

## UNIDADE 10: MICROORGANISMOS



1. Introducción
2. Formas acelulares: virus, viroides e príons
  - 2.1. Os virus
  - 2.2. Os ciclos dos virus: ciclos líticos e lisoxénicos
  - 2.3. Viroides e príons
3. Reino Moneras: bacterias e arqueas
  - 3.1. Archeobacterias
  - 3.2. Eubacterias
4. Morfoloxía das bacterias
5. Fisioloxía das bacterias
  - 5.1. Función de nutrición
  - 5.2. Función de relación
  - 5.3. Función de reprodución
6. Os microorganismos no ecosistema

## 1. INTRODUCCIÓN

Os microorganismos son seres vivos —ou entidades biolóxicas, no caso dalgúñas formas acelulares— tan pequenos que non poden observarse a simple vista e requiren o uso do microscopio. Aínda que o seu tamaño sexa diminuto, a súa importancia é enorme: están presentes en practicamente todos os ambientes do planeta, desde o fondo oceánico ata o interior do noso corpo, e desempeñan funcións esenciais para a vida.

Cando falamos de microorganismos referímonos a un grupo moi diverso. Non todos pertencen ao mesmo reino nin teñen a mesma organización. Algúns son organismos celulares completos, mentres que outros nin sequera están formados por células. Por iso, a súa clasificación é ampla e inclúe:

- **Formas acelulares:** virus, viroides e príóns.
- **Organismos procariotas:** bacterias e arqueas incluídas no reino Moneras.
- **Organismos eucariotas microscópicos:** protozoos e algas microscópicas incluídos no reino Protocistas, e mofo, fungos e lévedos microscópicos que pertencen ó reino Fungi.

Esta diversidade mostra unha idea fundamental da microbioloxía: o tamaño non determina a complexidade nin a importancia biolóxica. Os microorganismos poden ser sinxelos na súa estrutura, pero extraordinariamente relevantes no funcionamento dos ecosistemas, na saúde e na biotecnoloxía.



Figura 1. Os seres humanos convivimos con grande cantidade de microorganismos, entre eles algúns están na boca, sobre todo se non lavamos moito os dentes, como este señor do debuxo. Imaxe tomada do vídeo: [The weird history of the cell theory](#)

## 2. AS FORMAS ACELULARES: VIRUS, VIROIDES E PRIÓNOS

### 2.1. Os virus

Os virus carecen da maioría das estruturas e funcións das células; só poden reproducirse dentro doutras células, polo que non se consideran organismos vivos. Coñécense como axentes infecciosos acelulares ou parásitos obrigados.

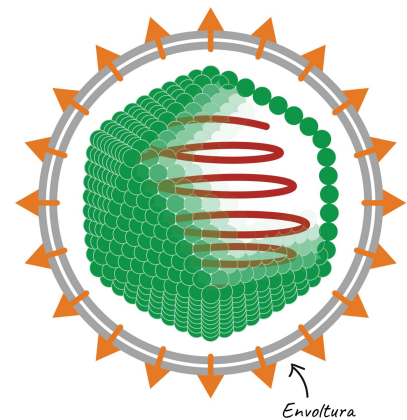
Os virus son moito máis pequenos que as células, o seu tamaño non adoita superar os 2500 Å (unha bacteria como E. coli mide uns 25000 Å).

Os virus teñen a seguinte estrutura:

**Xenoma:** os virus teñen ADN ou ARN, pero nunca as dúas moléculas. Poden ser moléculas lineais ou circulares, dobres ou sinxelas.

**Cápside:** cuberta de proteínas que envolve e protexe o xenoma vírico. Cada unha das pezas proteicas que compoñen a cápside reciben o nome de **capsómeros**. O xenoma e máis cápside forman a **nucleocápside**.

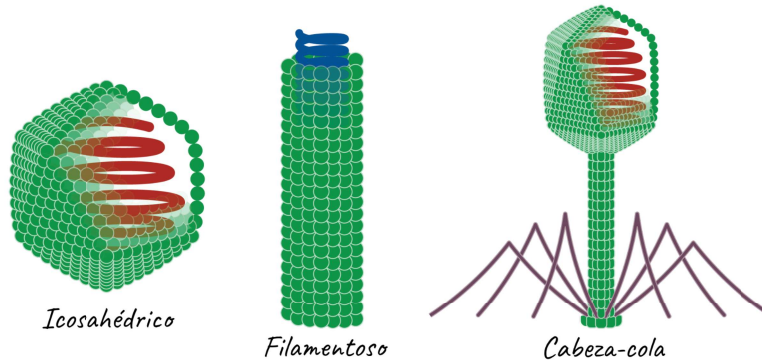
**Cuberta membranosa:** é a envoltura que rodea a nucleocápside. Componse dunha dobre capa lipídica procedente das células invadidas, xunto coas proteínas que a compoñen. As proteínas víricas que saen da cuberta membranosa teñen a función de detectar as seguintes células que infectará o virus.



Os **virus con envolta membranosa** son máis patóxenos que os que non a teñen. Algún exemplos son o virus da gripe, do SIDA ou da SARS-COV-2.

Os virus poden clasificarse de diversos xeitos, entre eles o tipo de material xenético que teñen, a disposición das proteínas na súa cápside ou o hospedeiro que infectan.

Segundo a estrutura da cápside e o tipo de hospedeiro infectado temos:

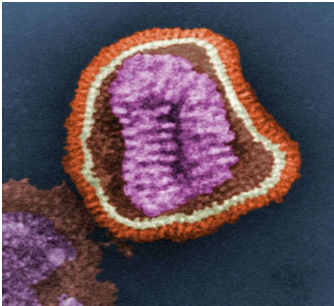


**Virus icosaédrico:**  
 os capsómeros están dispostos formando un icosaedro (figura regular de 20 caras triangulares). Infeccionan animais. Teñen cuberta.

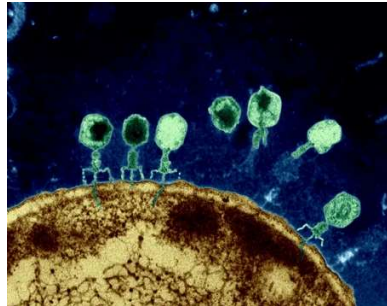
**Virus helicoidal/filamentoso:**  
 os capsómeros están dispostos formando unha espiral. Infeccionan plantas.

**Virus bacteriófagos:**  
 estrutura cola-cabeza. Infeccionan bacterias.

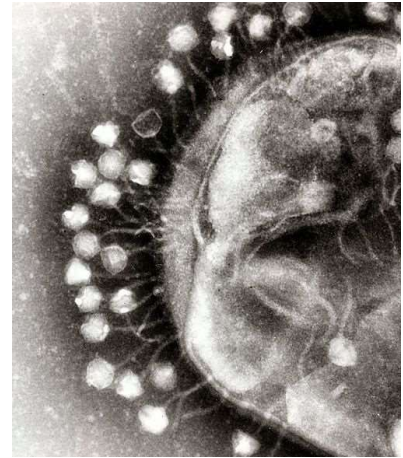
Velaquí algunhas imaxes reais de virus... chulas, eh???



Virus icosaédricos: virus da gripe



Enriba e dereita: Virus bacteriófagos: infeccionan bacterias.

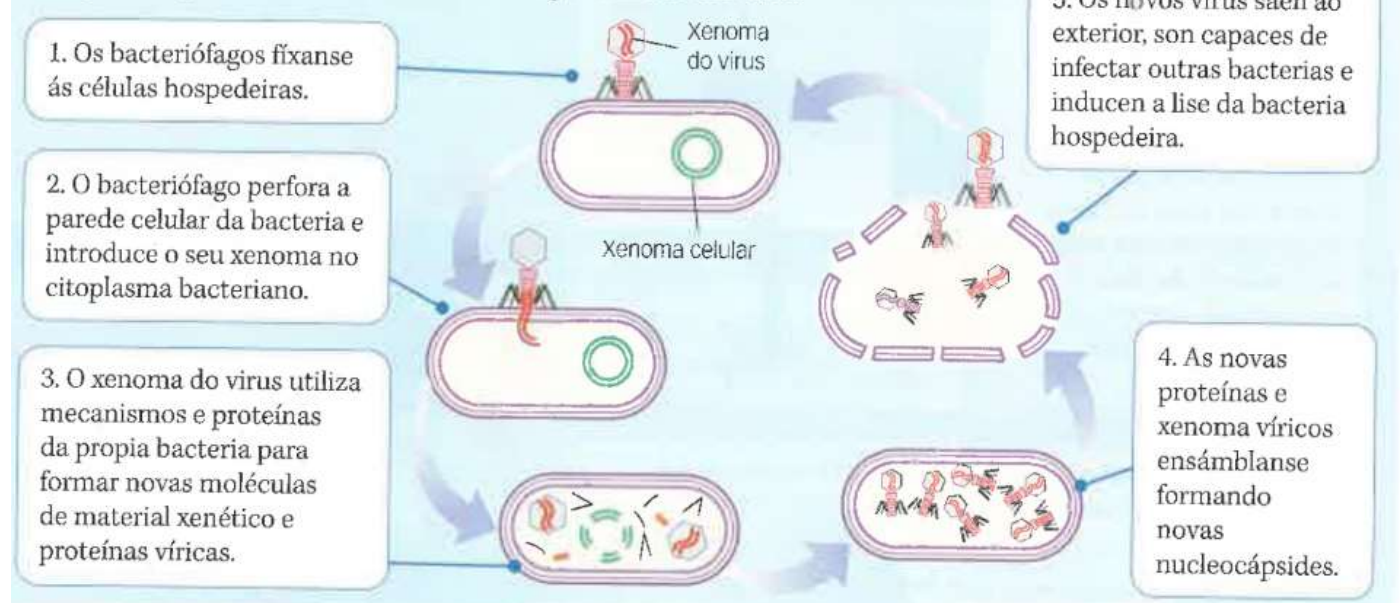


## 2.2. Os ciclos dos virus

Os virus carecen de función de nutrición ao non requirir enerxía para desenvolver nengunha actividade nin materia para crecer. Así mesmo, carecen de función de relación, pois o contacto coas células hospedeiras é totalmente fortuíto. Porén, presentan mecanismos que lles permiten reproducirse dentro das células hospedeiras e obter delas enerxía e materia necesarias para sintetizar novas proteínas e ácidos nucleicos, é dicir, para replicarse. Existen dous tipos de ciclos: o lítico e o lisoxénico.

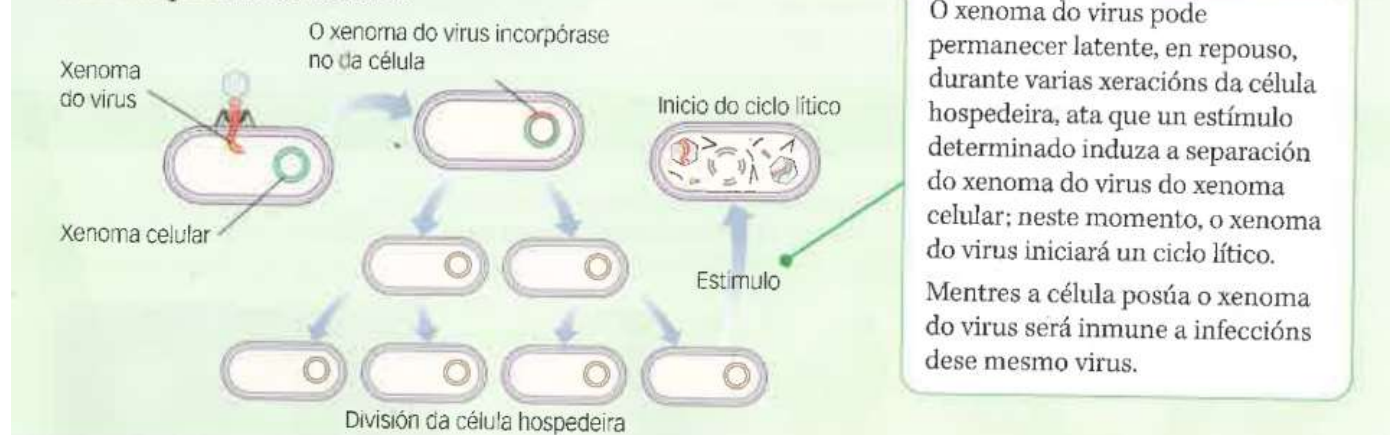
## Ciclo lítico

**Ciclo lítico.** Os virus que presentan este ciclo provocan a destrución (lise) da célula hospedeira que infectan. Os virus bacteriófagos realizan este ciclo.



## Ciclo lísoxénico

**Ciclo lísoxénico.** Os virus que presentan este ciclo non destrúen a célula ao infectala, pero o seu xenoma incorpórase ao xenoma da célula hospedeira ou infectada.



### 2.3. A importancia dos virus

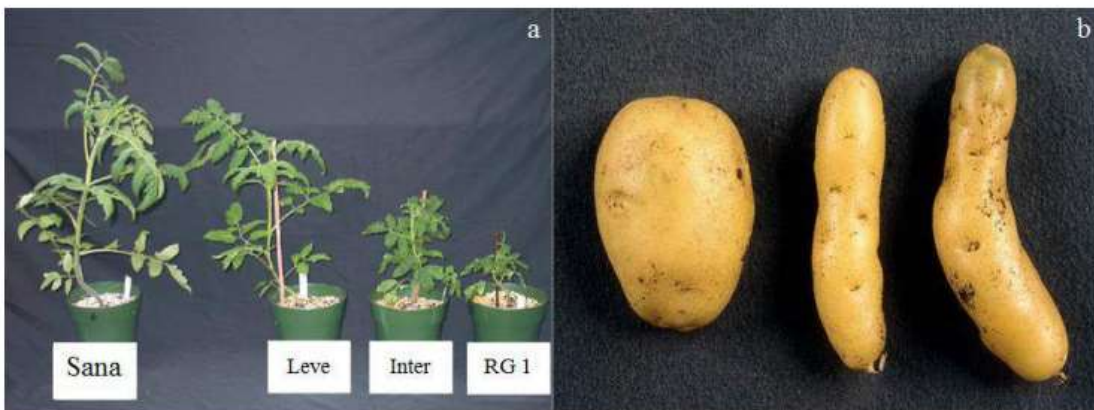
Os virus non só son axentes causantes de enfermidades. Teñen outras funcións, entre elas:

- Considéranse axentes importantes para manter o **equilibrio ecolóxico**. Ademais de reducir poboacións de animais, vexetais e bacterias dun determinado hábitat, son mediadores no intercambio xenético entre individuos dunha mesma ou de diferentes especies e contribúen a xerar variabilidade xenética nos organismos.
- Algúns virus son clave na **investigación biomédica** xa que, á parte de utilizarse para producir vacinas, poden servir como vehículos para introducir información en células con algún defecto e que por tanto non funcionen de forma axeitada.

### 2.4. Os viroides e prións

Os viroides e prións son, coma os virus, formas acelulares, xa que non posúen os mecanismo nin as estruturas necesarias para desenvolver as funcións vitais. Son axentes infecciosos con características máis simples.

Os **viroides** son pequenas moléculas de ARN circular dunha soa cadea, sen cuberta proteica. Infectan células vexetais, provocando diminución do crecemento da planta e un desenvolvemento anormal. Causan por exemplo a enfermidade do tubérculo fusiforme da pataca.

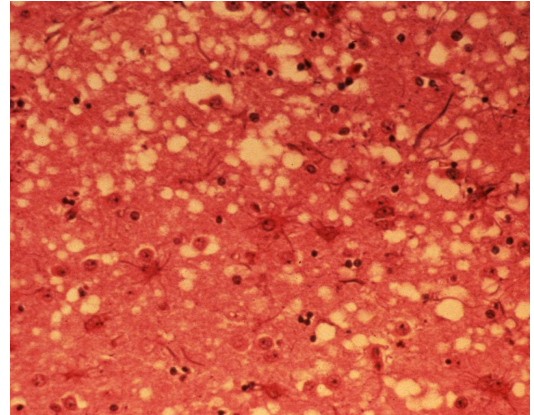


**Figura 2. Síntomas producidos por PSTVd.** a) Plantas de tomate cv. Rutgers infectadas con PSTVd, para observar su efecto leve, intermedio y RG1 (severo) (Owens & Verhoeven, 2009) b) Alargamiento de la papa cv. Nicola con síntoma de PSTVd (Créditos: CABI, 2018).

Os **prións** son formas alteradas de proteínas funcionais que poden inducir nas células afectadas un cambio á forma alterada (algo así como que poden contaxiar ás proteínas sas e facer que perdan a súa funcionalidade). Adoitan ser proteínas de membrana de neuronas, de forma que provocan graves enfermidades neurodexenerativas.

Un exemplo é o síndrome de Creutzfeldt-Jacob, que é unha enfermidade humana causada por un prión. Tamén a encefalopatía esponxiforme (enfermidade das “vacas tolas”).

Na imaxe amósase unha microfotografía de tecido cerebral de vaca afectada pola encefalopatía esponxiforme con “ocos” (en branco) naqueles lugares onde o tecido foi destruído.

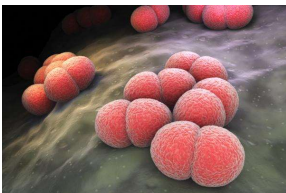


### 3. REINO MONERAS: AS BACTERIAS

O reino Moneras agrupa a todas as bacterias, que son organismos de organización procariota, cuxo tamaño oscila habitualmente entre 0,1 e 50  $\mu\text{m}$ . Poden ser autótrofas ou heterótrofas, e aerobias, anaerobias ou anaerobias facultativas.

As bacterias son os organismos máis antigos, estendidos e numerosos da natureza. Atópanse desde nos xeos polares, onde soportan condicións de conxelación, ata en chemineas asociadas ás dorsais oceánicas, onde a auga que as rodea alcanza os 350  $^{\circ}\text{C}$ ; e desde hábitats salinos a mananciais de augas ácidas, onde poden crecer a temperaturas superiores aos 90  $^{\circ}\text{C}$ .

Atendendo á súa forma, distínguense varios tipos de bacterias: cocos, bacilos e espirilos.



#### COCOS

Tienen forma redondeada, como *Staphylococcus aureus*.



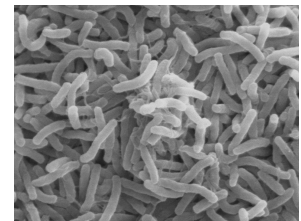
#### BACILOS

De forma alargada y extremos romos, como *Escherichia coli*.



#### ESPIRILOS

De forma espiralada, como *Treponema pallidum*.

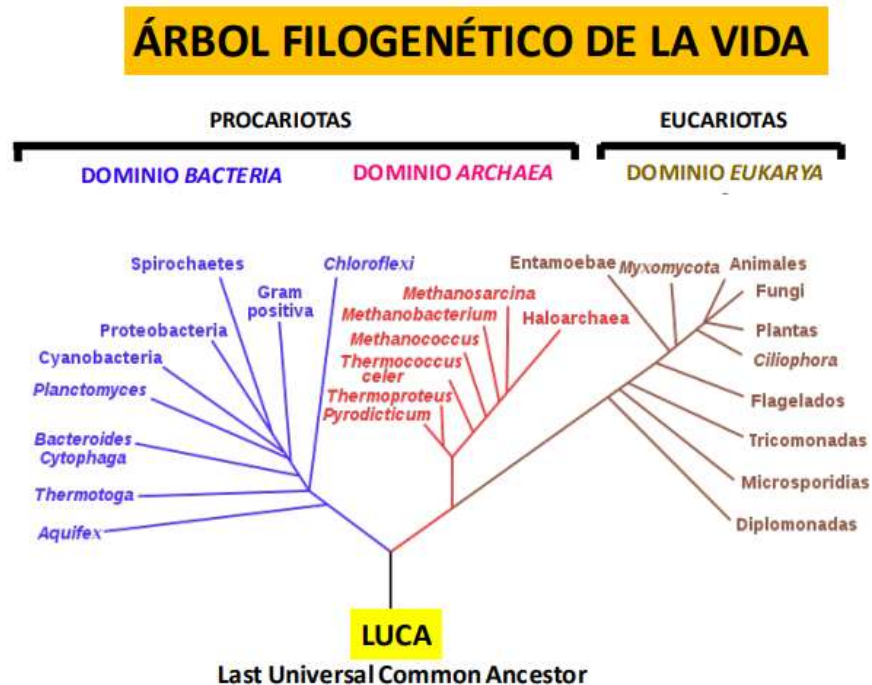


#### VIBRIOS

Tipo especial de espirilos, con forma de coma, como *Vibrio cholerae*.

As bacterias non só aparecen individualizadas, senón tamén formando colonias. As agrupacións de dous cocos ou dous bacilos chámanse **diplococos** ou **diplobacilos**. As fileiras de bacterias son **estreptococos** ou **estreptobacilos**. Só os cocos poden xerar colonias dispostas en dúas dimensións, **estafilococos**, ou en tres, **sarcinas**.

Actualmente, as bacterias clasifícanse **comparando as secuencias do ARN ribosómico**. Cantas máis diferenzas existan, máis separadas estarán as bacterias evolutivamente.



Se analizamos a **historia evolutiva** das bacterias veremos que hai dúas liñas, que se separaron pouco despois da aparición da vida na Terra. Formáronse por unha banda as **eubacterias**, un grupo do que descenden tódalas células procariotas actuais, e por outro as **arqueobacterias**, con características estruturais e metabólicas diferentes. Despois, hai 1600 Ma, formáronse as primeiras células eucariotas a partir da unión simbiótica de varios tipos de bacterias (teoría da endosimbiose).

### 3.1. Arqueobacterias

As arqueobacterias englobáanse dentro do dominio Archaea. Son procariotas, xeralmente anaerobios e adoitan vivir en ambientes extremos, como augas hipersalinas ou ácidas, ou lugares con moi altas temperaturas. A parede celular das arqueobacterias carece de mureína. O seu material xenético está formado por unha única molécula de ADN circular, máis pequena que o do resto das bacterias.

**Halófilas extremas.**  
Son organismos aerobios que viven en ambientes hipersalinos como lagos salinos, profundidades marifias, etc.



**Termófilas.** Sobreviven entre 45 °C e 121 °C. Encóntanse en solos quecidos pola actividade volcánica ou fallas da codia oceánica.



**Acidófilas.**  
Desenvólvense a pH\* menores de 3. Habitan en termas volcánicas con fisuras polas que saen vapores sulfurosos.



**Metanóxenas.**  
Producen metano (CH<sub>4</sub>) e habitan en marismas, pantanos, tracto dixestivo de animais ou fontes hidrotermais.



As arqueobacterias son de utilidade para o ser humano. Por exemplo, nas plantas depuradoras de auga, as arqueobacterias metanóxenas dixiren as lamas residuais. Na industria alimentaria, as arqueobacterias halófilas empréganse para conservar as características sensoriais dos alimentos; na industria de plásticos utilízanse como xeradores de novas tecnoloxías compatibles co medio ambiente.

Por outro lado, son as responsables de xerar metano en medios pantanosos ou zonas asulagadas, con grandes cantidades de materia orgánica en descomposición. Tamén producen metano en plantas de tratamento de augas residuais e nos aparatos dixestivos de animais, como os herbívoros rumiantes. O metano é un dos gases do efecto invernadoiro.

### 3.2. Eubacterias

Son as bacterias propiamente ditas e englobanse no dominio Bacteria. Son moi diversas. Todas presentan parede celular, excepto os micoplasmas, que son os organismos máis simples, que comunmente producen enfermidades. As paredes conteñen mureína e a súa membrana plasmática é similar ás da célula eucariota. Poden ser grampositivas ou gramnegativas.

Dentro das **grampositivas (G+)** están:

- As bacterias patóxenas, que crean infeccións na boca vías respiratorias e pel na especie humana.
- As bacterias acidófilas, que son empregadas para producir derivados lácteos na industria alimentaria, como o iogur ou o queixo.

Dentro das **gramnegativas (G-)** están:

- As bacterias que fixan nitróxeno nas raíces das plantas.
- As cianobacterias, que realizan unha fotosíntese similar á de algas e plantas superiores.
- As enterobacterias, que poden provocar intoxicacións alimentarias. Algunhas viven na flora microbiana do intestino humano.

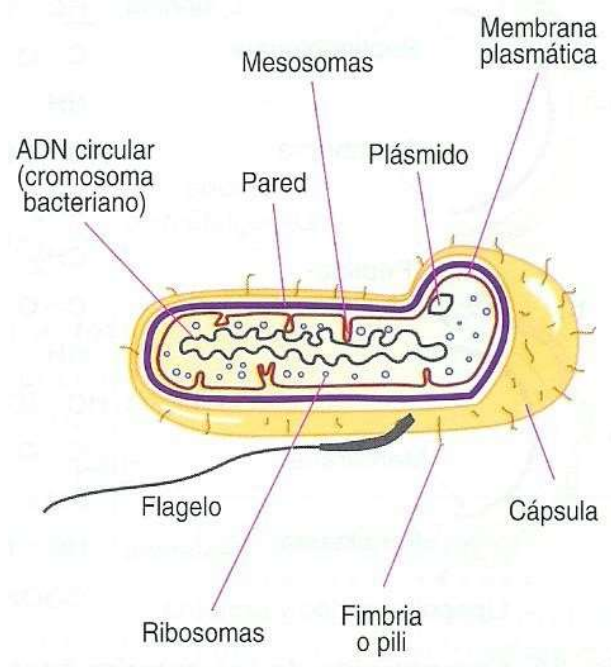
## 4. MORFOLOXÍA DAS BACTERIAS

### 4.1. Principais estruturas

As bacterias son seres vivos **unicelulares** e de organización **procariota**, capaces de nutrirse, reproducirse e relacionarse co seu medio por si mesmas.

A diferenza das células eucariotas, non teñen apenas orgánulos e carecen de núcleo definido. Porén, as envolturas celulares das bacterias amosan unha gran complexidade.

As **principais estruturas** presentes nas bacterias son as seguintes: **cápsula, parede celular, membrana plasmática, citoplasma, material xenético, pili e fimbrias, e flaxelos**. Ademais, as células bacterianas presentan **citoesqueleto**.



#### Cápsula bacteriana

É unha capa externa presente en case todas as bacterias patóxenas. Ten entre 10 e 40 nm de grosor e non presenta unha estrutura definida. Entre as súas principais funcións destacan as seguintes:

- Regular o intercambio de auga, ións e nutrientes co medio.
- Ser un reservorio de auga en situacións de desecación.
- Facilitar a adherencia aos tecidos do hóspede.
- Dificultar a acción de anticorpos, bacteriófagos e células fagocíticas (protección).

#### Pared celular ou bacteriana

É unha envoltura ríxida, de entre 5 e 10 nm de grosor, e característica de case todos os tipos de bacterias.

As súas funcións son manter a forma da célula fronte aos cambios de presión osmótica, regular o paso de ións e resistir á acción dos antibióticos.

A súa estrutura ponse en evidencia por medio da **tinción de Gram**, un método que consiste en expoñer as bacterias á acción de dous colorantes, o cristal violeta e a safranina. Dependendo da cor que presente a parede tras ese tratamento, diferéncianse dous grupos de bacterias:

- Bacterias GRAM positivas: tras sometelas á tinción de Gram, a parede tórnase violeta.
- Bacterias GRAM negativas: tras sometelas á tinción de Gram, a parede tórnase rosada.

## Membrana plasmática

É a estrutura que limita o citoplasma e regula o paso de substancias. Dende un punto de vista estrutural, diferénciase da membrana das células eucariotas en que non ten colesterol. **Os mesosomas, eses repregamentos ou invaxinacións da membrana** dos que xa falamos, **non existen**. As observacións a partires das cales se definiron son artefactos, é dicir, efectos artificias creados durante os procesos de tinción.

## Citoplasma

Está formado por unha disolución xelatinosa de auga e proteínas; rodea o nucleóide e dentro del atópanse:

- Os ribosomas; son moi abundantes e os únicos orgánulos bacterianos. Son máis pequenos que os das células eucariotas (70S fronte a 80S, respectivamente).
- Inclusións: son substancias que a célula acumula nos momentos de abundancia (reservas) ou ben refugallos metabólicos.
- Vesículas: son pequenos espazos delimitados por proteínas que poden ser liberados ou absorbidos polas células. Sirven como mecanismos de defensa, vías de comunicación entre bacterias ou mecanismos de incorporación de substancias do medio (como ferro).

**Citoesqueleto:** as células bacterianas posúen un citoesqueleto formado por proteínas parecidas á actina e tubulina das células eucariotas. Estas proteínas participan tantp no proceso de dirixir ós cromosomas durante a reprodución coma na formación do septo (“tabique”) que vai individualizar as dúas células fillas.

## Material xenético

A información xenética das bacterias atópase nos **cromosomas**, que son moléculas de ADN bicatenario que pode ser circular ou lineal. Dependendo da especie, a bacteria pode ter un único cromosomas ou máis de un. Ademais, hai pequenas moléculas que se denominan **plásmidos**, que poden ser lineais ou circulares. Moitas veces bacterias doadoras transfiren plásmidos a outras receptoras.

## Pili e fimbrias

Son estruturas tubulares que aparecen na superficie dalgunhas bacterias. As fimbrias son curtas e numerosas e só aparecen insertadas na parede e cápsula. Os pili atravesan a membrana plasmática e a través delas prodúcese intercambio de material xenético entre bacterias.

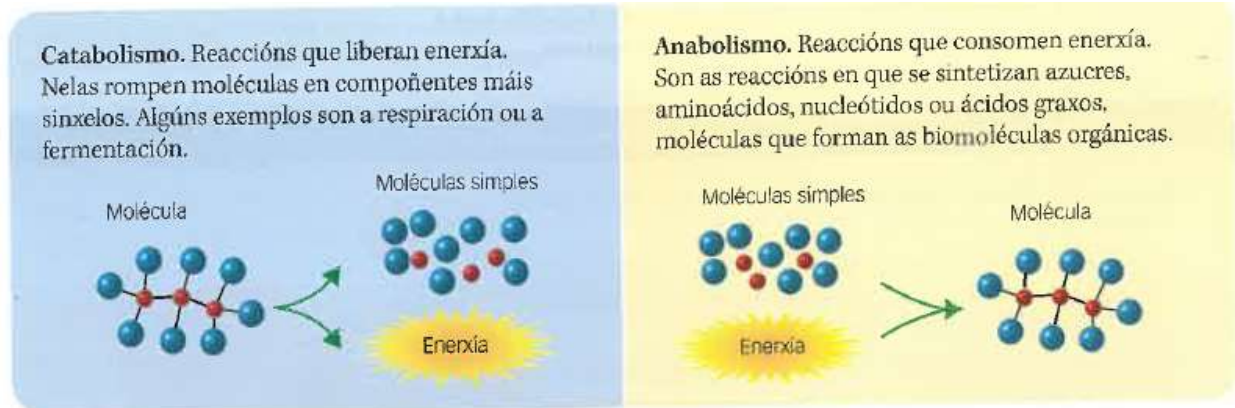
## Flaxelos

Son estruturas de locomoción, tanto en medios líquidos (natación) coma sobre sólidos, que se presenten nun número variable. Están formadas por proteínas filamentosas.

## 5. FISIOLOXÍA DAS BACTERIAS

### 5.1. A nutrición: metabolismo bacteriano

Lembrede que o **metabolismo** é o conxunto de reaccións químicas que acontecen dentro dunha célula e polas que obtén a materia e a enerxía que precisa para crecer e reproducirse. Está formado polo catabolismo e o anabolismo.



As bacterias presentan unha ampla variedade de formas de nutrición e metabolismo. Así, unha mesma especie pode ter dúas formas alternativas de metabolismo, que empregará en función da dispoñibilidade de alimento e das condicións do medio.

Segundo as fontes de materia (carbono) e enerxía, é dicir, dependendo do metabolismo que teñan, as bacterias clasifícanse nestes grupos:

Tipos de metabolismo		Segundo a fonte de enerxía	
		Fotosintéticos. A fonte de enerxía é a luz.	Químiosintéticos. Obteñen a enerxía das propias reaccións químicas.
Segundo a fonte de carbono	Autótrofos. Obteñen o carbono do dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) atmosférico.	<b>Fotoautótrofos.</b> Utilizan luz como fonte de enerxía e obteñen CO <sub>2</sub> da atmosfera. Un exemplo son as cianobacterias.	<b>Químioautótrofos.</b> Forman compostos orgánicos grazas ao CO <sub>2</sub> atmosférico e á enerxía liberada en reaccións de compostos inorgánicos. Por exemplo, as bacterias nitrificantes.
	Heterótrofos. Obteñen o carbono de materia orgánica como a glicosa, as proteínas e as graxas.	<b>Fotoheterótrofos.</b> Requiren enerxía luminosa e moléculas orgánicas como fonte de carbono. Un exemplo son as bacterias púrpuras non sulfurosas.	<b>Químioheterótrofos.</b> Son a maioría das bacterias que se alimentan de materia orgánica morta como cadáveres de animais e restos vexetais.

## 5.2. A función de relación

As bacterias son sensibles a estímulos como a luz ou a substancias químicas do medio.

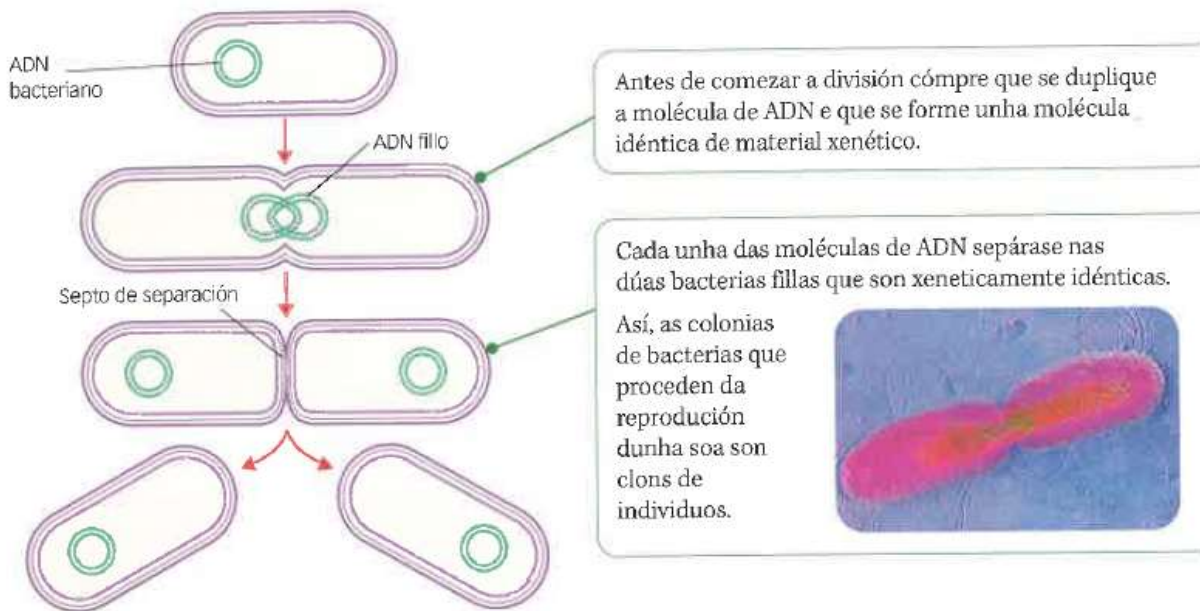
Ante eses estímulos poden moverse, impulsándose se teñen flagelos, ou reptando, se non os teñen; nese caso o desprazamento estará relacionado con contraccións e dilatacións da membrana.

Se non se poden mover, ante condicións adversas fabrican unha **endospora**, que é unha estrutura de resistencia que se forma no interior da bacteria. Protexen o seu ADN cunha cuberta e reducen o metabolismo ó mínimo. Así poden resistir ata que as condicións volven a ser axeitadas. Cando iso sucede, a endospora xermina e xera novas bacterias con tódalas funcións activas.

## 5.3. A función de reprodución

As bacterias son seres haploides que se reproducen **asexualmente por bipartición**. Previamente, dúplícanse os seus cromosomas (un ou máis de un) e un proceso de estrangulamento posterior xera dúas células fillas xeneticamente idénticas. En condicións óptimas, unha bacteria pode dividirse cada vinte minutos. Unha colonia é un clon de bacterias.

Ademais deste tipo de reprodución, existen outros **mecanismos** nos que se produce a **transferencia (nunca intercambio) de material xenético** entre individuos, xa sexa de células proxenitoras a descendentes (transferencia vertical) ou entre células coetáneas. Estes mecanismos, que proporcionan variabilidade xenética, son a conxugación, a transformación e a transdución.



## CONJUGACIÓN

Unha bacteria doadora transmite ADN dos seus plásmidos ou un fragmento de ADN cromosómico a unha bacteria receptora, mediante un contacto directo entre ambas. En bacterias GRAM negativas o contacto directo establécese grazas a un pilus, que cando se acurta achega ás dúas células. A transferencia **NUNCA** se produce a través da canle interna do pilus.

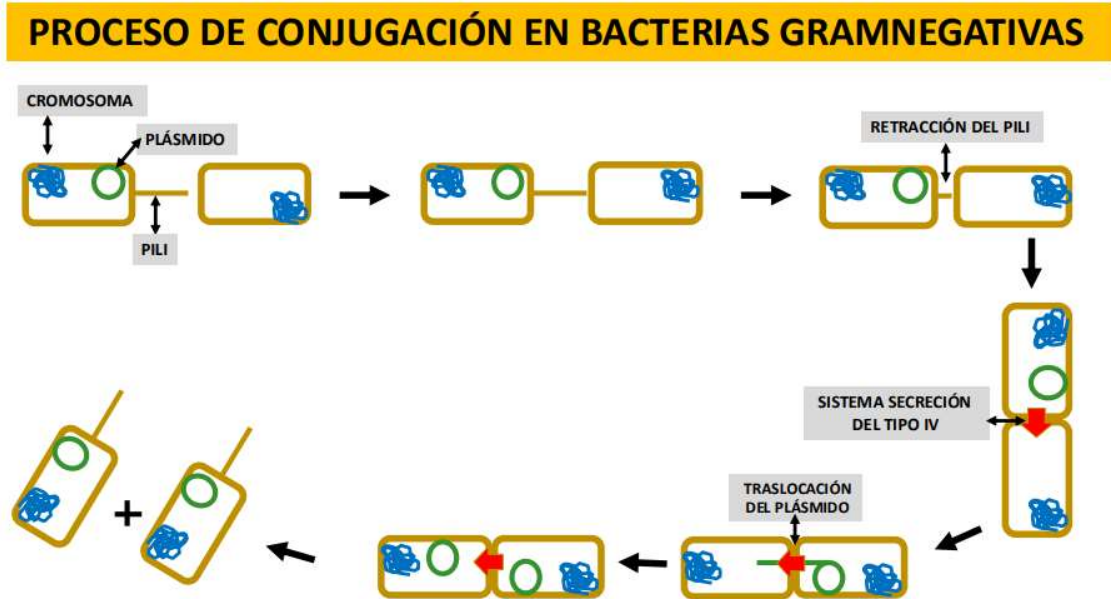
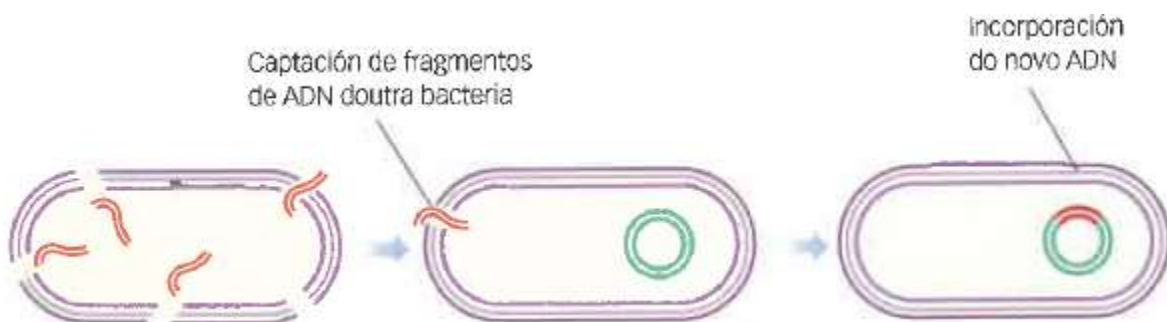


Figura 9. Etapas en el proceso de conjugación en células bacterianas gramnegativas.

## TRANSFORMACIÓN

As bacterias poden captar do medio fragmentos de ADN procedentes da lise doutras bacterias ou doutras células; traLa captación, integran ese material xenético externo no seu propio cromosoma. Cando a bacteria transformada se reproduce, transmite á súa descendencia a nova información.

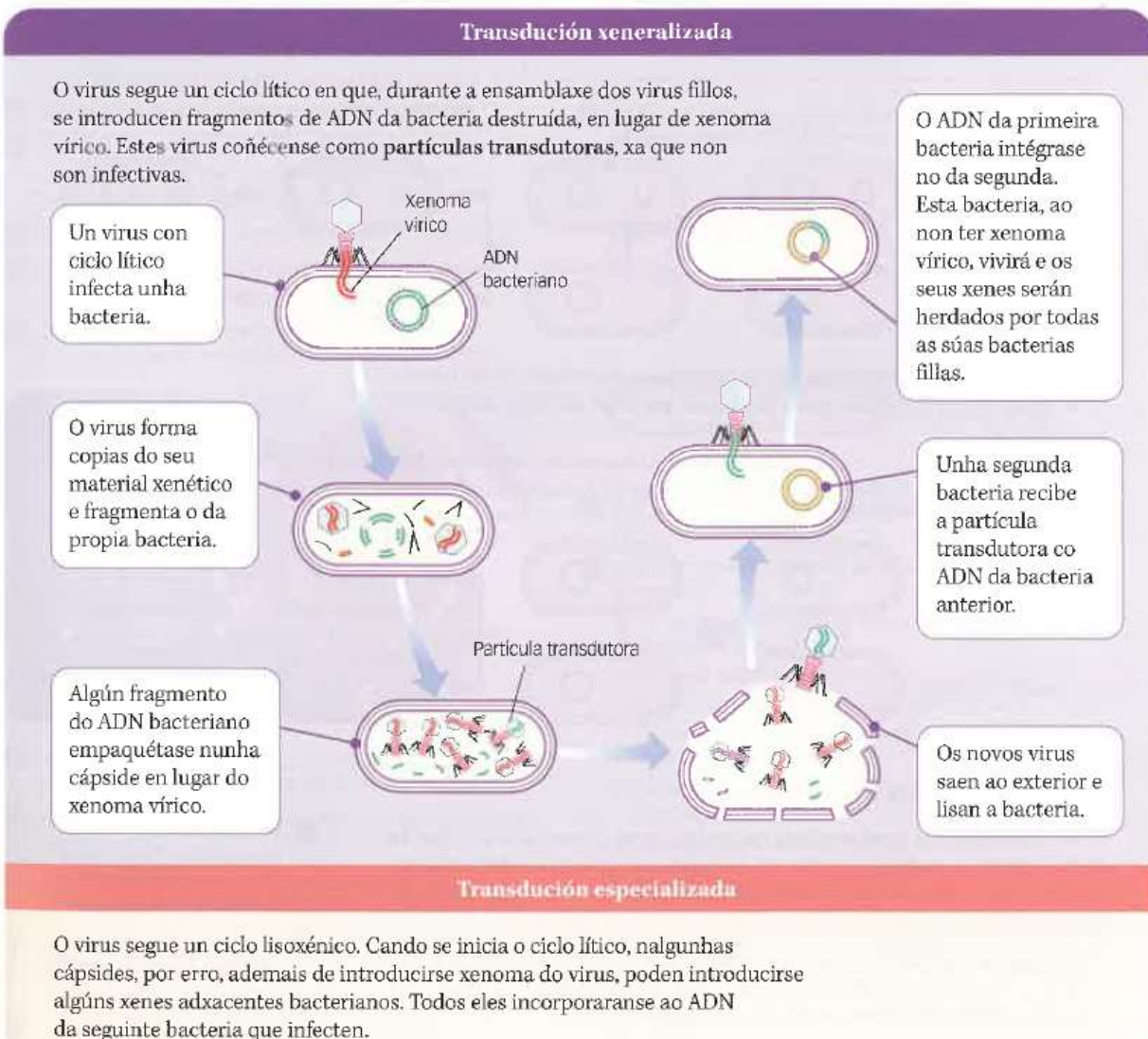


## TRANSDUCIÓN

As bacterias reciben material xenético mediante un virus transmisor, un bacteriófago. O virus intégrase no cromosoma da bacteria que actúa como doadora. Cando se separa dela para comezar un ciclo lítico, arrastra algúns xenes que transmite á bacteria receptora na infección. Existen dúas posibilidades: transducción xeralizada ou transducción especializada.

Na **transducción xeralizada** un virus que leva a cabo un ciclo lítico corta por error parte do cromosoma bacteriano e empaqueta ese fragmento dentro dunha cápside vírica. Así, cando sae da célula **ese virus levará unicamente ADN da célula doadora**, que pasará á bacteria que sexa infectada de novo.

A **transducción especializada** sucede en bacterias infectadas por virus en ciclo lisoxénico, é dicir, procesos no que o ADN vírico está integrado no cromosoma bacteriano. Cando o virus pasa a ciclo lítico e abandona á bacteria doadora, no proceso de corte de ADN prodúcese un erro e un fragmento de ADN bacteriano queda unido ó do virus, formándose un ADN híbrido. Cando ese virus infecte novas bacterias, transferirá tanto o ADN propio como o fragmento de ADN bacteriano da célula doadora.



Os tres mecanismos implican **transferencia xenética entre o material xenético propio e o engadido**, o que explica a variabilidade que poden presentar algunhas bacterias cando conviven con outras especies. Por exemplo, hai bacterias patóxenas resistentes aos antibióticos, que adquiriron esta capacidade ao convivir no intestino con bacterias simbióticas que resisten á acción destes fármacos.

## 6. OS MICROORGANISMOS NO ECOSISTEMA: OS CICLOS BIOXEOQUÍMICOS

A materia circula polos ecosistemas nun sistema pechado. Os seres produtores constrúen moléculas orgánicas a partir dun composto orgánico, o  $\text{CO}_2$  e unha fonte de enerxía, que pode ser a da luz solar ou a que se desprende da oxidación de compostos inorgánicos. A materia orgánica elaborada pasa ós consumidores (que a aproveitan) e aos descompoñedores, que a degradan e a transforman de novo en minerais, que serán asimilables de novo, reincorporándose ó ciclo.

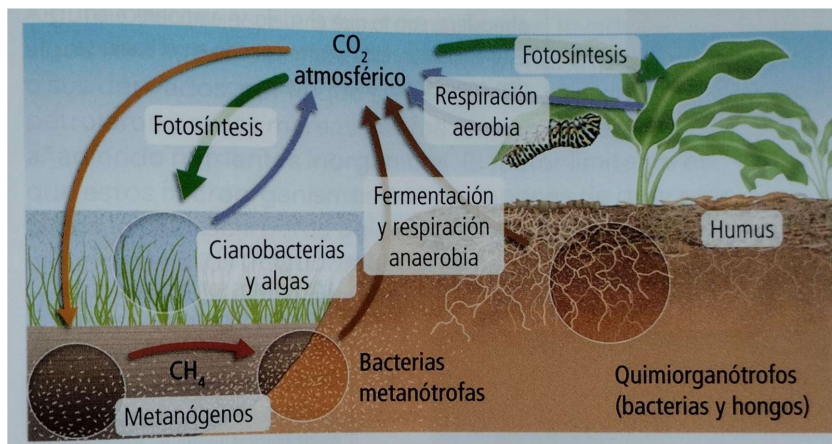
Deste xeito, a materia mantense constante: os bioelementos que a compoñen circulan entre os seres vivos e a materia mineral, segundo os mecanismos de transformación que son coñecidos como **ciclos bioxeoquímicos**.

Os microorganismos teñen un papel esencial nos ciclos bioxeoquímicos, porque algunhas transformacións só as poden levar a cabo bacterias. Son, por tanto, imprescindibles para a vida.

Quedémonos polo menos cunha idea xeral destes ciclos bioxeoquímicos: CICLO DO CARBONO, CICLO DO NITRÓXENO, CICLO DO XOFRE E CICLO DO FÓSFORO.

### CICLO DO CARBONO

Existen tres reservorios de carbono: as rochas carbonatadas, os combustibles fósiles e a atmosfera. Os dous primeiros son pouco activos e, excepto pola combustión, o carbono dificilmente pode pasar ós seres vivos. A atmosfera pola contra é moi activa e está gañando carbono constantemente debido ós procesos da respiración e a combustión.

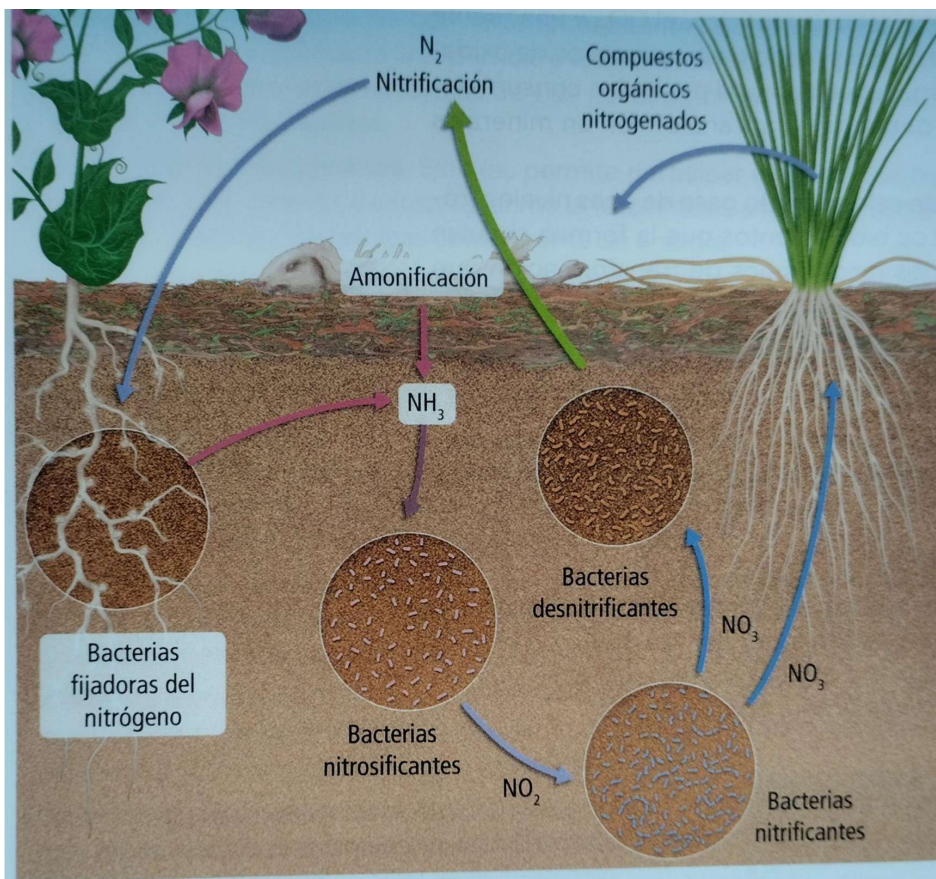


As plantas nos ambientes terrestres e as algas e cianobacterias nos acuáticos son os principais fixadores de  $\text{CO}_2$ . Mediante a fotosíntese incorpóranlo á materia orgánica, que serve de fonte de enerxía e carbono ós seres heterótrofos. Os restos de animais e plantas constitúen acúmulos de materia

orgánica sobre a que actúan os bacterias e fungos para descompoñelos e devolvelos ó medio por fermentacións ou respiración anaerobia. As arqueobacterias metanoxénicas empregan ese  $\text{CO}_2$  para producir metano, que se volverá a oxidar ata convertirse en  $\text{CO}_2$  atmosférico pola acción das bacterias metanótrofas.

## CICLO DO NITRÓXENO

A atmosfera acumula nitróxeno en forma molecular ( $\text{N}_2$ ) e, nunha pequena porcentaxe, en forma de óxidos e amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) procedentes das erupcións volcánicas. O nitróxeno precipita no chan e na auga en forma de nitratos; así pode ser asimilado polas plantas. Os animais inxérenco coa súa dieta.



Cando os organismos morren, os seus restos sofren putrefacción polas bacterias e os fungos do chan, que xeran amoníaco nun proceso chamado amonificación. O amoníaco, mediante a nitrificación, pode ser utilizado polas plantas. Este proceso transcorre en dúas etapas: primeiro actúan as bacterias nitrosificantes (Nitrosomonas), que oxidan o amoníaco a nitritos, e despois, as bacterias nitrificantes (*Nitrobacter*), que converten os nitritos en nitratos. Estes nitratos poden ser asimilados polas plantas e, a través delas, pasar aos animais.

O nitróxeno atmosférico non pode chegar directamente ás plantas; faino pola acción das bacterias fixadoras de nitróxeno, como *Nostoc*, *Azotobacter*, *Clostridium* ou *Rhizobium*. Estas viven en simbiose con plantas leguminosas formando nódulos radiculares nos que o nitróxeno atmosférico convértese en amoníaco.

Pechando o ciclo, as bacterias desnitrificantes, como *Pseudomonas*, converten os nitratos en nitróxeno molecular, que pasa de novo á atmosfera, co que o chan se empobrece neste elemento. Isto ocorre cando no chan se dan condicións anaerobias.

## CICLO DO FÓSFORO

O fósforo chega ao chan grazas á actividade das bacterias fosfatizantes, que achegan fosfatos a partir da urina, as feces e os tecidos de animais e plantas. Os fosfatos son utilizados polas plantas e desde elas pasan aos animais a través das cadeas tróficas.

Os fosfatos son arrastrados polas augas superficiais ata as concas oceánicas. Alí, unha parte pérdese nos fondos oceánicos e outra é captada polas algas e as plantas mariñas, desde as que chega aos animais acuáticos para formar esqueletos e cunchas. Os seus restos son devoltos ao mar polos descomponedores. As aves mariñas, que se alimentan de peixe, son as responsables da recuperación de parte dos fosfatos mediante a acumulación de excrementos en zonas de nidificación ou de colonias; son os depósitos de guano, que se explotan industrialmente pola súa importancia agrícola.

