



Proxecto de Educación Ambiental CAMBIO CLIMÁTICO

Libro Didáctico **3**:

AUGA E CAMBIO CLIMÁTICO

Capítulo 4. A auga, fonte de vida dende
os océanos á terra firme

978-84-453-4994-6

Francisco Sóñora Luna (coordinador)
Francisco Anguita Virella

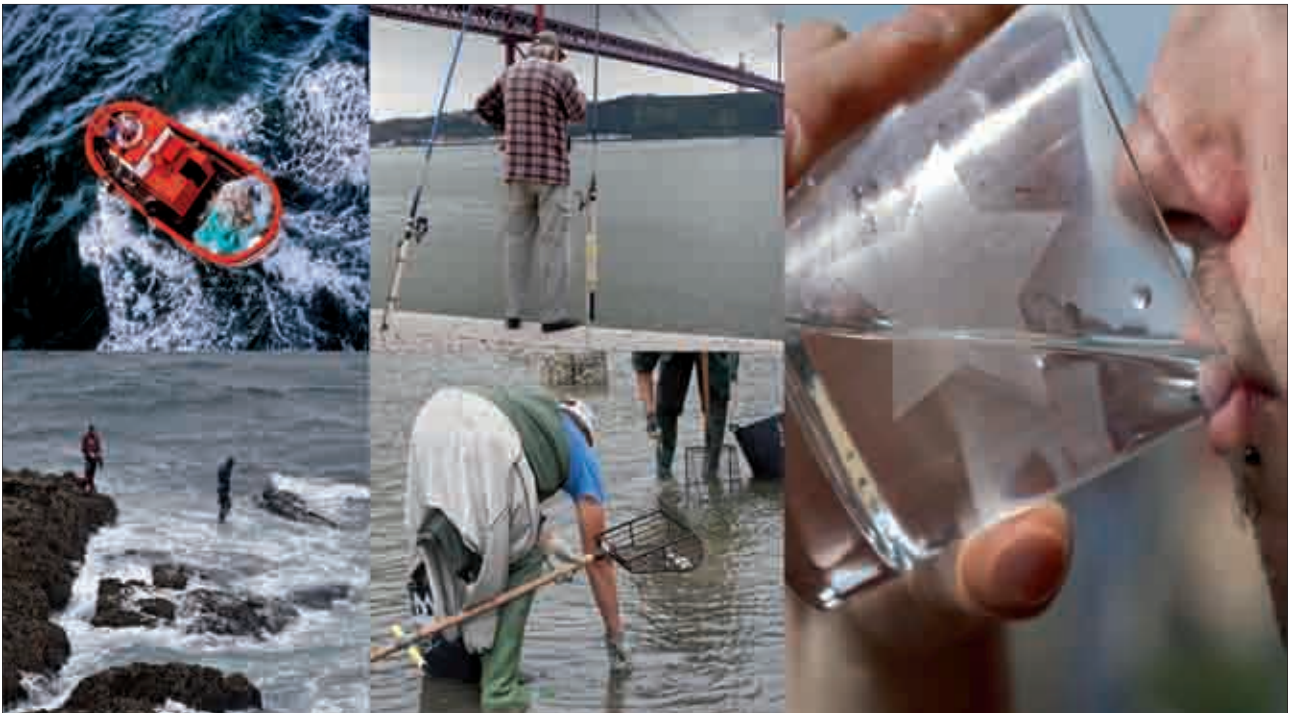


XUNTA DE GALICIA

4. A AUGA, FONTE DE VIDA DENDE OS OCÉANOS Á TERRA FIRME

Responde co que sabes agora

- Como pensas que eran e en que condicións vivían os primeiros seres vivos?
- En que momento os seres vivos conquistaron a terra firme e cales foron as primeiras especies pioneiras en saíren da auga?
- Ordena os grandes grupos zoolóxicos e botánicos segundo a súa menor ou maior independencia da auga.
- Explica as estratexias que usan para vivir independentes da auga os diferentes grandes grupos de organismos terrestres.
- Por que ningún ser vivo consegue unha independencia plena da auga?



A aparición da vida nos mares

Como xa comentamos no capítulo 1, é moi posible que a auga chegase á Terra procedente de antigos cometas e meteoritos, e dende aquela está connosco a través de diversos e complexos procesos de reciclaxe sobre os que tratou de maneira específica o capítulo 2.

En que medida puido contribuír un medio moi cálido á aparición da vida?

Xa reflexionamos sobre as condicións de consolidación da hidrosfera. Tal e como vimos, o planeta Terra, no momento da súa formación, hai 4.600 millóns de anos, era demasiado quente para que a auga líquida permanecese nel, polo que todo o vapor tivo que saír do





seu interior a través dos cráteres volcánicos; cando o planeta arrefriou, os vapores condensáronse en forma de diluvios descomunais, e así a auga líquida puido permanecer na superficie. Iso non é óbice para que, dende aquela ata os nosos días, se siga a perder auga de forma continua, mais extremadamente lenta, cara ao espazo.

- En que medida a superpoboación, os nosos hábitos de consumo e a xestión da auga e o arrefriamento global poden chegar a situar a auga entre os temas centrais de debate do noso século?
- Sabemos que Venus era lixeiramente máis cálido que a Terra durante o primeiro período do sistema solar, e tamén que é posible que, igual que a Terra, tivese mares:
 - Por que pensas que non puido conservar auga na súa superficie?
 - Que consecuencias tería para o clima?
 - Que ensinanzas podemos extraer de Venus para modificar as nosas prácticas de consumo e de xestión dos recursos?

Na actualidade temos evidencias de que a vida xurdiu inmediatamente despois da orixe da Terra, nunha época que se pode aproximar aos 4.000 millóns de anos de antigüidade, así que, daquela, a Terra debía ser un paraíso molecular cuxa evolución no tipo de reaccións conduciu inexorablemente á aparición da vida.

Todos os escenarios recollidos nas hipóteses sobre a orixe da vida inclúen a necesidade de auga para a aparición da vida. Partindo do concepto de "cálido charquiño" do que falaba Darwin, inspirándose nas súas observacións e conclusións nas Galápagos, suponse que a vida xurdiu vinculada aos primitivos océanos, iniciándose nas burbullantes chemineas submarinas, situadas nun océano cargado de moléculas diversas, entre as que destacaría a presenza importante de hidrocarburos, e en especial de metano.

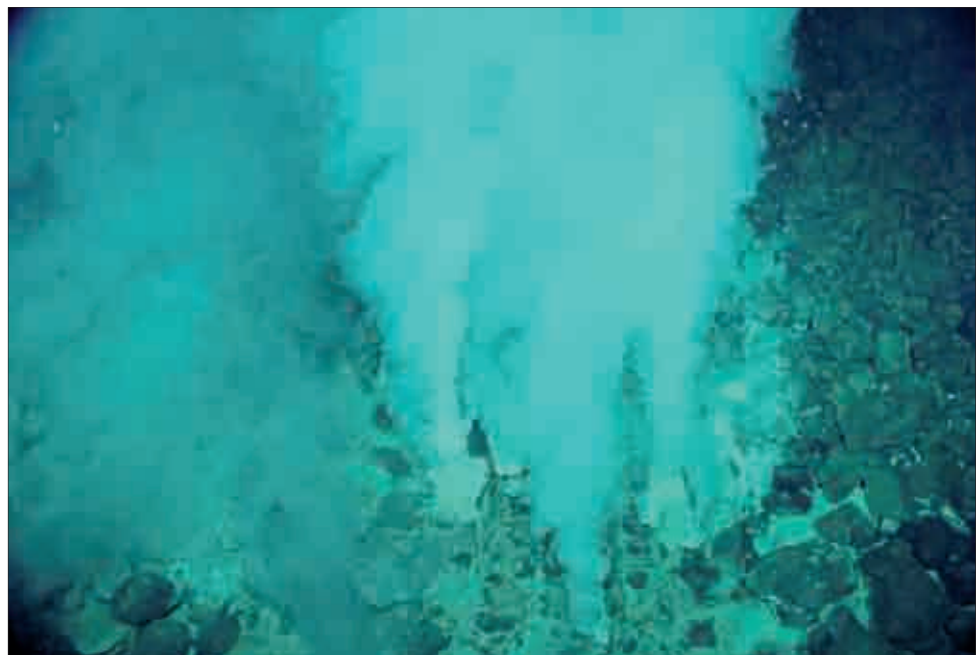


Figura 1. Chimenea submarina

O feito de que a orixe da vida estea vinculada a esas condicións implica, por desgraza, renunciar a atoparmos fósiles das primeiras formas viventes, pois calquera organismo simple desas épocas tivo que desaparecer calcinado nos procesos que transformaron os lodos do océano primitivo en pedra. Pero se esmagamos as pedras e facemos un exame de química analítica do seu contido, se eses organismos existiron no lodo do océano primitivo que as orixinou, no resultado do proceso de trituración deberían aparecer os elementos químicos, coma o carbono, que forman as moléculas biolóxicas. Como os organismos prefiren o isótopo lixeiro (^{12}C) ao pesado (^{13}C), se en rochas metamórficas derivadas de antigos lodos oceánicos atopamos bandas ricas en C cunha elevada taxa $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$, estaremos ante unha proba inequívoca de que esas bandas de C conteñen materia procedente de seres vivos. Con todo, atopamos outro problema para localizar estas rochas, porque a maior parte da cortiza de orixe oceánica se volveu desprazar cara ao interior da Terra no proceso denominado subdución.

- Explica as dificultades para atopar fósiles dos primeiros seres vivos e rochas que os poderían conter apoiándote na teoría da tectónica de placas e no ciclo das rochas.

No entanto, os xeólogos atoparon en Australia Occidental e Grenlandia afloramentos esporádicos de rochas orixinadas en antigos lodos oceánicos que se salvaron da subdución. As rochas de Grenlandia, formadas en contexto oceánico e con data de hai 3.850 millóns de anos, conteñen bandas ricas en C cunha elevada taxa $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$, o cal, segundo algúns investigadores, as relaciona coa aparición da vida durante o seu proceso de formación no fondo oceánico.

Estas formacións comezaron a aparecer hai máis de 3.500 millóns de anos, en lugares onde os mares eran pouco profundos, en forma de estruturas visibles ás que se lles pegaban po e area, dando lugar así a estromatólitos (Ilustración 3). Esta especie de rocha orixinada dende o fondo dos océanos representa a primeira formación constituída por colectivos de seres vivos. En 1961, mentres se investigaba este tipo de formacións nunha badía do noroeste de Australia, atopouse, sorprendentemente, unha comunidade de estromatólitos, o que supuxo un atractivo turístico para a comunidade científica, que quería observar o que se consideran restos vivos da orixe da Terra.



Figura 2. Estromatolitos





Os coñecementos biolóxicos contemporáneos suxírennos que estes primeiros organismos que formaron os estromatólitos mariños, debido ás súas particularidades metabólicas e ambientais, podían ser similares ás cianobacterias actuais (Ilustración 4).

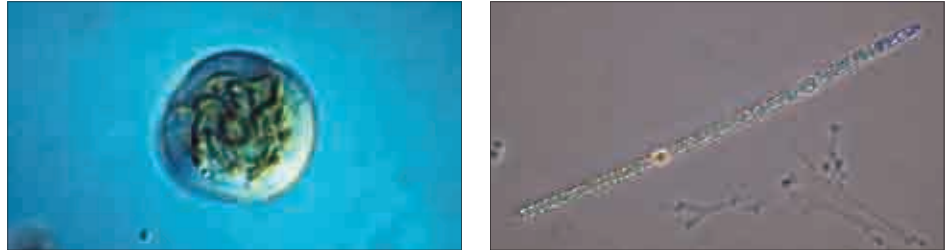


Figura 3. Microfotografía de cianobacterias

Pénsase isto porque os devanditos organismos procariotas unicelulares autótrofos son unha das formas de vida máis resistentes hoxe en día, e poden chegar a vivir en ambientes que outros organismos habían encontrar pouco atractivos, dende os desertos máis áridos ata os xeos antárticos, pasando polos tanques de refrixeración dos reactores nucleares.

- Por que sempre fomos máis optimistas á hora de pensar en formas viventes en Marte que en Venus?
- Na actualidade, existen organismos que poidan vivir en augas moi cálidas?

Hoxe en día, temos moi asumido no pensamento científico que a temperatura elevada facilita as reaccións químicas. É de supoñer que cando se formou a Terra, a medida que se foi xerando esta primeira hidrosfera cálida dos océanos primitivos en interacción coa atmosfera húmida e quente, isto propiciou un disolvente de base acuosa no que se foron disolvendo os hidrocarburos e derivados osixenados e nitroxenados; estas ardentes atmosferas e hidrosferas facilitaban a interacción do carbono co hidróxeno e o osíxeno, resultantes da descomposición da auga, e co nitróxeno.

Esta reacción entre os elementos que forman a molécula da auga e os corpos orgánicos constitúe a base fundamental de todo proceso vital. Grazas a ela prodúcense as transformacións moleculares dentro das células, pero neste caso, a diferenza daquela época prebiótica, coa catálise das proteínas encimáticas. Velaí a importancia que puido ter a temperatura para proporcionar a enerxía de activación necesaria para as devanditas reaccións, pois, fóra dos seres vivos, tamén atopamos estas reaccións entre a auga e as substancias orgánicas, aínda que o seu desenvolvemento sexa moito máis lento.

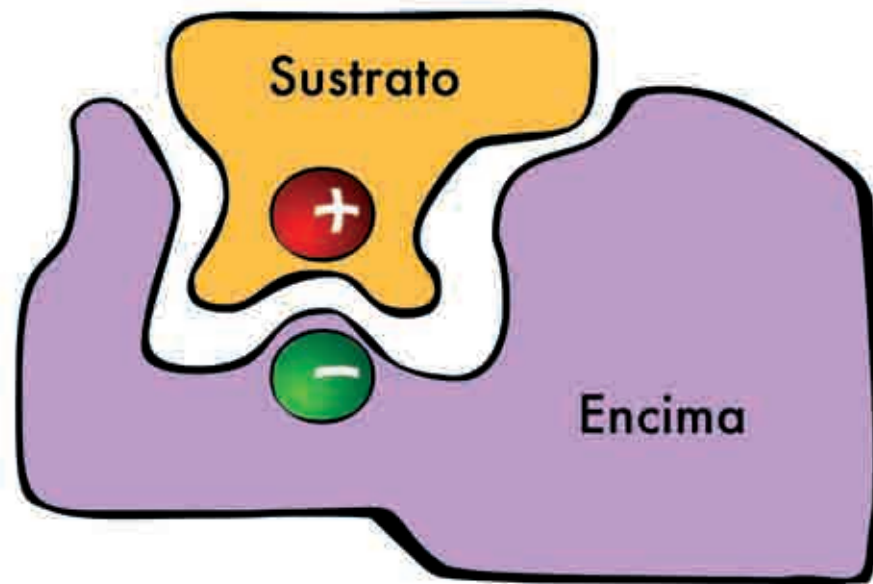
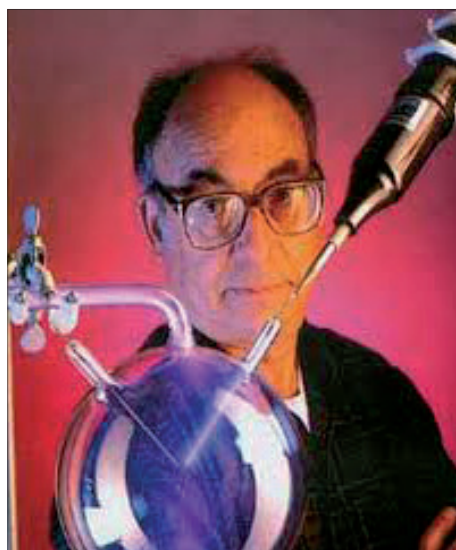


Ilustración que expresa a unión dun enzima co seu substrato

- Ao seren as encimas de natureza proteica, por que a medida que empezaron a intervir na catálise de transformacións de moléculas orgánicas foi menos interesante a presenza de temperaturas elevadas para a evolución da materia viva?

A frustración empírica no esclarecemento da orixe da vida

A reconstrución empírica dos acontecementos perdidos na orixe da vida motivou dende sempre á comunidade científica, mais a día de hoxe non acadou resultados moi satisfactorios; aínda que é certo que, nos inicios da segunda metade do século pasado, unha experiencia deseñada por Stanley Miller (1952) se presentou como un punto de luz que prometía alumear o camiño experimental neste esclarecemento.



Stanley L. Miller [1930 - 2007], estadounidense principalmente coñecido polos seus estudos sobre a orixe da vida. Licenciouse en ciencias en 1951 na Universidade de California, onde foi estudante de Harold Urey. No experimento de Miller e Urey, levado a cabo en 1953 como estudante diplomado, realizou unha simulación das condicións da Terra primitiva en busca das reaccións químicas que puideron construír os seus primeiros bloques esenciais (aminoácidos e proteínas) simples. En 1954 obtivo o doutorado en Química na Universidade de Chicago. Foi axudante de profesor (1958-1960), profesor asociado (1960-1968) e profesor de química na Universidade de California, San Diego en 1958, permanecendo no posto durante moitos anos.





No seu entusiasmo, este investigador deixounos detalles reveladores do que supuxo para el este descubrimento: "Puxen o experimento en marcha unha noite ás dez. Cando volvíñ á mañá seguinte, a auga do interior do matraz tornara amarela. Souben que conseguira algo". Ese "algo" que creu que conseguira ten hoxe moita menos relevancia científica que naqueles tempos e este experimento quedou relegado máis á historia da ciencia que ao coñecemento científico fundamentado.

Remitímonos a esta historia, como xa dixemos, non polo seu valor actual no coñecemento, que é cada vez menor, senón polo que transmite de entusiasmo frustrado por un esclarecemento empírico que vemos moi distante. Miller supuxo que non debería ser imposible reproducir no laboratorio estas condicións de atmosfera e hidrosfera primitivas. Para conseguir esta reprodución, ideou o experimento que se ilustra a seguir:

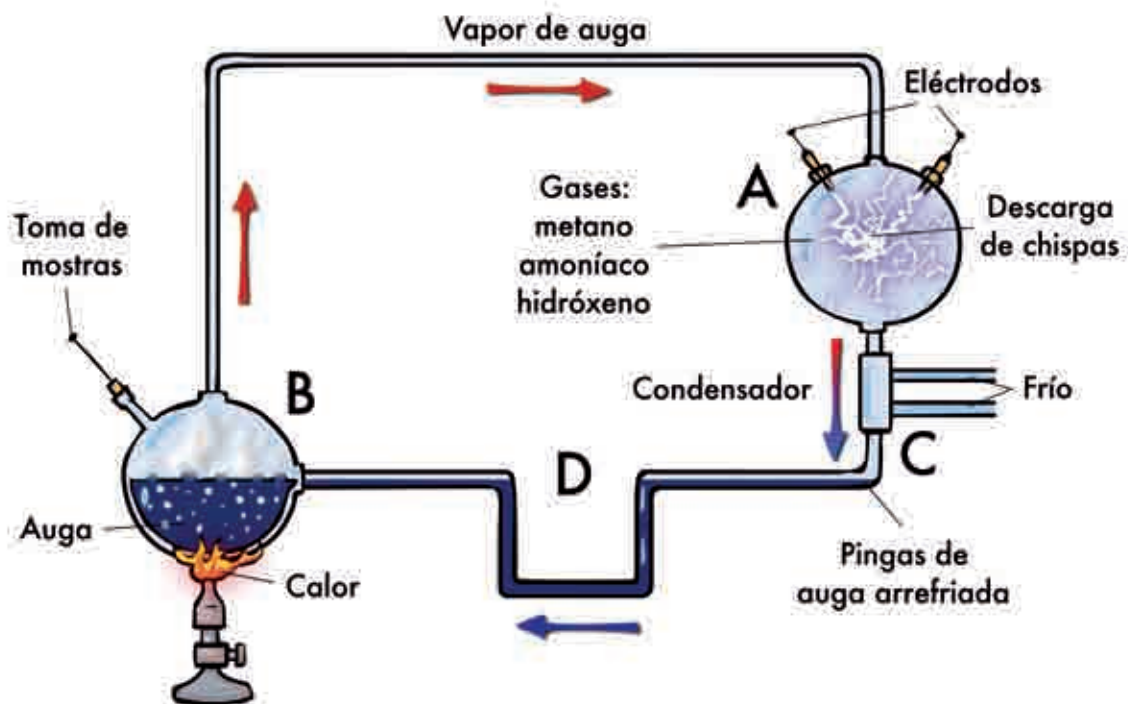


Figura 4. Esquema del funcionamiento del aparato de Miller

- No balón de cristal A colocouse unha mestura de metano, amoníaco e hidróxeno. Esta mestura concibiuna como análoga ao que se presupón que era a atmosfera de todos os planetas do Sistema Solar, isto é, unha atmosfera con exceso de hidróxeno, metano e amoníaco que, xunto co vapor de auga, o helio e o neón, deberían formar esa atmosfera primitiva. Hoxe en día pénsase que a hipotética atmosfera de Miller non foi tal. En todo caso, o que si admite a ciencia contemporánea é que o osíxeno non tiña presenza significativa. Este balón contén eléctrodos para xerar chispas que simulen as descargas enerxéticas sobre a atmosfera primitiva.
- O segundo balón (B) servía para producir o vapor de auga que, unha vez quenteado, se incorpora a elevada temperatura á mestura de gases do outro balón (A).
- Estes dous balóns comunícanse nun circuito pechado mediante un refrixerante (C) que continúa cun tubo (D) que pecha o circuito.

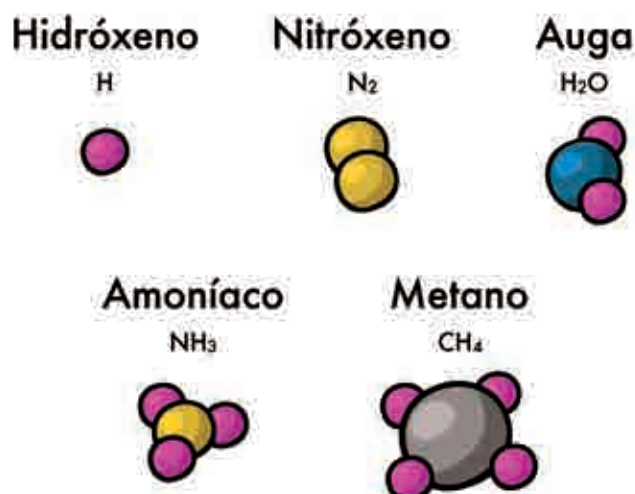


Figura 5. Ilustracións de modelos moleculares do nitróxeno, da auga, do amoníaco e do metano

- Á vista destas moléculas, propón tres reaccións diferentes de tal xeito que se forme amoníaco e unha cadea hidrocarbonada.
- Cales serían máis abundantes na atmosfera primitiva, segundo a hipótese de Miller?
- Se a auga contén osíxeno, por que na atmosfera primitiva non aparecía este elemento libre?



Unha vez enriquecido o contido gasoso no balón A polo vapor de auga que chega debido ao calentamento do balón B, fixo saltar unha chispa cos eléctrodos, de forma análoga ás descargas enerxéticas da atmosfera primitiva. Os produtos resultantes son arrastrados polo vapor de auga, que se condensa ao pasar polo refrixerador (C), de xeito semellante ás primeiras choivas da Terra, transportando así produtos gasosos resultantes das reaccións desencadeadas nese medio gasoso quente e sometido a descargas enerxéticas. Debido á acción do refrixerador, estes gases condénsanse e o líquido resultante acumúlase na U (D), de forma análoga a como o fixeron os produtos da atmosfera primitiva nos mares primitivos. Cando analizou o seu contido, comprobou que incluía diversos compostos orgánicos, tales coma aminoácidos, urea, ácido láctico, etc.

- Conseguiu Miller demostrar a formación das moléculas, que son os principais constituíntes dos seres vivos? Xustifícao.
- Comenta as fortalezas e as debilidades que lle ves a este experimento.

Estas substancias obtidas por Miller distan moito das macromoléculas, polo que cabe pensar que, se este proceso foi o inicial, no mar cada vez máis morno se tiveron que ir sintetizando substancias cada vez máis complexas, parecidas ás que hoxe atopamos nos seres vivos. Ademais, hoxe sabemos que estas moléculas non son exclusivas da Terra.

Hoxe en día cada vez máis científicos cren que a atmosfera primitiva era diferente da que supuxo Miller. Pensan que puido estar composta de dióxido de carbono e nitróxeno en





lugar de hidróxeno, metano e amoníaco. Cando é esta atmosfera a que se pon no balón do experimento de Miller e se somete a descargas a esta mestura de dióxido de carbono e de nitróxeno, obtense unha cantidade insignificante de moléculas orgánicas. Por iso aos científicos lles resulta difícil imaxinar que a vida xurdise dun caldo tan diluído.

Nitróxeno



Dióxido de Carbono



- Selecciona dúas razóns polas que a hipótese de Miller perdeu forza na ciencia contemporánea e xustifica a elección:
 - A atmosfera primitiva non puido ter ningún composto de osíxeno.
 - A atmosfera primitiva non era tan redutora porque se pensa que o dióxido de carbono era o gas maioritario.
 - Porque non se conseguiu ADN no caldo nutritivo.
- Xustifica a expresión: “A experiencia de Miller non merece un sitio nos libros actuais de ciencia; con todo, ten o seu espazo asegurado en calquera libro de historia da ciencia”.

Se, tal e como se pensa na actualidade, a atmosfera primitiva distaba moito da que supuxo Miller, de onde procedían as primeiras moléculas orgánicas que evolucionaron ata a primeira forma de vida? A resposta da ciencia contemporánea ao problema do enriquecemento do caldo nutritivo inclínase cada vez máis por propoñer que esta solución podería proceder do espazo. Xa que logo, o seu percorrido puido ser moi semellante ao da auga e, mesmo en moitos casos, este percorrido puidérono facer en compañía mutua, mediante disolucións destas substancias na auga que chegaba á Terra. Por iso actualmente predomina a hipótese de que os asteroides, os cometas, os meteoritos e mesmo as partículas de po interplanetario conteñen moléculas orgánicas, incluídos aminoácidos ou os ingredientes para producilos.

Dentro do conxunto das moléculas que orixinaron a vida, seguro que tiveron un papel determinante os ácidos nucleicos. Aparecerían así como as primeiras moléculas capaces de se autorreplicaren e de dirixir as reaccións bioquímicas, seguindo a lóxica do metabolismo celular. No eido da bioloxía molecular toma cada vez máis forza a idea de que os primeiros ácidos nucleicos con información xenómica deberon ser de tipo ARN.

Un dos descubrimentos máis importantes da bioloxía molecular, que nos fai pensar que a vida ten como molécula clave o ARN, realizouno o científico español Severo Ochoa en 1954, descubrimento polo que recibiu o premio Nobel. Este investigador descubriu un encima, o

polinucleótido fosforilase (PNPase), que era capaz de sintetizar ARN sen necesidade dun molde de ADN. A bioloxía molecular contemporánea coñece tamén procesos biolóxicos nos que este ácido nucleico, máis simple que o ADN, se copia en ADN, polo que ao se lle chama ao catalizador transcriptasa inversa e está presente no virus da SIDA.

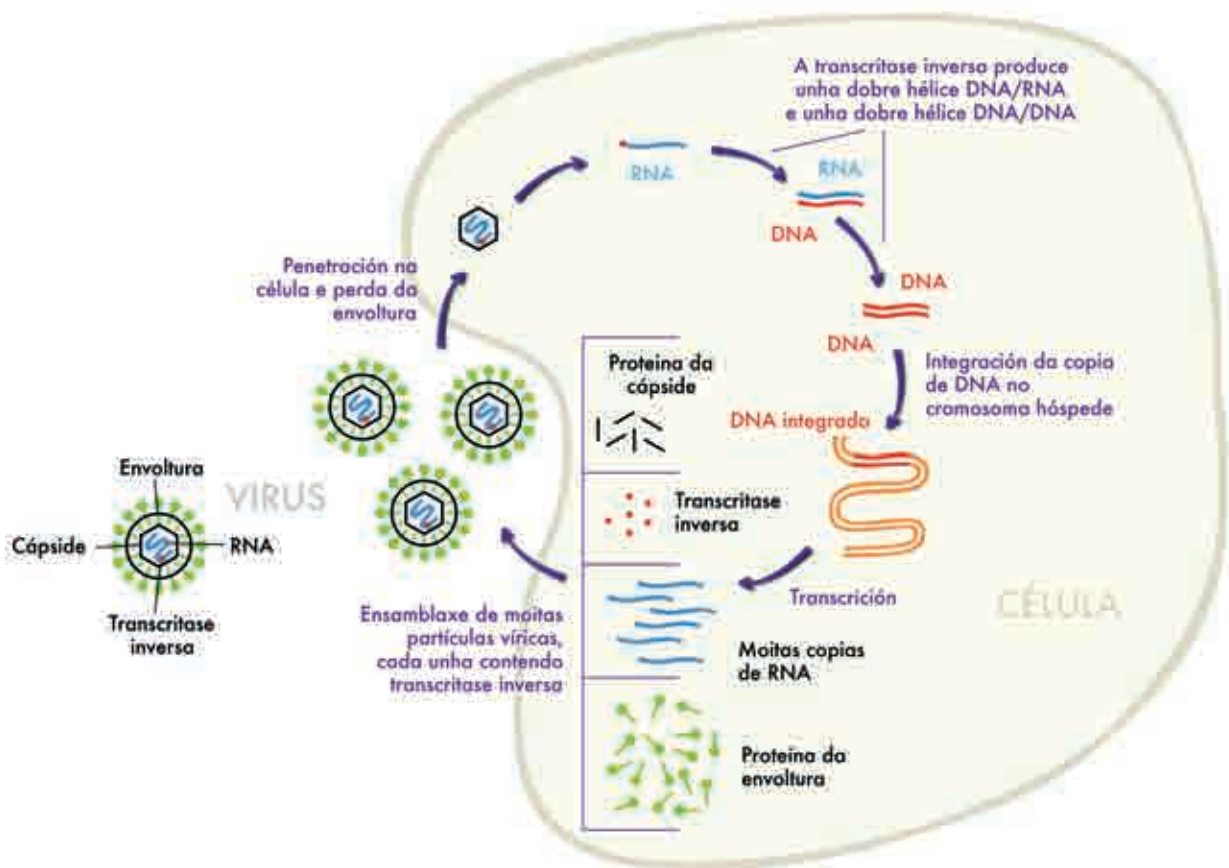


Figura 6. Acción da transcriptasa inversa

Polo tanto, os primeiros xenomas serían moléculas simples, capaces de se autorreplicaren sen un molde, a diferenza de como o fai o ADN. Por iso se pensa que o ARN foi a molécula clave na orixe da vida, entendendo que, por procesos de selección natural, deberon de evolucionar nos seus contextos de selección natural cara á síntese de ADN.

Na liña desta hipótese, dende o punto de vista empírico, un dos maiores avances contemporáneos no esclarecemento da orixe da vida foi o de conseguir a evolución e expresión do ARN contido en gotas con máis dun billón de moléculas de ARN a unha temperatura semellante á do corpo humano (37°C). Esta hipótese tampouco resulta convincente e, xa que logo, segue a arrastrar unha importante dose de frustración á hora de explicar a orixe da vida. A razón principal pola que se considera que estas moléculas non están realmente vivas é porque non controlan de todo a súa propia replicación. Aínda que, sen se afastar desta liña de frustración empírica para esclarecer a orixe da vida, espérase atopar unha molécula de ARN que se poida copiar a si mesma sen necesidade da intervención do ADN.

Xa que logo, cada vez adquire máis forza a hipótese de que, antes da aparición do ADN e mesmo da síntese de proteínas, poida que a vida consistise unicamente en moléculas de ARN





que aboibaban no mar, se multiplicaban, dividían, mudaban e seguían, polo tanto, a súa propia selección natural. Pero, coma moitos outros supostos aspectos que se consideran en relación á orixe da vida, a secuencia temporal destes acontecementos relativos á aparición clave dos ácidos nucleicos para a orixe da vida permanece envolta nun auténtico misterio.



Figura 7. Esquema resumo das hipóteses sobre a evolución dos mecanismos de control da información xenética

- Le o extracto da noticia da xornalista Alicia Rivera publicada no diario El País con data do 03/12/2010 e responde ás cuestións que aparecen a seguir (Figura Imagen o imáxenes del lago Mono):

“En el californiano lago Mono, de aguas muy saladas y ricas en arsénico, unos científicos han descubierto unas bacterias para las que el elemento no es un veneno [...] y lo asimilan en sus moléculas vitales, incluyendo el ADN, ocupando el lugar del fósforo.

[...]

Los científicos [...] han demostrado que pueden crecer durante meses en el arsénico, que normalmente es tóxico [...] ocupando el sitio del fósforo.

[...]

Estas bacterias pueden sustituir completamente el fósforo por arsénico [...].

En sus experimentos han tomado muestras del lago Mono y las han cultivado reemplazando poco a poco en la dieta las sales de fósforo por arsénico, hasta que los microorganismos sobreviven sin necesidad de fosfatos.



- Fai un esquema que ilustre a localización do arsénico nas estruturas vitais para as que ata o de agora sabemos que era imprescindible o fósforo.
- Busca relacións entre o arsénico e o fósforo que xustifiquen estas substitucións a partir da análise da táboa periódica. Á vista da posición dos dous elementos, por que preferirán estas bacterias, igual que o resto dos seres vivos, o fósforo fronte ao arsénico?

- Investiga as concentracións na cortiza do arsénico e o fósforo. Cal é máis importante? Que conclusións sacas sobre a selección natural presente sempre na vida?
 - A NASA adiantouse a prognosticar que este descubrimento amplía as posibilidades de busca de vida extraterrestre. En que se basearán?
 - Como afectará este experimento á relación de elementos esenciais para a vida?
- Observa a Figura e compáraa coa lóxica do comportamento actual do ADN e do ARN nas nosas células:
- que diferenzas atopas?
 - coñeces algún virus que se aproxime máis que as células ao comportamento que se ilustra?

Como puido ser a evolución das moléculas cara á formación de membranas protectoras?

Para a configuración da vida tal e como a entendemos hoxe en día, sabemos que un dos acontecementos cruciais do seu proceso evolutivo cara á primeira célula tivo que ser o desenvolvemento dunha membrana protectora que incorporou no seu interior os ácidos nucleicos e os seus substratos orgánicos elementais, dándolles refuxio e oportunidades clave no seu proceso evolutivo cara á formación das primeiras células.

O razoamento da importancia destes continentes membranosos é moi sinxelo se se pensa que a selección natural das moléculas de ARN en función da calidade das proteínas que xeraban non se podía producir sen a garantía de que esas proteínas quedasen só a disposición do ARN que as orixinou, para aproveitar deste xeito a vantaxe selectiva que lle daba a súa acción.

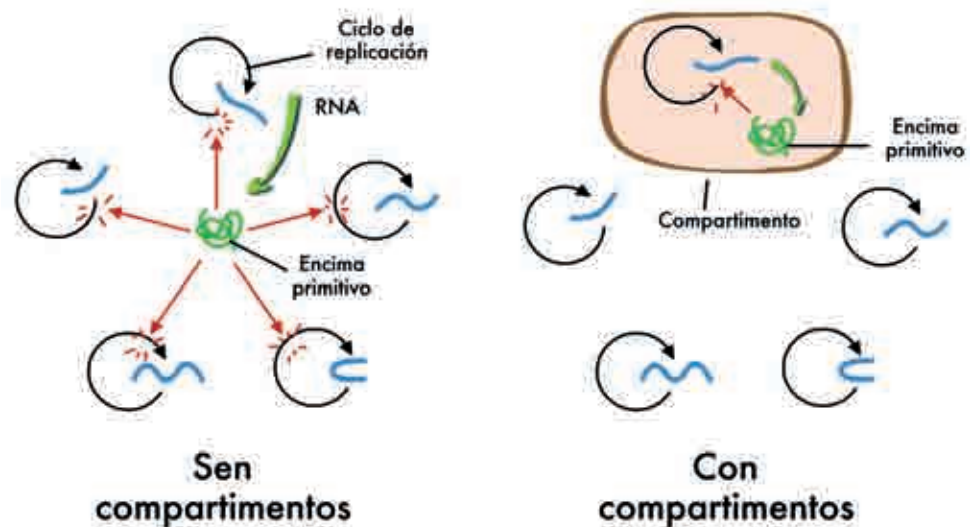


Figura 8. Esquemización das vantaxes que aportaron as membranas plasmáticas aos procesos de evolución





Polo tanto, debeuse establecer unha tendencia á síntese capaz de xerar estruturas membranosas que converxesen con esta evolución dos ácidos nucleicos, orixinando as primeiras formas unicelulares. Sabemos que este tipo de substancias complexas tenden a se combinaren entre elas para orixinar auténticos enxames que converxen en coloides inestables, formando unha especie de gotas que o científico ruso Aleksandr Oparin denominou en 1924 coacervados (do latín *acervus*, montón).

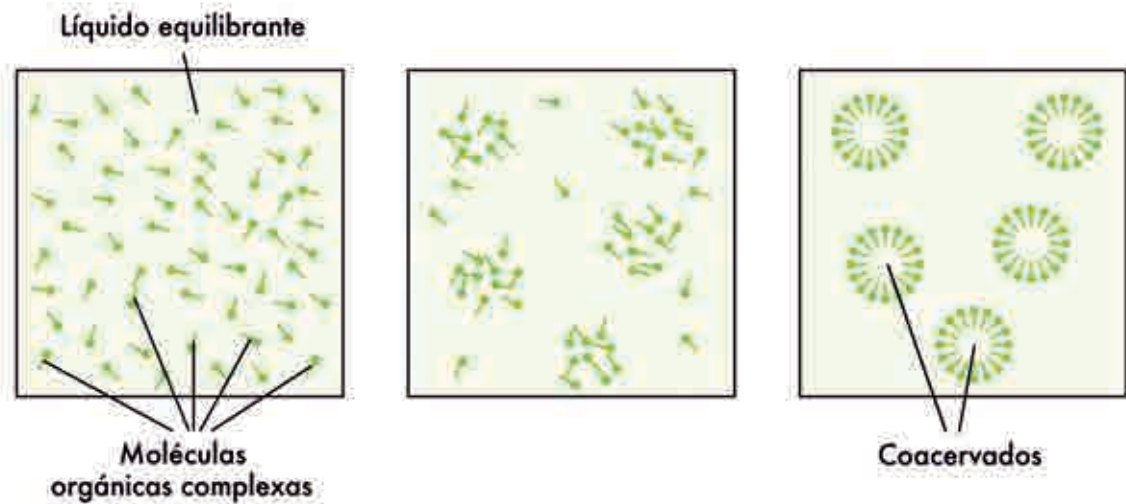


Figura 9. Esquematización da hipótese sobre a formación de coacervados

Oparin propugnou que esas gotas quedarían en suspensión no “caldo primitivo”, nome que utilizou para se referir a eses primeiros mares que conteñen disolucións acuosas ricas en macromoléculas. Ao redor dun coacervado quedaría practicamente auga pura, xa que as substancias se concentraron no seu interior, posiblemente absorvidas polo coacervado. Unha masa tan concentrada en substancias orgánicas propicia as reaccións químicas, o que pode provocar un aumento de volume e o seu crecemento á custa do líquido circundante.

Hoxe sabemos que conseguir de maneira empírica estruturas membranosas é moi sinxelo; abonda con mesturar nun tubo de ensaio fosfolípidos e auga en condicións apropiadas para que se formen vesículas de bicapa lipídica. De feito, estas estruturas, vistas ao microscopio electrónico, teñen unha importante similitude coas membranas plasmáticas, postos que estas teñen na súa estrutura básica unha bicapa de moléculas anfipáticas entre as que destacan os fosfolípidos.

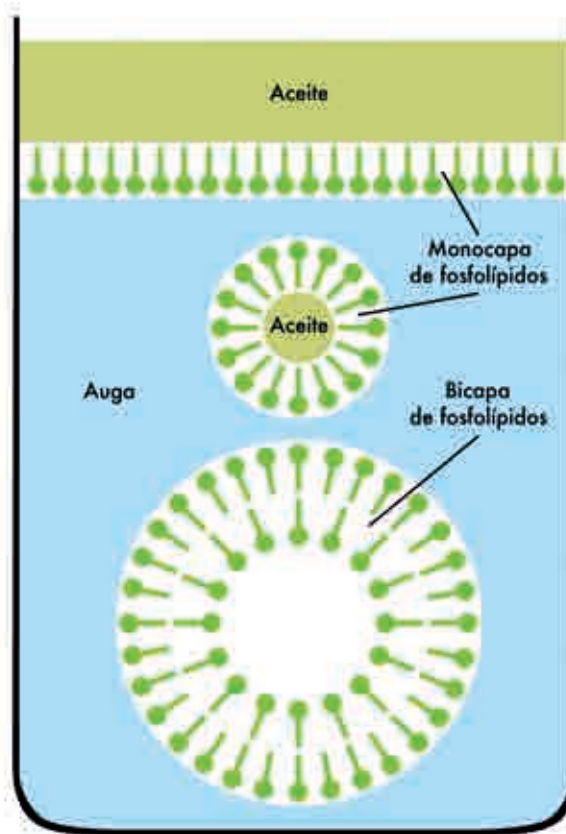


Figura 10. Organización de fosfolípidos en superficies de mono ou bicapa cando se mesturan con auga

Pero o máis probable é que as primeiras células rodeadas de membrana se formasen por ensamblaxe espontánea de fosfolípidos do caldo prebiótico. Na procura dunha aproximación empírica a ese posible acontecemento evolutivo precelular, Oparin mesturou no laboratorio solucións de varias substancias orgánicas de elevada masa molecular. Deste xeito non só logrou a formación de membranas nos coacervados semellantes ás plasmáticas, senón que ademais conseguiu que o seu contido fose semellante ao do citosol celular, o que permitiu establecer unha certa analogía entre os coacervados e os hipotéticos contedores do camiño evolutivo cara á primeira célula.

Porén, para que se constituía un corpo químico complexo, propio dun ser vivo, é preciso que moitas reaccións se produzan nunha orde regular prevista rigorosamente, tal e como se pon de manifesto no metabolismo universal das células.

● Indica en que se asemella un coacervado a un ser vivo e as razóns que o descartan como tal.

Dos supostos coacervados aos seres vivos: os primeiros organismos

Unha vez situado o concepto de coacervado sobre a base empírica expresada por Oparin, témonos que preguntar se é posible que estas estruturas poidan ser precursoras dos





organismos que, coa súa actividade biolóxica nos lodos oceánicos primitivos, orixinaron os estromatólitos dos que falamos ao principio deste apartado.

Por iso recorreremos, en primeiro lugar, á hipótese que expuxo Oparin para explicar o paso das macromoléculas ao primeiro ser vivo. Este científico postulou que, para que este paso fose posible, se terían que dar dúas condicións:

- Illamento de porcións de caldo primitivo mediante membranas, formándose así os coacervados.
- Coordinación e sincronización das reaccións químicas entre os sistemas de macromoléculas que quedaron no interior dos coacervados.

Oparin consideraba entón que estes coacervados foron sistemas prebiolóxicos aínda distantes dos primeiros seres vivos responsables da formación dos estromatólitos. De entre toda a variedade posible, tal e como nos mostran as experiencias de laboratorio, uns son máis estables e, xa que logo, capaces de aumentar de tamaño, capturando substancias do medio cara ao seu interior, aumento que os levará á fragmentación en coacervados máis pequenos.

- Pódese assimilar este aumento de tamaño e fragmentación dos coacervados ao crecemento por inxestión de nutrientes e reprodución celular?



Tal e como puxemos de manifesto na introdución deste apartado, a orixe dos primeiros seres vivos nos océanos primitivos permanece na escuridade para a ciencia por falta de evidencias fósiles, aínda que sabemos que deberon ser organismos moi primitivos, tal e como se intúe polos “estromatólitos” viventes de Australia. Malia que a hipótese de Oparin para explicar os procesos de evolución abiótica ata chegar ao coacervado conta con bases experimentais, o paso de coacervado a ser vivo móvese dentro da pura especulación, porque, obviamente, o proceso de crecemento e posterior división dos coacervados máis estables é un simple proceso fisicoquímico que nada ten que ver co crecemento e división das células.

Por iso, a semellanza da xeoloxía, tamén a bioloxía precisa do seu actualismo biolóxico. Desta maneira, analizando os procesos bioquímicos das células actuais, podemos inferir certas conclusións sobre as características das primeiras células. Este tipo de análises permítenos facer hipóteses sobre as condicións que se tiveron que dar para que formacións membranosas coma os coacervados de Oparin chegasen a se converter en organismos unicelulares. O que coñecemos do control do metabolismo e a replicación celular implica a aparición dun xene dentro dun coacervado capaz de dirixir a síntese de proteínas encimáticas que, á súa vez, controlarán a orde predeterminada e rigorosa das reaccións necesarias para a vida. Ese material xenético, como xa vimos, tivo que evolucionar dende o primixenio ARN ata o actual xenoma celular de ADN).

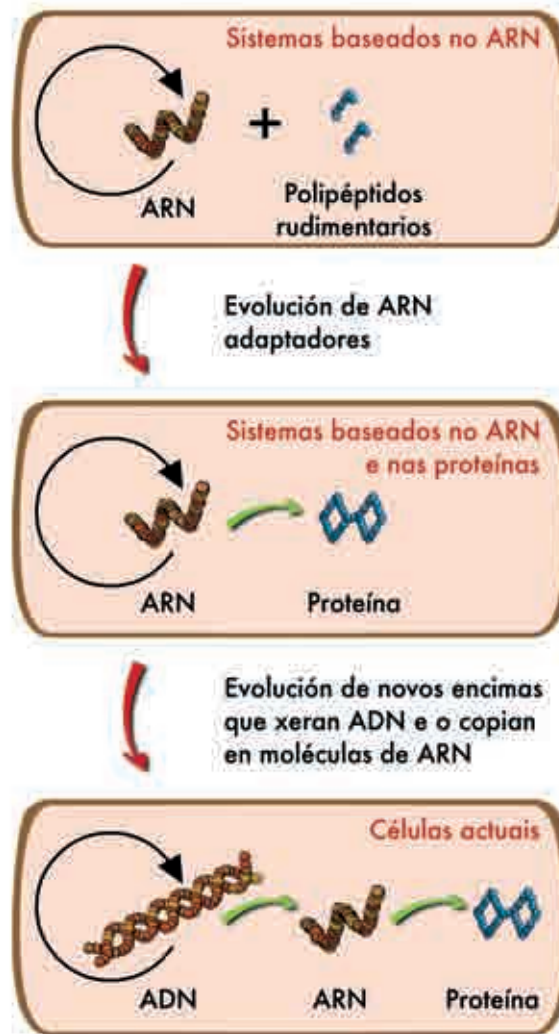


Figura 11. Recapitulación das hipóteses dos procesos evolutivos que levaron ao funcionamento dos ácidos nucleicos mediante a transcrición e a tradución

Seguindo ese mesmo razoamento de interpretación evolutiva e baseándonos no coñecemento bioquímico, o primeiro grupo de reaccións cunha orde determinada para obter enerxía debeu de ser a glicólise unida á fermentación anaeróbica, dadas as condicións da atmosfera primitiva e a presenza deste tipo de secuencia de reaccións catabólicas nas formas celulares máis simples.

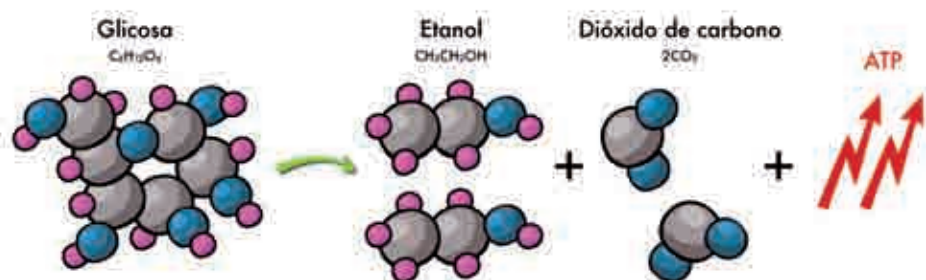


Figura 12. Esquema da transformación catabólica da glicosa en etanol





- Busca algunha relación do metabolismo destes primeiros organismos co feito de que o viño deba fermentar en condicións anaerobias.
- Unha célula anaeróbica dun estromatólito de Australia que se divida en 20 segundos...
 - Cantas células descendentes terá ao cabo dunha hora?
 - Se enriquecemos o medio con osíxeno, o resultado é o mesmo? Xustifica a resposta.

A estas supostas formas iniciais de vida mariña, Oparin denominounas “eubiontes”, que moitos biólogos teñen asimilado dende entón aos actuais virus, aínda que coa diferenza lóxica de que a súa existencia non podía ser parasita, senón a expensas dos produtos orgánicos existentes no océano .

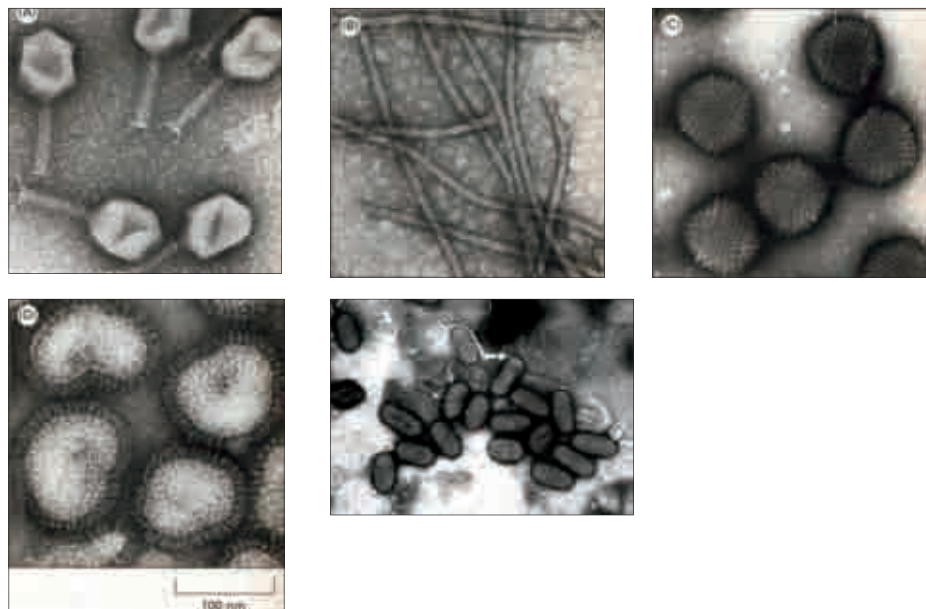


Figura 13. Microfotografías de células infectadas por virus

- Explica por que razón os eubiontes non se poden assimilar na súa totalidade aos actuais virus.

Daquela, suponse que os primeiros seres vivos foron heterótrofos anaerobios, que se nutrían ao principio das substancias orgánicas que abundaban no “caldo primitivo” do océano. Mais, co paso do tempo, debido á proliferación de eubiontes en número e tamaño, esas substancias consumíronse a un ritmo moito máis rápido que o que caracterizou a súa síntese.

Célula procariota anaerobia (bacteria)

Resultado: 2 ATP

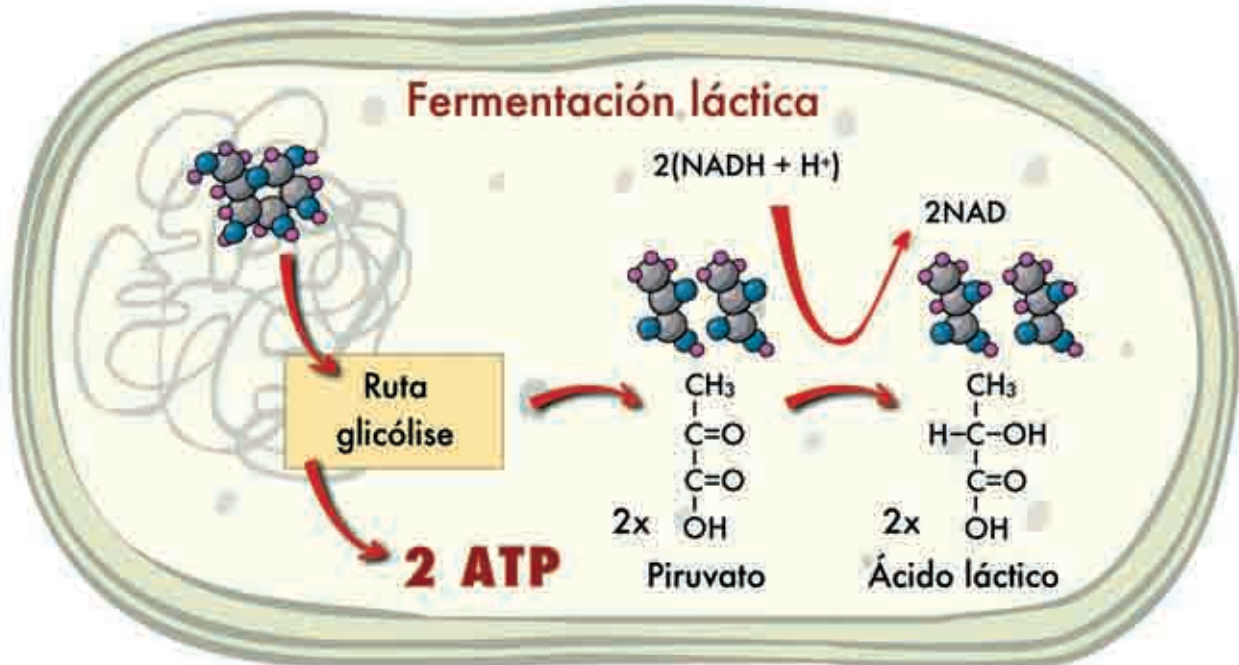


Figura 14. Esquema celular sobre o proceso metabólico da fermentación láctica nunha célula procariota

Esta lóxica lévanos a pensar que foron escaseando tanto que aos organismos primitivos non lles quedou máis recurso que sucumbir ou desenvolver, no proceso evolutivo, a propiedade de formar dalgún xeito substancias orgánicas con base nos materiais inorgánicos. Así, enténdese que algúns dos que se atoparon con esa escaseza de nutrientes tiñan a capacidade de formar moléculas orgánicas recollendo o carbono do CO_2 , que abundaba na atmosfera primitiva, coa axuda de enerxía solar e liberando osíxeno, tal e como ocorre na actualidade nos cloroplastos. Pénsase que estes primeiros organismos que comezaron a encher a atmosfera de osíxeno eran moi semellantes ás actuais cianobacterias, tal e como xa vimos.



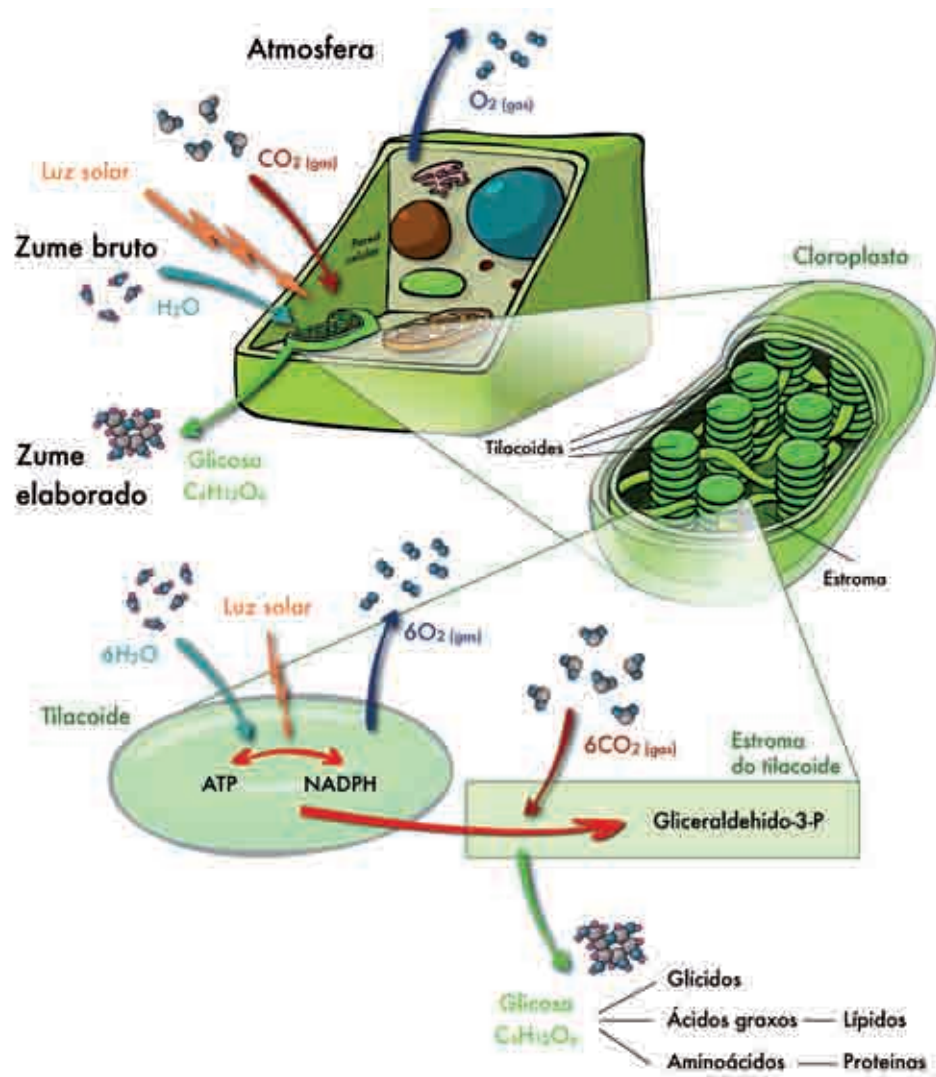


Figura 15. Esquema da formación de moléculas orgánicas a partir das inorgánicas mediante o proceso da fotosíntese

- Como se coñece o proceso ao que se refiren o texto e a imaxe? En que organismos se produce? Que nome reciben todos os organismos capaces de realizar este proceso?

Cóidase que a aparición destes organismos fotosintetizadores puido evitar a perda da actividade vital no mar primitivo con escaseza de materia orgánica. Ademais, ás súas expensas comezaron a vivir outros seres heterótrofos. Coa fotosíntese a atmosfera enriqueceuse de osíxeno, pasando pouco a pouco de neutra a oxidada. De aí xurdiu a vida aerobia, intensificándose as oxidacións e seleccionando aqueles organismos unicelulares máis competitivos. De aí que, pouco e pouco, se fosen impondo os organismos que tiñan desenvolvidos os procesos respiratorios, que lles permitían obter un maior rendemento enerxético que os procesos fermentativos.

Célula eucariota

Resultado: 38 ATP

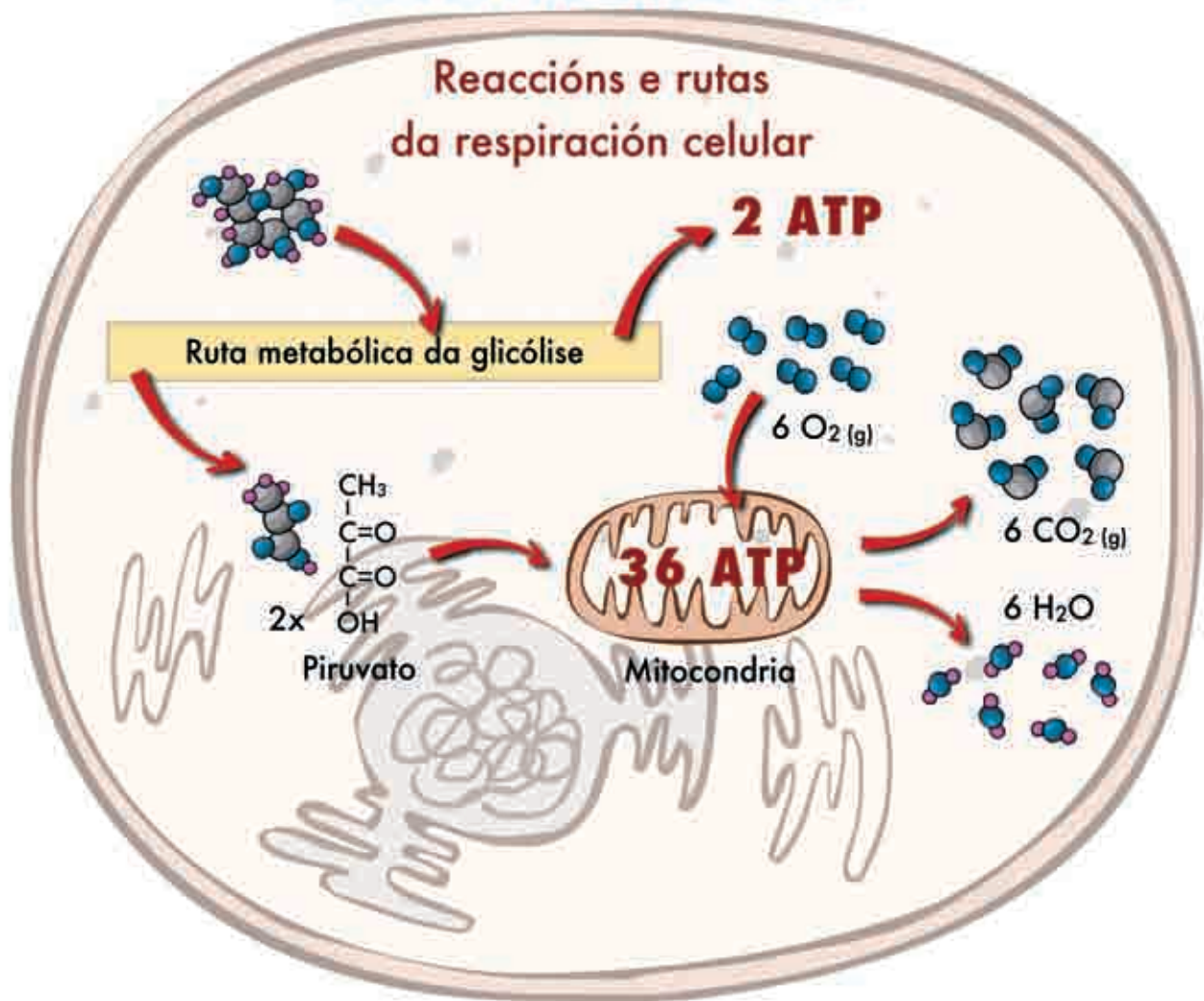


Figura 16. Esquema celular do proceso da respiración celular aerobio nunha célula eucariota

Co paso do tempo, a oxidación da atmosfera acabou conducindo á formación da capa de ozono, que supuxo unha barreira protectora da radiación ultravioleta para os seres vivos. Unha vida autótrofa, aerobia e protexida pola atmosfera da excesiva radiación solar puido así expandirse. Dende logo, este non foi un proceso rápido precisamente, pois hai evidencias que levan a pensar que as primeiras células procariotas fotosintetizadoras se orixinaron hai uns 3.000 millóns de anos, e que, polo tanto, o período de evolución anterior se puido aproximar aos 1.000 millóns de anos (preto de $\frac{1}{4}$ da idade da Terra). Mais este dato non é o que nos sitúa na magnitude de tempo necesario para pasar dunha atmosfera neutra a unha oxidante, xa que se considera que o período de enriquecemento da atmosfera en osíxeno durou dende os 3.000 millóns de anos aos 800 da nosa era.





- Pensa na lentitude de formación e na importancia biolóxica da capa de ozono e explica en que medida nós, como especie, podemos poñer en perigo ese logro.
- Por que o osíxeno tardou case mil millóns de anos en se acumular na atmosfera?
- Ante a magnitude que supuxo que os seres vivos cambiasen a atmosfera terrestre a oxidante, é correcta a afirmación de que a especie humana se está a mostrar como a única capaz de provocar cambios significativos de carácter global para a vida na Terra?

Unha relativa ganancia de independencia da auga

A expansión da vida oceánica que se produce coa atmosfera oxidante foi de tal magnitude que propiciou que algúns seres vivos comezasen a vivir na Terra; aínda que isto non foi un proceso inmediato, senón un longo proceso evolutivo onde a nosa especie aparece no último capítulo.

Unha longa e tranquila etapa totalmente dependente da auga

Como se comentou no apartado anterior, no Precámbrico vanse impondo os organismos procariotas fotosintetizadores semellantes ás cianobacterias e, aínda con máis forza, outros capaces de empregar osíxeno para oxidaren a totalidade dos enlaces das cadeas carbonadas dos nutrientes enerxéticos. Tamén vimos como estas bacterias aproveitan moita máis enerxía que as que emprega un metabolismo anaerobio tipo fermentador, por iso un mol de glicosa rende 38 ATP no primeiro caso e 2 ATP no segundo caso. De aí que as bacterias aeróbicas produzan 36 unidades de enerxía máis que as bacterias anaeróbicas.

É probable que nos océanos precámbricos estivese presente a fagocitose como un dos mecanismos de nutrición heterótrofa. Por iso se pensa que estas células procariotas, con capacidade para realizaren a fotosíntese e a respiración celular, puideron sobrevivir, nalgúns casos, no interior das células maiores, que as terían fagocitado. Nesas situacións, a célula maior conseguiu obter o máximo aproveitamento enerxético dos nutrientes e, no caso de que a endocitada fora fotosintética, realizar a síntese de materia orgánica a partir de materia inorgánica.

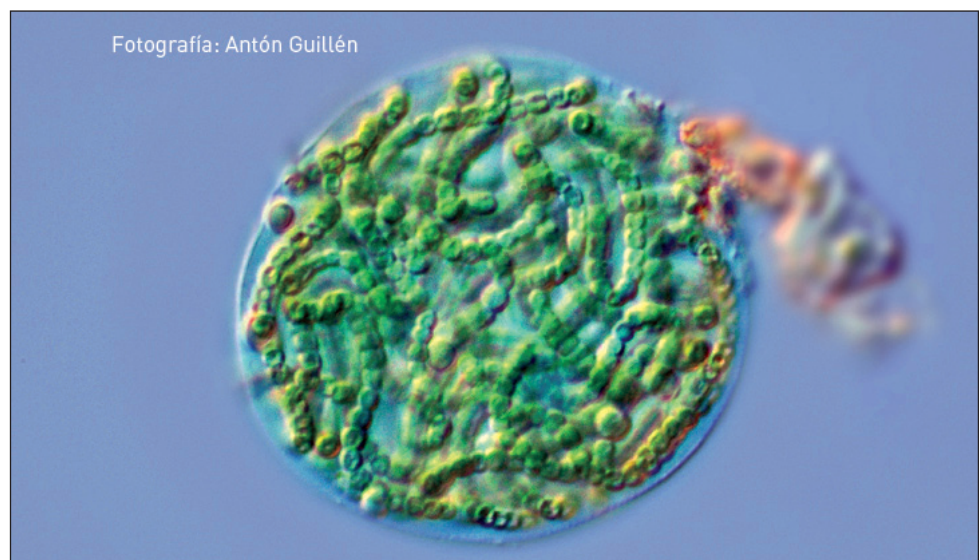


Figura 17. MicroFigura dunha cianobacteria

Deste xeito fóronse seleccionando organismos unicelulares de tamaño grande, con compartimentos funcionais delimitados por membranas e especializados en determinadas funcións. A teoría da endosimbiose permítenos explicar a incorporación das mitocondrias e dos cloroplastos, e a teoría autóxena a formación da membrana nuclear e dos sistemas de membranas internos. A conxunción das dúas teorías, permítenos xustificar o feito de que unha mitocondria e un cloroplasto teñan ADN propio e ribosomas bacterianos.

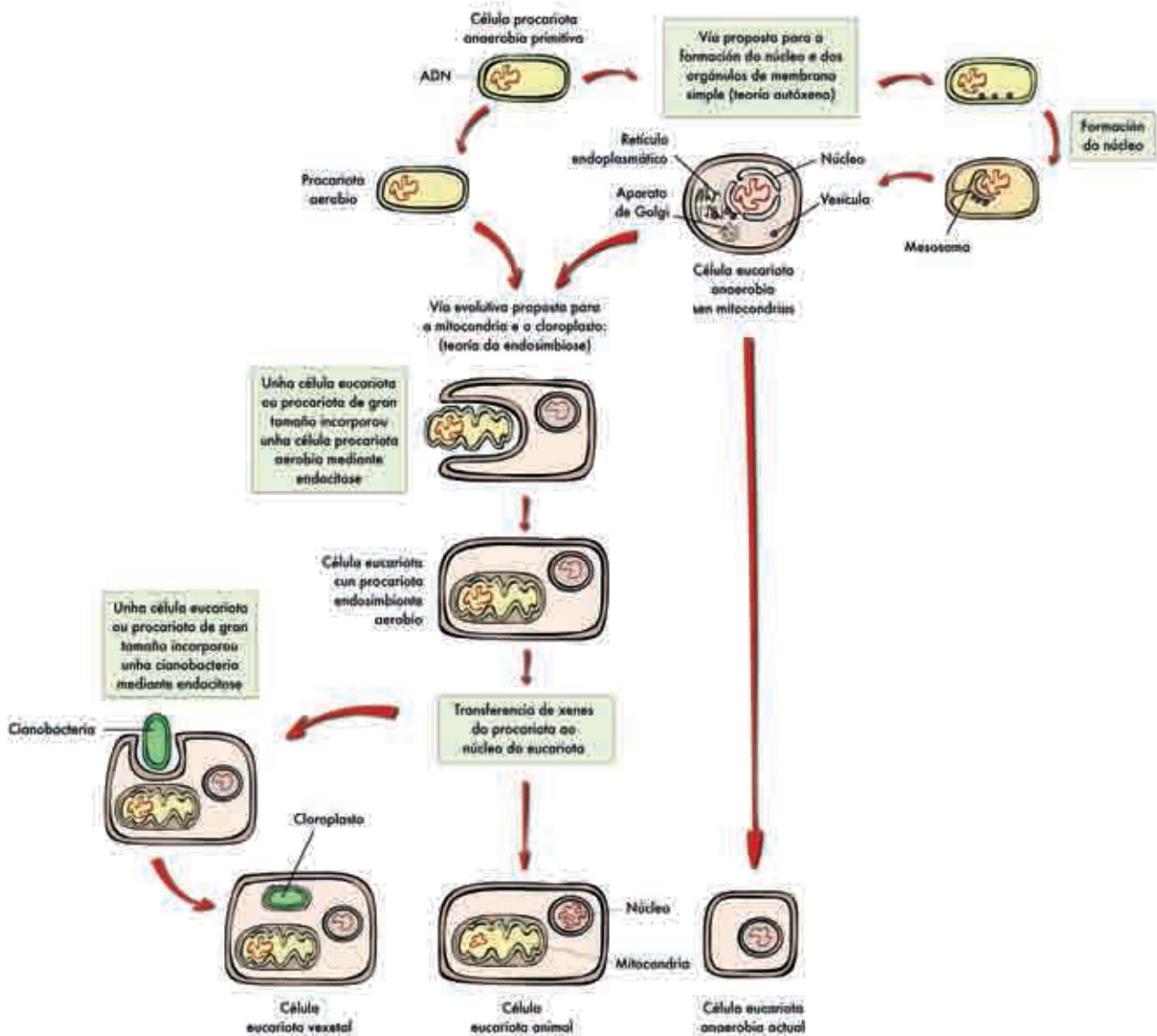


Figura 18. Esquema da formación das células actuais a partires das formas primitivas, aplicando as teorías Autóxena e da Endosimbiose

As células grandes e complexas obtidas así coñécense como eucariotas. O seu potencial evolutivo é, xa que logo, moito maior que o das procariotas. A partir destas células eucariotas iniciais, desenvóléronse procesos evolutivos que determinaron a aparición dos organismos pluricelulares.

A aparición da vida pluricelular no camiño do final do **Precámbrico** levou a que, hai uns 1.500 millóns de anos, xurdisen as algas como primeiros organismos pluricelulares. Primeiro, fóronse poboando os mares de algas grandes, e entre a súa maleza foron aparecendo,





co paso do tempo, numerosas medusas, moluscos, equinodermos e vermes de mar. Por iso o Precámbrico tardío nos deixou os mares poboados de organismos pluricelulares económicos, dado que estes organismos pluricelulares heterótrofos debían vivir fixados no fondo, alimentándose do plancto. Esta configuración pluricelular e fixada ao substrato da vida outorgoulle ao Precámbrico un carácter singular na historia da Terra. Nesta etapa proliferaron especies grandes, inmóbiles e sen defensas. Este tipo de fondo mariño precámbrico tranquilo foi posible debido á ausencia de animais predadores .

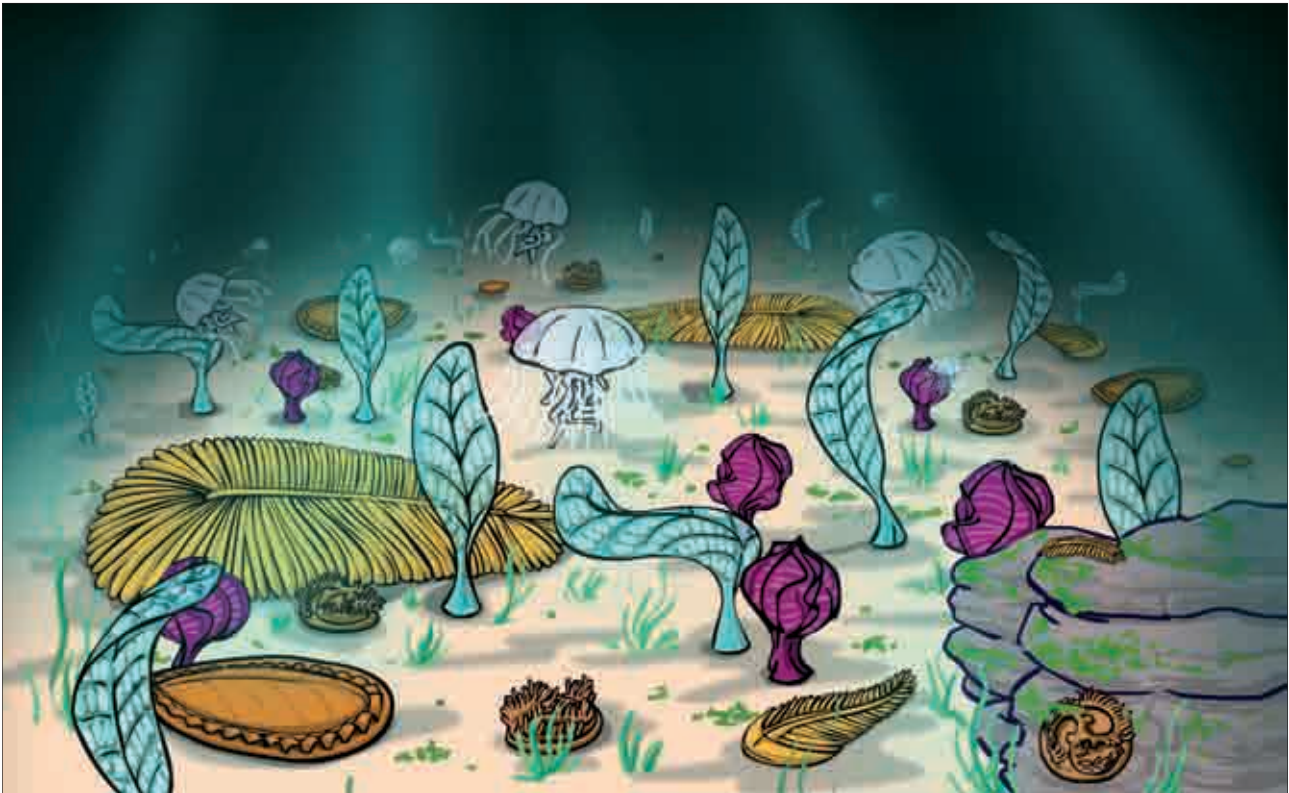


Figura 19. Mar Precámbrico.

- Indica 3 semellanzas entre unha mitocondria e un cloroplasto. Como se relacionan estes dous orgánulos á luz da teoría da endosimbiose?

O paso á intranquilidade totalmente dependente da auga

No **Cámbrico** aparecen os predadores e, con eles, aceléranse os procesos evolutivos e desaparece a tranquilidade da vida precámbrica. Esta intranquilidade do novo contexto conduce á explosión de especies no Cámbrico, cando aparecen os grandes predadores, polo que se foron seleccionando as especies con cunchas, esqueletos, dentes, gadoupas, patas e rabos.

Descoñécese con exactitude cal foi a causa desta rápida evolución da vida animal ata chegar aos grandes predadores. Pero o que sabemos hoxe sobre evolución fainos pensar que houbo un cambio ambiental moi significativo. Aínda que nesa época houbo cambios importantes pola separación en continentes, a lóxica lévanos a crer que o cambio principal que xustifica esta evolución debeu de radicar nunha alteración significativa na composición química da auga do mar, dada a dependencia total que ten a vida en relación coa auga.

Por iso, hai máis de 500 millóns de anos a vida concentrábase só nos mares e nos océanos, e as algas eran os únicos organismos pluricelulares macroscópicos autótrofos. Tocante aos animais, non había máis que medusas, esponxas, anélidos, trilobites e equinodermos.

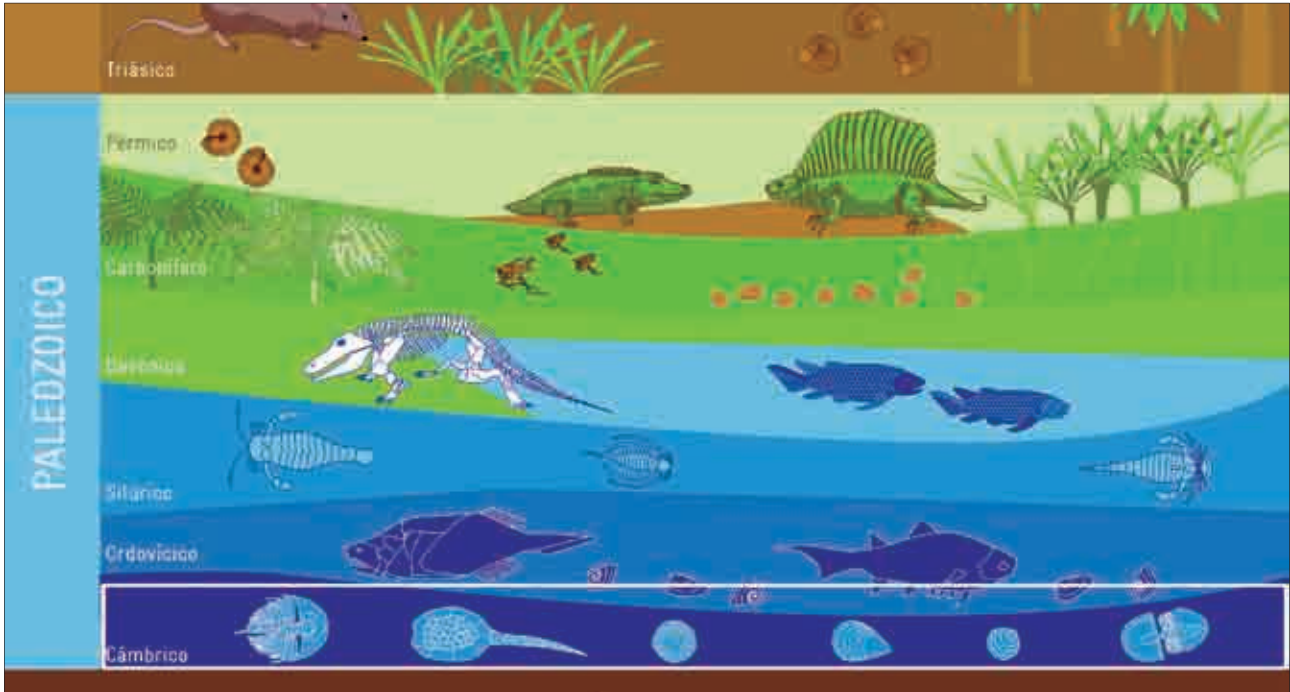


Figura 20. Mar Cámbrico con especies características: trilobite desprazándose polo fondo, augamares e ourizos de mar irregulares





- Completa a frase poñendo unha palabra en cada espazo: No Cámbrico só había animais (-----) e as (-----) -----) constituían os únicos organismos macroscópicos autótrofos.

Primeiros pasos da aparente independencia da auga

Os primeiros organismos que lograron vivir na Terra firme foron as plantas. É no período **Silúrico**, que substitúe ao Cámbrico, cando a vida se independiza do medio acuático e agroman as primeiras plantas terrestres, aínda que seguían estando moi vinculadas no seu desenvolvemento e reprodución á humidade do medio, como están agora os mofos.

É tamén nesta época cando aparecen os primeiros vertebrados mariños, moito máis semellantes ás lampreas actuais que aos peixes, pois, a diferenza dos peixes, aínda non tiñan mandíbulas e, ademais, presentaban coirzas. Os peixes non aparecerían ata hai uns 350 millóns de anos nos ríos e lagoas mariñas do período **Devónico**, cun aspecto moi semellante ás actuais quenllas.

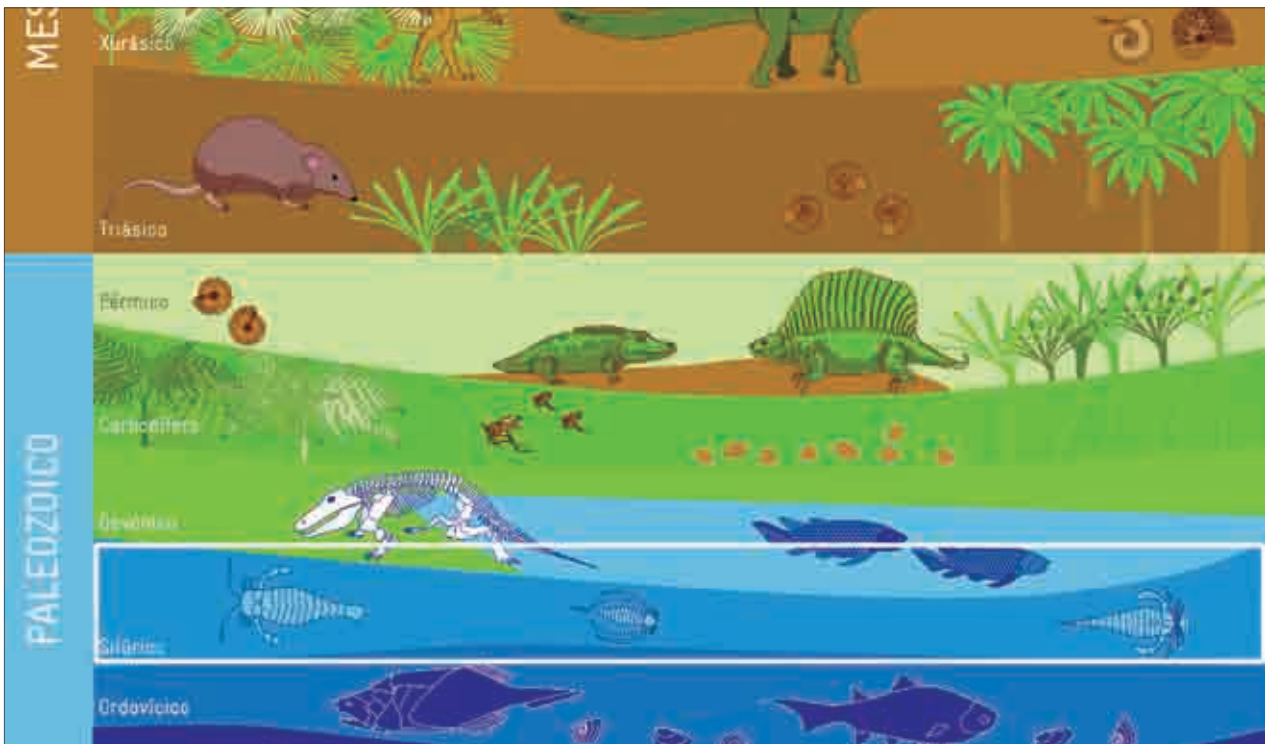


Figura 21. Esquema que sitúa o silúrico dentro do paleozoico e dos primeiros pasos na independización dos seres vivos do medio acuoso



Figura 22. A lamprea semellante aos vertebrados do Silúrico



Figura 23. Vertebrado acoirazado do Silúrico

- As quenllas e as raias acumulan urea e outros sales nas súas células. Pode ter isto algo que ver coas condicións de salinidade das augas nas que apareceron como especie?





- Cal é a razón do nome de Carbonífero e que relación tivo esta etapa coa vida ligada á auga?
- Por que os fentos tiveron máis éxito como colonizadores do medio terrestre que as os mofos?

Os animais comezan a dar os primeiros pasos terrestres no **Devónico** e nesta etapa dátanse as pisadas do desprazamento a catro extremidades (tetrápodos), que deberon resultar da modificación das aletas. Por iso se pensa que esta época é clave na evolución dos peixes a tetrápodos, o que supuxo, de certo, un dos avances máis importantes para a independencia da vida animal do medio acuático.

Pénsase que esta suposta forma intermedia entre peixes e anfibios, coñecida como *Acanthostega*, non camiñaba sobre a terra firme. Polas impresións deixadas en pegadas fósiles, pódese concluír que os seus carpos e os seus tarsos eran demasiado fráxiles para soportaren o seu peso na terra, as súas costelas eran demasiado febles e o seu rabo non deixou pegadas, polo que se cre que se debeu de mover sempre sobre terras cun lixeiro recubrimento de auga, evitando así o contacto da cola coa superficie do terreo.



Figura 24. Reprodución da morfoloxía de *Acanthostega*

As condicións que impulsaron este primeiro paso da vida animal cara á terra firme témolas que situar ao final deste período, cando os dous grandes continentes do planeta estaban cubertos nalgúns lugares por bosques de porte arbustivo e arbóreo e tendían, ademais, a seren moldeados nun único supercontinente pola actividade das placas tectónicas, xerándose deste xeito ambientes de augas superficiais.



Figura 25. Posição dos continentes ao remate do Devónico

Estas augas devónicas estaban poboadas por predadores xigantes con fortes mandíbulas e unha sólida armadura a modo de exoesqueleto. Por iso se cre que estes tetrápodos descendían dos peixes que vivían en augas pouco profundas, posiblemente preto das marxes do río, que resultaban augas demasiado superficiais para os predadores xigantes.



Figura 26. Predadores do Devónico





Nestes contornos debéronse de dar períodos de seca que forzaron aos peixes que tiñan aletas a utilizalas para se arrastraren ata outras charcas, facilitando así a selección natural daquelas formas con aletas modificadas funcionalmente que lles permitían arrastrarse ata outras charcas próximas.

● Como puido influír o clima nestes primeiros pasos na terra firme?

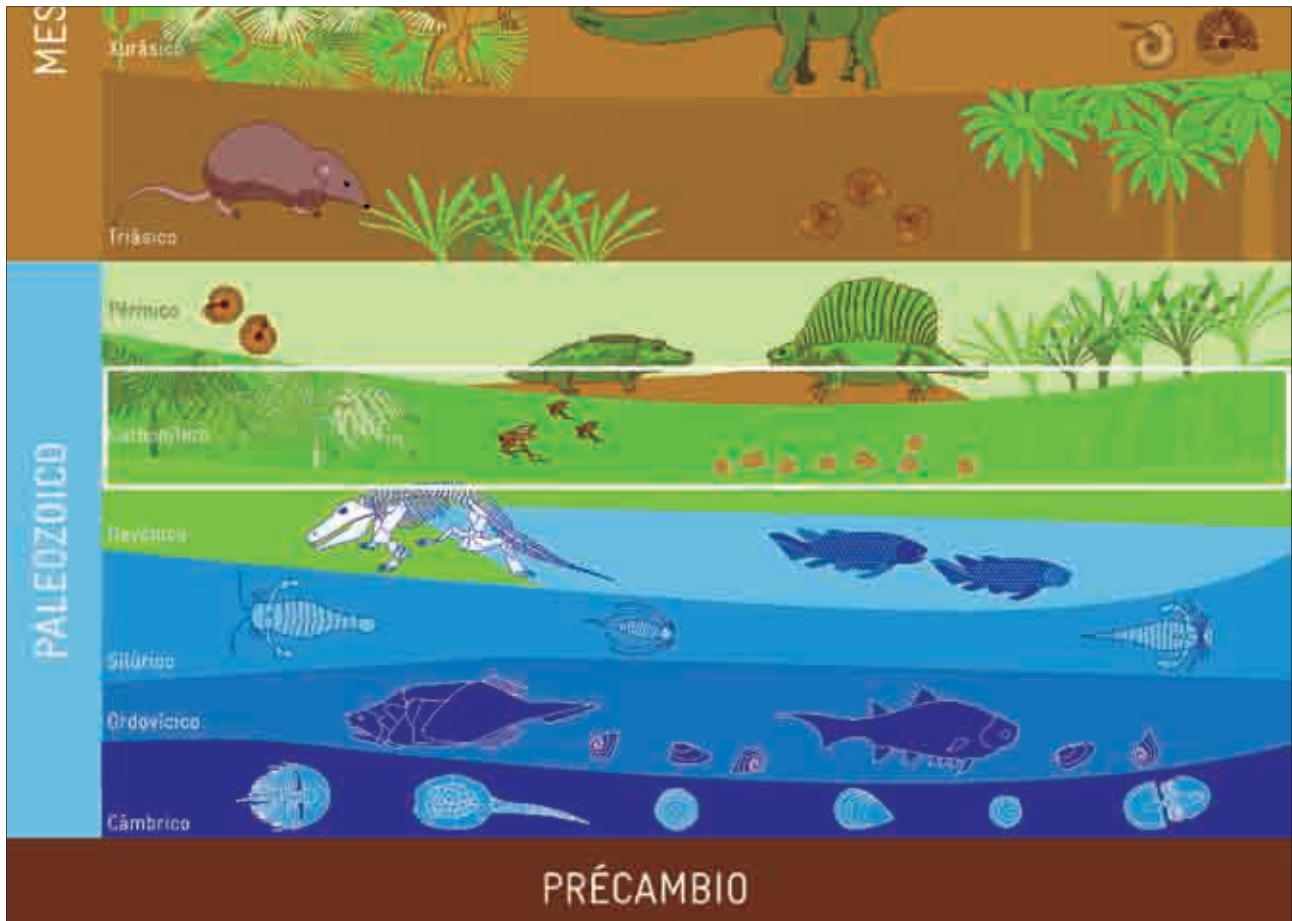


Figura 27. Ubicación do Carbonífero dentro do Paleozoico

A vexetación terrestre tivo un enorme desenvolvemento hai uns 250 millóns de anos. A súa expansión foi tal que unha enorme cantidade de biomasa vexetal se transformou en carbón, polo que o período se chamou **Carbonífero**. Esta vexetación, de porte arbóreo en moitos casos, estaba formada por fentos enormes. Por iso, malia o seu porte arbóreo, estas enormes plantas seguían moi ligadas ao medio acuático e totalmente dependentes da auga para a súa reprodución.



Figura 28. Reprodución dunha paisaxe do Carbonífero

No **Carbonífero** coincidiu o desenvolvemento das árbores de gran porte co primeiro paso claro da vida dos tetrápodos dende o medio acuático ao terrestre. Así pois, trátase dunha etapa de proliferación de anfibios de diferentes clases. Mais estes vertebrados non teñen unha vida terrestre plena e os seus movementos terrestres son breves e están moi vinculados a medios húmidos e próximos ás masas de auga. A dependencia da auga débese a que precisan ter a pel húmida constantemente para non se deshidratar, xa que a súa superficie participa no proceso de intercambio de gases. Ademais, o seu desenvolvemento embrionario ten que se facer no medio acuoso, porque, igual que os peixes, son anamniotas, é dicir, os seus embrións non están recubertos de amnios, unha membrana que fai que o embrión se desenvolva no medio acuoso interno da bolsa que delimita esta membrana.

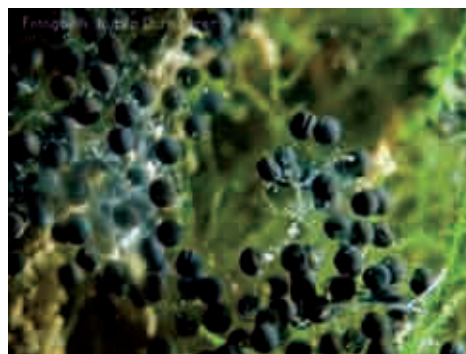


Figura 29. Ra e a súa posta





- Como puido influír o clima nestes primeiros pasos na terra firme?

A etapa da consolidación da aparente independencia

A finais do Carbonífero e principios do **Pérmico**, coa aparición dos réptiles, os vertebrados xa comezan a afastarse dos depósitos de auga. Este grupo de vertebrados ten importantes adaptacións que lles permiten independizarse máis da auga que os anfibios. Presentan ovos con amnios e, daquela, os ovos pódense desenvolver no medio terrestre porque o embrión se desenvolve no medio acuoso do interior da membrana.



Figura 30. Lagarto poñendo ovos que ao ter amnios poden desenvolverse con total independencia do medio acuoso

Ademais, a súa pel é córnea e presenta escamas, o que os preserva do desecamento.



Figura 31. Detalle das escamas dun lagarto arnal (*Lacerta lepida*)

Nesta adaptación ao medio terrestre tamén influíu a estratexia uricotélica para eliminar residuos de nitróxeno. Ao excretaren os residuos de hidróxeno como cristais sólidos de ácido úrico, evitaban eliminar ións amonio, que, ao se solvataren, arrastrarían moitas moléculas de auga. Estas tres estratexias permitiron que os réptiles se espallasen rápido pola terra firme.

- Que avances evolutivos presentan os réptiles que os fan máis independentes da auga que os anfibios?
- Que tendencias evolutivas permitiron que os réptiles vivisen en medios desérticos?
- Que diferenzas hai na adaptación ao medio entre un réptil de zonas ecuatoriais e outro de zonas temperadas húmidas? En que medida estas lles facilitan a adaptación a cada un dos medios?

Nese mesmo período, hai 225 millóns de anos (período Pérmico), deixan de predominar os grandes fentos en favor das primeiras coníferas, dándose así paso á semente, cun ciclo biolóxico máis simple que o do fento. O pole e o pistilo das plantas encerran os gametófitos (n) masculino e feminino, respectivamente. Estas formas nos brións e os fentos eran libres e totalmente dependentes para o seu desenvolvemento do medio acuoso.

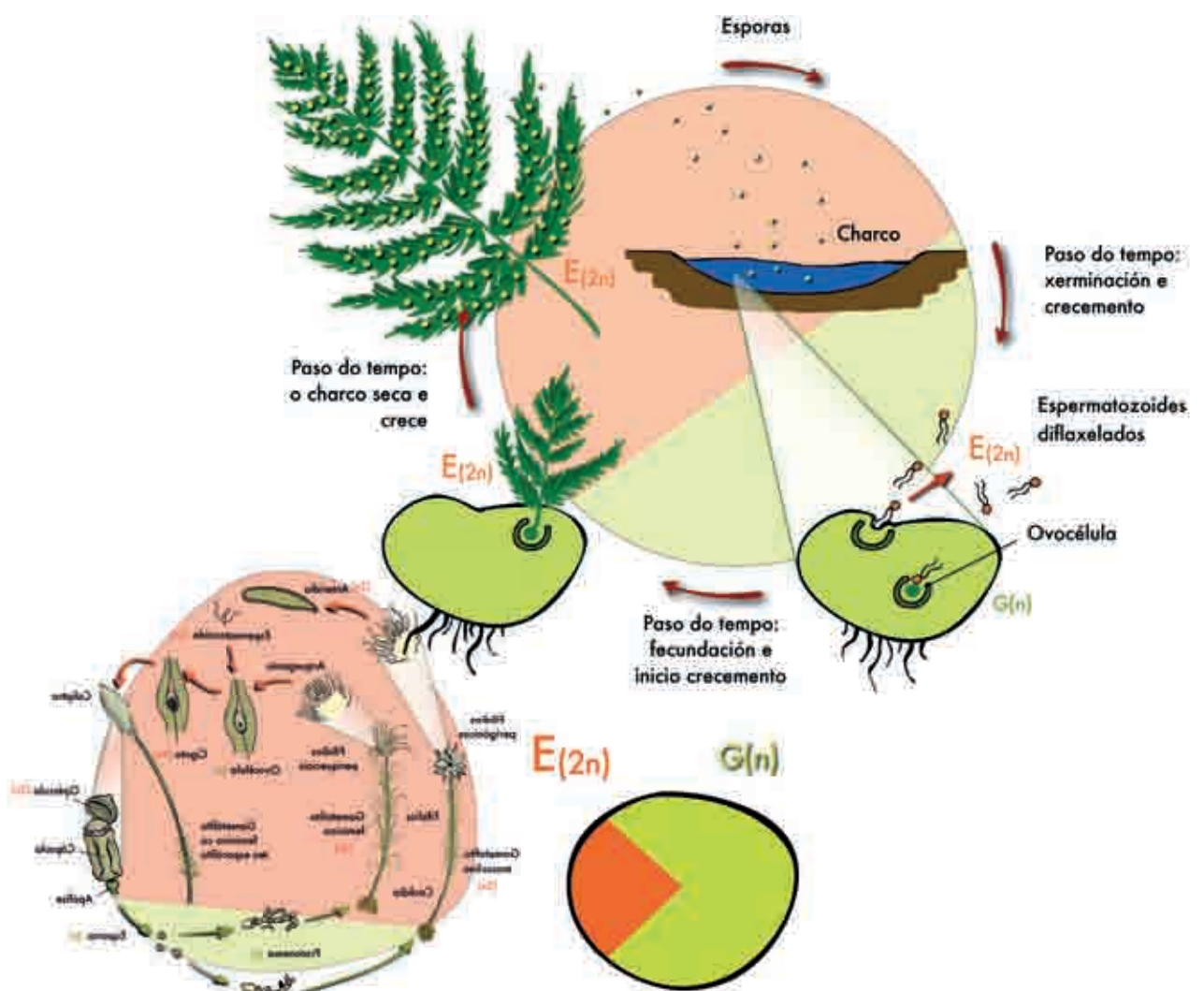


Figura 32. Ciclos biolóxicos de brións (haplo - diploide) e fentos (dipto - haploide)

A presenza dos gametófitos no pole e no pistilo das coníferas que se impoñen no Pérmico e que darán lugar á semente das plantas, —ciclo biolóxico diplonte— supón unha maior independencia da auga, porque nos fentos e nos mofos —ciclos biolóxicos haplo-diplontes— o gametófito (n) orixínase por xerminación, no medio acuoso, das esporas que produce por meiosis o esporófito (2n). Pola súa banda, esta segunda forma diploide orixínase por reprodución sexual a partir dos gametos producidos polos gametófitos.





Xa que logo, o gametófito vai perdendo importancia a medida que se produce a evolución dos vexetais. Nos brións, o gametófito (n) é a forma predominante e o esporófito ($2n$) desenvólvese como parasito seu, porque no seu desenvolvemento permanece ligado ao gametanxio feminino do gametófito, lugar onde se produciu a fecundación que o orixinou. Nos fentos as dúas formas son libres, aínda que o gametófito (n) tamén é moito máis dependente da auga que o esporófito, o seu tamaño é significativamente menor e o número de días de vida tamén é menor. Para rematar, nas plantas, o gametófito queda reducido ao interior do pole (gametófitos masculinos) e do pistilo (gametófitos femininos).

Esta tendencia evolutiva supón unha aposta da evolución pola reprodución sexual fronte á asexual, o que implica unha maior diversidade de opcións xenéticas para dar respostas aos cambios do medio e, polo tanto, unha mellor adaptación. En definitiva, a aparición das sementes supuxo unha oportunidade para aumentar a independencia dos vexetais da auga.

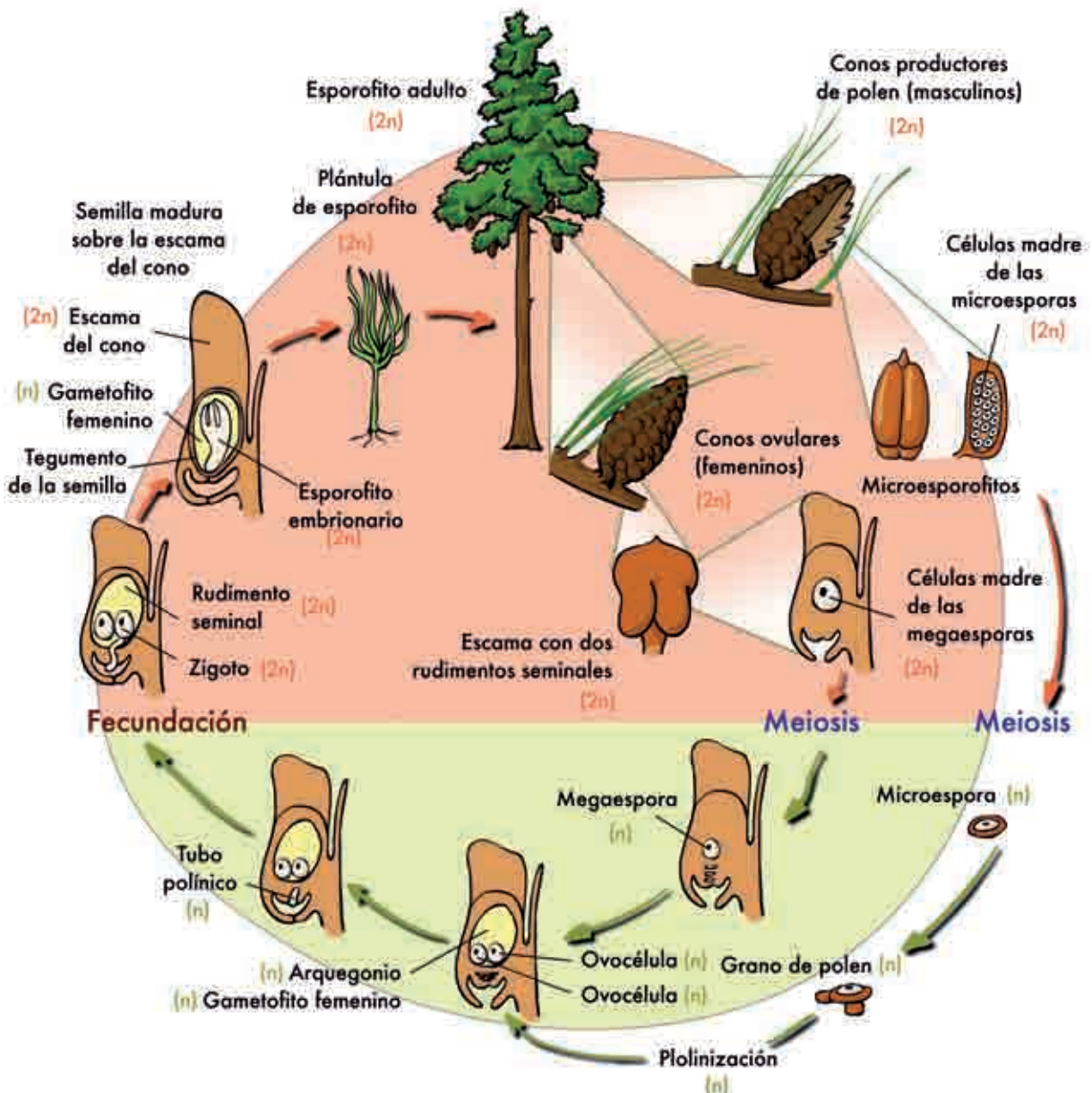


Figura 33. Ciclo biolóxico diploide dunha conífera onde os gametofitos (n) quedan no interior do gametofito no polen e no ovario, e por tanto, ademais de efímeros, non necesitan desenvolverse en medio acuoso

- Os 3 círculos refírense a ciclos vitais pertencentes aos 6 individuos (mofo, fento, árbore, anfibio, pólipa e unha medusa *Aurelia aurita*). Asocia cada grupo de organismos co círculo que corresponde ao seu ciclo vital.



En definitiva, nos vexetais é moi intuitiva a tendencia evolutiva de redución progresiva da forma G ata chegar á súa única presenza nas células reprodutivas, e esta tendencia ten un certo enfoque na súa análise de estratexia evolutiva para se independizaren da auga. Nesta adaptación ao clima seco das coníferas, ademais da redución da forma G, tamén desempeña un papel fundamental o desenvolvemento dun sisCapítulo vascular cunha condución moi eficiente do zume bruto e do zume elaborado, que, en combinación con outras adaptacións, contribuíron a que puidesen vivir con independencia da auga con maior facilidade.

- Disque a aparición das sementes e do sisCapítulo vascular permitiu que as plantas colonizasen climas extremos. En que medida pode contribuír a aparición das sementes e dun sisCapítulo vascular á independencia das plantas do medio acuático?

Unha estraña contribución dun suposto envelenamento do mar a esta independencia

Os réptiles e as coníferas aproveitaron os seus éxitos evolutivos á hora de se independizaren do medio acuoso e estendéronse ata o Xurásico e mesmo o Cretáceo, colonizando rexións e climas diversos.

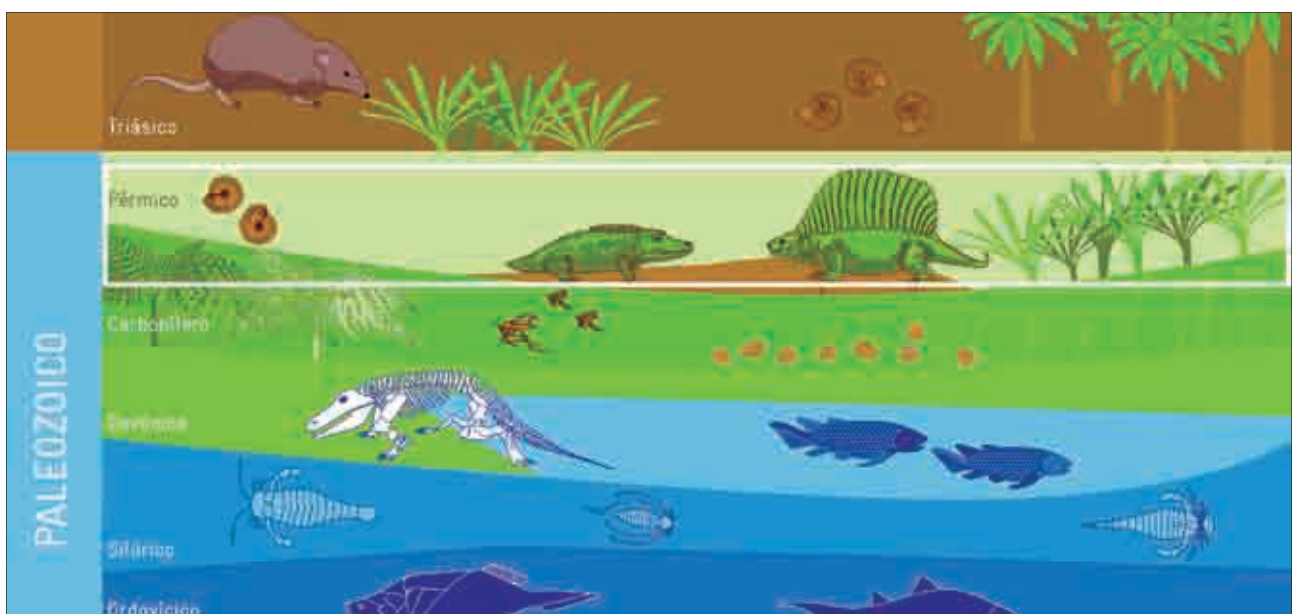


Figura 34. Ubicación do pérmico ao remate do paleozoico





Con todo, neste proceso de colonización atopáronse cunha profunda crise ambiental. Hai uns 250 millóns de anos, ao final do **Pérmico**, algo acabou con case o 90 % das especies do planeta e calcúlase que sobreviviron menos do 5 % das especies mariñas, destruíndo os seus ricos e diversos ecosistemas mariños, como os arrecifes do Pérmico.



Figura 35. Vida nun mar do Pérmico

Os ecosistemas terrestres tamén se viron afectados. Quedaron menos dunha terceira parte das especies terrestres, entre as que imperaban os sinápsidos, moitos dos cales se extinguirían nese momento, aínda que unha das ramas que sobreviviron sería ao final precursora dos primeiros mamíferos.



Figura 36. Vida na terra no Pérmico

Esta crise que hoxe se coñece como a extinción do Pérmico levou por diante a práctica totalidade das árbores. Por iso hai científicos que afirman que a súa orixe se puido deber á choiva ácida causada por unha liberación de gases volcánicos. Neste escenario hipotético, talvez a combinación de escuridade, frío e choiva ácida matou as plantas e o plancto, alterando así a base da pirámide trófica e arrastrando deste xeito ás demais especies.

Porén, na actualidade son cada vez máis os científicos que consideran que a verdadeira orixe desta crise de finais do Pérmico está no mar. A favor desta hipótese está a constatación de que durante o Pérmico superior non había osíxeno nas profundidades do océano e de que gran parte da vida se concentraba nas augas pouco profundas, destacando os arrecifes.

A ciencia moderna constatou que en rexións con mala circulación da auga, a contaminación está aumentando a anoxia. Por iso, aplicando o principio do actualismo xeolóxico, existen científicos que identifican a diminución dos casquetes polares de finais do Pérmico coa causa dun estancamento global das augas mariñas. O desxeo dificultaría a circulación oceánica pola inclusión dunha capa de auga doce superficial, que ao ser máis lixeira, evitaría a mestura coa auga salgada inferior, máis densa, tal e como ocorre ao mesturar o aceite coa auga, caso en que o segundo líquido ten máis densidade que o primeiro.

É moi factible que a ausencia dos casquetes supuxese a anulación das diferenzas de temperatura entre as augas polares e ecuatoriais, facendo que desaparecesen as correntes de convección e provocando o estancamento global da auga do océano. Isto tería xerado unha gran cantidade de auga anóxica profunda que se puido acumular, chegando mesmo a se mesturar en moitos sitios coa auga superficial, facilitado isto pola suposta subida do mar nesta época.





Se seguimos este razoamento, é doado imaxinar os océanos do Pérmico envelenados con CO₂. A crise dos animais mariños iniciouse, xa que logo, cando os niveis tóxicos de CO₂ alcanzaron as augas superficiais.

Así e todo, a morte xeneralizada de finais do Pérmico creou oportunidades futuras que condicionaron a expansión e evolución dos sobreviventes que ocuparon os nichos vacantes.

- Elabora unha hipótese que reúna na explicación da extinción do Pérmico as erupcións, un impacto e a anoxia.
- Busca posibles similitudes e diferenzas entre o contexto que imaxinas no inicio do Pérmico e o actual escenario de cambio climático que nos presentan os científicos do PICC para os próximos 100 anos.
- Se nos poñemos nun escenario futuro catastrofista derivado do cambio climático diagnosticado polo PICC, e á vista da experiencia de extincións como as do Pérmico, podería un escenario catastrofista derivado do cambio climático ser superado pola vida na Terra? Sería igual de fácil que o superase a nosa especie? Explícao.
- Compara os posibles impactos ambientais do final do Pérmico cos que estamos a vivir na actualidade e sinala as semellanzas e as diferenzas.
- Expresa as túas ideas sobre se os nosos efectos destrutivos sobre os ecosistemas nos poden conducir a unha extinción similar á do Pérmico e se, nese caso, a vida podería superala.

A independencia do voo como oportunidade para vivir entre os dous medios

O voo aparece nos invertebrados moi cedo. Os primeiros insectos xorden no Carbonífero e son os primeiros animais que conquistan a terra firme, pero o seu ciclo biolóxico mantense moi dependente do medio acuático, xa que algunhas das fases larvais de moitas especies están ligadas a este medio.

Situados xa nos vertebrados, os pterosauros foron os primeiros e máis grandes en cruzar o medio aéreo. Apareceron no **Triásico** hai arredor de 215 millóns de anos e sobreviviron durante nada menos que 150 millóns de anos, desaparecendo xunto cos dinosauros hai 65 millóns de anos, posiblemente debido ás consecuencias do choque dun asteroide na costa da península de Yucatán. Para a súa alimentación dependían tanto do medio terrestre coma do medio acuático; perseguían insectos e pescaban, lanzándose en picado sobre os peixes. Aínda que o voo lles permitiu conquistar case todas as latitudes, a maior parte das especies viviron nas zonas litorais, polo que a independencia do medio acuático que lles proporcionaba o voo non diminuíu a súa dependencia en canto á alimentación e forma de vida do medio litoral.

A pesar de que se cre que evolucionaron dende ramas reptilianas, non é posible concibir as súas necesidades metabólicas derivadas do voo sen supoñer a presenza de sangue quente. Se retrocedemos no tempo a fisioloxía dos réptiles actuais ata estas formas zoolóxicas, configúrase un animal que, de ter sangue frío, non podería bater as ás moito máis dun minuto, ao cabo do cal o máis probable é que se precipitase á terra. Esta suposición vese reforzada pola presenza de indicios de pelo nalgunhas formas fósiles.

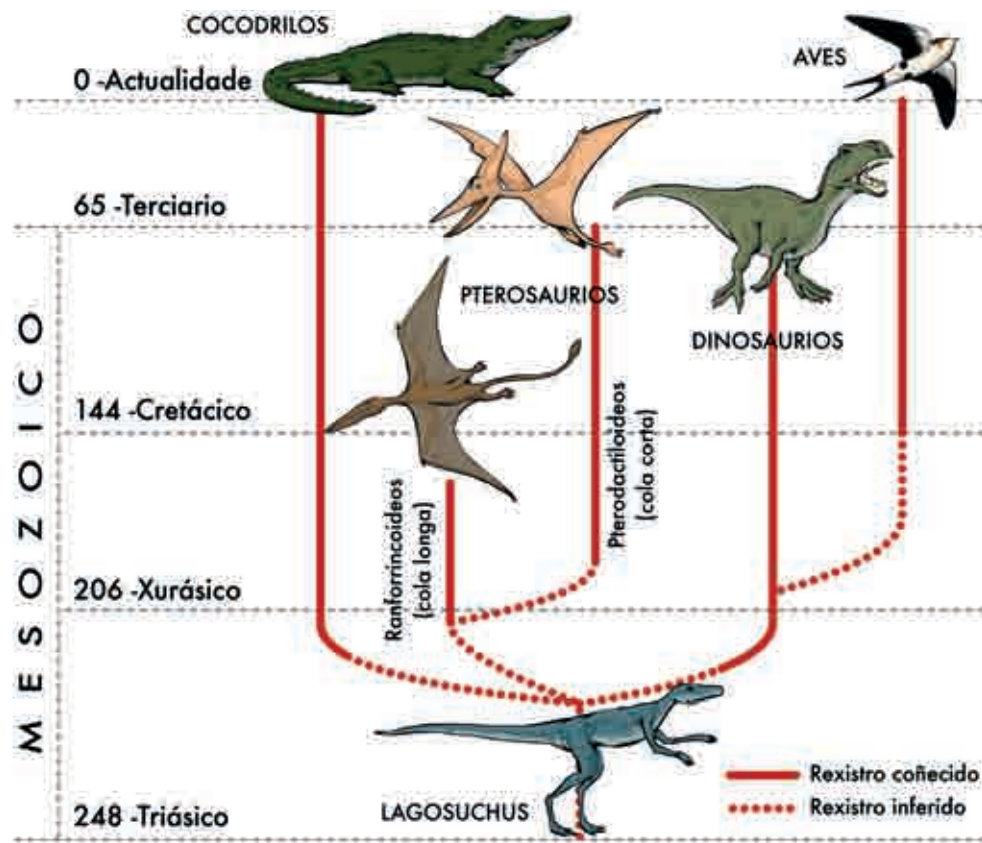


Figura 37. Evolución dos réptiles e dos mamíferos

- Por que a existencia de sangue frío é pouco compatible coa potencia que requirían estes animais para bater as ás?
- Indica en que medida podemos asimilar os pterosauros aos réptiles, ás aves e aos mamíferos.

Os pasos definitivos nesta independencia relativa do medio acuático

A **era secundaria** non só se corresponde cos avances realizados polos grandes réptiles coma os dinosauros cara á conquista de climas diferentes en terra firme, senón que é tamén o período en que empezan a aparecer árbores con flores moi semellantes ás actuais, que, ao interiorizaren as sementes, fixeron máis eficiente o proceso reprodutivo, distanciándoo da auga. Pero a maioría das plantas fanerógamas dependen dos insectos para a polinización, polo que o éxito adaptativo para independizar a reprodución do medio acuático depende, á súa vez, de que os insectos tivesen éxito previamente á hora de eles conquistaren o medio terrestre. Estes contribuíron eficazmente á explosión evolutiva experimentada polas plantas con flores no Cretáceo.

- Que vantaxe evolutiva puido supoñer a aparición das flores?





Hai 35 millóns de anos comezou o reino das aves e dos mamíferos. Dende mediados do **Terciario** van desaparecendo a maioría dos grandes réptiles e os mamíferos vanse asemellando máis aos actuais.

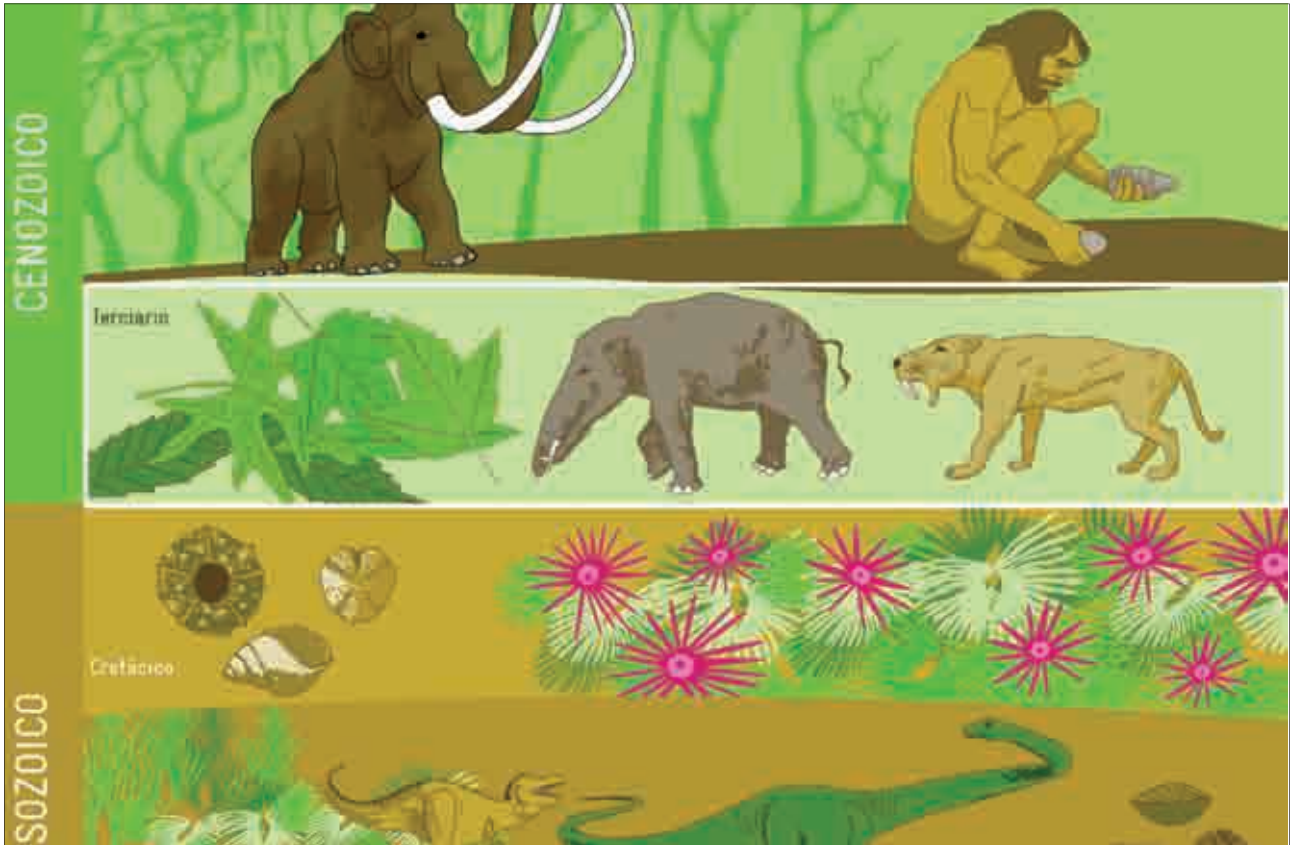


Figura 38. Ubicación do Terciario no Cenozoico

Tanto as aves coma os mamíferos son grupos zoolóxicos que, a diferenza dos anfibios e dos réptiles, son vertebrados con capacidade de controlar a temperatura do medio interno e, xa que logo, con maior proxección en rangos climáticos diferentes. Nos dous grupos a reprodución distánciase da humidade, aínda que seguen estratexias diferentes. As aves independízanse do medio húmido na reprodución mediante a presenza da casca ríxida que protexe o amnio do desecamento, namentres que os mamíferos presentan placenta interna e a nutrición do embrión se produce a través do sangue materno, mediante a conexión do cordón umbilical.



Figura 39. Fauna e flora do Terciario

- Por que os réptiles teñen que hibernar e a maioría das aves e mamíferos non?
- En que medida podemos considerar as aves máis independentes da auga que os mamíferos?

Por que a vida non chega a acadar unha independencia completa da auga?



Figura 40. Savia e sangue, os fluidos internos acuosos das plantas e dos animais





Como estamos a ver dende o primeiro capítulo, pasaron moitas cousas dende estes primeiros mares —desertos e demasiado quentes— ata os actuais, mornos e cheos de organismos. Pero non hai dúbida de que o máis importante destes acontecementos é xustamente a aparición e a evolución da vida. Reflexionamos sobre o feito de que a súa evolución lle permitiu emerxer do medio mariño para invadir o medio terrestre.

Así e todo, mesmo para os seres vivos que somos máis independentes da auga e que mantemos unha menor porcentaxe de auga no noso organismo —no noso caso un 63 %— a auga segue moi presente en nós, tal e como se pon de manifesto nos seguintes datos biolóxicos (Táboa 1):

ORGANISMO	% EN MASA
Home	63
Embrión humano	94
Ósos	22
Dentina	10
Sementes	20
Medusa	95

A nosa especie é a que máis éxito tivo conquistando medios con climas diferentes e, aínda así, non pode vivir sen máis dun 60 % da súa masa corporal en forma de auga no seu interior, malia ser unha das especies que menos porcentaxe necesita. Polo tanto, se a deshidratación chega a afectar de forma significativa á porcentaxe de auga propia da especie prodúcese a morte. Isto é así porque as células de todos os seres vivos conteñen como mínimo un 60 % de auga, e algunhas chegan ata un 95 %! De aí que os científicos estean convencidos de que a vida xurdiu na auga: é coma se os organismos tivesen levado os mares dentro das súas células.

- Que aspectos da composición celular nos convidan a pensar na orixe dos seres vivos no medio mariño?
- Resume a historia da Terra nun ano. En que mes aparecería a vida? En que momento sae a vida á terra firme? En cal se extinguiron os dinosauros? En que momento aparecemos como especie?

Que explica a dependencia da vida da auga?

A auga constitúe máis do 70 % do peso da célula porque no seu medio acuoso ocorren a maioría das reaccións intracelulares. Esta dependencia ten unha lóxica evolutiva evidente que se explica porque a vida, tal e como vimos ao longo deste capítulo, empezou no mar, e as condicións que reinaban naquel ambiente primitivo imprimiron un sinal permanente na química da materia viva. Para explicar o seu papel determinante na vida, a Bioquímica recorreu á análise da súa estrutura.

Mediante análise espectroscópica e de raios X determinouse o ángulo de enlace H-O-H, que é $104,5^\circ$, e a distancia interatómica media H-O, que é $0,0965 \text{ nm}$. Esta disposición de electróns na molécula da auga comunica asimetría eléctrica, pois a diferenza de electronegatividade dos dous elementos supón que o O posúe carga local negativa e que o átomo de H posúe carga local parcial positiva, polo que a devandita molécula se comporta como un dipolo eléctrico.

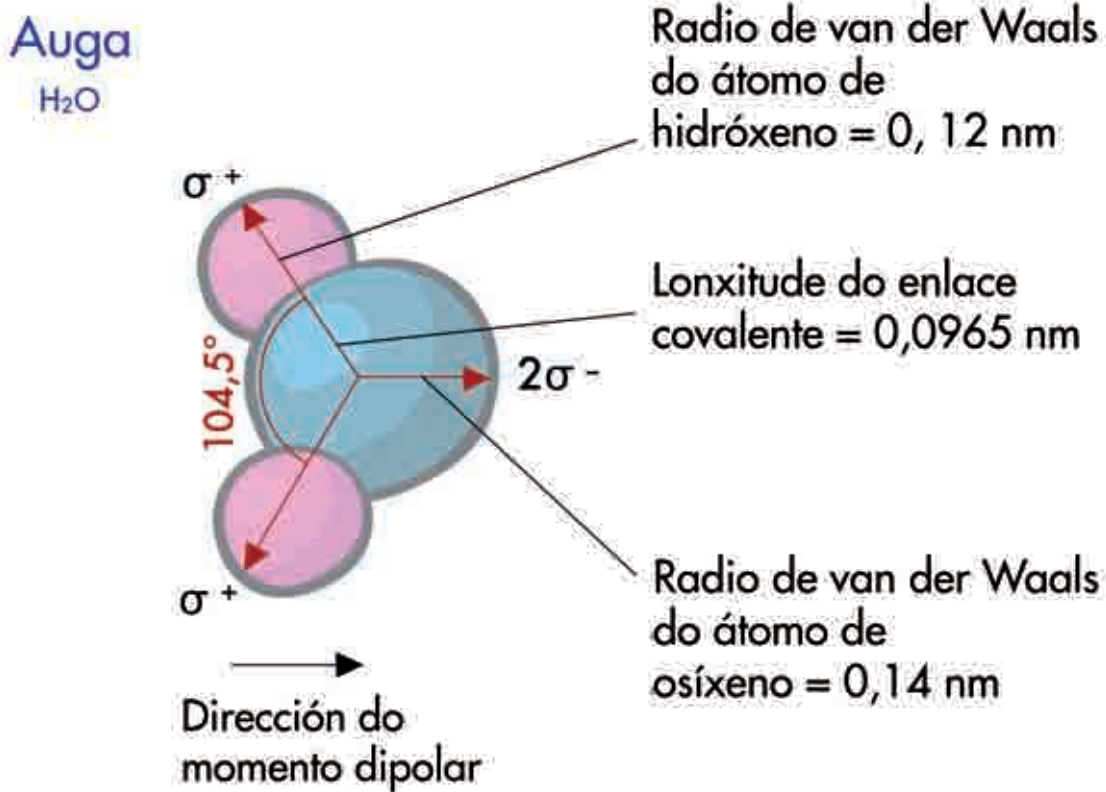


Figura 31. Representación dunha molécula da auga cos datos característicos da súa estrutura

Este dipolo está formado por dous átomos de hidróxeno unidos por enlaces covalentes a un osíxeno, que, mediante unha hibridación do orbital "s" cos 3 p (p_x , p_y e p_z), dá lugar a catro orbitais "sp³", cada un dirixido aos teóricos vértices dun tetraedro, dous dos cales serán enlazantes por conteren electróns desapareados, que os comparte cos dous átomos de hidróxeno.

A hibridación sp³ xustifica que este composto posúa un punto de fusión, un punto de ebulición, a calor de vaporización e a tensión superficial máis elevados que o hidruro máis parecido e con maior masa molecular, como é o caso do H_2S . Este hidruro, cuxos elementos están na táboa periódica próximos aos que forman o H_2O , presenta hibridación sp (un "s" e un "p" únense para dar dous híbridos sp), ten só os dous orbitais híbridos sp enlazantes e, xa que logo, dispónse cun ángulo de 180° que fai que sexan dipolos de igual magnitude e dirección, pero de sentidos contrarios, polo que se anulan e non dan dipolo resultante.

Unha estrutura así xustifica que este composto teña un punto de fusión, un punto de ebulición, a calor de vaporización e a tensión superficial máis elevados que o hidruro máis parecido e con maior masa molecular, como é o caso do H_2S .



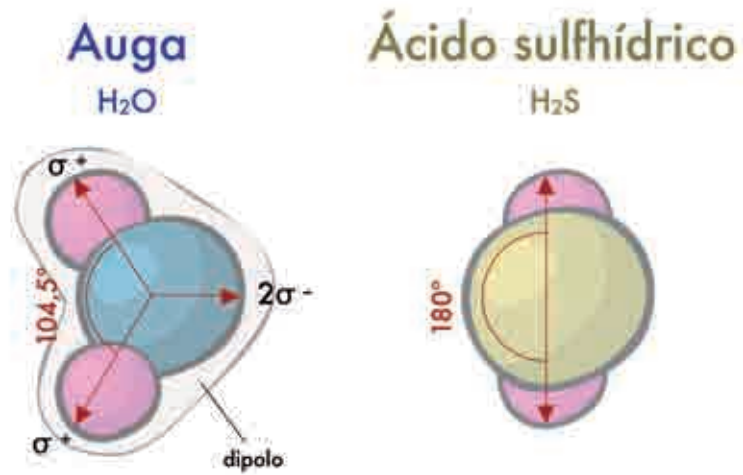


Figura 42. Representación comparativa das moléculas de auga e do sulfuro de hidróxeno

Esta diferenza estrutural entre o H_2S e o H_2O xustifica que, a temperatura ambiente, o primeiro sexa gasoso e o segundo líquido. Este estado líquido da auga débese a que, cando dúas moléculas de auga se aproximan moito, debido á súa natureza polar, se establece unha atracción electrostática entre a carga parcial negativa, situada sobre o átomo de osíxeno da molécula de auga, e a carga parcial positiva, situada sobre un átomo de hidróxeno dunha molécula de auga adxacente, producíndose deste xeito unha unión electrostática complexa denominada enlace de hidróxeno.

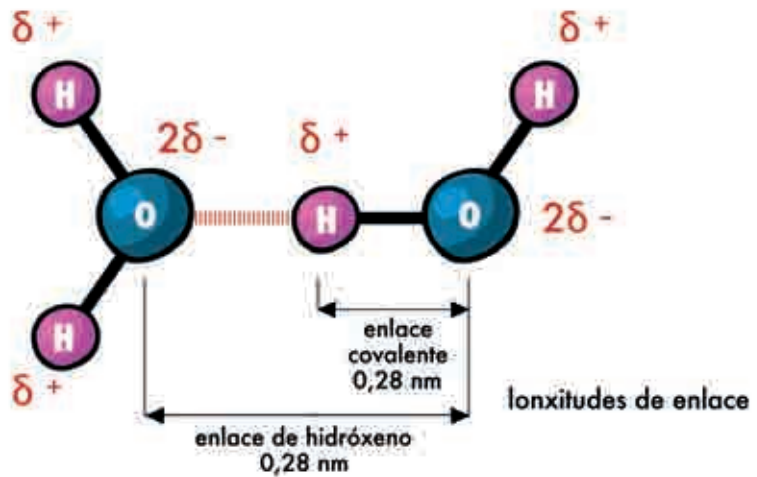


Figura 43. Formación dunha ponte de hidróxeno entre dúas moléculas de auga

Este tipo de interacción é a responsable de que as moléculas de auga se unan entre elas de modo transitorio a temperatura ambiente —estado líquido— e de modo permanente en estado sólido, quedando neste caso cada unha fixada por outras catro.

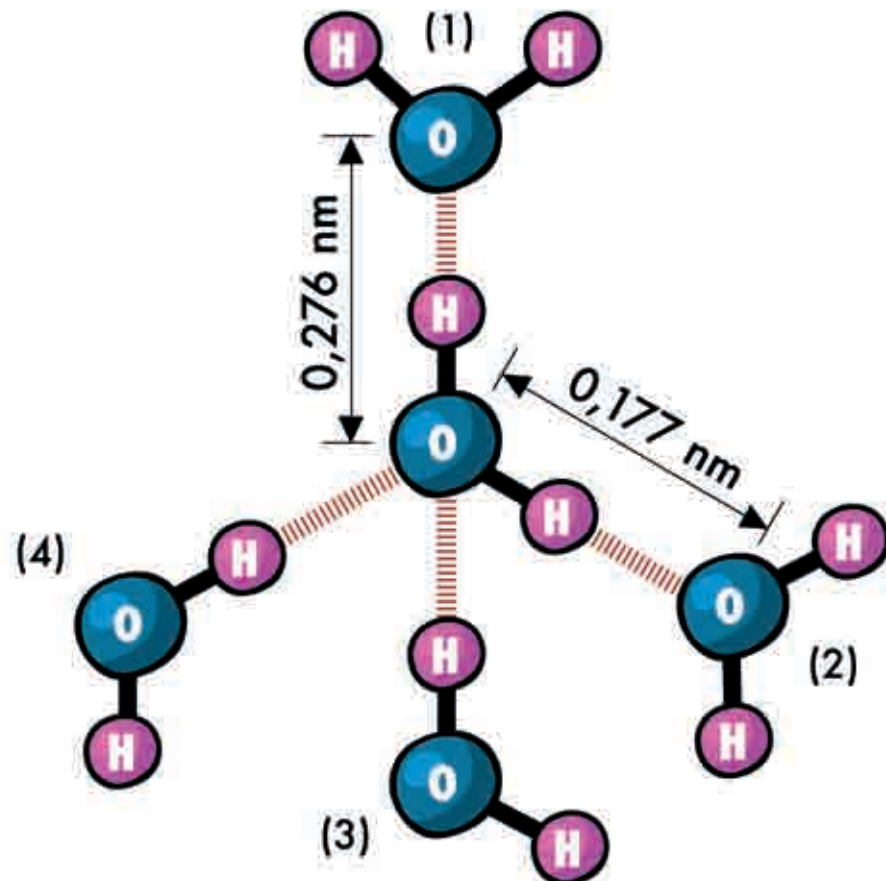


Figura 44. Organización ordenada e tetraédrica da auga en estado sólido (xeo), no que cada molécula se une a outras catro por pontes de hidróxeno

De calquera maneira, as moléculas de auga a temperaturas inferiores a 100°C sempre tenden a se uniren formando redes transitorias —fluidez— en estado líquido e redes fixas en estado sólido. Debido ao ángulo tetraédrico entre os enlaces, incluso a 37°C, un 15 % de moléculas de auga están unidas cada unha a outras 4, nunha rede inestable de vida curta coñecida como “agrupación oscilante” (fluída).

Por iso todos os organismos foron deseñados baseándose nas características fisicoquímicas da auga, que, á súa vez, se fundamentan nas características polares da súa molécula e as súas interaccións. Son eses dipolos con carga parcial positiva e negativa os que interaccionan entre eles polos extremos de signo oposto, formando unha rede acuosa fluída na que unha molécula de auga se está unindo a novas moléculas de auga próximas, separándose ao mesmo tempo doutras ás que estaba unida.





Nesta rede acuosa inestable teñen lugar tamén as interaccións dos extremos dos dipolos dunha determinada carga parcial con cargas parciais de moléculas orgánicas ou ións de signo oposto, posibilitando así o transporte dos nutrientes ou os refugallos no medio interno. Este mesmo mecanismo, coa intervención da actividade catalítica das encimas proteicas, tamén posibilita as reaccións metabólicas no interior das células.

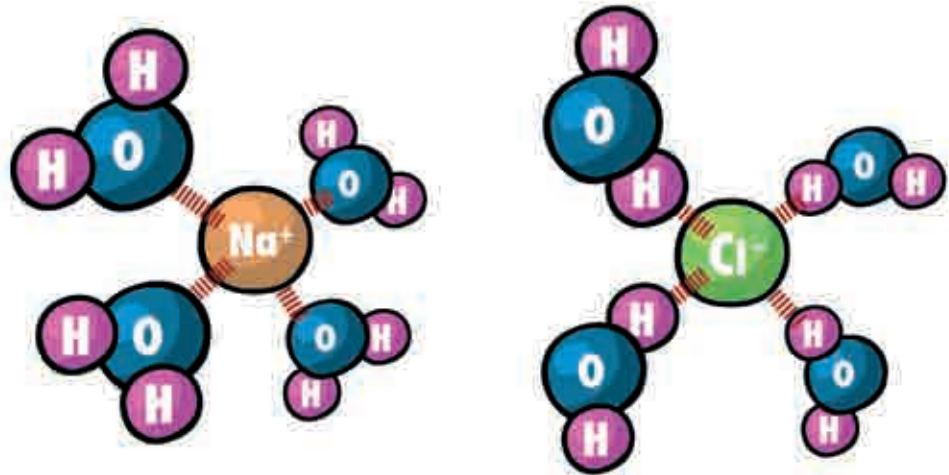


Figura 45. Ións procedentes da disolución do cloruro sódico solvatados por moléculas de auga mediante pontes de

- En que se parecen e en que se diferencian o H_2S e o H_2O ?

Estas características estruturais determinan as propiedades fisicoquímicas que se comentan a seguir.

Relación das propiedades fisicoquímicas coas funcións biolóxicas

A estrutura dipolar da auga é a responsable das peculiares propiedades fisicoquímicas que lle permiten cumprir importantes funcións nos organismos, entre as que destacan:

- **Gran forza de cohesión.** Débese á elevada tendencia dunha molécula de auga a unirse a outras catro moléculas veciñas, tal e como se indicou anteriormente, o que converte a esta substancia nun líquido practicamente incomprensible, capaz de conferir volume e turxescencia a moitos seres uni- ou pluricelulares, como acontece no esqueleto hidrostático das plantas. Así mesmo, esta forza tamén permite as deformacións dalgunhas estruturas (citoplasma) e contribúe a evitar o rozamento entre ósos nas zonas nas que os seus extremos entran en contacto (articulacións).

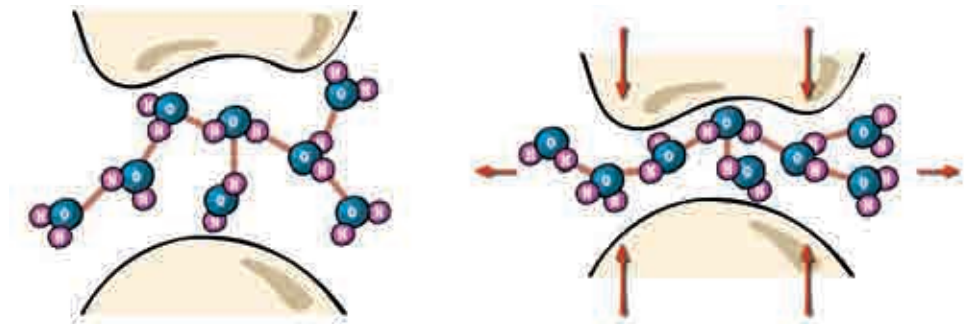


Figura 46. Representación da capacidade que aporta a auga ao líquido sinovial para evitar o roce entre articulacións e que ben dada pola súa elevada forza de cohesión

● Pon exemplos nos que se manifeste a importancia da elevada forza de cohesión da auga.

- **Elevada calor específica.** Débese á tendencia a formar enlaces de hidróxeno entre as moléculas de auga; pois para que a enerxía cinética das moléculas de auga aumente dabondo e a temperatura se eleve 1°C, cómpre romper algúns dos enlaces de hidróxeno que as manteñen unidas, de tal forma que a auga absorbe gran cantidade de calor para producir un lixeiro ascenso da temperatura, o que a converte nun bo amortecedor térmico que mantén a temperatura interna dos seres vivos malia as variacións externas.

● Calcula a cantidade de calorías que lle hai que transferir a un litro de auga pura para que a súa temperatura suba 1°C. Que conclusións sacas deste dato sobre a súa capacidade para regular a temperatura no medio interno e no ambiente?

- **Alta calor de vaporización.** A auga absorbe moita calor cando cambia de estado líquido a gasoso, pois para que unha molécula de auga “escape” das adxacentes teñen que romperse os enlaces de H, para o que se precisa unha gran cantidade de enerxía (máis de 500 calorías para evaporar 1 g de auga). Deste xeito, cando a auga se evapora na superficie dunha planta ou dun animal, absorbe gran cantidade de calor do contorno, actuando así como mecanismo de regulación térmica.

● Calcula a cantidade de calorías que se eliminan se suamos un litro de auga. Que conclusións sacas deste dato sobre a súa importancia como refrixerante das superficies biolóxicas?

- **Elevada constante dieléctrica.** A auga tende a opoñerse á atracción electrostática entre os ións positivos e negativos. Esta tendencia vén expresada pola constante dieléctrica “D”, definida pola relación:

$$F = \frac{e_1 * e_2}{D * r^2}$$

F: forza de atracción
 e_1 / e_2 : carga dos ións
 r: distancia entre eles





A auga ten unha constante dieléctrica relativamente alta, polo que desta fórmula se deduce que diminuirá moito a forza de atracción entre os ións, favorecendo en gran medida a disolución da rede cristalina pola auga.

Así mesmo, debido á súa polaridade, tamén dissolve con facilidade outros compostos non iónicos pero que posúen grupos funcionais polares ao se estableceren enlaces de hidróxeno entre eles (aldehidos, alcois, cetonas...). Desta maneira tamén dispersa ou solubiliza micelas a moitos compostos que conteñen grupos simultáneos, uns fortemente non polares e outros fortemente polares (moléculas anfipáticas), interaccionando cos segundos.

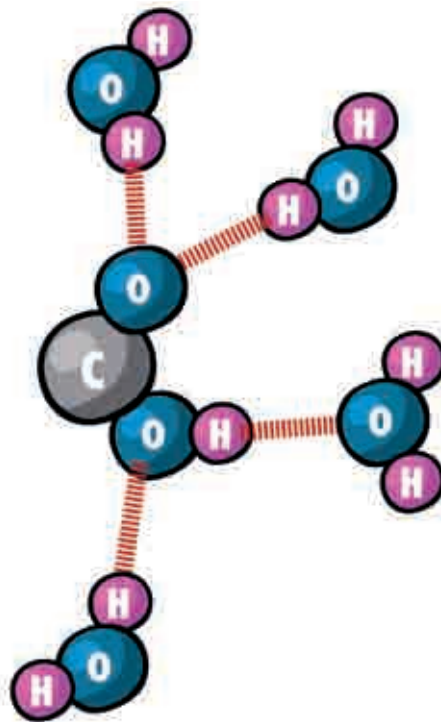


Figura 47. Representación molecular da auga transportando dióxido de carbono disolto

Todo iso a converte na substancia disolvente por excelencia, e esta capacidade é responsable de dúas funcións importantes da auga nos seres vivos: ser vehículo de transporte, que permite a circulación de substancias no interior dos organismos e o seu intercambio co exterior, e ser o medio onde ocorren todas as reaccións bioquímicas.

- Indica as principais características que xustifican a solubilidade na auga das substancias que se transportan no medio dos seres e explica o fundamento das interaccións das devanditas substancias coa auga para xustificar o seu transporte.

- **Gran forza de adhesión.** Esta propiedade deriva da tendencia a formar enlaces de hidróxeno entre as moléculas de auga (cohesión) e entre estas e outras moléculas polares (adhesión), o que fai que a auga sexa responsable de todos os fenómenos relacionados coa capilaridade (por exemplo, o ascenso de zume bruto polo xilema das plantas).

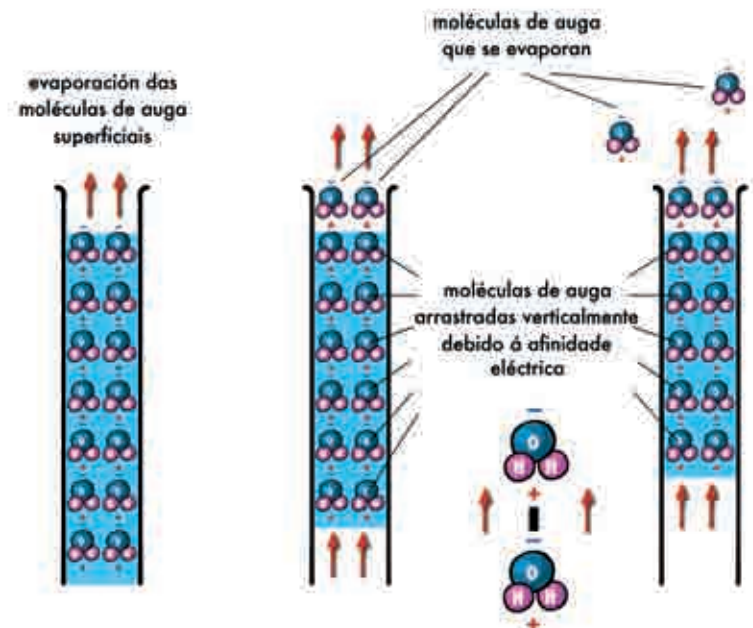


Figura 48. Representación dos fenómenos de capilaridade debidos á elevada forza de adhesión

- O alcol ten menos calor de vaporización e tensión superficial que a auga. A partir destes datos, explica por que despois de beber unha bebida alcohólica queda unha fina película líquida na superficie interior da copa e, ao cabo de certo tempo, esta película se transforma en pingas, fenómeno que se coñece como o “chorar da copa”.

- **Baixa densidade en estado sólido.** A auga alcanza a súa máxima densidade a 4°C e a mínima en estado sólido, mentres que a maioría das substancias alcanzan a máxima densidade na temperatura de fusión (ilustración de dúas gráficas que representan a variación de volume fronte á temperatura: a da maioría das substancias e a da auga).

Ao pasar da estación outonal á invernal, a auga da superficie arrefría ata alcanzar a máxima densidade aos 4°C; nese momento a auga da superficie é a máis densa e descende ata a zona máis fonda, que pasa a estar ocupada por auga a 4°C. Cando se instauran temperaturas da atmosfera por baixo de 4°C, toda a auga acabará descendendo, ata que todo o lago queda totalmente cheo de auga a esta temperatura.

Esta característica permite a vida acuática en zonas frías, xa que nos lagos, ríos e mares destas zonas, ao descender a temperatura por baixo de 0°C, se forma unha tona de xeo na superficie, menos denso que a auga líquida que está a 4°C, protexendo a auga situada baixo dela dos descensos térmicos do exterior e, daquela, mantena arredor de 4°C, suficientes para a supervivencia de moitas especies.



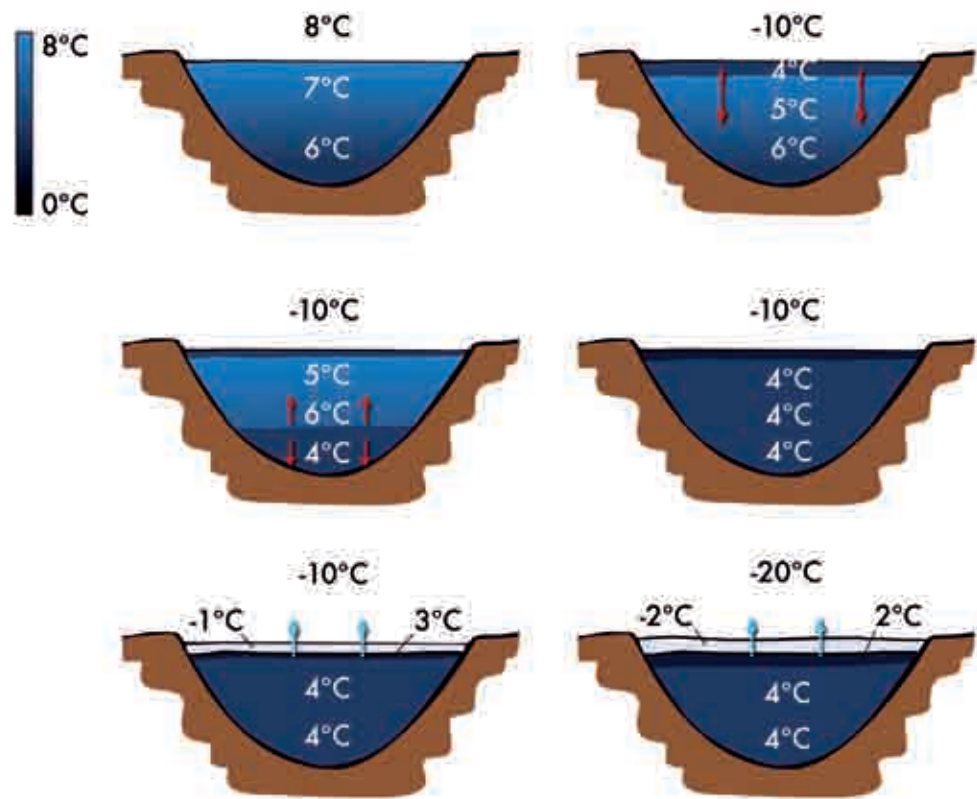


Figura 49. Representación da capacidade que ten a auga para permitir a vida en medios acuosos con temperaturas frecuentes de cero graos.

- Os autores P. Bacas, M^a J. Martín-Díaz, F. Perera e A. Pizarro, no seu libro *Física y ciencia-ficción*, suxiren que imaxinemos esta curiosa reunión á que te convidamos para que redactes unha noticia sobre a asemblea, xustificando as razóns de cada sindicato participante na asemblea para apoiar ou desaprobar a petición da auga:

“La mesa sindical, constituida por representantes de distintos sindicatos de seres vivos y materia inerte, se reunió para unificar posturas frente a la patronal. Hoy, sin embargo, una cuestión inaudita crea una fuerte polémica en el seno de la organización.

El auga, miembro del SIMI (Sindicato Independiente de la Materia Inerte), reivindica el derecho a la dilatación normal. Los motivos alegados son de distinta índole: la discriminación de la que se siente objeto, los dolores de cabeza que causa su anomalía a los estudiantes de física, etc.

Muchas manos se alzan para rebatir tal propuesta o para apoyarla. Entre otras, ver aquí una pequeña relación de algunos de los temas tratados en las distintas argumentaciones, y de los autores de tales intervenciones:

Las rocas, unos pocos metales y los fabricantes de tuberías de conducción del auga, por distintos motivos, apoyan la idea (el auga se siente feliz, ¡por fin será realidad su sueño!)

Las plantas y animales acuáticos, sin embargo, amenazan con llevar el asunto al Defensor del Ecosistema. No menos indignados están los fabricantes de helados, los geólogos y los físicos que se encuentran en la reunión. La intervención del representante de los seres vivos que habitan en las zonas costeras del planeta es patética”.

- Responde co estudado neste apartado ás cuestións iniciais:
“RESPONDE CO QUE SABES AGORA”.

