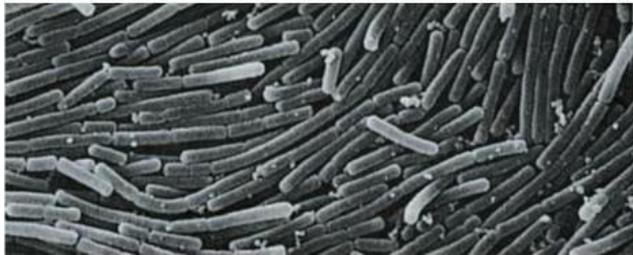
Otto Kandler

*Lactobacillus brevis* MET



Otto Kandler

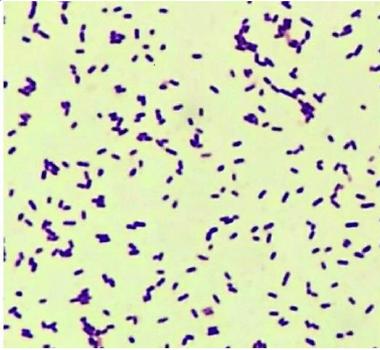
*Lactobacillus acidophilus* en contraste de fase



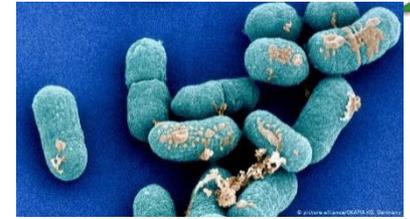
*Lactobacillus delbrueckii* MEB



# Listeria



Cocobacilos gram + que tienden a formar cadenas de entre 3-5 células

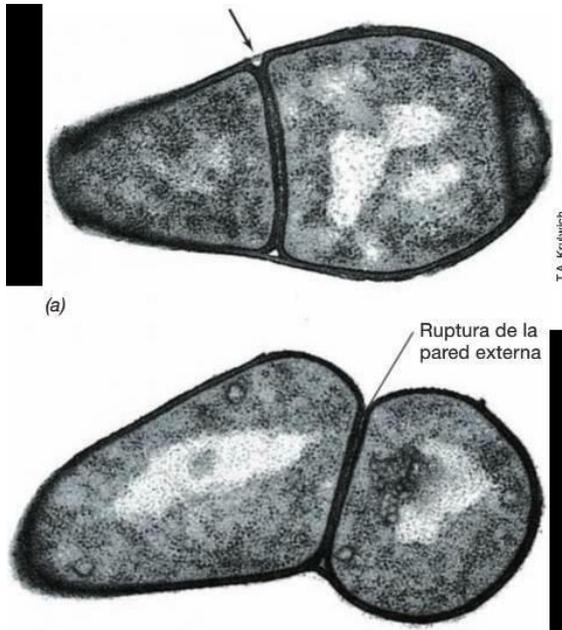


- ❖ Relacionada filogenéticamente con especies de *Lactobacillus* y, al igual que las bacterias del ácido láctico homofermentativas, producen ácido pero NO gas a partir de glucosa.
- ❖ Sin embargo las auténticas bacterias del ácido láctico son capaces de crecer en total ausencia de O<sub>2</sub> y CARECEN de la enzima CATALASA.
- ❖ Por el contrario *Listeria* necesita condiciones MICROAEROBIAS o totalmente AEROBIAS para crecer y produce CATALASA.

*L. monocytogenes* es el causante de la listeriosis, enfermedad transmitida por los alimentos contaminados, normalmente no cocinados (normalmente, el queso) y puede producir desde una suave enfermedad hasta una forma mortal de meningitis.

# Corinebacterias

- ❖ Bacilos Gram +, aerobios y sin movilidad.
- ❖ Forman agrupaciones de forma irregular, en forma de garrote o en forma de V.

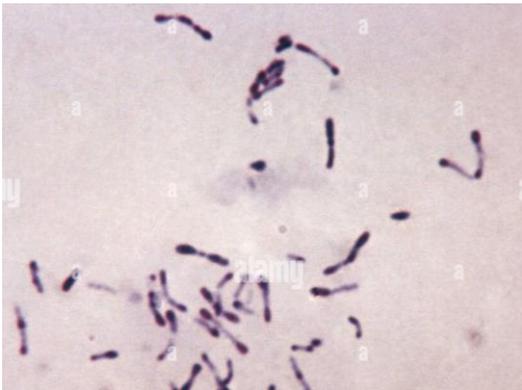
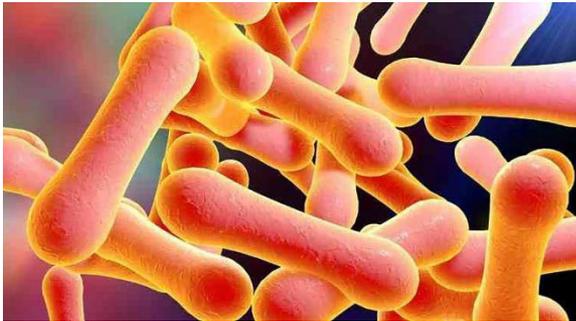


# Géneros principales



## *Corynebacterium*

- Incluye patógenos de animales y plantas y saprófitos: *Corynebacterium diphtheriae*.
- Tienen un extremo hinchado, aspecto de garrote (de ahí el nombre del género: *koryne* es la palabra griega para garrote).



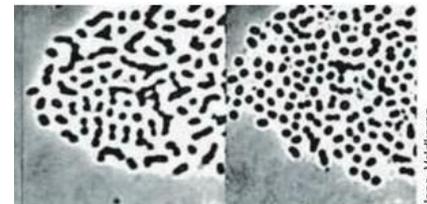
## *Arthrobacter*

- Organismos del suelo.
- Tienen un ciclo de desarrollo que implica la transformación de bacilo a coco y de vuelta a bacilo.
- Extraordinariamente resistentes a la desecación y a la falta de nutrientes, pese a NO FORMAR esporas u otras formas de resistencia.

### *Arthrobacter globiformis*



Coco individual      transformación a bacilo      microcolonia compuesta predominantemente por bacilos



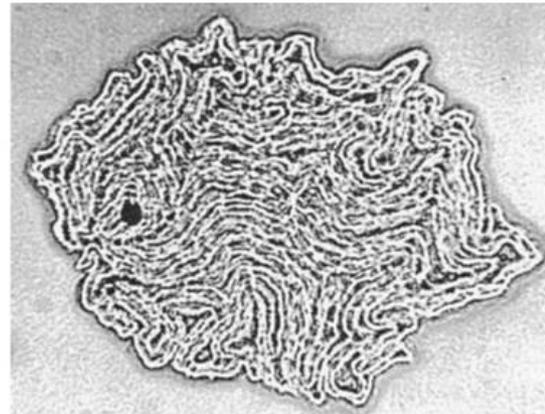
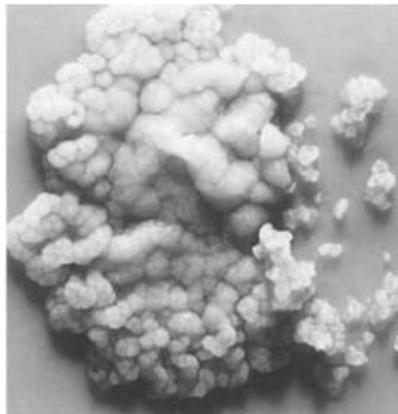
Transformación de bacilos a cocos.

# *Mycobacterium*



- Bacilos que en cierto momento de su ciclo de vida tienen la propiedad de ser ácido alcohol resistentes debido a la presencia en la superficie de lípidos característicos: **ÁCIDOS MICÓLICOS**.
- Es una cubierta celular externa cerosa sólo presente en el género *Mycobacterium*.

## *Mycobacterium tuberculosis*

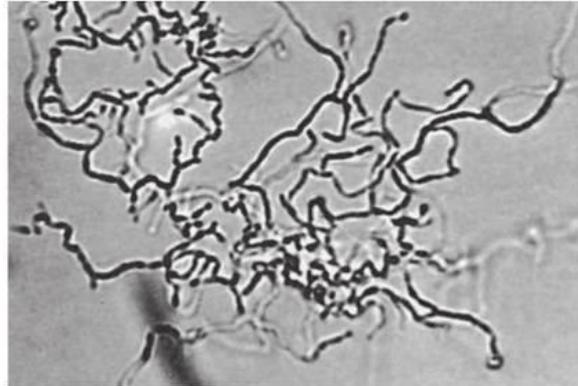
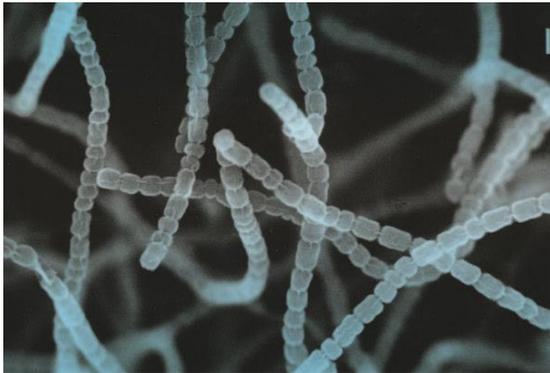


**En medio sólido forman colonias densas, compactas y a menudo arrugadas.**

# ACTINOMICETOS



- Forman un gran grupo de bacterias Gram + filamentosas.
- Como resultado de su crecimiento y ramificación se forma una red de filamentos ramificados, denominada MICELIO que es análogo al formado por los hongos filamentosos.
- La mayoría forman esporas.

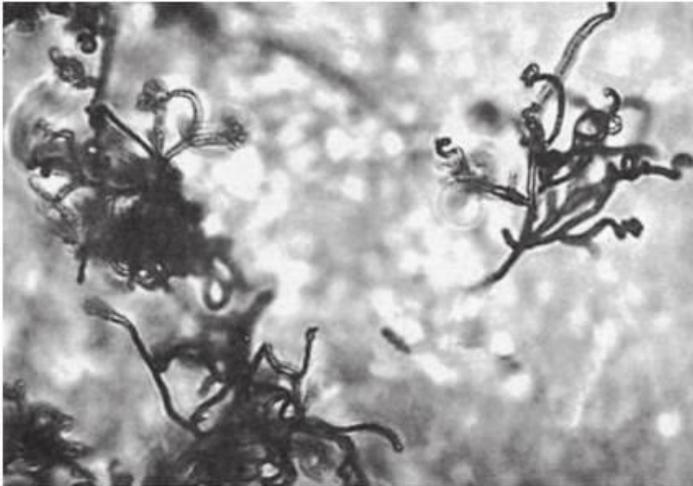


***Nocardia*, que muestra la típica estructura celular filamentosa (micelio).**

# *Streptomyces*

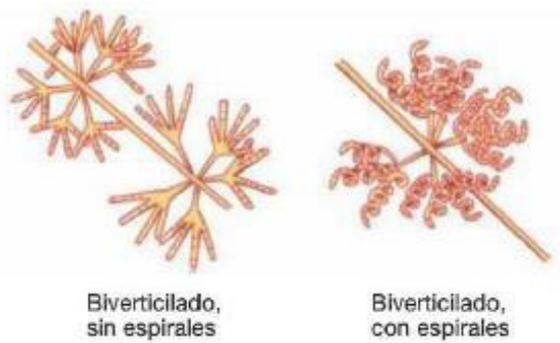
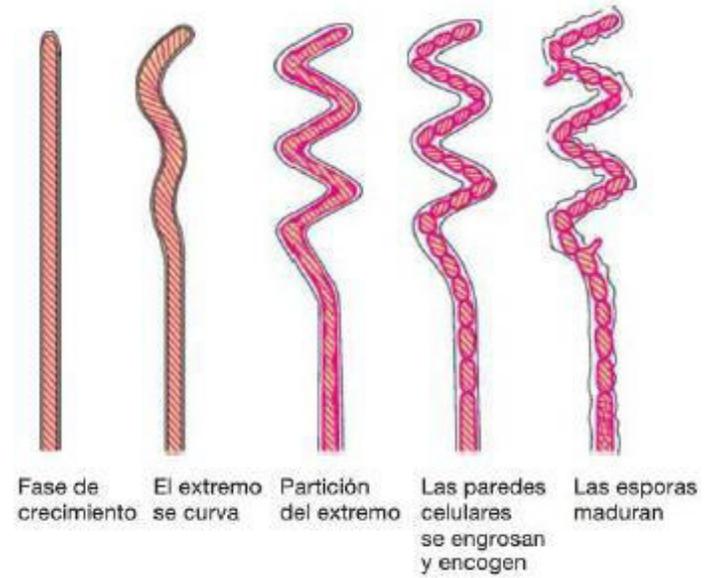


La fase vegetativa consiste en una matriz compleja y finamente entrelazada, que da lugar a un micelio compacto y retorcido, que forma la colonia



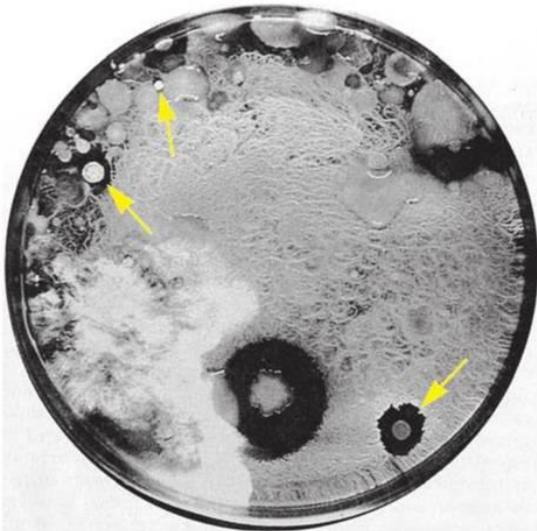
Se van formando filamentos aéreos característicos, denominados **ESPORÓFOROS**, que se elevan sobre la superficie de la colonia y producen esporas.

Las esporas de los estreptomicetos se producen mediante la formación de septos en los esporóforos multinucleados, a lo que sigue la separación como esporas de las células individuales.

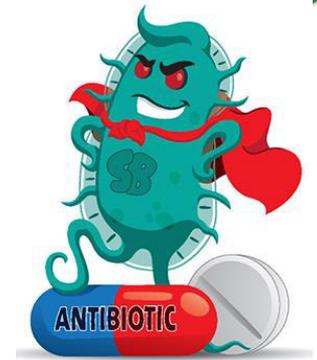


Cada especie de *Streptomyces* produce un sólo tipo morfológico de estructura portadora de esporas.

- La propiedad más llamativa de los estreptomicetos es su rango de producción de ATB.
- Alrededor del 50% de todos los *Streptomyces* aislados producen ATB.
- Supone una enorme importancia económica y médica.



- Se conocen más de 500 ATB diferentes producidos por estreptomicetos y se sospecha que pueda haber muchos más.
- Se necesitan muchos genes para codificar las enzimas necesarias para la síntesis de ATB y como consecuencia los genomas de las especies de *Streptomyces* son normalmente bastante grandes.

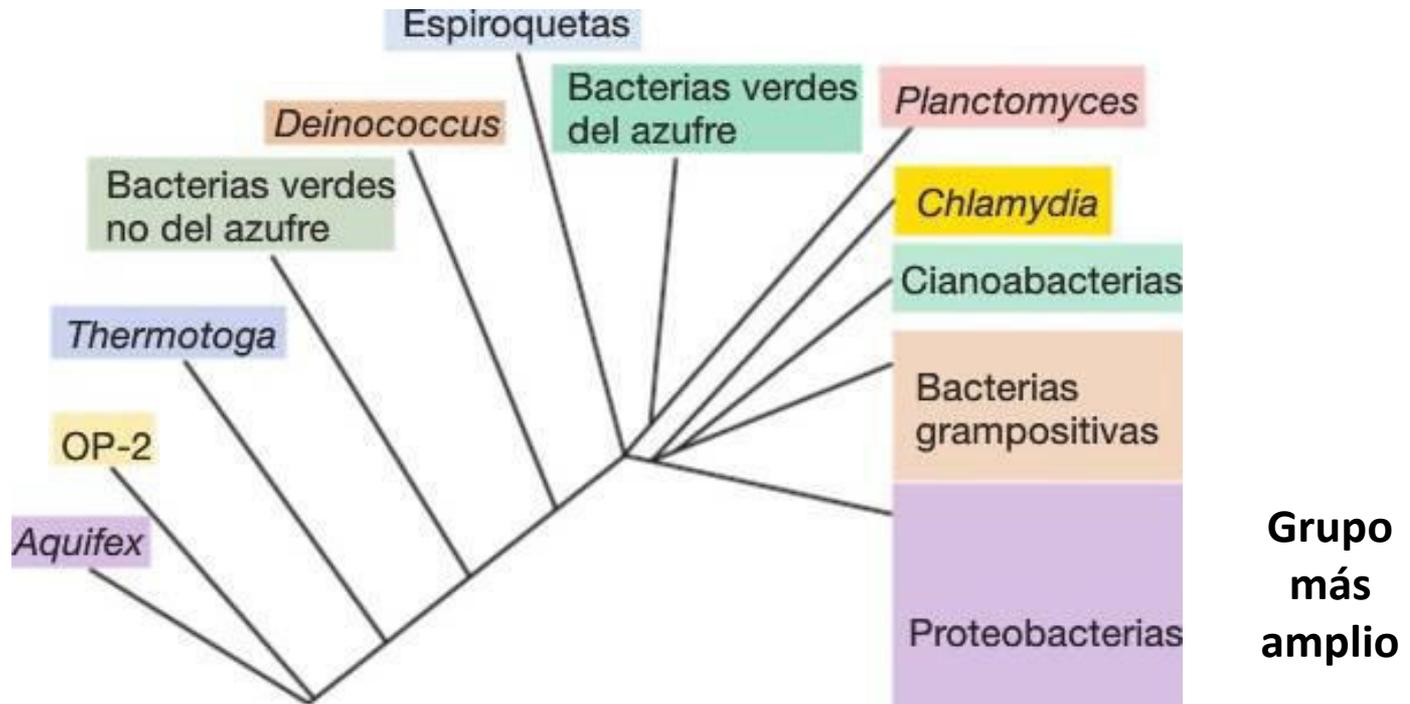


- Más de 60 ATB producidos por estreptomicetos se emplean en medicina humana y veterinaria, agricultura e industria.
- La búsqueda de nuevos ATB producidos por estreptomicetos continúa, porque los ATB conocidos NO son capaces de controlar eficazmente muchas enfermedades infecciosas.
- El continuo desarrollo de patógenos resistentes a los ATB exige el descubrimiento continuo de nuevos productos.



- Una hipótesis sobre el sentido de la producción de ATB por *Streptomyces* propone que dicha producción, que está ligada a la esporulación (un proceso inducido a su vez por la carencia de nutrientes), podría ser un mecanismo para inhibir el crecimiento de organismos que compitan con *Streptomyces* por nutrientes limitantes.
- Esto les permitiría completar el proceso de esporulación y formar una estructura de resistencia que incremente sus opciones de supervivencia.

# Árbol filogenético *Bacteria*

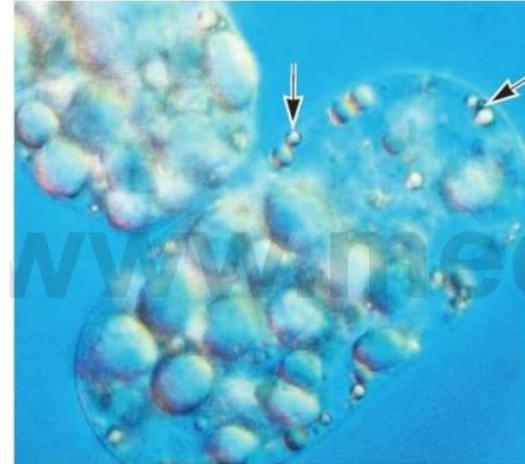


- Los tamaños relativos de los recuadros coloreados indican el número de géneros y especies que se conocen actualmente en cada grupo.
- La línea evolutiva marcada en el árbol como OP-2 no representa microorganismos cultivado sino una secuencia de ARNr aislado de un organismos en una muestra natural.



Bacteria roja del azufre *Chromatium*

Bacteria oxidante de azufre *Achromatium*



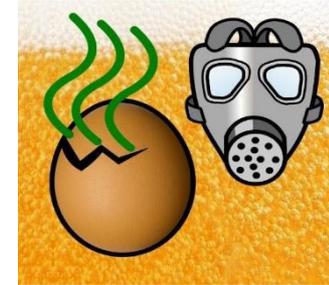
**FOTÓTROFA**

**QUIMIOLITÓTROFA**

Células bacilares largas y rojizas en esta micrografía de una comunidad microbiana natural.

En ambas células se aprecian glóbulos de azufre elemental (flechas).

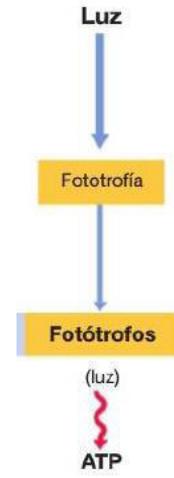
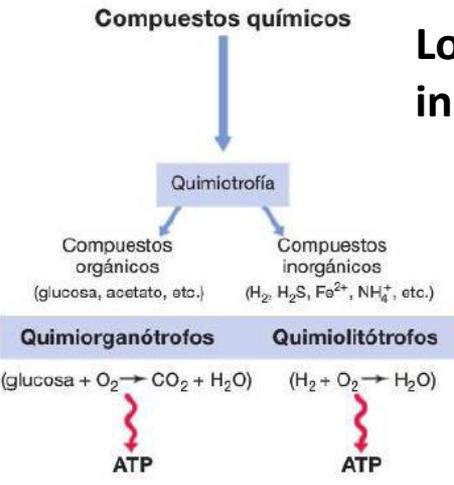
Los 2 realizan la oxidación del sulfuro de hidrógeno ( $H_2S$ ).



- Muchos de Quimiolitótrofos usan  $H_2S$  (olor a huevo podrido) en su metabolismo, produciendo azufre elemental que se deposita dentro o fuera de la células.
- El S es un producto de la oxidación del  $H_2S$  y puede ser oxidado posteriormente a  $SO_4^{2-}$ .
- El sulfuro y el azufre se oxidan para permitir funciones metabólicas tan importantes como la fijación de  $CO_2$  (AUTOTROFÍA) o la generación de energía.

### Opciones metabólicas para la obtención de energía

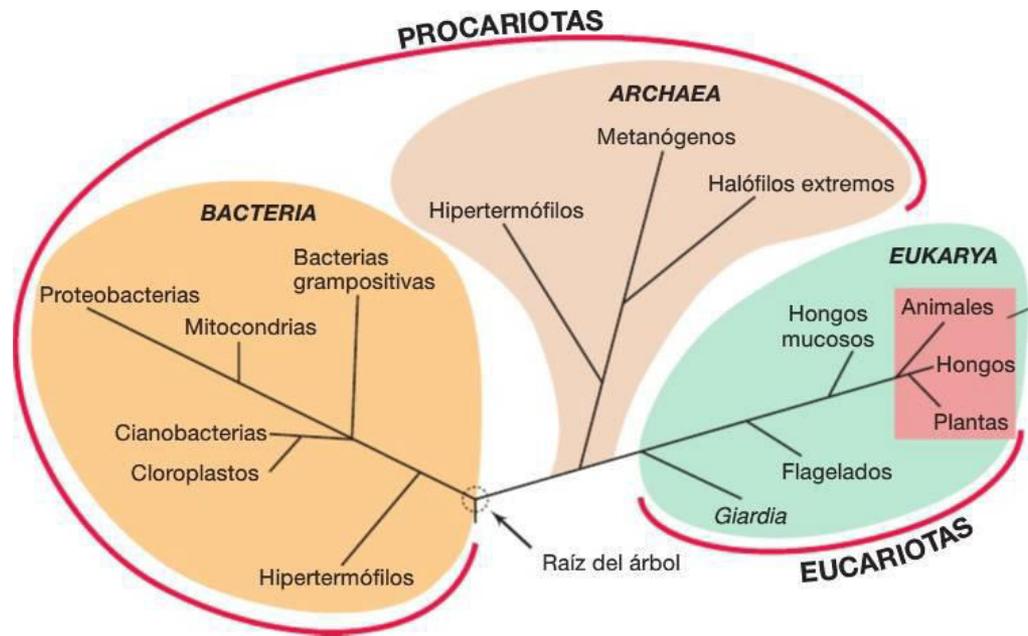
Los organismos QUIMIÓTROFOS oxidan compuestos orgánicos o inorgánicos para producir ATP.



Los organismos FOTÓTROFOS convierten la energía solar en energía química en forma de ATP.



- Otros procariontes frecuentes del suelo y del agua, y especies que viven en las plantas o en los animales, bien sea de modo casual u originando enfermedades, también son Proteobacterias.
- Como especies de *Pseudomonas*, muchas de las cuales pueden degradar compuestos orgánicos complejos y algunas veces tóxicos, tanto naturales como sintéticos, y *Azotobacter*, una bacteria fijadora de nitrógeno en estado libre.
- Muchos patógenos importantes son Proteobacterias, como *Salmonella*, *Rickettsia*, *Neisseria* y muchas otras.
- Por otra parte, de esta división proceden las mitocondrias que surgieron por endosimbiosis, un suceso que probablemente ocurrió varias veces durante el curso de la evolución.



# BACTERIAS FOTOTRÓFICAS ROJAS



- Llevan a cabo fotosíntesis ANOXIGÉNICA, que en contraposición a las cianobacterias NO liberan O<sub>2</sub>
- Grupo morfológicamente diverso y la clasificación se ha establecido conforme a criterios filogenéticos, morfológicos y fisiológicos.
- Sus diferentes géneros caen dentro de las Alfa-, Beta-, o Gammaproteobacterias.
- Contienen bacterioclorofilas y pigmentos carotenoides que les proporcionan colores espectaculares: púrpura, rojo o marrón



*Rhodospirillum rubrum*

Mutante SIN carotenoides,  
la bacterioclorofila es azul.

*Rhodobacter sphaeroides*

Carece de uno de los carotenoides de  
la cepa silvestre, siendo más verdoso.



# Proteobacterias: Bacterias rojas fototrofas

**Géneros clave:**

*Chromatium*  
*Ectothiorhodospira*  
*Rhodobacter*  
*Rhodospirillum*

- Realizan la fotosíntesis anoxigénica  
- Contienen bacterioclorofila y carotenos que son los responsables del color rojo, púrpura y marrón

Las membranas fotosintéticas intracelulares se generan por invaginación de la membrana plasmática

**Existen dos grupos de bacterias rojas:**

- Bacterias rojas del azufre
- Bacterias rojas NO del azufre

# BACTERIAS ROJAS DEL AZUFRE

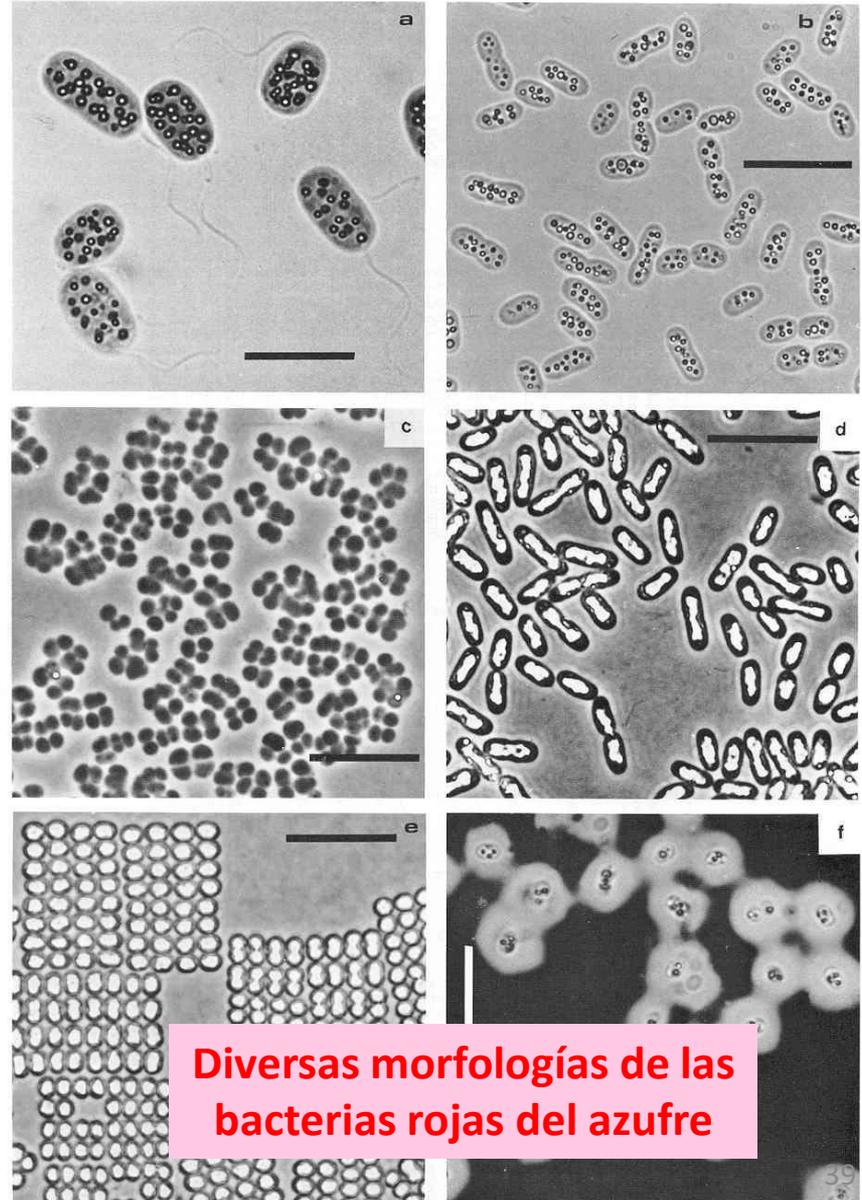


Usan  $H_2S$  como dador de  $e^-$  para la reducción fotosintética del  $CO_2$



Pertenecen a la clase de  $\gamma$ -Proteobacteria  
*Chromatium* almacena granos de S  
*Ectothiorhodospira* produce S fuera de la célula  
*Halorhodospira* es halófila extrema

Viven en zonas anóxicas de hábitats acuáticos donde se acumula  $SH_2$  y llega la luz, como lagos o fuentes sulfurosas



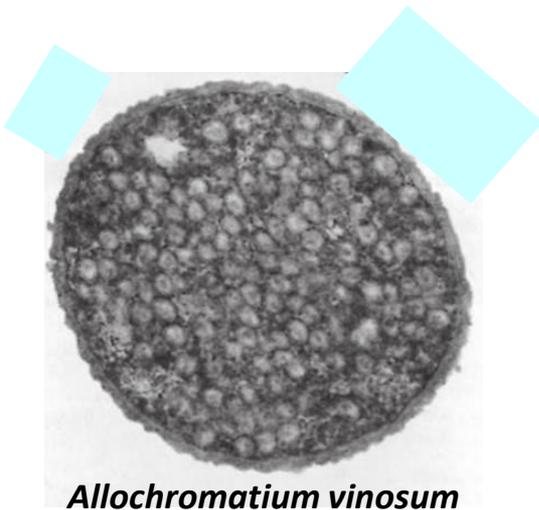
Diversas morfologías de las bacterias rojas del azufre

# BACTERIAS ROJAS DEL AZUFRE



- Las bacterias rojas producen sistemas membranosos fotosintéticos de diversas morfologías en sus citoplasma en los cuales se insertan sus pigmentos.
- Estas membranas internas permiten a las bacterias rojas disponer de mayor cantidad de pigmentos y por tanto utilizar mejor la luz disponible.
- Cuando estas células se cultivan en condiciones de alta intensidad lumínica, se reduce la cantidad de membranas y pigmentos.
- En contraposición, a baja intensidad de luz, las células están repletas de membranas y ftopigmentos.

Membranas fotosintéticas en forma de láminas



Membranas en forma de vesículas esféricas individuales.

# BACTERIAS ROJAS DEL AZUFRE

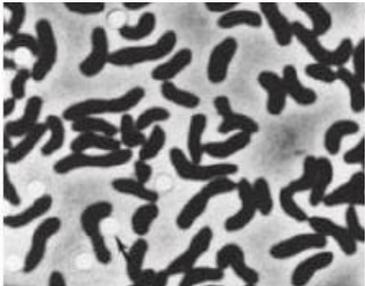


- Usan sulfuro de hidrógeno ( $H_2S$ ) como donante de  $e^-$  para la reducción del  $CO_2$  durante la fotosíntesis
- El sulfuro se oxida hasta azufre elemental ( $S^0$ ) que se acumula en glóbulos dentro de las células; este S desaparece más tarde al ser oxidado hasta  $SO_4^{2-}$ .
- Todas las bacterias rojas del S descubiertas hasta el momento son Gammaproteobacteria.



*Chromatium okenii*

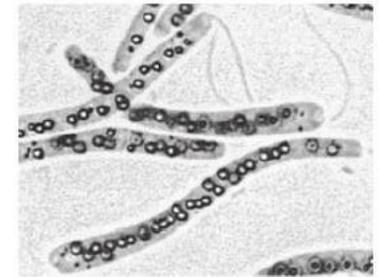
Glóbulos de azufre elemental  
dentro de las células



*Ectothiorhodospira mobilis*

Glóbulos externos de  
azufre (flecha)

Glóbulos de azufre  
dentro de las células



*Thiospirillum jenense*

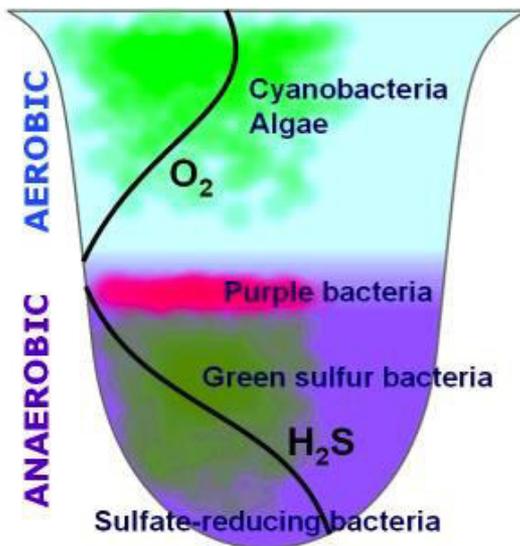
# BACTERIAS ROJAS DEL AZUFRE



Generalmente en zonas ANÓXICAS iluminadas de lagos y otros hábitats acuáticos en los que se acumula  $H_2S$  y también en MANANTIALES SULFUROSOS, en los que  $H_2S$  generado biológica o geoquímicamente puede desencadenar explosiones poblacionales de estas bacterias.



- Los lagos meromícticos (permanentemente estratificados) son los más favorables para su desarrollo.
- Éstos se estratifican porque tiene agua más densa (usualmente salina) en el fondo y agua menos densa (normalmente dulce) mas cercana a la superficie.
- Si existe el suficiente sulfato para permitir su reducción, el sulfuro producido en los sedimentos difunde hacia las aguas profundas anóxicas y es aquí donde las bacterias rojas del azufre pueden acabar formando densas masas celulares: explosiones poblacionales, *blooms* o flores de mar, habitualmente en asociación con bacterias verdes fotótrofas.





# BACTERIAS ROJAS DEL AZUFRE

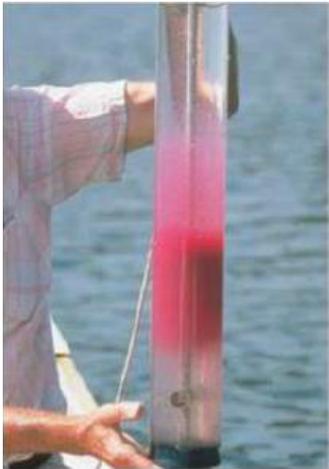


## EXPLOSIONES POBLACIONALES, BLOOMS o FLORES DE MAR

*Lamprocystis roseopersidna*, en una fuente sulfurosa de Madison, Wisconsin.

Las bacterias crecen cerca del fondo de la charca termal y flotan hasta la superficie (gracias a sus vesículas de gas) cuando se las remueve.

El color verde corresponde al alga *Spirogyra*.



Muestra de agua obtenida a una profundidad de 7 metros en el lago Mahoney de la Columbia Británica.

El organismo más abundante es *Amoebobacter purpureus*.

Capas de bacterias rojas del azufre provenientes de un pequeño lago estratificado en Michigan.

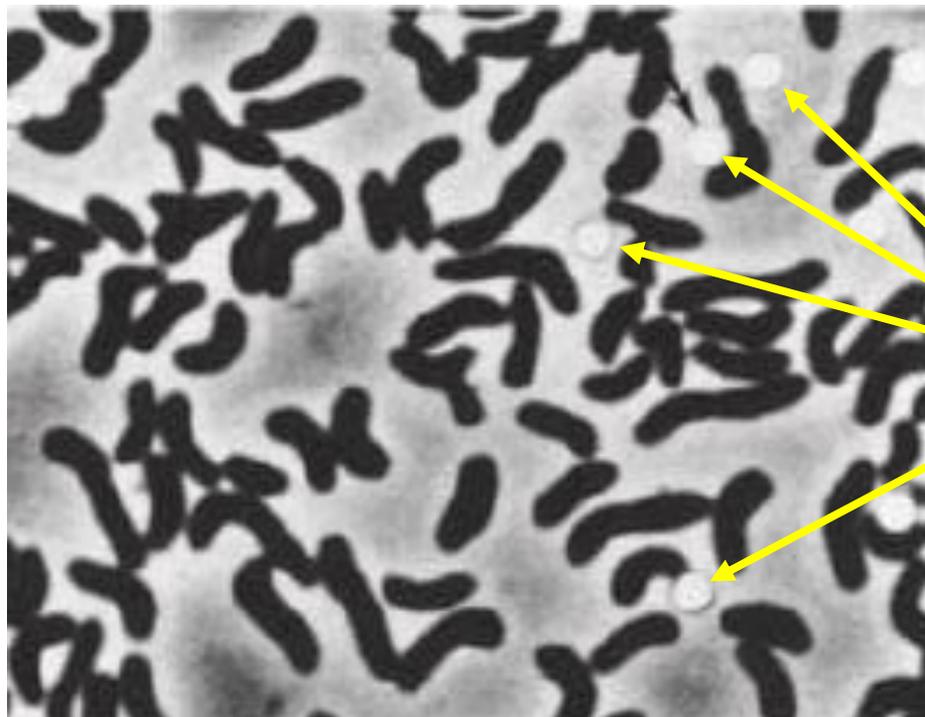
Las bacterias rojas del azufre incluyen especies de *Chromatium* (bacilos grandes) y *Thiocystis* (cocos pequeños).



# *Ectothiorhodospira* y *Halorhodospira*



- A diferencia de otras bacterias rojas del azufre estos organismos oxidan  $H_2S$  pero producen  $S^0$  fuera de la célula en lugar de en su interior.
- Estos géneros cuentan con numerosas especies que son halófilos extremos o alcalófilos, incluyendo los organismos más extremos con estas características de entre todas las bacterias conocidas.
- Habitualmente se encuentran en lagos salinos, lagos alcalinos y en salmueras.



glóbulos externos  
de azufre



# BACTERIAS QUIMIOLITOTROFAS



Obtienen la ENERGIA de la oxidación de compuestos INORGÁNICOS

- Se caracterizan fisiológicamente por su capacidad para utilizar donantes inorgánicos de  $e^-$  como fuente de energía.
- La mayoría son también capaces de crecimiento AUTÓTROFO compartiendo un rasgo fisiológico esencial con las bacterias fotótroficas y las cianobacterias
- Capaces de oxidar azufre reducido, compuestos nitrogenados o  $H_2$ .

## Rendimiento energético de oxidación de donadores de electrones inorgánicos

DONADOR	REACCION	$\Delta G^\circ$ (kJ/reacción)	electrones
Fosfito	$4HPO_3^{2-} + SO_4^{2-} + H^+ \rightarrow 4HPO_4^{2-} + HS^-$	-91	2
Hidrógeno	$H_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow H_2O$	-237.2	2
Sulfuro	$HS^- + H^+ + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow S^0 + H_2O$	-209.4	2
Azufre	$S^0 + 1\frac{1}{2}O_2 + H_2O \rightarrow SO_4^{2-} + 2H^+$	-587.0	6
Ion amonio	$NH_4^+ + 1\frac{1}{2}O_2 \rightarrow NO_2^- + 2H^+ + H_2O$	-274.7	6
Nitrito	$NO_2^- + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow NO_3^-$	-74.1	2
Fe ferroso	$Fe^{2+} + H^+ + \frac{1}{4}O_2 \rightarrow Fe^{3+} + \frac{1}{2}H_2O$	-32.9	1

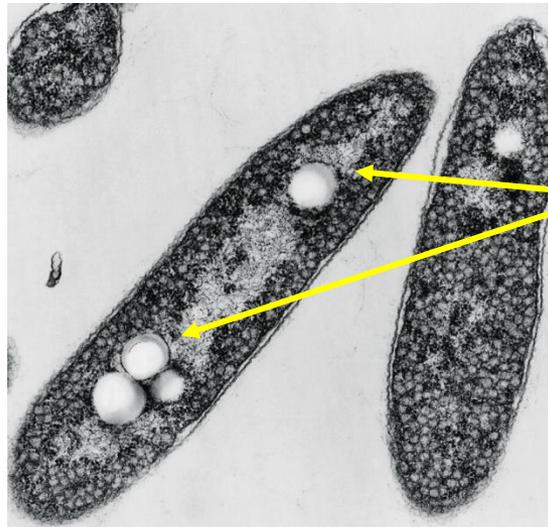
Producción de ATP: -31.8 kJ/mol

# BACTERIAS ROJAS NO DEL AZUFRE



- Pertenecen a la clase de  $\alpha$  o  $\beta$ : *Rhodobacter*, *Rhodospirillum*
- Tienen un metabolismo versátil, son principalmente son FOTOHETERÓTROFAS.
- Usan compuestos orgánicos como fuente de carbono (ácidos grasos; aminoácidos; azúcares; compuestos aromáticos).
- Pueden ser FOTOAUTÓTROFAS.
- Usan  $H_2$  o bajos niveles de  $SH_2$  para reducir el  $CO_2$
- Pueden ser QUIMIOORGANOTROFAS en oscuridad, realizando respiración anaerobia o fermentación.

*Rhodobacter capsulatus*



Granulos de poli- $\beta$ -hidroxibutirato

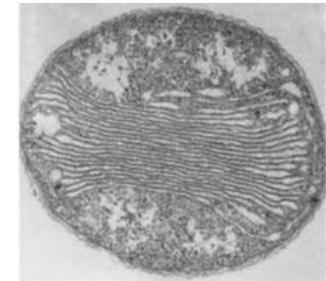
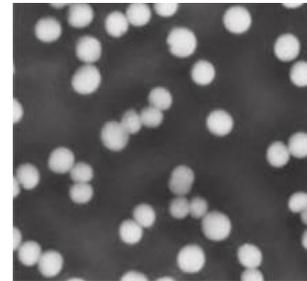
# BACTERIAS NITRIFICANTES



## Bacterias oxidantes de amoníaco y nitritos ( $\text{NO}_2^-$ )

- Capaces de crecer QUIMIOLITOTRÓFICAMENTE utilizando compuestos nitrogenados inorgánicos reducidos como fuente de energía.
- Filogenéticamente se distribuyen entre 4 de las clases de proteobacterias: alfa, beta, gamma y delta.
- No se conoce ningún quimiolitótrofo que sea capaz de realizar la oxidación completa del amoníaco hasta nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ).
- En consecuencia, la nitrificación en la naturaleza resulta de la acción secuencial de 2 grupos distintos de organismos, las bacterias OXIDANTES DEL AMONÍACO, a veces llamadas nitrosificantes y las bacterias OXIDANTES DE NITRITOS, que son de hecho las productoras de nitratos.

*Nitrosococcus oceani* bacteria NITROSIFICANTE



S. W. Watson



S. W. Watson

*Nitrobacter winogradskyi* bacteria NITRIFICANTE

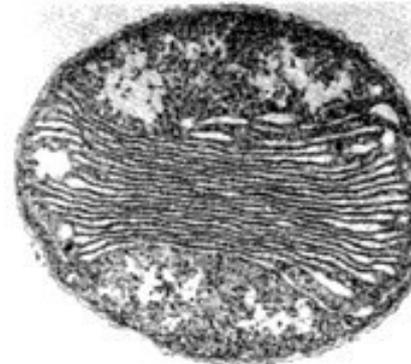
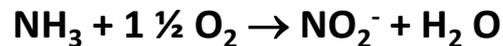
# BACTERIAS NITRIFICANTES



- ❖ Se encuentran en el suelo y en el agua, donde haya una elevada producción de  $\text{NH}_3$ .
- ❖ Descomposición de proteínas, alcantarillado, plantas depuradoras, vertidos de aguas residuales.



*Nitrosomonas*



*Nitrococcus*



Muchas poseen un sistema de membranas internas donde se localiza el enzima clave, la AMONIACO MONOOXIGENASA, que oxida  $\text{NH}_3$  (amoníaco) hasta  $\text{NH}_2\text{OH}$  (hidroxilamina) y la NITRITO OXIDASA, que oxida  $\text{NO}_2^-$  (nitrito) hasta  $\text{NO}_3^-$ .



# BACTERIAS NITRIFICANTES



Las bacterias NITROSIFICANTES tienen nombres de género que comienzan por NITROSO.

Las bacterias productoras de  $\text{NO}_3^-$  tienen nombres de género que comienzan por NITRO.

## *Nitrosomonas*

## *Nitrobacter*

Características	Género	Grupo filogenético	Habitats
<b>Oxidación amonio:</b>			
Gram-negativas, bacilos cortos o largos, móviles (flagelo polar) o no inmóviles; sistemas membranosos periféricos	<i>Nitrosomonas</i>	beta	Suelo, aguas residuales, agua dulce y salada
Cocos grandes, móviles; membranas vesiculares o periféricas	<i>Nitrosococcus</i>	gamma	Agua dulce y salada
Espirales, móviles (flagelos peritricos); sistema de membranas no aparente	<i>Nitrospira</i>	beta	Suelo, agua dulce
Pleomórficas, lobulares, células compartimentadas; móviles (flagelos peritricos)	<i>Nitrosolobus</i>	beta	Suelo
<b>Oxidación nitrito:</b>			
Bacilos cortos, crecen por gemación, ocasionalmente móviles (flagelo subterminal único); sistema de membranas a modo de cubierta polar	<i>Nitrobacter</i>	alfa	Suelo, agua dulce y marina
Bacilos largos y finos, inmóviles; sistema de membranas no aparente	<i>Nitrospina</i>	delta	Marinas
Cocos grandes, móviles (uno o dos flagelos subterminal); sistema de membranas organizados en tubos al azar	<i>Nitrococcus</i>	gamma	Marinas
Células helicoidales o con forma de vibrio, inmóviles; carecen de membranas internas	<i>Nitrospira</i>	Grupo <i>Nitrospira</i>	Suelo, agua marina

# ECOLOGÍA, AISLAMIENTO Y CULTIVO



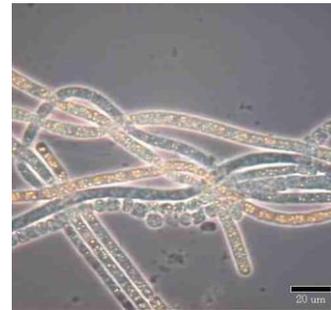
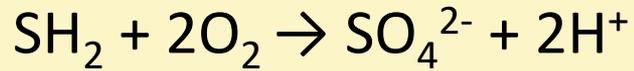
- **Ampliamente distribuidas en suelos y aguas.**
- **Son más abundantes en hábitats con una considerable concentración de amoníaco, lugares donde se produce mucha descomposición de proteínas (amonificación) y también en plantas de tratamiento de aguas residuales.**
- **Se desarrollan bien en lagos y corrientes de agua que reciben aportes de aguas residuales porque éstas son ricas en amoníaco**
- **Los cultivos de enriquecimiento de bacterias nitrificantes se consiguen usando medios con sales minerales que contienen amoniaco ( $\text{NH}_3$ ) o nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) como dador de  $\bar{e}$  y bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) como única fuente de carbono.**



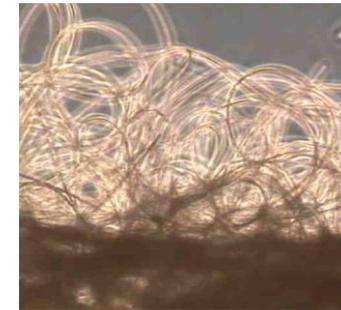
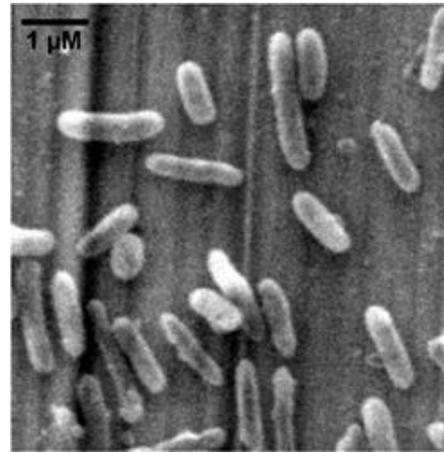
# BACTERIAS OXIDANTES DEL AZUFRE Y EL HIERRO



- Pueden crecer QUIMIOLITOTRÓFICAMENTE sobre compuestos reducidos de azufre (propiedad característica de un variado grupo de las proteobacterias).
- Existen 2 amplias clases ecológicamente distintas de bacterias oxidantes del azufre, aquellas que viven a pH neutro y aquellas que viven a pH ácido.
- Algunos de estos acidófilos también son capaces de crecer quimiolitotróficamente utilizando ion ferroso ( $\text{Fe}_2^+$ ) como donante de  $\bar{e}$ .



*Thiobacillus denitrificans*



*Beggiatoa*

*Thiobacillus ferrooxidans*





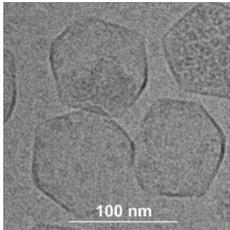
# Características fisiológicas de procariontes quimiolitótrofos que oxidan azufre

Géneros y especies	Donador inorgánico de e	Rango de pH	Grupo filogenético
<b>Especies que crecen poco o nada en medio orgánico:</b>			
<i>Thiobacillus thioparus</i>	H <sub>2</sub> S, sulfatos, S <sup>0</sup> , S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	6-8	Beta
<i>Thiobacillus denitrificans</i> <sup>b</sup>	H <sub>2</sub> S, S <sup>0</sup> , S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	6-8	Beta
<i>Halothiobacillus neapolitanus</i>	S <sup>0</sup> , S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	6-8	Gamma
<i>Acidithiobacillus thiooxidans</i>	S <sup>0</sup>	2-4	Gamma
<i>Acidithiobacillus ferrooxidans</i>	S <sup>0</sup> , sulfatos metálicos, Fe <sup>2+</sup>	2-4	Gamma
<b>Especies que crecen bien en medio orgánico:</b>			
<i>Starkeya novella</i>	S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	6-8	Alfa
<i>Thiomonas intermedia</i>	S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	3-7	Beta
<b>Quimilitótrofos del azufre, filamentosos:</b>			
<i>Beggiatoa</i>	H <sub>2</sub> S, S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	6-8	Gamma
<i>Thiothrix</i>	H <sub>2</sub> S	6-8	Gamma
<i>Thioploca</i> <sup>c</sup>	H <sub>2</sub> S, S <sup>0</sup>	—	Gamma
<b>Otros géneros:</b>			
<i>Achromatium</i>	H <sub>2</sub> S	—	Gamma
<i>Thiomicrospira</i>	S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>2-</sup> , H <sub>2</sub> S	6-8	Gamma
<i>Thiosphaera</i> <sup>d</sup>	H <sub>2</sub> S, S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>2-</sup> , H <sub>2</sub>	6-8	Alfa
<i>Thermothrix</i>	H <sub>2</sub> S, S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>2-</sup> , SO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	6,5-7,5	Beta
<i>Thiovulum</i>	H <sub>2</sub> S, S <sup>0</sup>	6-8	Epsilon

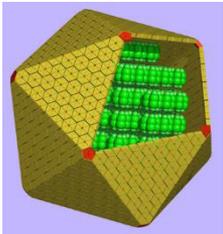
# CULTIVO



- ❖ Algunos quimiolitótrofos del azufre son **ESTRICTOS**, forzados a un estilo de vida basado en el uso de compuestos **INORGÁNICOS** como donadores de  $e^-$ .
- ❖ Cuando crecen de este modo, también son **AUTÓTROFOS** y transforman el  $CO_2$  en material celular mediante las reacciones del Ciclo de Calvin.



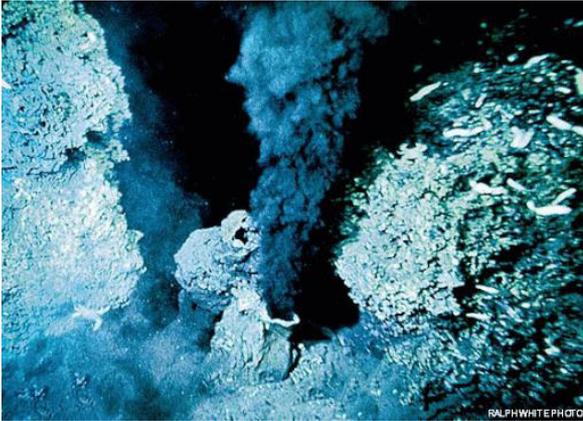
- En las células de los quimiolitótrofos estrictos hay **CARBOXISOMAS**: inclusiones citoplasmáticas poliédricas que contienen la **EZ Ribulosa-1,5-bisfosfato-carboxilasa-oxigenasa** del Ciclo de Calvin, que se encarga de la fijación del  $CO_2$ .
- Otros quimiolitótrofos del azufre son **FACULTATIVOS**, en tanto que pueden crecer bien como **QUIMIOLITÓTROFOS** (y por tanto, **AUTOTRÓFICAMENTE**) o bien como **QUIMIOORGANÓTROFOS**.

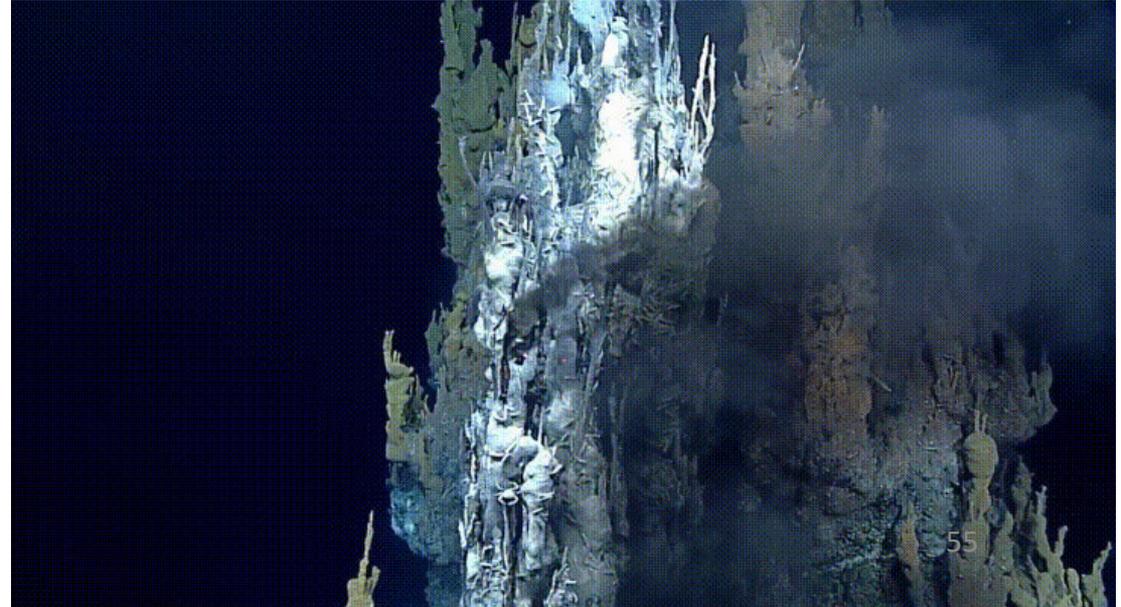
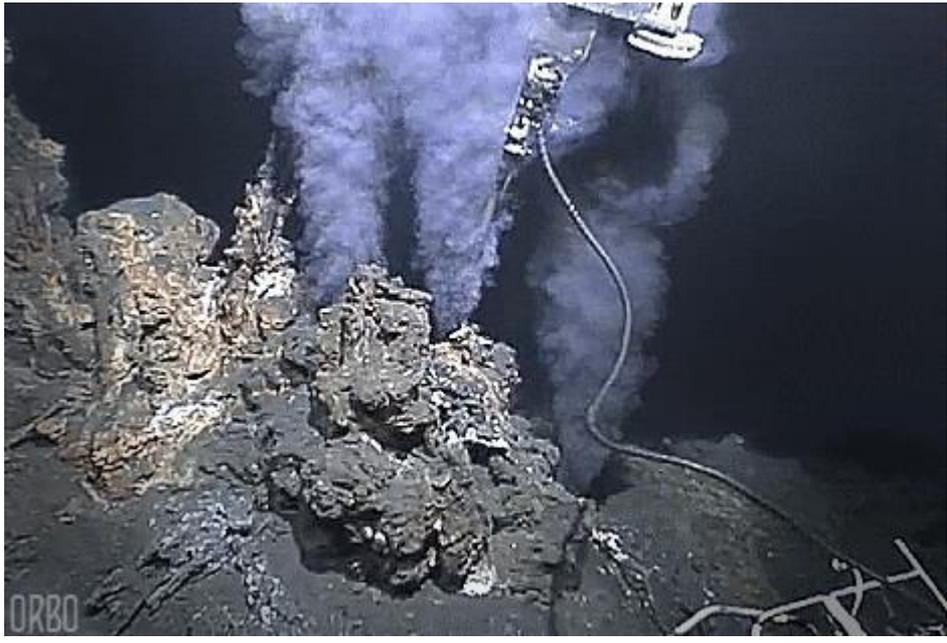


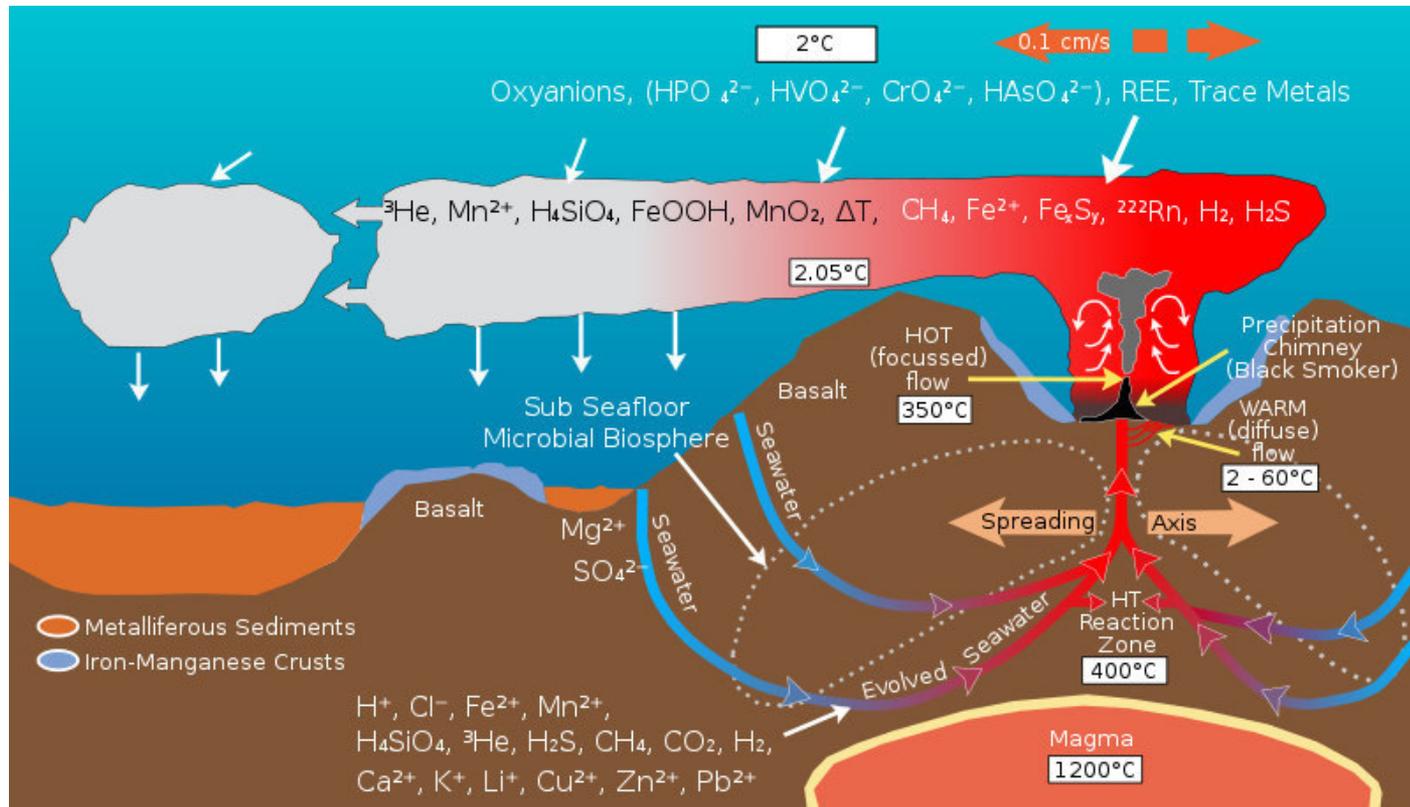
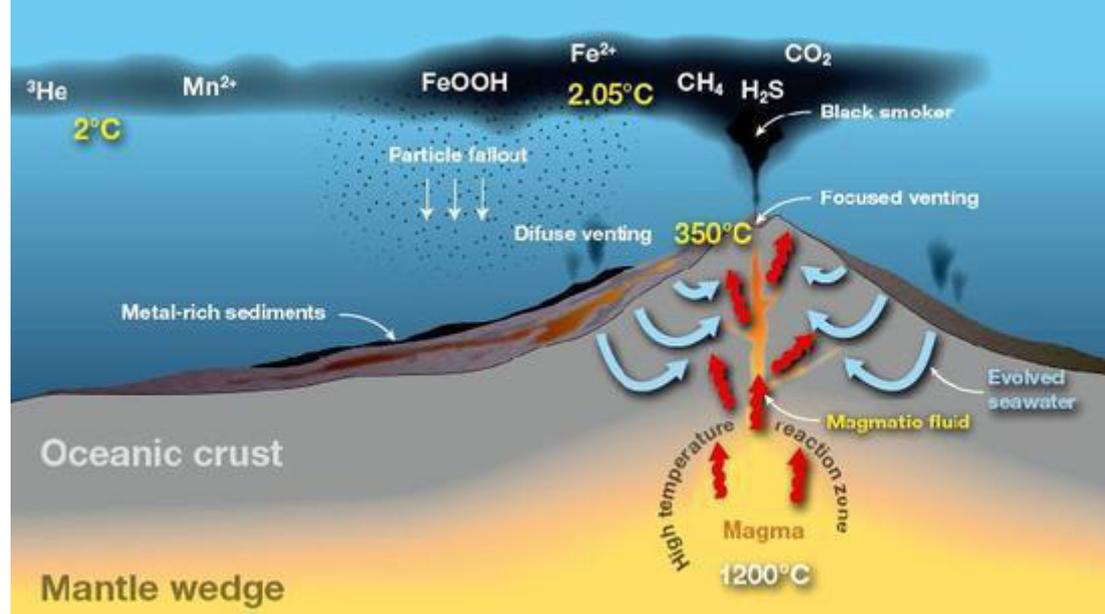
La mayoría de las especies de *Beggiatoa* pueden obtener energía de la oxidación de compuestos inorgánicos de azufre, pero **CARECEN** de las enzimas del Ciclo de Calvin. Por tanto, requieren compuestos orgánicos como fuentes de carbono. Este estilo de vida nutricional se denomina **MIXOTROFIA**.



En la naturaleza *Beggiatoa* se encuentra fundamentalmente en hábitats ricos en  $H_2S$ , como los manantiales sulfurosos, chimeneas hidrotermales lechos de algas en putrefacción, rizosfera de plantas que viven en suelos inundados y en consecuencia carentes de oxígeno, capas cenagosas de lagos y aguas contaminadas con aguas residuales.









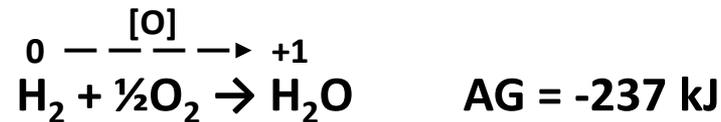
# BACTERIAS OXIDANTES DEL HIDRÓGENO



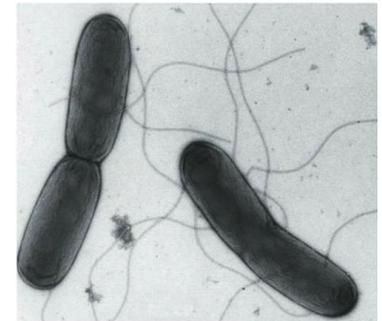
## Géneros clave:

*Ralstonia* ( $\beta$ -Proteobacteria), *Pseudomonas* ( $\gamma$ -Proteobacteria), *Alcaligenes* ( $\beta$ -Proteobacteria), *Paracoccus* ( $\alpha$ -Proteobacteria)

Numerosas bacterias pueden crecer con  $H_2$  como único donante de  $e^-$  y con  $O_2$  como aceptor de  $e^-$  utilizando como metabolismo energético la reacción «knallgas» es decir la reducción de  $O_2$  con  $H_2$ :



- La mayoría pueden crecer **AUTOTRÓFICAMENTE** utilizando el Ciclo de Calvin para incorporar  $CO_2$  generado en la oxidación del CO.
- Las bacterias carboxidotróficas funcionan como un sumidero de CO, limpiando la atmósfera de este gas tóxico.
- Se conocen Gram + y Gram -.



*Ralstonia eutropha*,  
quimiolitótrofo

Todas las bacterias oxidantes de hidrógeno contienen una o más enzimas **HIDROGENASAS** que funcionan uniendo  $H_2$  y utilizándolo para producir ATP o bien por su poder reductor para el crecimiento autotrófico.



- ❖ Casi todas las bacterias del hidrógeno son **QUIMIOLITÓTROFOS FACULTATIVOS** que también pueden crecer de modo **QUIMIOORGANÓTROFO** utilizando compuestos **ORGÁNICOS** como fuente de energía.
- ❖ Esta es una diferencia importante con muchos quimiolitótrofos del azufre o bacterias nitrificantes.

### Características de algunas especies comunes que oxidan hidrógeno

Género y especie	Desnitrificación	Crece en fructosa	Movilidad	Grupo filogenético	Otra característica
<b>Gram-negativas</b>					
<i>Acidovorax facilis</i>	-	+	+	Beta	Hidrogenasa unida a membranas
<i>Ralstonia eutropha</i>	+	+	+	Beta	Hidrogenasa unida a membranas y citoplásmica
<i>Achromobacter xylosoxidans</i>	-	+	+	Beta	Hidrogenasa unida a membranas y citoplásmicas hydrogenases
<i>Aquaspirillum autotrophicum</i>	-	-	+	Beta	Hidrogenasa unida a membranas
<i>Pseudomonas carboxydovorans</i>	-	-	+	Gamma	Hidrogenasa unida a membranas; también oxidan CO
<i>Hydrogenophaga flava</i>	-	+	+	Beta	Colonias de un amarillo brillante
<i>Paracoccus denitrificans</i>	+	+	-	Alfa	Hidrogenasa unida a membranas; desnitrificador fuerte
<i>Aquifex pyrophilus</i>	+	-	+	Grupo Aquifex <sup>b</sup>	Hipertermófilo, crece microaerofílicamente o anaeróbicamente (con NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ), quimiolitótrofo estricto; también utiliza S <sup>0</sup> o S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>2-</sup> como donador de electrones
<i>Hydrogenobacter thermophilus</i>	-	-	-	Grupo Aquifex <sup>b</sup>	Como Aquifex, pero aeróbio estricto (microaerófilo)
<b>Gram-positivas</b>					
<i>Bacillus schlegelii</i>	-	-	+	Gram-positivo <sup>c</sup> de GC bajo	Produce endosporas; termófilo; también usa CO o S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>2-</sup> como donador de electrones
<i>Arthrobacter</i> sp.	-	+	-	Actinobacterias <sup>d</sup>	Hidrogenasa unida a membranas
<i>Mycobacterium gordonae</i>	-	?	-	Actinobacterias <sup>d,e</sup>	Ácido-alcohol resistente; colonias entre amarillo y naranja



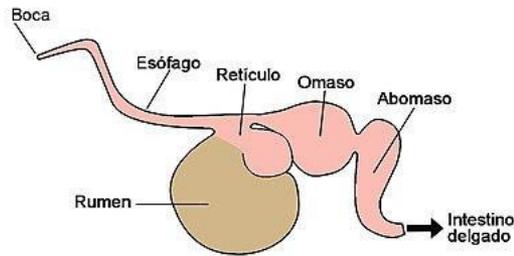
- La mayoría de los miembros de estos grupos son quimiolitótrofos estrictos ya que no pueden crecer en ausencia de una fuente de energía inorgánica.
- En contraposición, los quimiolitótrofos del hidrógeno pueden alternar entre sus modos metabólicos quimiolitotróficos y quimioorganotróficos según lo requieran las condiciones reinantes en sus hábitats.
- Cuando crecen quimiolitotróficamente utilizando  $H_2$  la mayoría de las bacterias del hidrógeno crecen mejor en condiciones de microaerobiosis (5-10%  $O_2$ ) porque normalmente las hidrogenasas son sensibles al  $O_2$ .
- Para el crecimiento quimiolitotrófico también es necesaria la presencia de níquel en el medio, porque prácticamente todas las hidrogenasas requieren  $Ni^{2+}$  como cofactor esencial.
- Unas pocas bacterias del hidrógeno son también capaces de fijar nitrógeno molecular, lo que hace posible su crecimiento en un medio con sales minerales provisto tan sólo de  $H_2$ ,  $O_2$ ,  $CO_2$  y  $N_2$  como fuentes de carbono, energía y nitrógeno.

# BACTERIAS METANÓTROFAS Y METILÓTROFAS



## *Methylomonas, Methylobacter*

- El metano ( $\text{CH}_4$ ) es muy abundante en la naturaleza.
- Se produce en ambientes ANAEROBIOS por acción de ARQUEAS Metanogénicas y está presente en gran cantidad en pantanos, cienos, marismas, lagos, el rumen y en el tracto intestinal de mamíferos.
- El metano es un componente principal del gas natural y también se encuentra en numerosos yacimientos de carbón.





- El metano es una molécula químicamente estable pero ciertas bacterias AEROBIAS, los metanótrofos, son perfectamente capaces de oxidarlo.
- Éstas usan el metano y algunos otros compuestos de un solo carbono como donadores de e<sup>-</sup> para la generación de energía y como única fuente de carbono.
- Estas bacterias están muy extendidas en la naturaleza, tanto en suelos como en agua.
- Presentan diversas morfologías y están relacionadas entre sí tanto en el sentido filogenético como en su capacidad para oxidar metano.
- El metano es poco abundante en sedimentos marinos, en los que la forma principal de respiración es la reducción anaeróbica de sulfatos y no la metanogénesis

metano  
monooxigenasa

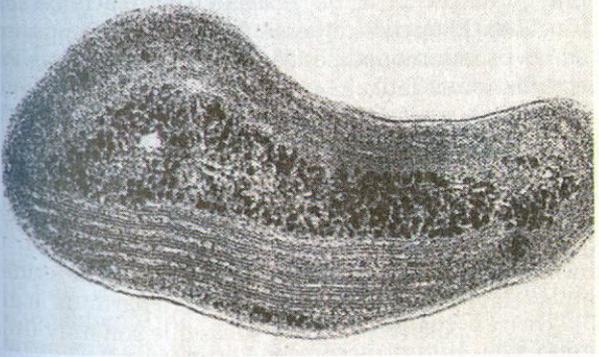




# Proteobacterias: Bacterias metanotrofas y metilotrofas

**Géneros clave**  
*Methylomonas*  
*Methylobacter*

Pertencen a alfa y gamma-Proteobacterias



**Figura 12.15** Micrografías electrónicas de metanotrofos. (a) Una especie de *Methylosinus* ilustrando el sistema membranoso tipo II. Diámetro celular de 0,6  $\mu\text{m}$ . (b) *Methylococcus capsulatus* ilustrando el sistema membranoso tipo I.

**Son quimiolitotrofas**  
Usan  $\text{CH}_4$  y otros compuestos de un solo carbono como fuente de carbono y energía

Poseen metano **monooxigenasa**, una enzima clave para la oxidación del  $\text{CH}_4$



Metanotrofos simbiotes de mejillones marinos

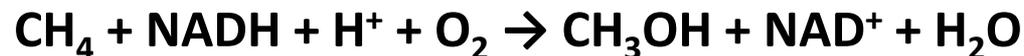


## METANÓTROFO

- ✓ Organismo que puede oxidar metano.

- Muchos de los metilótrofos también metanótrofos.
- Sin embargo los metanótrofos son únicos ya que pueden crecer no sólo utilizando algunos de los compuestos de un solo carbono más oxidados, sino también usando metano.
- Los metanótrofos tienen una enzima clave, la MONOXIGENASA de metano, que introduce un átomo de oxígeno del O<sub>2</sub> en el metano, formando metanol: CH<sub>3</sub>OH.
- La necesidad de O<sub>2</sub> como reactivo en la oxigenación inicial del metano explica por qué los metanótrofos son aerobios estrictos.

metano  
monooxigenasa



## METILÓTROFO



- ✓ Organismo capaz de crecer usando compuestos que NO CONTIENEN enlaces C—C.
- ✓ Algunos metilótrofos son metanótrofos.

# CLASIFICACIÓN DE LOS METANÓTROFOS



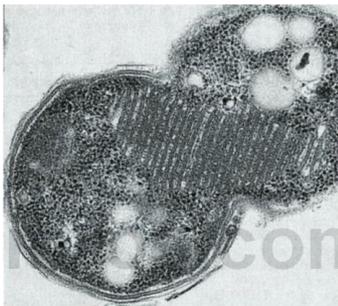
- Se clasifican en 2 grupos principales, según su estructura celular interna, su filogenia y sus rutas de asimilación de carbono.
- Presentan sistemas de membranas internas para la oxidación del  $\text{CH}_4$ .

## Tipo I: gammaproteobacterias

Asimilan compuestos de 1 solo carbono por medio del ciclo de la ribulosa monofosfato.

Las membranas están distribuidas en haces de vesículas discoideas distribuidas por toda la célula.

Se caracterizan por la carencia de un ciclo del ácido cítrico completo (ya que carecen de la enzima  $\alpha$ -cetoglutarato deshidrogenasa).



*Methylococcus capsulatus*

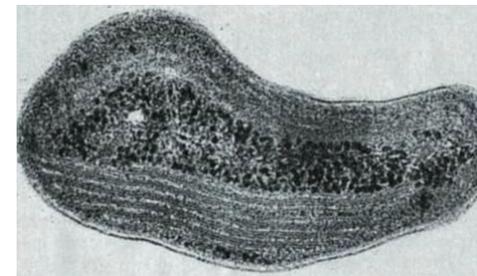
## Tipo II: alfavproteobacterias

Asimilan intermediarios  $\text{C}_1$  por medio de la ruta de la serina.

Presentan membranas emparejadas que se extienden por toda la periferia de la célula.

La enzima clave monooxigenasa de metano se localiza en estas membranas.

Poseen el ciclo del ácido cítrico completo.



*Methylosinus sp.*



La carencia de un ciclo del ácido cítrico completo disminuye considerablemente la capacidad de un organismo para crecer quimioorganotróficamente e imposibilita su crecimiento a partir de muchos compuestos orgánicos, porque las reacciones de este ciclo son importantes para la generación de NADH.

Este puede ser por tanto el motivo por el cual los metanótrofos tipo I son metilótrofos estrictos.

### Características de bacterias metanotrofas

Organismo	Morfología	Grupo filogenético	Formas de reposo	Membranas internas	Ciclo del ácido cítrico	Ruta de asimilación del carbono	Fijación de N <sub>2</sub>
<i>Methylomonas</i>	Bacilo	Gamma	Quistes	I	Incompleta	Ribulosa monofosfato	No
<i>Methylomicrobium</i>	Bacilo	Gamma	No tiene	I	Incompleta	Ribulosa monofosfato	No
<i>Methylobacter</i>	Coco a elipsoide	Gamma	Quistes	I	Incompleta	Ribulosa monofosfato	No
<i>Methylococcus</i>	Coco	Gamma	Quistes	I	Incompleta	Ribulosa monofosfato	Si
<i>Methylosinus</i>	Bacilo o vibrioide	Alfa	Exospora	II	Completa	Serina	Si
<i>Methylocystis</i>	Bacilo	Alfa	Exospora	II	Completa	Serina	Si
<i>Methylocellae</i>	Bacilo	Alfa	Exospora	II	Completa	Serina	Si

<sup>a</sup> Todas son proteobacterias.

<sup>b</sup> Membranas internas: Tipo I, grupos de vesículas con forma de disco distribuidas por todo el organismo; tipo II, membranas emparejadas organizadas en la periferis de la célula. Ver Figura 15.15.

<sup>c</sup> Organismos con un ciclo del ácido cítrico incompleto carecen de la enzima  $\alpha$ -cetoglutarato deshidrogenasa y no pueden oxidar acetato a CO<sub>2</sub>.

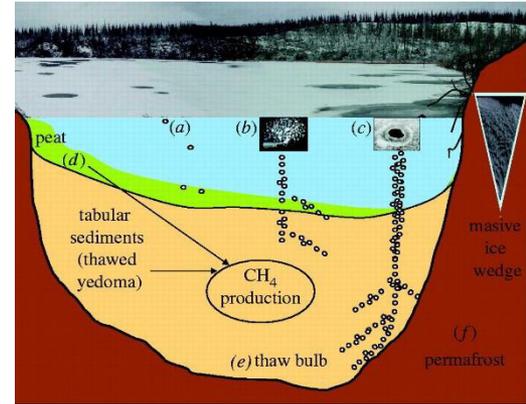
<sup>d</sup> Véanse Figuras 21.33 y 21.34. A diferencia de otros metilótrofos, *Methylococcus* contiene las enzimas del ciclo de Calvin.

<sup>e</sup> Acidófilo, crecimiento óptimo a pH 5.

# ECOLOGÍA



- Presentes en ambientes acuáticos y terrestres ya que se encuentran en cualquier lugar donde exista un suministro estable de  $\text{CH}_4$ .
- El  $\text{CH}_4$  que se produce en las zonas anaerobias de ciertos lagos se difunde hacia arriba por la columna de agua y los metanótrofos suelen concentrarse en la estrecha banda de contacto entre el  $\text{CH}_4$  y el  $\text{O}_2$ .
- Por tanto las bacterias oxidantes de  $\text{CH}_4$  desarrollan un papel importante en el ciclo del carbono, al transformar el  $\text{CH}_4$  procedente de la descomposición anaerobia en material celular y  $\text{CO}_2$ .



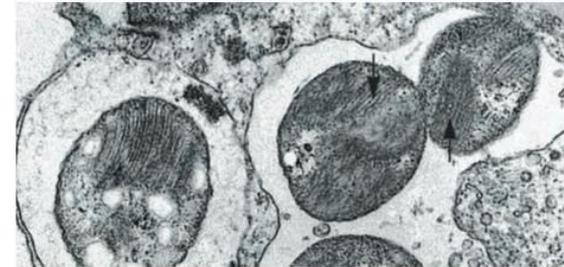
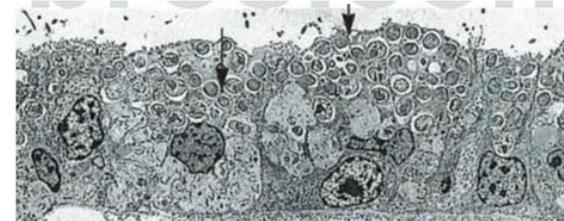
## AISLAMIENTO

- Para el enriquecimiento de metanótrofos sólo se necesita un medio con sales minerales en una atmósfera del 80% de  $\text{CH}_4$  y del 20% de aire.
- Una vez que se consigue un crecimiento considerable se pueden purificar mediante el repetido aislamiento de colonias en placas de medio sólido con sales minerales incubadas en un contenedor que contenga una mezcla de  $\text{CH}_4$  y aire.

# METANÓTROFOS SIMBIONTES DE ANIMALES



- Las bacterias metanotróficas y ciertos mejillones y esponjas marinos desarrollan relaciones simbióticas.
- Algunos mejillones viven en el entorno de los filtrados de hidrocarburos del fondo marino, lugares donde se libera  $\text{CH}_4$  en cantidades considerables.
- Los tejidos aislados de las branquias de estos mejillones tienen bacterias con forma cocoidal que consumen  $\text{CH}_4$  a buen ritmo en presencia de  $\text{O}_2$ .
- Se localizan dentro de las vacuolas de las células animales cercanas a la superficie de las branquias, lo que probablemente asegura el intercambio eficiente de gases con el agua marina.



Las simbiosis con metanótrofos son similares a las desarrolladas entre quimiolitótrofos oxidadores del azufre y las almejas gigantes y los gusanos de las chimeneas hidrotermales

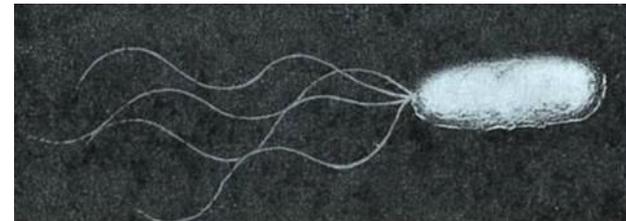
# PROTEOBACTERIAS QUIMIOORGANÓTROFAS AEROBIAS Y ANAEROBIAS FACULTATIVAS



## Proteobacterias II: Grupo de Pseudomonas.

Géneros *Pseudomonas*, *Comamonas*, *Ralstonia* y *Burkholderia*

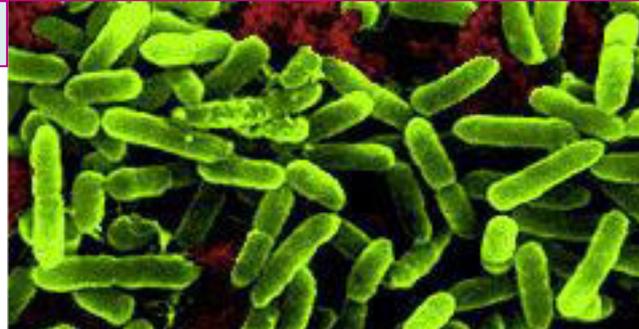
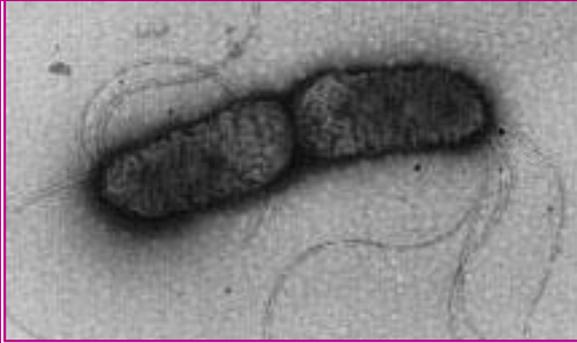
- Todos los géneros incluidos en este grupo son bacilos rectos o ligeramente curvados con flagelos polares.
- Tamaño de 0,5-1  $\mu\text{m}$  x 1,5-4  $\mu\text{m}$
- Filogenéticamente las pseudomonas se distribuyen entre las proteobacterias, fundamentalmente en las clases alfa y beta.
- Sin esporas
- Gram -
- Aerobios
- Metabolismo respiratorio, nunca fermentativo
- QUIMIOORGANOTROFOS
- Utilizan compuestos orgánicos de bajo peso molecular
- Algunas pueden ser QUIMIOLITOTROFAS, usando  $\text{H}_2$  o CO como fuente de energía
- Algunas pueden usar  $\text{NO}_3^-$  como aceptor de  $e^-$  en ANAEROBIOSIS.



# Pseudomonas



Móviles mediante flagelos polares

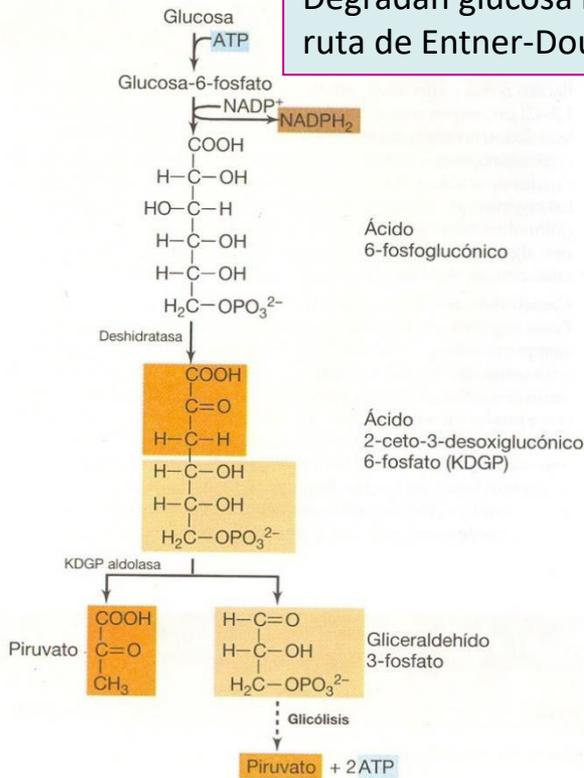


Bacilos rectos o ligeramente curvados

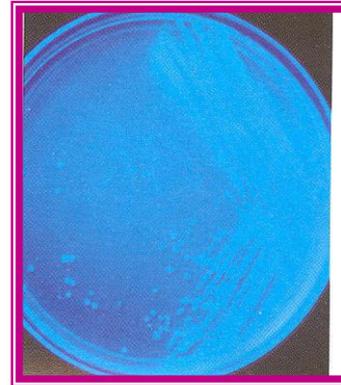
Gram -



Degradan glucosa mediante la ruta de Entner-Doudoroff



*Pseudomonas fluorescentes*  
(Gamma-proteobacterias)



- Pseudomonas aeruginosa*
- Pseudomonas fluorescens*
- Pseudomonas putida*
- Pseudomonas syringae*
- Pseudomonas stutzeri*

Producen pigmentos: piocianina, pioverdina, piourubrina y piomelanina.

Algunos actúan como sideróforos en la captación de Fe.



# Otras características del género *Pseudomonas*



Poseen citocromo C oxidasa y dan positiva la prueba de la oxidasa

También son catalasa positiva

Tienen requerimientos nutritivos muy simples (no necesitan factores orgánicos de crecimiento)

Son biodegradadores muy activos  
Participan en el ciclo del C

- ✓ Poseen una gran versatilidad metabólica
- ✓ Pueden utilizar azúcares; ácidos grasos; ácidos di y tricarboxílicos; alcoholes, polialcoholes; compuestos aromáticos; aminoácidos y un largo etc.

Participan activamente en la limpieza del medio ambiente porque degradan muchos contaminantes orgánicos, pero también producen el deterioro de alimentos almacenados

Son habitantes del suelo, agua dulce, océanos y muchos otros hábitats naturales (están en todas partes).

- ✓ Resistentes a ATB
- ✓ Poseen múltiples plásmidos R.
- ✓ Son sensibles a polimixina.

- ✓ Algunas especies son patógenas.
- ✓ *Pseudomonas aeruginosa* es un patógeno OPORTUNISTA que produce infecciones en el sistema respiratorio y urinario.
- ✓ Puede causar infecciones en quemados o en otros casos en que la piel esté dañada.
- ✓ Son causantes de infecciones nosocomiales.

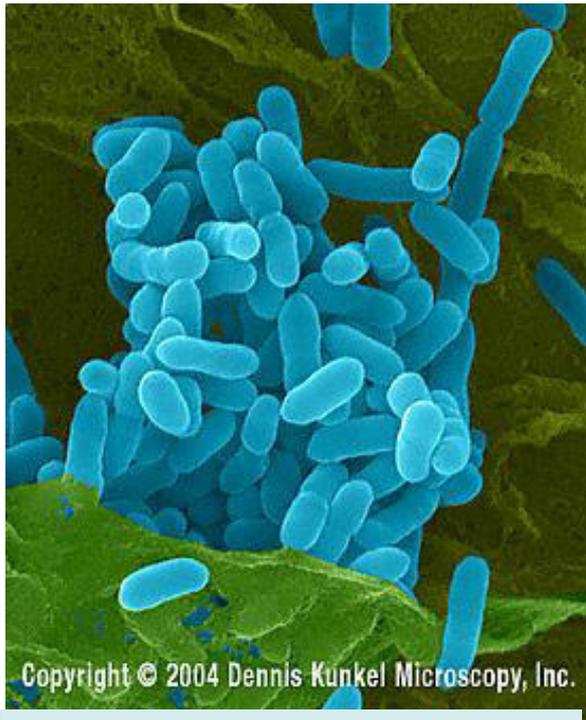


***Xantomonas fragariae***  
Patógeno de la fresa



**Géneros relacionados con *Pseudomonas***

**Zooglea**  
Formadora de flóculos



***Burkholderia pseudomallei***  
Causa melioidosis





# Características de las *Pseudomonas*

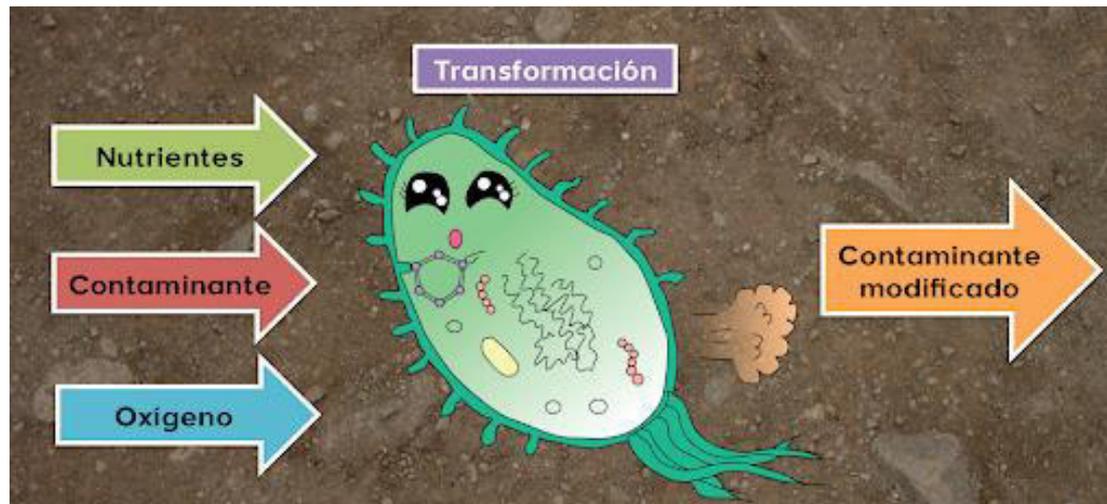


Generales:	Mínimas para su identificación:
<p>Bacilos rectos o curvados pero nunca vibrioides; tamaño 0,5-1,0 [µm por 1,5-4,0 pm; no esporas; gram negativos; flagelos polares: únicos o múltiples; sin cubiertas, apéndices o yemas; metabolismo respiratorio, nunca fermentativo, aunque pueden producir pequeñas cantidades de ácido a partir de glucosa aeróbicamente; usan compuestos orgánicos de bajo peso molecular, no polímeros; algunos son quimiolitótrofos y usan H<sub>2</sub> o CO como único donador de electrones; algunos pueden usar nitrato como aceptor de electrones anaeróbico; algunos pueden usar arginina como fuente de energía en anaerobiosis.</p>	<p>Gramnegativos, bacilos rectos o ligeramente curvados; no esporas; móvil (siempre); flagelos polares (tinción flagelar); oxido-fermentativo en medio con glucosa: producción de ácido en tubo abierto; pero no en tubo cerrado; no produce gas a partir de glucosa (las diferencia fácilmente de enterobacterias y Aeromonas)', casi siempre positivo para oxidasa (las enterobacterias son oxidasa-negativo); siempre positivo para catalasa; ausencia de pigmentos fotosintéticos (las diferencia fácilmente de bacterias rojas no del azufre); indol-negativo; negativo para rojo de metilo; Voges-Proskauer negativo (para ver discusión de muchos de estas preguntas ver la Sección 32.2).</p>

# REQUISITOS NUTRICIONALES



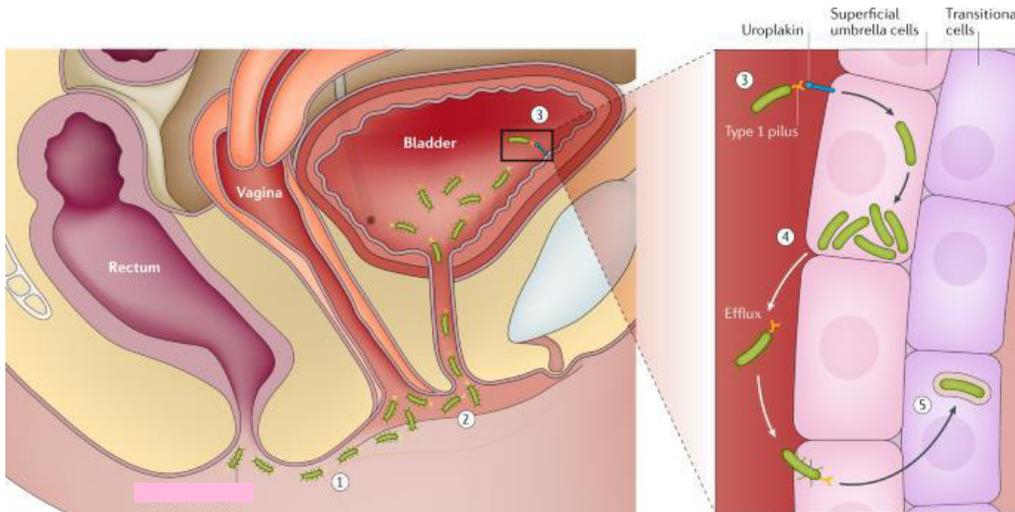
- ❖ Muy sencillos.
- ❖ Crecen quimiorganotróficamente a pH neutro y a temperaturas en el rango de los mesófilos.
- ❖ Tienen la capacidad para usar numerosos compuestos orgánicos como fuentes de carbono y energía, algunas especies utilizan más de 100 compuestos diferentes y sólo unas pocas especies pueden utilizar menos de 20 .
- ❖ Son ecológicamente importantes tanto en el agua como en los suelos y son responsables de la degradación de numerosos compuestos solubles derivados del material vegetal y animal en hábitats aerobios.
- ❖ También son capaces de degradar numerosos compuestos xenobióticos (de origen sintético) como pesticidas y otros productos químicos tóxicos.
- ❖ Son importantes agentes medioambientales de biorremediación.



# PSEUDOMONAS PATÓGENAS

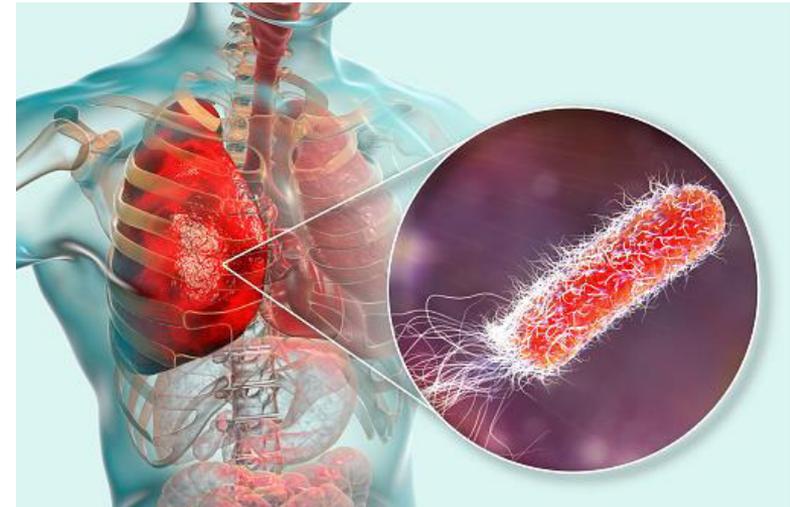


- ❖ *Pseudomonas aeruginosa* se asocia frecuentemente a infecciones del tracto urinario y del tracto respiratorio en humanos.
- ❖ Las infecciones también son habituales en pacientes bajo tratamiento por quemaduras graves y otros tipos de daño traumático de la piel y en pacientes con fibrosis quística.
- ❖ *P. aeruginosa* NO es un PATÓGENO ESTRICTO, más bien un OPORTUNISTA, que infecta individuos con poca capacidad de resistencia.



Bacterias (*P. aeruginosa*) de la piel o del recto

Bacterias (*P. aeruginosa*) ascendiendo por la uretra



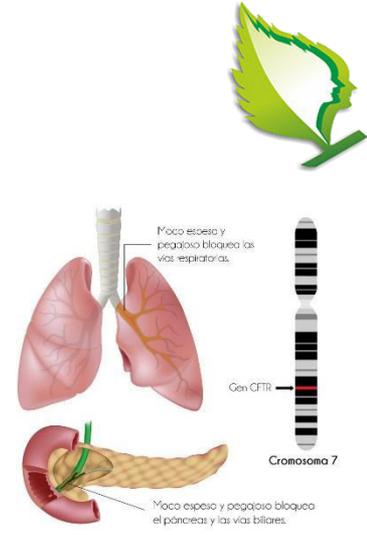
Infección pulmonar por *P. aeruginosa*



Otra pseudomona como *Burkholderia cepacia*, al igual que *P. aeruginosa* puede infectar los pulmones de pacientes con fibrosis quística.

- *P. aeruginosa* es resistente natural a muchos de los ATB más utilizados, de modo que su tratamiento es normalmente complicado.
- Esta resistencia se debe a un plásmido transferible de resistencia (plásmido R ) portador de genes que codifican proteínas capaces de detoxificar varios ATB y a la presencia de sistemas de evacuación multidroga que bombean los ATB fuera de la célula.

- ❖ *P. aeruginosa* se encuentra habitualmente en ambientes hospitalarios y pueden infectar fácilmente a pacientes que reciben tratamiento por otras enfermedades.
- ❖ La POLIMIXINA, un ATB que normalmente NO SE UTILIZA en humanos debido a su toxicidad, es efectivo frente a *P. aeruginosa* y se emplea en ciertas circunstancias.

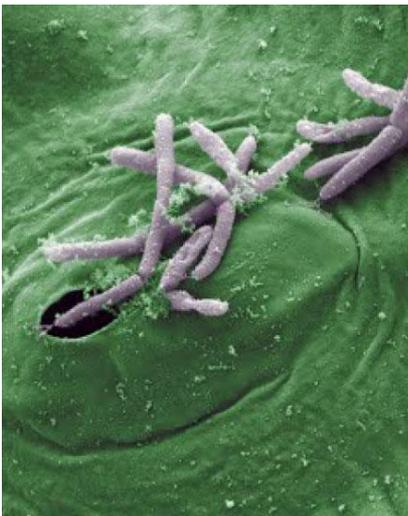


***Ralstonia*, *Burkholderia* y *Xanthomonas* son reconocidos FITOPATÓGENOS.**

# FITOPATÓGENOS



- ❖ Residen frecuentemente en plantas no hospedadoras (las cuales no presentan síntomas visibles de enfermedad) de las cuales se transmiten a sus plantas hospedadoras donde producen la infección.
- ❖ Los síntomas de enfermedad varían considerablemente, según el fitopatógeno y la planta hospedadora en particular.
- ❖ Los patógenos liberan toxinas, enzimas líticas, factores de crecimiento de la planta y otras sustancias que destruyen o de algún modo afectan al tejido vegetal.
- ❖ En muchos casos los síntomas de enfermedad ayudan a identificar al fitopatógeno. Por ejemplo, *Pseudomonas syringae* es aislada habitualmente de hojas que muestran lesiones cloróticas (amarilleamiento), mientras que *P. marginalis* es un patógeno típico de la podredumbre blanda e infecta tallos y brotes, pero rara vez hojas.

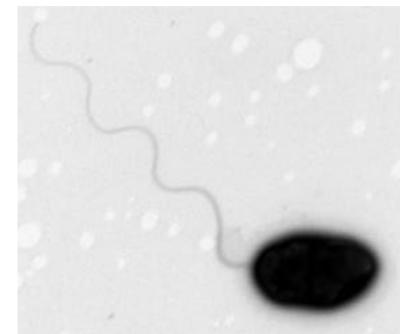
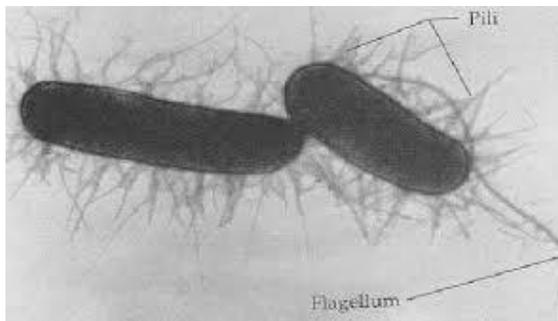


# BACTERIAS DEL ÁCIDO ACÉTICO



## *Acetobacter, Gluconobacter*

- ❖ Se agrupan filogenéticamente dentro de las alfaproteobacteria.
- ❖ Son bacilos Gram -, aerobios y móviles que llevan a cabo la oxidación incompleta de alcoholes y azúcares, lo que conlleva la acumulación de ácidos orgánicos como producto final.
- ❖ La producción de **ÁCIDO ACÉTICO** a partir de etanol da nombre a estas bacterias.
- ❖ Presentan una tolerancia relativamente elevada a entornos ácidos; la mayoría de las cepas pueden crecer sin problemas a valores de  $\text{pH} \leq 5$ . Esta tolerancia a la acidez es por supuesto esencial para un organismo que produce gran cantidad de ácidos.
- ❖ Incluye tanto organismos con flagelos peritricos (*Acetobacter*) como polares (*Gluconobacter*)
- ❖ Además de la disposición de sus flagelos, *Acetobacter* se diferencia de *Gluconobacter* en su capacidad de oxidar posteriormente el ácido acético para generar  $\text{CO}_2$ .

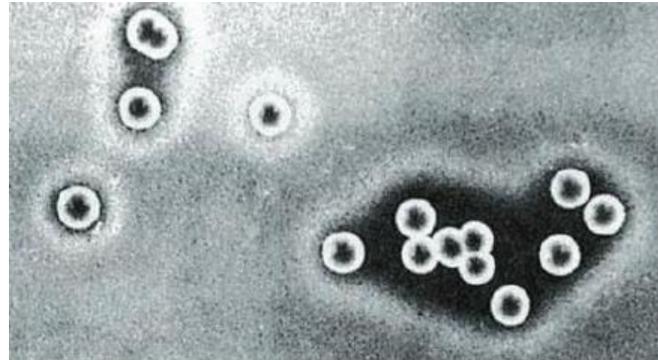




# ECOLOGÍA Y USO INDUSTRIAL



- ❖ Las bacterias del ácido acético se encuentran habitualmente en bebidas alcohólicas.
- ❖ Se aíslan a menudo de bebidas alcohólicas derivadas de la fruta como la sidra y el vino y también de la cerveza.
- ❖ Las colonias se reconocen en placas de agar con  $\text{CaCO}_3$  que contengan etanol como fuente de energía, porque el ácido acético que producen disuelve el  $\text{CaCO}_3$  que es insoluble y se produce un aclaramiento en la placa.

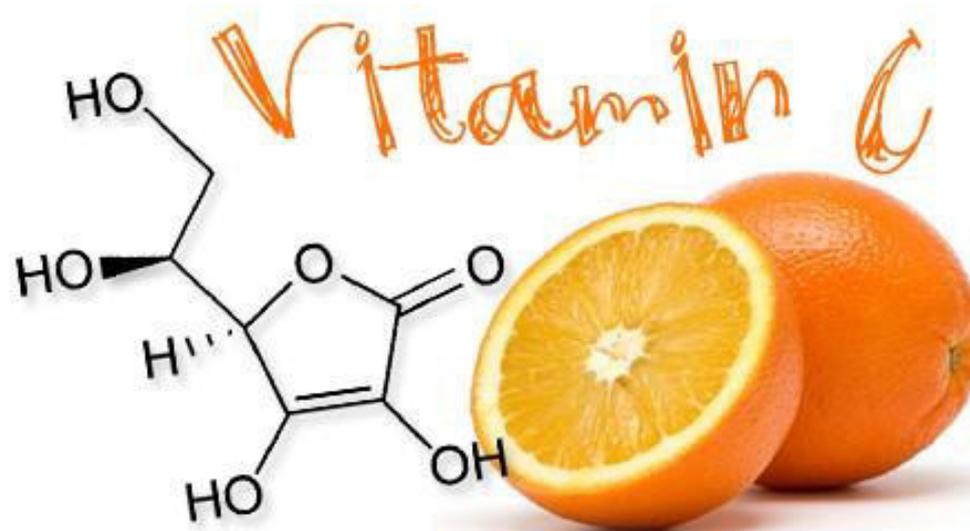


*Acetobacter aceti* en agar con  $\text{CaCO}_3$

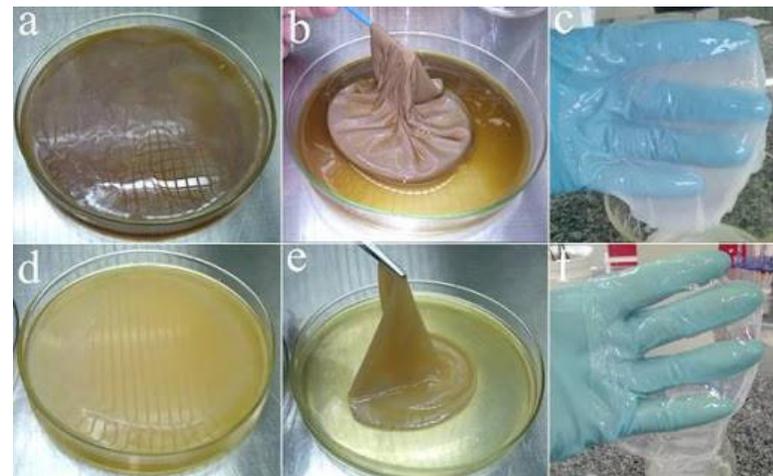
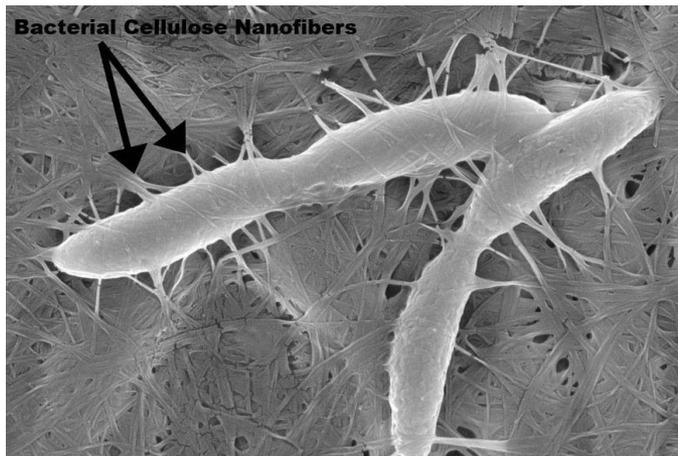
Los cultivos de bacterias del ácido acético se emplean en la producción comercial de vinagre



- ❖ Además de etanol, las bacterias del ácido acético llevan a cabo la oxidación **INCOMPLETA** de compuestos orgánicos como alcoholes de cadena larga y azúcares.
- ❖ Así, la glucosa es oxidada sólo hasta ácido glucónico, la galactosa hasta ácido galactónico, la arabinosa hasta ácido arabónico y así sucesivamente.
- ❖ Esta característica «suboxidante» se aprovecha en la producción del ácido ascórbico (vitamina C), que puede formarse a partir de sorbosa pero la síntesis química de la sorbosa es difícil de conseguir.
- ❖ Sin embargo puede obtenerse muy fácilmente usando las bacterias del ácido acético, que oxidan sorbitol (un alcohol muy fácil de conseguir) hasta sorbosa, en un proceso denominado biotransformación



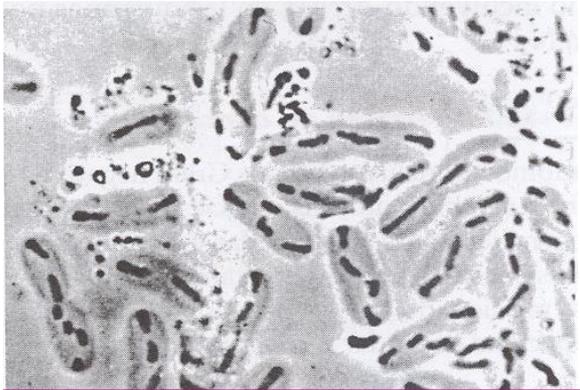
- ❖ Otra propiedad interesante de algunas bacterias del ácido acético es su capacidad de sintetizar **CELULOSA**.
- ❖ La celulosa que producen no se diferencia significativamente de la producida por las plantas, excepto en que es **PURA** y no está mezclada con otros polímeros como la hemicelulosa, pectinas o ligninas.
- ❖ Esta celulosa forma una matriz por fuera de la pared celular y hace que las células acaben integradas en una masa enredada de microfibrillas de celulosa.
- ❖ Cuando estas bacterias crecen en un recipiente sin agitación, forman una película superficial de celulosa en la que se desarrollan las bacterias.
- ❖ Como son aerobios estrictos, su capacidad para producir esta película podría ser la forma en la que estos organismos se mantienen en la superficie de un líquido, donde el  $O_2$  está disponible en abundancia.



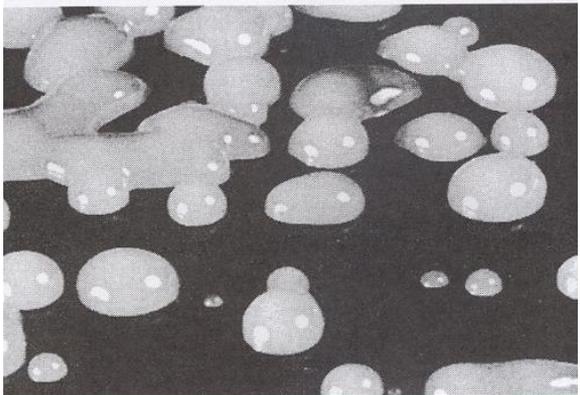
# Bacterias del grupo de *Rhizobium*



## Proteobacterias fijadoras de N<sub>2</sub> de vida libre

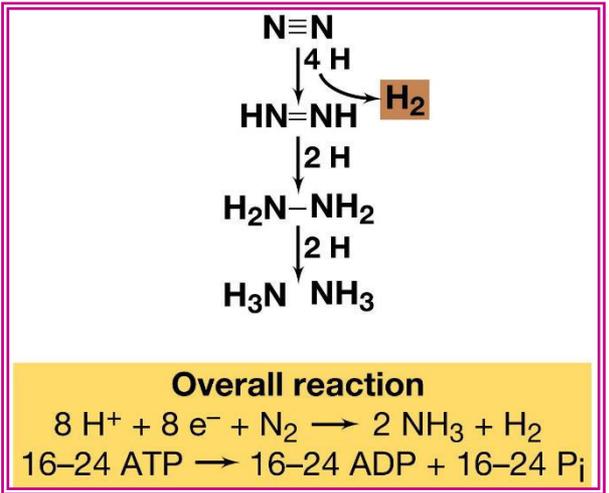


Células de *Derxia* atrapadas en mucosidad



La apariencia brillante de las colonas de *Beijerinckia* se debe a material de la capsula

- Azotobacter*  $\gamma$ -Proteobacteria
- Beijerinckia*  $\alpha$ -Proteobacteria
- Derxia*  $\alpha$ -Proteobacteria

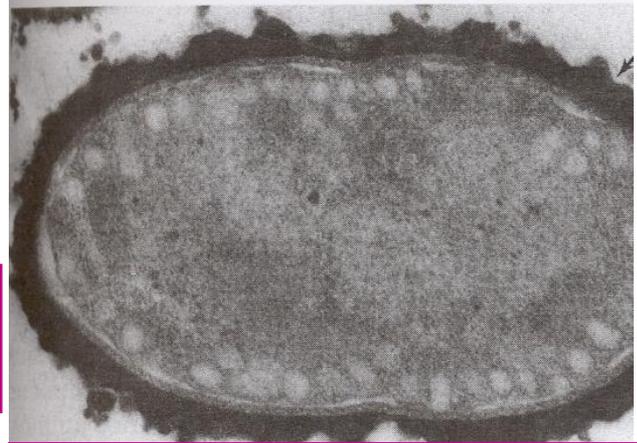


Enzima clave  
**NITROGENASA**

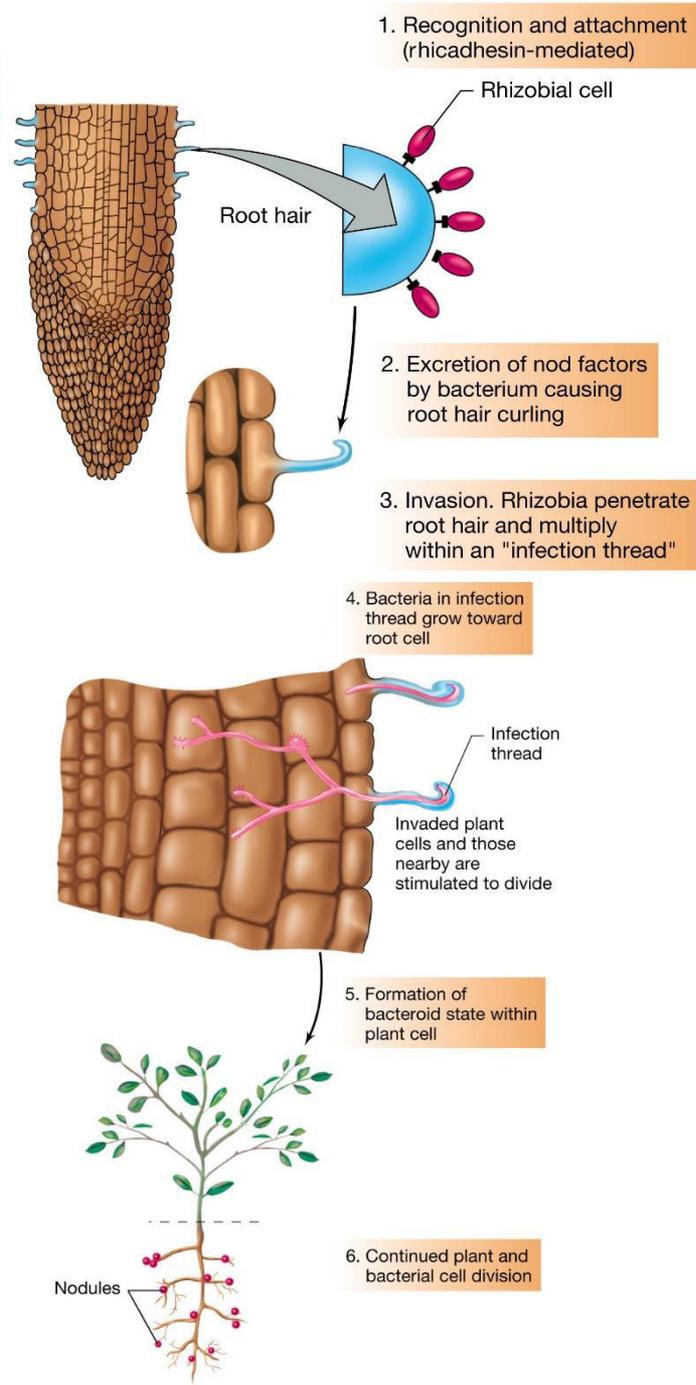
Son **quimioorganotrofos aerobios estrictos**



Células de *Azotobacter* cultivadas en 2.5% de O<sub>2</sub> (poca mucosidad)



*Azotobacter* cultivada en 25% de O<sub>2</sub> (extensa capa mucosa)

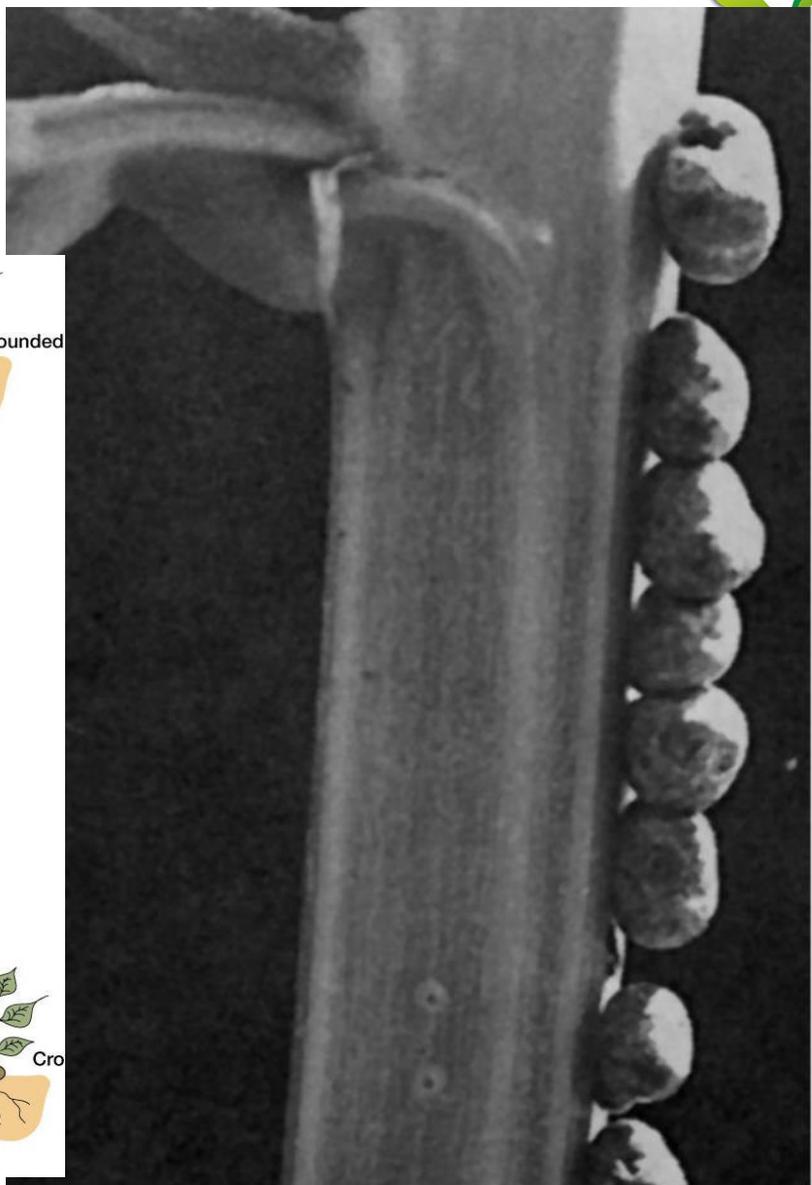
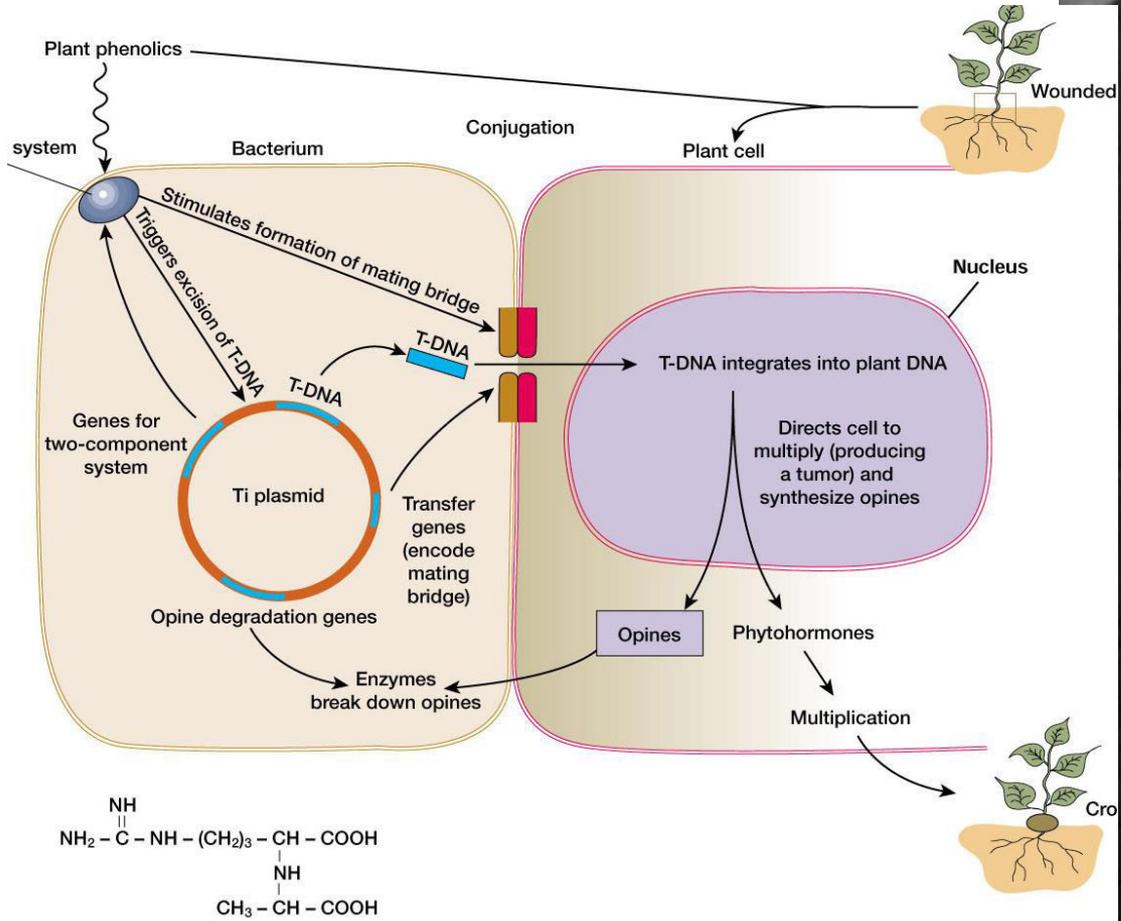


**Proteobacterias fijadoras de nitrógeno  
simbiontes de plantas leguminosas**

- Rhizobium*  $\alpha$ -Proteobacteria
- Azorhizobium*
- Bradirhizobium*

# Agrobacterium tumefaciens

## Induce la formación de tumores en plantas





# PROTEOBACTERIAS III: BACTERIAS ENTÉRICAS



*Escherichia, Salmonella, Proteus, Enterobacter*

- ❖ Forman un grupo relativamente homogéneo filogenéticamente dentro de las gammaproteobacterias.
- ❖ Son bacilos Gram -, con metabolismo ANAEROBIO FACULTATIVO, que habitualmente colonizan el tracto intestinal de los animales.
- ❖ Son NO formadores de esporas que o bien carecen de movilidad o son móviles mediante flagelos peritricos.
- ❖ Son OXIDASA NEGATIVAS, tienen requerimientos nutricionales relativamente sencillos y fermentan azúcares hasta varios productos finales, es decir son FERMENTATIVAS.

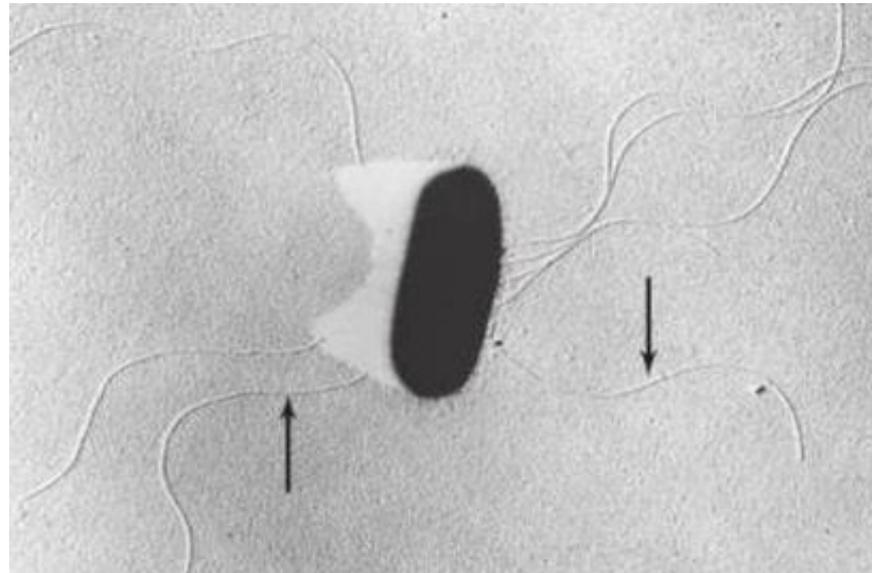
Entre las enterobacterias existen numerosas especies que son patógenas para el hombre, otros animales o para plantas, pero también especies de aplicación industrial.

# Enterobacterias



*Escherichia, Salmonella, Proteus, Enterobacter*

- ❖ Forman un grupo relativamente homogéneo filogenéticamente dentro de las gammaproteobacterias que está formado por bacilos -.
- ❖ ANAEROBIOS facultativos no formadores de esporas que o bien carecen de movilidad o son móviles mediante flagelos peritricos.
- ❖ Oxidasa negativas, tienen requerimientos nutricionales relativamente sencillos y fermentan azúcares hasta varios productos finales.



# Enterobacterias



- ❖ Forman parte de la microbiota del intestino y de otros órganos del ser humano y de otras especies animales
- ❖ Existen numerosas especies que son patógenas para el hombre, otros animales o para plantas, pero también especies de aplicación industrial.
- ❖ *Escherichia coli* es un ejemplo clásico de enterobacteria.
- ❖ Debido a la importancia médica de las enterobacterias, se han estudiado y caracterizado un número extremadamente grande de cepas y se han definido numerosos géneros.
- ❖ Como estos organismos se aíslan frecuentemente de hospedadores enfermos, son necesarios los medios para su identificación para un rápido tratamiento y en consecuencia las características fenotípicas han sido tradicionalmente muy importantes para distinguir entre diferentes géneros de enterobacterias.





# Características fenotípicas que diferencian a las enterobacterias de otras bacterias de similar morfología y fisiología

## Características que definen a las enterobacterias

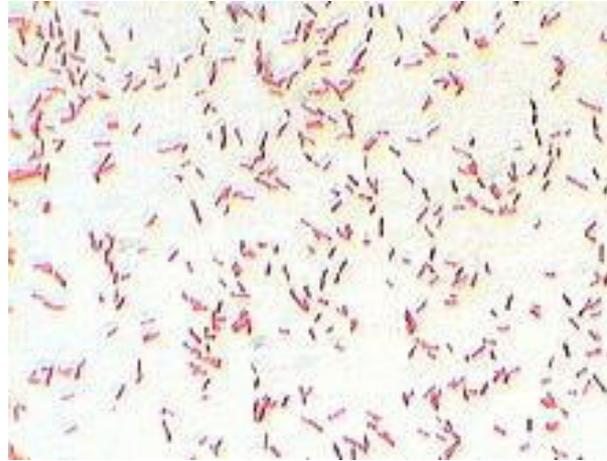
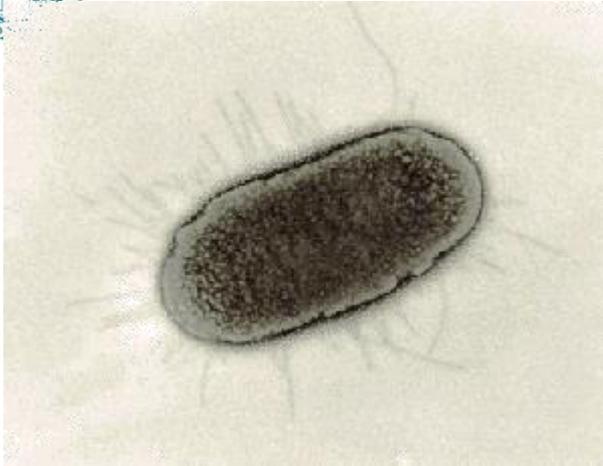
### Características generales:

Bacilos rectos Gramnegativos; móviles por flagelos peritricos, o inmóviles; no esporulantes; anaerobios facultativos, producen ácido a partir de glucosa; no requieren sodio ni estimula el crecimiento; catalasa-positivos; oxidasa-negativos; normalmente reduce nitrato a nitrito (no a  $N_2$ ); tienen el gen de ARNr 16S de Gammaproteobacteria.

### Pruebas clave para diferenciar enterobacterias de otras bacterias de morfologías similares:

Pruebas de la oxidasa, las enterobacterias son siempre negativas [separa enterobacterias de bacterias oxidasa positivas de los géneros *Pseudomonas*, *Aeromonas*, *Vibrio*, *Alcaligenes*, *Achromobacter*, *Flavobacterium*, *Cardiobacterium*, que pueden tener una morfología similar; nitrato reducido sólo a nitrito (ensayo de detección de nitrito tras el crecimiento)] distingue enterobacterias de bacterias que reducen nitrato a  $N_2$  (se detecta formación de gas), tales como *Pseudomonas* y muchas otras bacterias oxidasa-positivas; capacidad de fermentar glucosa — diferencia enterobacterias de bacterias aerobias estrictas.

# PROTEOBACTERIAS FERMENTATIVAS: LAS ENTEROBACTERIAS



Son bacterias QUIMIOORGANOTROFAS ANAEROBIAS FACULTATIVAS

Bacilos Gram -, no esporulados, móviles por flagelos peritricos o inmóviles

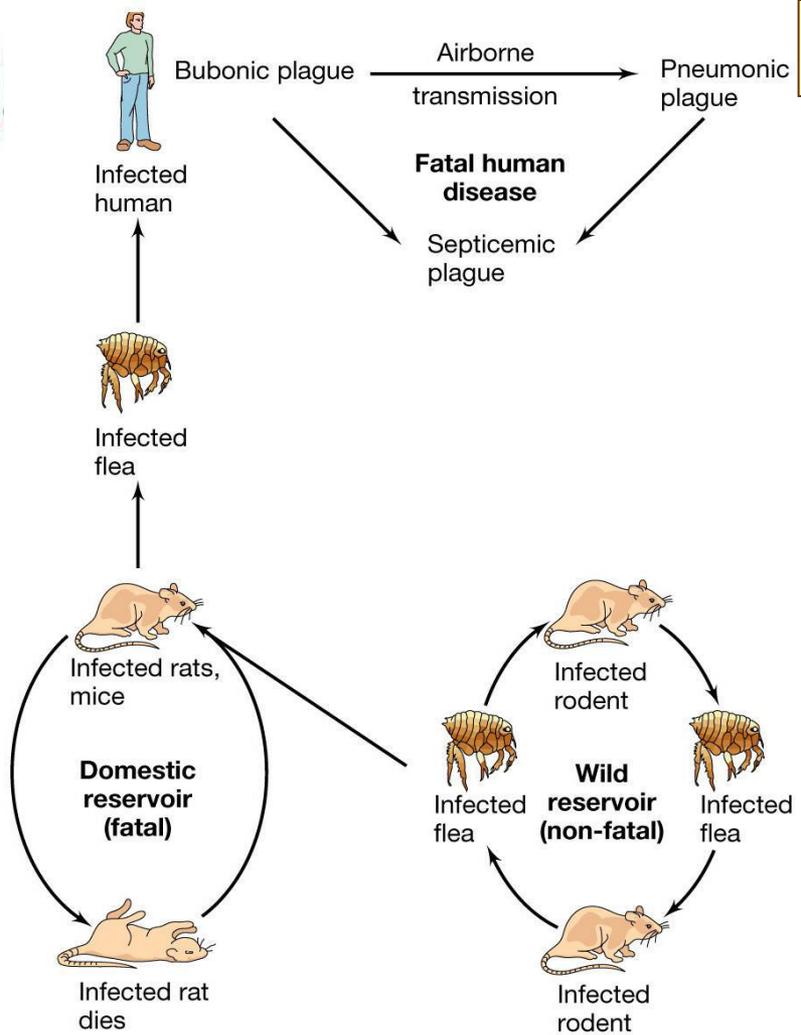
Tienen requerimientos nutritivos simples

FERMENTAN azúcares. Producen ácido en la fermentación de la GLUCOSA

Son oxidasa negativas y catalasa positivas

Reducen  $\text{NO}_3^-$  a  $\text{NO}_2^-$  (nunca a  $\text{N}_2$ )

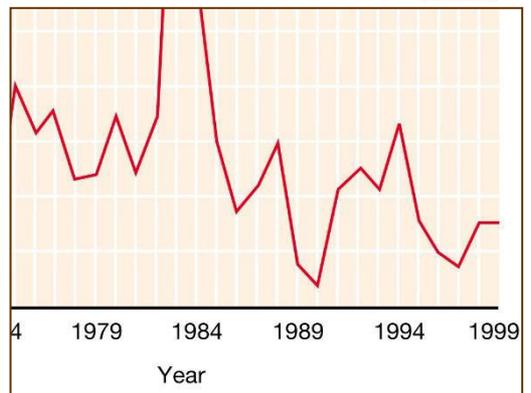
# *Yersinia pestis*



Bubón



Yersinia pestis invadiendo los tejidos del pulmón





# *Escherichia coli*

- ❖ Es el microorganismo más conocido, es un ejemplo clásico de enterobacteria.
- ❖ Debido a la importancia médica de las enterobacterias, se han estudiado y caracterizado un gran número de cepas y se han definido numerosos géneros.
- ❖ Una importante característica taxonómica que diferencia los diversos géneros de enterobacterias es el tipo y la proporción de productos de fermentación producidos por la fermentación de la glucosa.



**Se pueden distinguir 2 amplios perfiles**

**LA FERMENTACIÓN ÁCIDO MIXTA**

**FERMENTACIÓN BUTANODIÓLICA**



- ❖ Una importante característica taxonómica que diferencia los diversos géneros de enterobacterias es el tipo y la proporción de productos producidos por la FERMENTACIÓN de la glucosa.
- ❖ Se pueden distinguir 2 amplios perfiles.

## FERMENTACIÓN ÁCIDO MIXTA

## FERMENTACIÓN BUTANODIÓLICA

producción  
de gas

NO  
inoculado

producción  
de ácido



*Escherichia coli*

NO  
inoculado

Voges-Proskauer  
rojo-rosado

producción de  
butanodiol



*Enterobacter aerogenes*

# FERMENTACIÓN ÁCIDO MIXTA

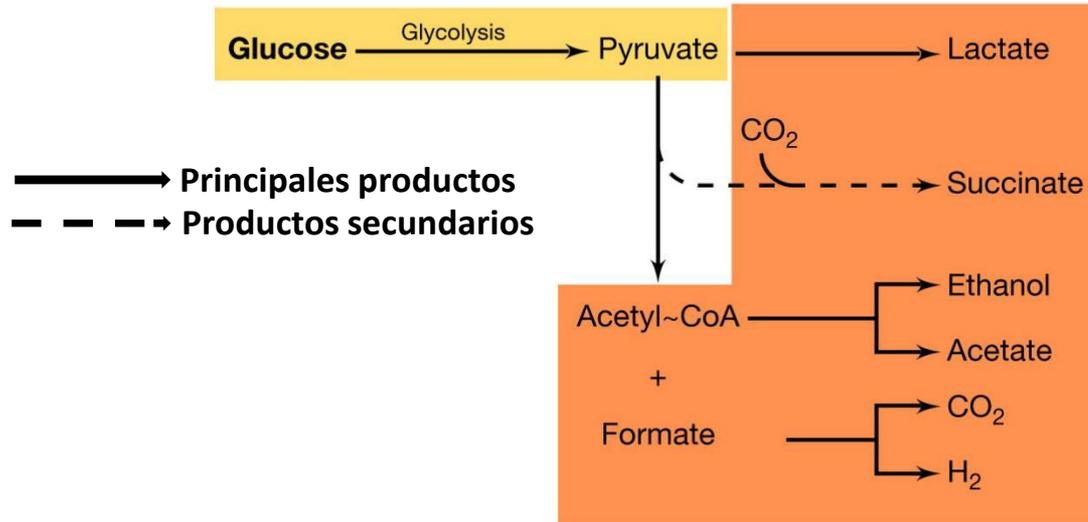


- ✓ Se generan 3 ácidos en cantidades significativas: ACÉTICO, LÁCTICO y SUCCÍNICO.
- ✓ También se genera EtOH, CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>, pero no butanodiol.
- ✓ se producen cantidades equivalentes de CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>.

## Prueba del Rojo de metilo +

Determina la capacidad de un microorganismo de fermentar la glucosa con producción de ácido por la vía ácido mixta

Producción de ácido (amarillo) NO  
y gas (tubo Durham invertido) inoculado



- Escherichia*
- Salmonella*
- Shigella*
- Citrobacter*
- Proteus*
- Yersinia*

# FERMENTACIÓN BUTANODIÓLICA



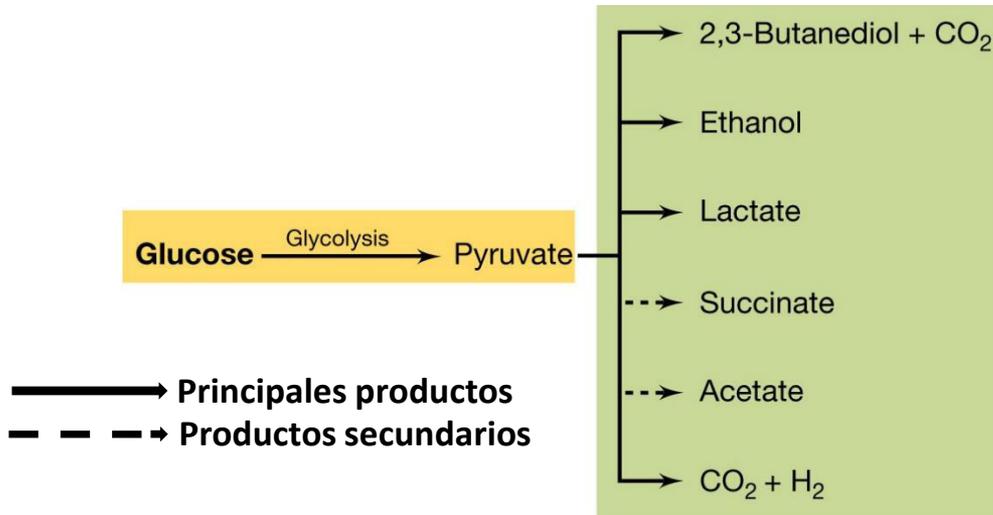
- ✓ Se genera menor cantidad de ácidos.
- ✓ Los productos principales son butanodiol, EtOH, CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>.
- ✓ Se produce más CO<sub>2</sub> que H<sub>2</sub>.

## Prueba Voges-Proskauer +

Determina la capacidad de un microorganismo de fermentar la glucosa con producción de ácido por la vía ácido mixta



NO test de Voges-Proskauer, inoculado producción de butanodiol.



*Enterobacter*  
*Klebsiella*  
*Serratia*

Gran diferencia en generación de CO<sub>2</sub> entre ambas rutas ya que la producción de butanodiol da lugar a cantidades considerablemente mayores.

# Diagnóstico simplificado de los principales géneros de Enterobacterias

Diagnostic test	Go to number
1 MR+; VP – (mixed-acid fermenters)	2
MR –; VP + (butanediol producers)	7
2 Urease +	<i>Proteus</i>
Urease –	3
3 H <sub>2</sub> S (TSI) +	4
H <sub>2</sub> S (TSI) –	6
4 KCN +	<i>Citrobacter</i>
KCN –	5
5 Indole +; citrate –	<i>Edwardsiella</i>
Indole –; citrate +	<i>Salmonella</i>
6 Gas from glucose	<i>Escherichia</i>
No gas from glucose	<i>Shigella</i>
7 Nonmotile; ornithine –	<i>Klebsiella</i>
Motile; ornithine +	8
8 Gelatin+; DNase +	<i>Serratia</i>
	(red pigment)
Gelatin slow; DNase –	<i>Enterobacter</i>

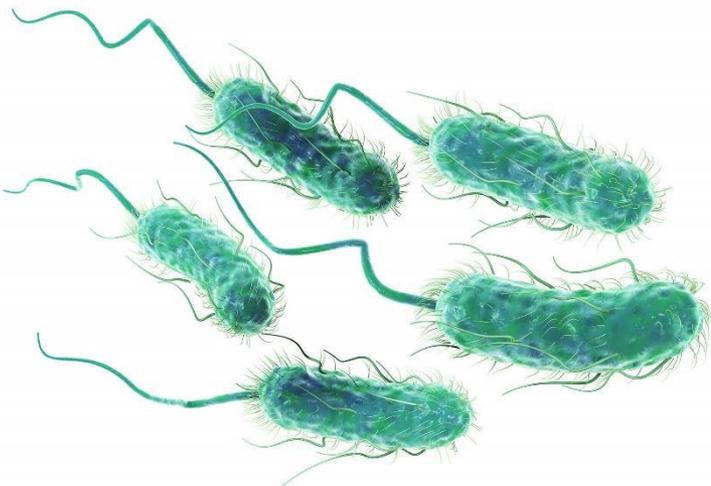
Key

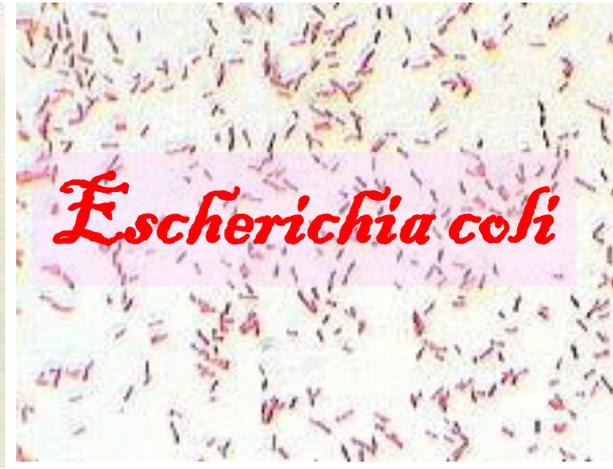
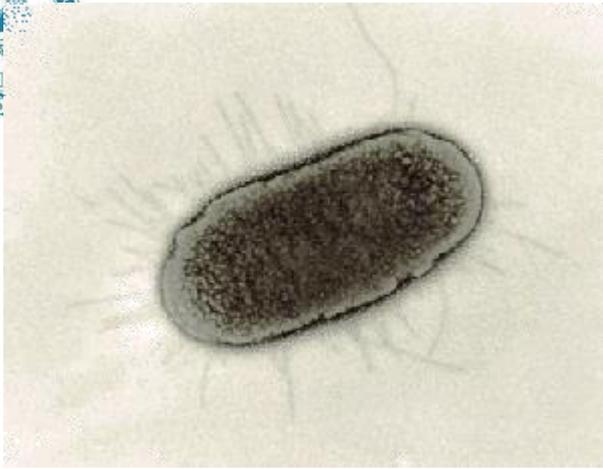
- Mixed-acid fermenters
- Butanediol producers



# El género *Escherichia*

- ❖ Son habitantes casi universales del tracto intestinal de los humanos y de otros animales de sangre caliente, aunque no son en absoluto los organismos dominantes en este hábitat.
- ❖ Juegan un papel nutricional en el tracto intestinal al sintetizar vitaminas, particularmente vitamina K.
- ❖ Como anaerobio facultativo, este organismo probablemente también ayuda a consumir  $O_2$ , volviendo anaerobio el intestino grueso.
- ❖ Las cepas salvajes de *Escherichia* rara vez requieren factores de crecimiento y son capaces de crecer utilizando una amplia variedad de fuentes de carbono y energía como azúcares, aminoácidos, ácidos orgánicos, etc.





- La estrella de las enterobacterias.
- La más utilizada en estudios genéticos y en Biotecnología.
- Utilizada como indicador de contaminación fecal en análisis microbiológico del agua

- Habitantes del intestino de animales de sangre caliente.
- Sintetiza la vitamina K.
- Algunas son patógenas, causan diarreas e infecciones urinarias.
- Las cepas enteropatógenas poseen el antígeno K que les permite colonizar el intestino delgado.
- Producen enterotoxinas semejantes a la toxina colérica.



## Cepas de *Escherichia* son patógenas



- ❖ Implicadas en diarrea en niños, un grave problema de salud en los países en desarrollo.
- ❖ *Escherichia* es responsable de un número considerable de infecciones del tracto urinario femenino.
- ❖ Las *E. coli* enteropatógenas (EPEC) son cada vez más frecuentes en infecciones gastrointestinales y en fiebres generalizadas.

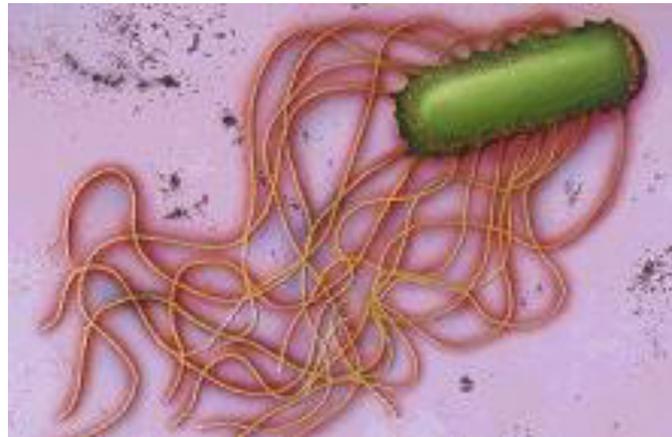
algunas de estas cepas forman una estructura conocida como antígeno K, que permite la unión y colonización del intestino delgado y la enterotoxina, responsable de los síntomas de diarrea.

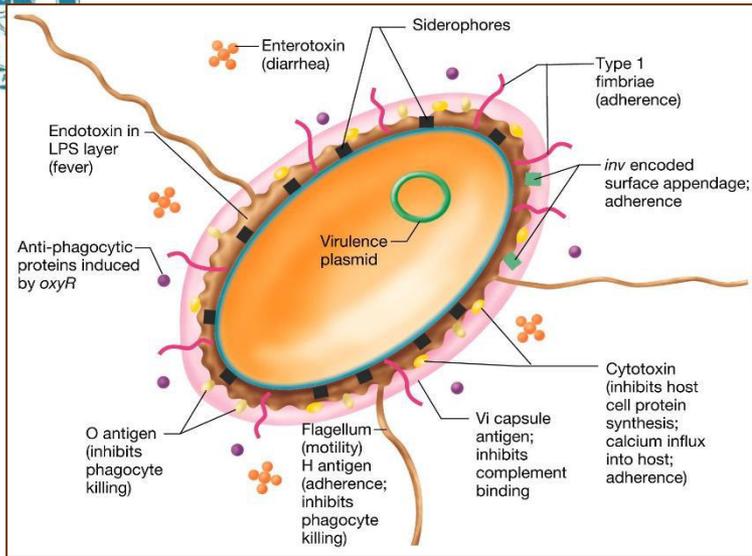
Algunas cepas, como la *E. coli* enterohemorrágica (abreviado como EHEC), de las que un representante importante es la cepa O157:H7, pueden causar esporádicamente epidemias de una grave enfermedad transmitida por los alimentos. La infección se produce fundamentalmente por el consumo de alimentos contaminados, como carne picada cruda o poco cocinada, leche sin pasteurizar o agua contaminada. En un pequeño porcentaje de casos, la enfermedad producida por la *E. coli* O157:H7 puede complicarse por la producción de enterotoxina hasta resultar mortal.

# Salmonella



- ❖ Bacilos gram - intracelulares anaerobios facultativos con flagelos peritricos.
- ❖ Bastante emparentadas ya que ambos géneros muestran aproximadamente un 50% de hibridación genómica.
- ❖ En contraposición a la mayoría de las *Escherichia*, los miembros del género *Salmonella* son normalmente patógenos, tanto para humanos como para otros animales de sangre caliente.
- ❖ *Salmonella* también está presente en los intestinos de animales poiquilotermos (de sangre fría), como tortugas y lagartos.
- ❖ En humanos las enfermedades más frecuentes causadas por salmonellas son las fiebres tifoideas y la gastroenteritis

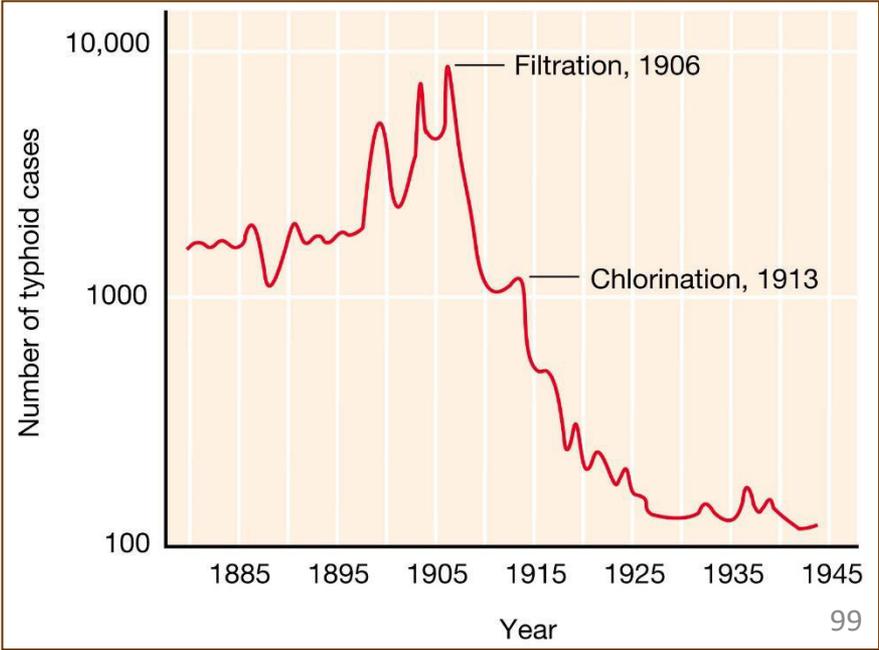




## Salmonella

- Habita en el intestino de animales.
- Prácticamente todas las especies son patógenas.
- *S. Typhi* produce fiebres tifoideas
- *S. Thyphimurium* causa salmonelosis (gastroenteritis) en humanos.
- La salmonelosis se transmite a través de alimentos contaminados con Salmonella

Factores de virulencia que son importantes en la patogenia de *Salmonella*





# Shigella



- ❖ Bacilo perteneciente a la familia Enterobacteriaceae,
- ❖ son Gram -, inmóviles, no formadoras de esporas e incapaces de fermentar la lactosa, que pueden ocasionar diarrea en los seres vivos.
- ❖ Son coliformes fecales anaerobias facultativas con fermentación ácido-mixta.
- ❖ También están muy emparentadas con Escherichia.
- ❖ Los ensayos de hibridación de ADN muestran que tienen un 70% o incluso más hibridación genómica con *E. coli* y por tanto probablemente ambas forman una única especie.
- ❖ Este organismo produce tanto una ENDOTOXINA como una NEUROTOXINA que provoca enterotoxicidad (toxicidad gastrointestinal).
- ❖ Algunas formas comensales de *E. coli* (y de *Shigella*) se han vuelto patógenas, como es el caso de las cepas EPEC, debido a la adquisición de factores de virulencia de otras especies bacterianas.
- ❖ El análisis del genoma completo de *E. coli* sugiere que aproximadamente el 17% de los genes de esta bacteria han sido adquiridos por transferencia genética horizontal.



# Proteus



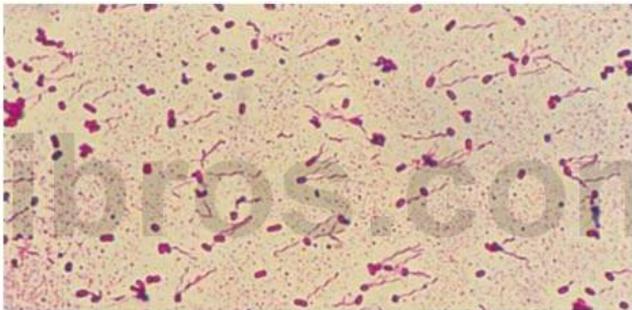
Bacilos Gram -, que incluye patógenos responsables de muchas infecciones del tracto urinario.

se beneficia en este aspecto de su capacidad para degradar Urea.

se caracteriza por su rápida movilidad (Figura 15.25) y por la producción de la enzima ureasa.

Son oxidasa-negativas y ureasa-positivas

no fermentan lactosa por razón de no tener una  $\beta$  galactosidasa, pero algunas se han mostrado capaces de hacerlo



(a)

*Proteus mirabilis* marcada con una tinción flagelar; los flagelos peritricos de cada célula se agrupan en un haz.



Colonias de *Proteus vulgaris* crecen en placa con un fenotipo característico: anillos concéntricos.

# *Enterobacter, Klebsiella y Serratia*



## Productores de BUTANODIOL

*Enterobacter aerogenes* es una especie habitual tanto en agua y aguas residuales como en el tracto intestinal de animales de sangre caliente y es un patógeno ocasional en infecciones del tracto urinario.

*Klebsiella pneumoniae* ocasionalmente produce neumonía en humanos, pero se encuentran más habitualmente en agua y suelos.

La mayoría de las cepas de *Klebsiella* también fijan  $N_2$ , una propiedad que no se encuentra en otras enterobacterias.

- *Serratia* produce una serie de pigmentos **ROJOS** que contienen pirróles llamados **PRODIGIOSINAS**, que son producidas en fase estacionaria como un metabolito 2rio.
- *Serratia marcescens*, normalmente es el único patógeno y comúnmente causa infección nosocomial.



## *Vibrio spp.*

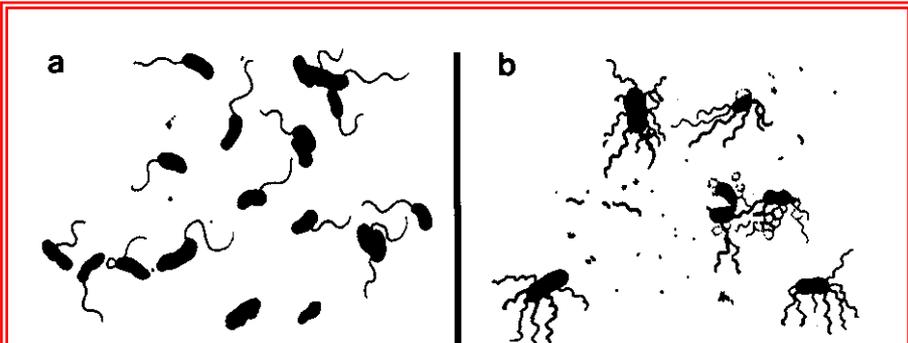
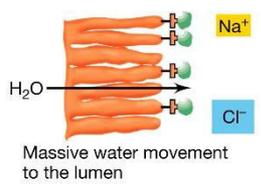
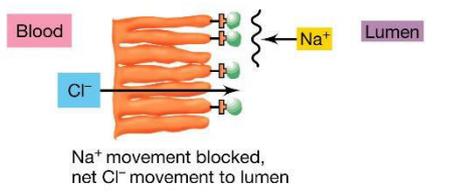
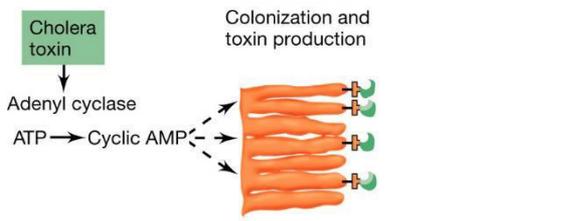
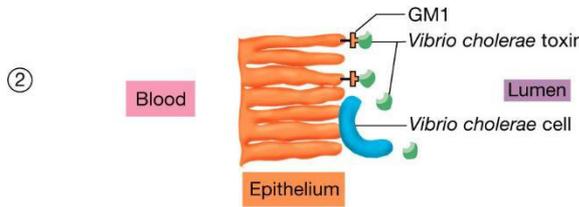
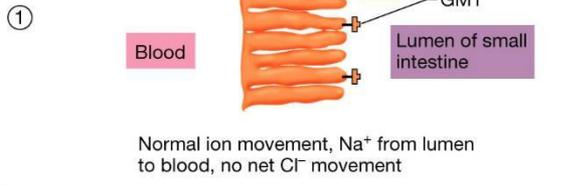


- ❖ Bacilos curvados Gram negativos anaerobios facultativos.
- ❖ Con metabolismo fermentativo.
- ❖ Oxidasa positivo (los diferencia de las enterobacterias).
- ❖ La mayoría de las especies presentan flagelos polares, aunque algunas presentan flagelos peritricos.
- ❖ La mayoría de los vibrios y bacterias relacionadas son acuáticos y se encuentran en hábitats de agua dulce, agua marina y agua salobre.
- ❖ *Vibrio cholerae* es la causa específica de la enfermedad del cólera en humanos.
- ❖ no suele causar enfermedad en otros hospedadores.
- ❖ *Vibrio parahaemolyticus* es un organismo marino que causa gastroenteritis asociada al consumo de mariscos pescado crudo (en Japón se consume mucho).

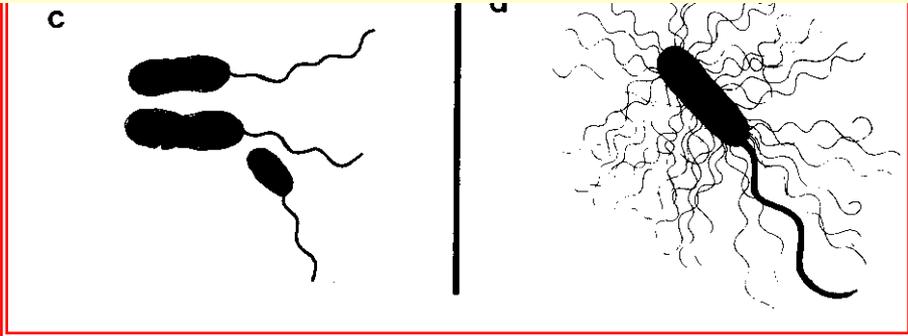




# Diferente morfologías celulares del género *Vibrio*



Bacilos rectos o curvados con flagelos polares o peritricos



***Vibrio cholerae* produce la toxina colérica que desencadena los síntomas del cólera. Esta enfermedad se transmite por el agua**

- $\gamma$ -Proteobacteria
- Quimioorganotrofo, anaerobio facultativo
- Que se diferencia de las enterobacterias por ser oxidasa + y de las Pseudomonas por poseer un metabolismo fermentativo.
- Son bacterias acuáticas, de aguas dulces y marinas.
- Una especie, *V. cholerae*, es patógena para el hombre.

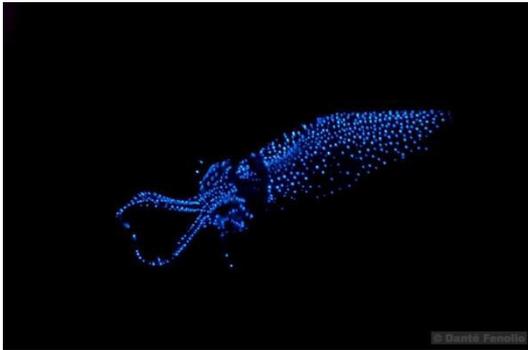
# BIOLUMINISCENCIA BACTERIANA



Bacterias que pueden emitir luz

*Photobacterium, Aliivibrio y Vibrio*

- ❖ Viven en un medio ambiente marino y pueden aislarse de agua marina, sedimentos marinos y la superficie y los tractos intestinales de animales marinos.
- ❖ Algunas especies también colonizan órganos especializados de ciertos peces marinos y calamares denominados órganos luminiscentes, que producen luz que el animal utiliza para enviar señales, evitar predadores y atraer a sus presas



Cuando viven simbióticamente en los órganos luminiscentes de peces o calamares, o saprofiticamente por ejemplo en la piel de peces muertos, o parasíticamente en el cuerpo de algún crustáceo, las bacterias luminiscentes pueden reconocerse por la luz que emiten.

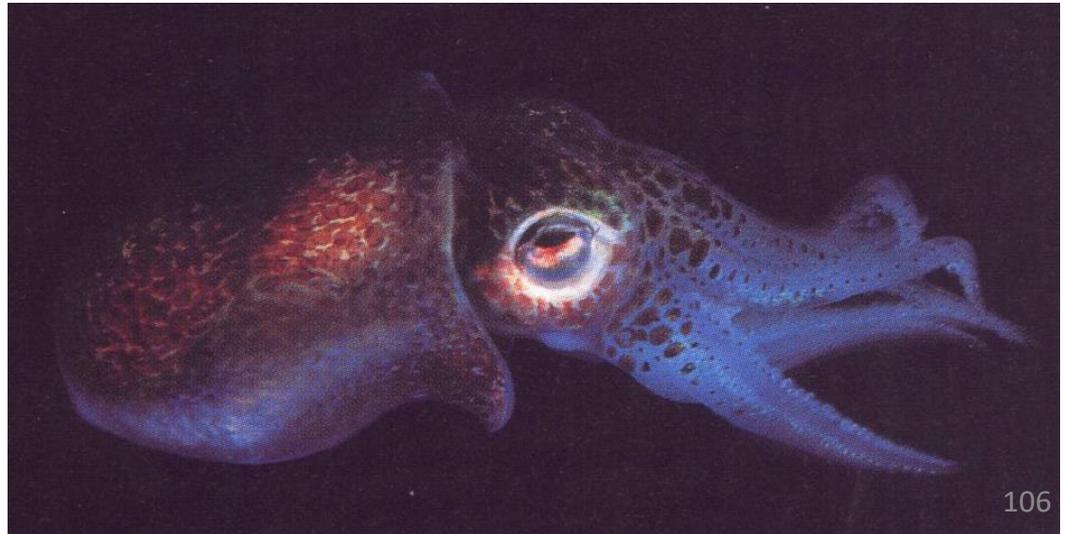
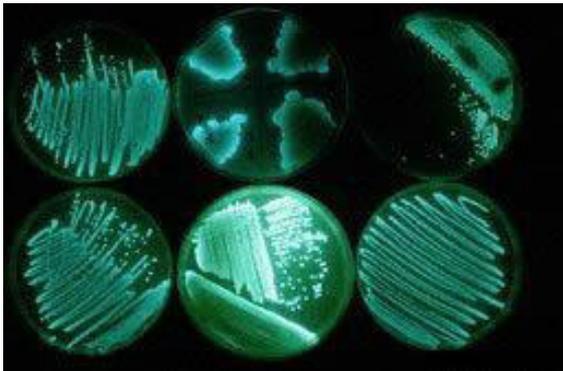
## ***Vibrio* y *Photobacterium* son bacterias bioluminiscentes**

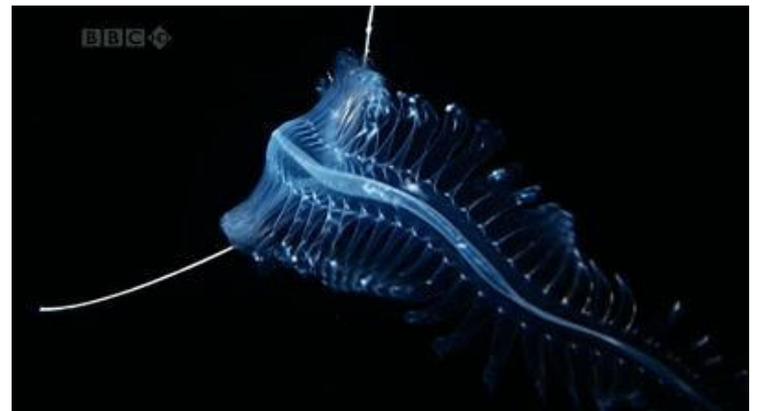
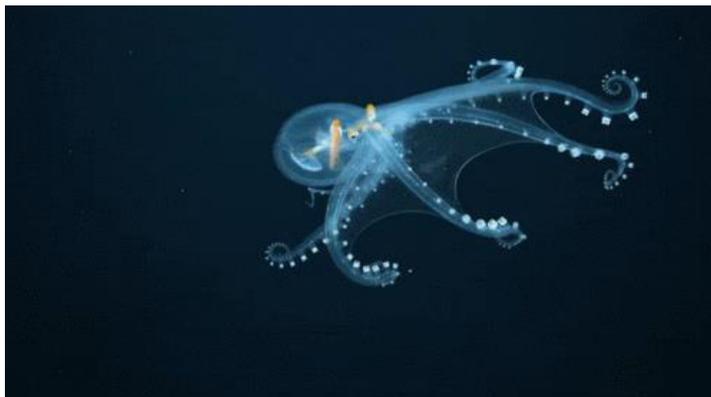
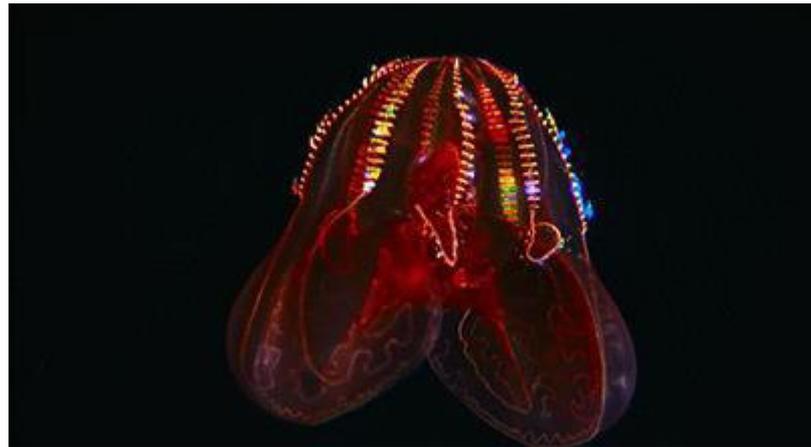
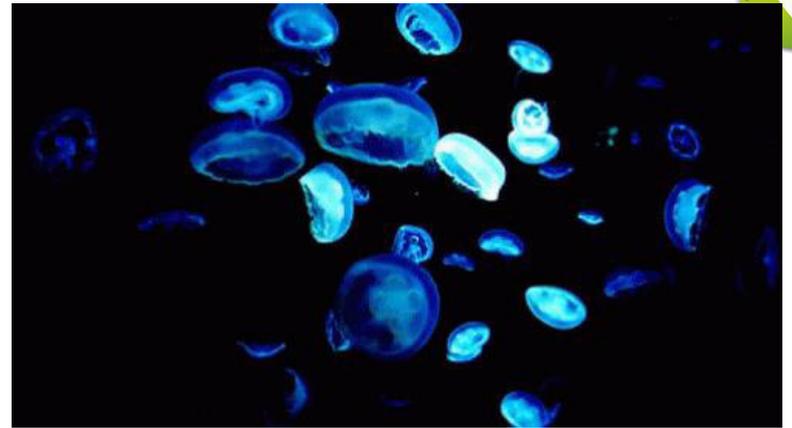
Bacterias marinas que viven asociadas con peces y emiten luz



**Aunque los aislamientos de *Photobacterium*, *Aliivibrio* y *Vibrio* son aerobios facultativos, son bioluminiscentes sólo en presencia de O<sub>2</sub>. La luminiscencia en bacterias está catalizada por la luciferasa bacteriana, que utiliza como sustratos O<sub>2</sub>**

- La síntesis de luciferasa se regula mediante autoinducción.
- Las células liberan un inductor (Acil homoserina lactona).
- Cuando el inductor alcanza una determinada concentración en el medio, se sintetiza el enzima.
- Este mecanismo se conoce como QUORUM SENSING





**GRACIAS**



**POR SU ATENCION**