



Proxecto de Educación Ambiental CAMBIO CLIMÁTICO

Libro Didáctico **3**:

AGUA Y CAMBIO CLIMÁTICO

Capítulo 4. El agua, fuente de vida desde
los océanos hasta tierra firme

978-84-453-4994-6

Francisco Sóñora Luna (coordinador)
Francisco Anguita Virella



XUNTA DE GALICIA

LIBRO 3 AGUA Y CAMBIO CLIMÁTICO

1. UNA SUBSTANCIA UNIVERSAL

2. EL AGUA EN MOVIMIENTO

3. HISTORIA, PRESENTE Y FUTURO DEL AGUA EN LA TIERRA

4. EL AGUA, FUENTE DE VIDA DESDE LOS OCÉANOS HASTA LA TIERRA FIRME

contenido del documento actual

5. EL AGUA EN LA HISTORIA DE LA HUMANIDAD

6. EL CAMBIO CLIMÁTICO EN UNA SOCIEDAD SEDIENTA

7. EL AGUA, UN RECURSO CRÍTICO EN LA SOCIEDAD DEL CAMBIO CLIMÁTICO

8. UN CAMBIO DE DIRECCIÓN EN BASE AL USO SOSTENIBLE DEL AGUA EN LA SOCIEDAD DEL CAMBIO CLIMÁTICO

4. EL AGUA FUENTE DE VIDA DESDE LOS OCÉANOS A TIERRA FIRME

Responde con lo que sabes ahora

- ¿Cómo piensas que eran y en que condiciones vivían los primeros seres vivos?
- ¿En que momento los seres vivos conquistaron la tierra firme y cuales fueron las primeras especies pioneras en salir del agua?
- Ordena los grandes grupos zoológicos y botánicos de menor a mayor independencia del agua
- Explica las estrategias que usan para vivir independientes del agua los diferentes grandes grupos de organismos terrestres
- ¿Por qué ningún ser vivo consigue una independencia plena del agua?



La aparición de la vida en los mares

Como hemos comentado en el capítulo 1, es muy posible que el agua haya llegado a la Tierra proveniente de antiguos cometas y meteoritos, y desde entonces está con nosotros a través de diversos y complejos procesos de reciclaje sobre los que trató específicamente el capítulo 2.

¿En qué medida pudo contribuir un medio muy cálido a la aparición de la vida?

Ya hemos reflexionado sobre las condiciones de consolidación de la hidrosfera. Tal y como hemos visto, el planeta Tierra, en el momento de su formación, hace 4600 millones de años, era demasiado caliente para que el agua líquida permaneciera en él, por lo que debió salir de su interior todo el vapor a través de los cráteres volcánicos, y cuando el planeta se enfrió,





los vapores se condensaron en forma de descomunales diluvios pudiendo permanecer así el agua líquida en superficie. Eso no ha impedido que desde aquella, hasta nuestros días, se siga perdiendo agua de forma continua, pero de forma extremadamente lenta, hacia el espacio.

- ¿En que medida la superpoblación, nuestros hábitos de consumo y gestión del agua y el calentamiento global pueden llegar a poner el agua entre los temas centrales de debate de nuestro siglo?
- Sabemos que Venus era ligeramente más cálido que Tierra durante el primer periodo del sistema solar, y también que es posible que igual que la Tierra haya tenido mares:
 - ❑ ¿Por qué piensas que no ha podido conservar agua en su superficie?
 - ❑ ¿Qué consecuencias habrá tenido para el clima?
 - ❑ ¿Qué enseñanzas podemos extraer de Venus para modificar nuestras prácticas de consumo y de gestión de los recursos?

En la actualidad tenemos evidencias de que la vida surgió inmediatamente después al origen de la Tierra, en una época que se puede aproximar a los 4.000 millones de años de antigüedad, por lo que en esa época la Tierra debería ser un paraíso molecular cuya evolución en el tipo de reacciones ha conducido inexorablemente a la aparición de la vida.

Todos los escenarios recogidos en las hipótesis sobre el origen de la vida incluyen la necesidad de agua para la aparición de la vida. Partiendo del concepto de “cálido charquito” del que hablaba Darwin inspirado en sus observaciones y conclusiones en las Galápagos, se supone que la vida ha surgido vinculada a los primitivos océanos, iniciándose en las burbujeantes chimeneas submarinas situadas en un océano cargado de moléculas diversas entre las que se supone la presencia importante de hidrocarburos con una destacada presencia del metano.

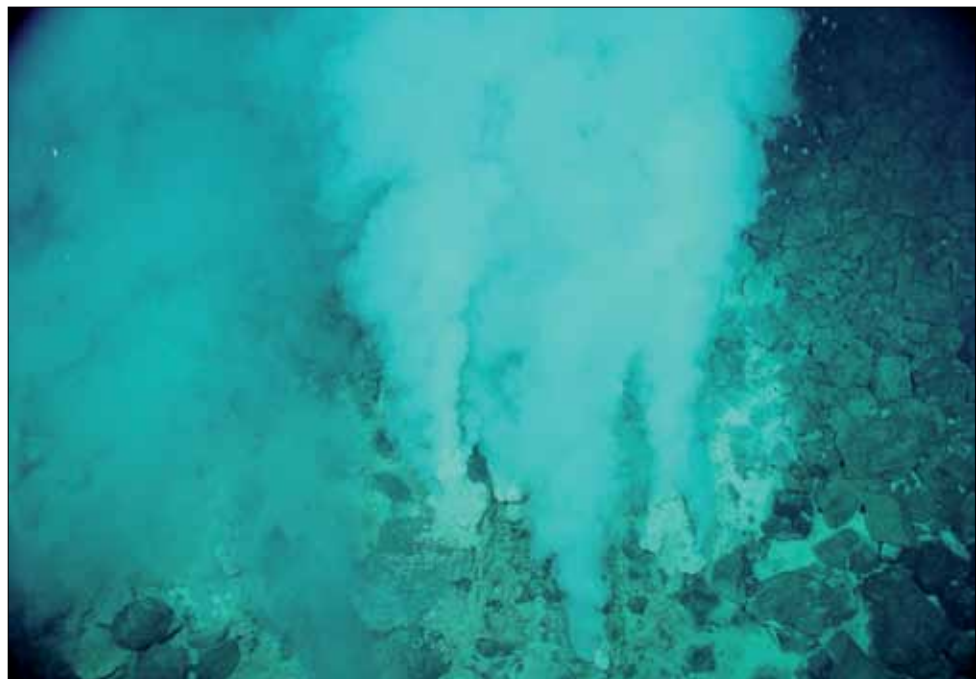


Figura 1. Chimenea submarina

El origen de la vida vinculado a esas condiciones desgraciadamente implica la renuncia a encontrar fósiles de las primeras formas vivientes, pues cualquiera organismo simple de esas épocas hubiera desaparecido calcinado en los procesos que transformaron los lodos del océano primitivo en piedra. Pero si machacamos las piedras y hacemos un examen de química analítica de su contenido, si esos organismos han existido en el cieno del océano primitivo que las han originado, deberían aparecer en el resultado del proceso de trituración los elementos químicos, como el carbono, que forman las moléculas biológicas. Como los organismos prefieren el isótopo ligero (^{12}C) al pesado (^{13}C), si en rocas metamórficas derivadas de antiguos cienos oceánicos encontramos bandas ricas en C con una elevada tasa $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ estaremos ante una prueba inequívoca de que esas bandas de C contienen materia procedente de seres vivos. Pero nos encontramos otro problema para localizar estas rocas, porque la mayor parte de la corteza de origen oceánico se ha vuelto a deslizar hacia el interior de la Tierra en el proceso llamado subducción.

- Explica las dificultades para encontrar fósiles de los primeros seres vivos y potenciales rocas que los contengan apoyándote en la Teoría de la tectónica de placas y en el Ciclo de las rocas.

Sin embargo los geólogos, sólo esporádicamente, en Australia Occidental y Groenlandia, han encontrado afloramientos de rocas originadas en antiguos cienos oceánicos que se han salvado de la subducción. Las rocas de Groenlandia formadas en contexto oceánico y datadas en 3.850 millones de años, contienen bandas ricas en C con una elevada tasa $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$, lo que, según algunos investigadores, las relaciona con la aparición de la vida durante su proceso de formación en el fondo oceánico.

Estas formaciones hace más de 3.500 millones de años en los lugares en los que los mares eran poco profundos, empezaron a aparecer como estructuras visibles a las que se pegaba polvo y arena, originándose así estromatolitos (Ilustración 3). Esta especie de roca originada desde el fondo de los océanos constituye la primera formación formada por colectivos de seres vivos. Investigando este tipo de formaciones en 1961 en una bahía del noroeste de Australia, sorprendentemente se encontró una comunidad de estromatolitos, lo que supuso un atractivo turístico de divulgación científica para observar lo que se consideran restos vivos del origen de la Tierra.



Figura 2. Estromatolitos





Los conocimientos biológicos contemporáneos nos sugieren que estos primeros organismos que formaron los estromatolitos marinos, debido a sus particularidades metabólicas y ambientales, podían ser similares a las cianobacterias actuales (Ilustración 4).

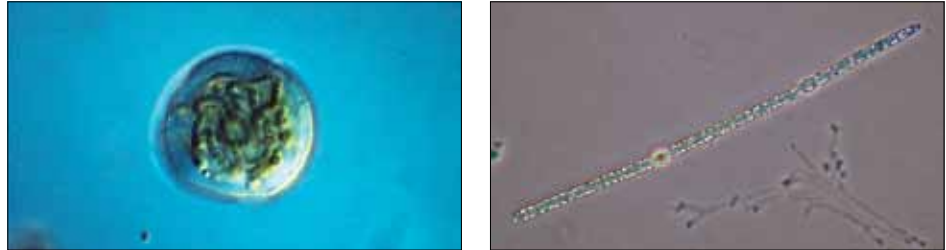


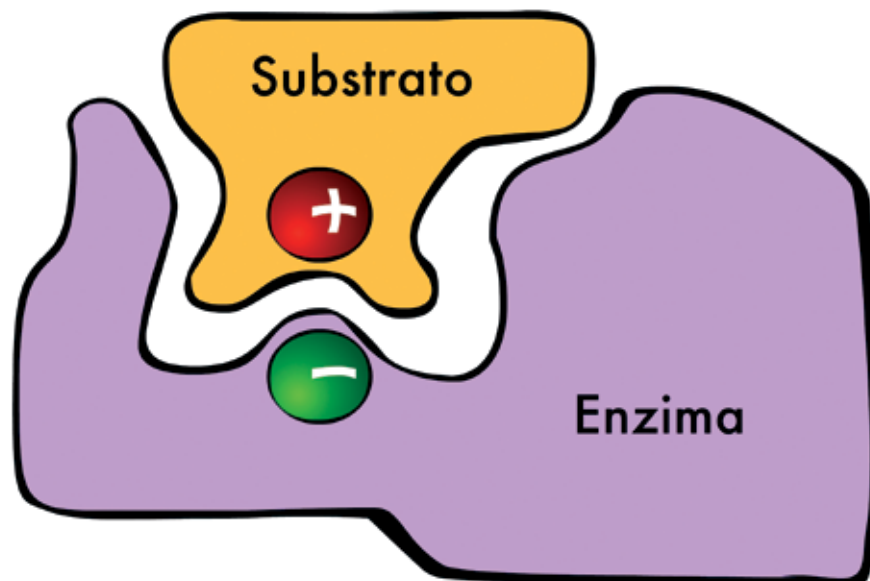
Figura 3. Microfotografía de cianobacterias

Se piensa esto porque dichos organismos procariotas unicelulares autótrofos son una de las formas de vida más resistentes hoy y pueden llegar a vivir en ambientes que otros organismos encontrarían poco atractivos, desde los desiertos más áridos hasta los hielos antárticos, pasando por los tanques de refrigeración de los reactores nucleares.

- ¿Por qué siempre fuimos más optimistas a la hora de pensar en formas vivientes en Marte que en Venus?
- ¿Existen organismos en la actualidad que puedan vivir en aguas muy cálidas?

Hoy en día en el pensamiento científico tenemos muy asumido que la temperatura elevada facilita las reacciones químicas. Es de suponer que cuando se formó la Tierra, a medida que se fue generando esta primera hidrosfera cálida de los océanos primitivos en interacción con atmósfera húmeda y caliente, propició un disolvente de base acuosa, en el que se fueron disolviendo los hidrocarburos y derivados oxigenados y nitrogenados, facilitando las ardientes atmósferas e hidrosferas la interacción del carbono con el hidrógeno y oxígeno resultantes de la descomposición del agua y con el nitrógeno.

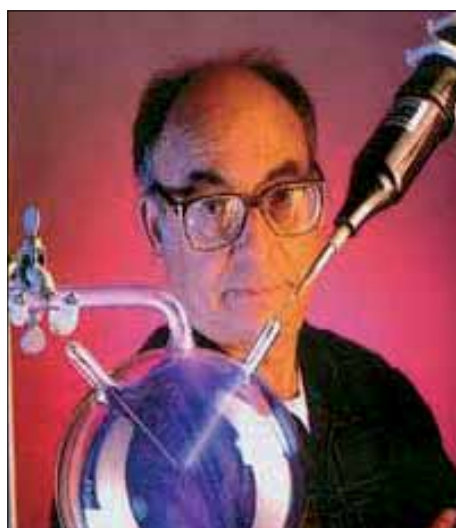
Esta reacción entre los elementos que forman la molécula del agua y los cuerpos orgánicos constituye la base fundamental de todo proceso vital. Gracias a ella se producen las transformaciones moleculares dentro de las células, con la enorme capacidad catalítica de las proteínas enzimáticas que no existían en aquel entonces. De ahí la importancia que ha podido tener la temperatura para aportar la energía de activación necesaria para dichas reacciones, pues fuera de los seres vivos también encontramos estas reacciones entre el agua y las sustancias orgánicas, aunque su desarrollo sea mucho más lento.



- Al ser las enzimas de naturaleza proteica, ¿por qué a medida que empezaron a intervenir en la catálisis de transformaciones de moléculas orgánicas fue menos interesante la presencia de temperaturas elevadas para la evolución de la materia viva?

La frustración empírica en el esclarecimiento del origen de la vida

La reconstrucción empírica de los acontecimientos perdidos en el origen de la vida ha motivado desde siempre a la comunidad científica, pero a día de hoy no ha obtenido resultados muy satisfactorios, si bien es cierto que en los inicios de la segunda mitad del siglo pasado, una experiencia diseñada por Stanley Miller (1952) se presentó como un punto de luz que prometía iluminar el camino experimental en este esclarecimiento.



Stanley L. Miller (1930 - 2007), estadounidense principalmente conocido por sus estudios sobre el origen de la vida. Se licenció en ciencias en 1951 en la Universidad de California, donde fue estudiante de Harold Urey. En el experimento de Miller y Urey, llevado a cabo en 1953 como estudiante diplomado, realizó una simulación de las condiciones de la Tierra primitiva en busca de las reacciones químicas que pudieron construir sus primeros bloques esenciales (aminoácidos y proteínas) simples. En 1954 obtuvo el doctorado en Química en la Universidad de Chicago. Fue ayudante de profesor (1958-1960), profesor asociado (1960-1968) y profesor de química en la Universidad de California, San Diego en 1958, permaneciendo en ese puesto durante muchos años.





En su entusiasmo, este investigador nos dejó detalles reveladores de lo que para él supuso este descubrimiento: “Puse el experimento en marcha una noche a las diez. Cuando volví a la mañana siguiente, el agua del interior del matraz se había vuelto amarilla. Supe que había conseguido algo”. Ese “algo” que creyó conseguir hoy tiene mucha menos relevancia científica que en aquellos tiempos, quedando relegado este experimento más a la historia de la ciencia que al conocimiento científico fundamentado.

A esta historia nos remitimos, como se ha dicho, no por valor actual en el conocimiento, que cada vez tiene menos, pero sí por lo que transmite de entusiasmo frustrado en un esclarecimiento empírico que vemos muy distante. Miller supuso que estas condiciones de atmósfera e hidrosfera primitivas no debían estar imposibilitadas para reproducirlas en el laboratorio. Para conseguir esta reproducción ideó el experimento que se ilustra a continuación:

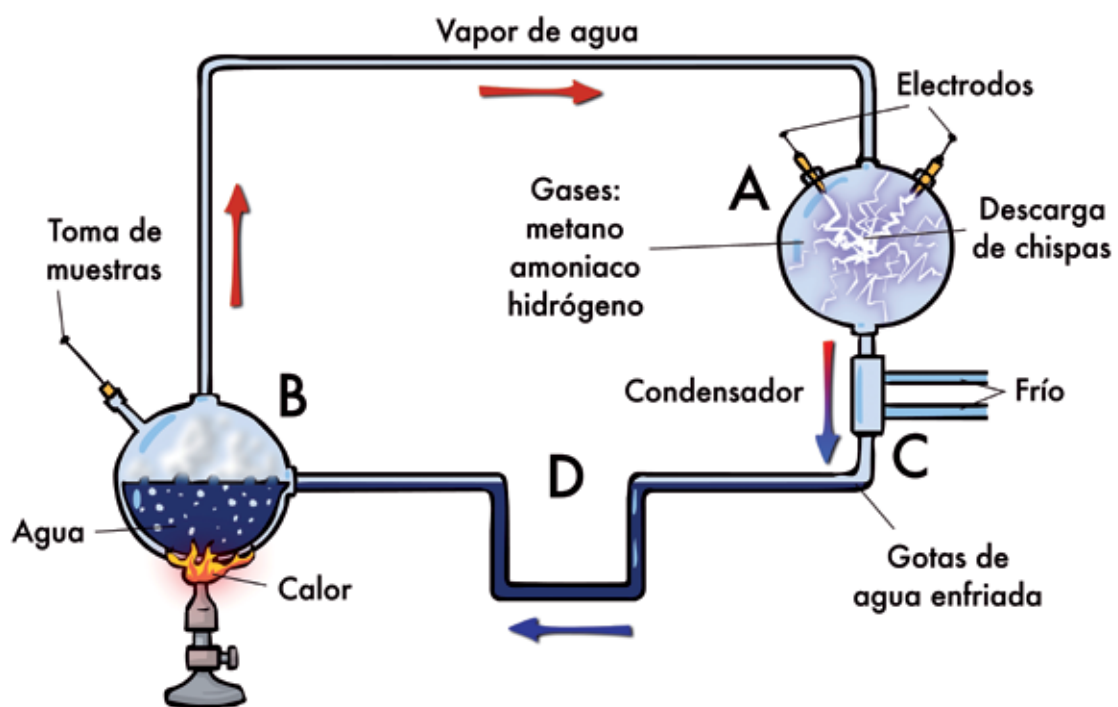


Figura 4. Esquema del funcionamiento del aparato de Miller

- En el balón de cristal A se colocó una mezcla de metano, amoníaco e hidrógeno. Esta mezcla la ideó como análoga a lo que se presupone que era la atmósfera de todos los planetas del Sistema Solar, que era una atmósfera con exceso de hidrógeno, metano, amoníaco, que junto con el vapor de agua, el helio y neón deberían haber formado esa atmósfera primitiva. Hoy en día se piensa que la hipotética atmósfera de Miller no ha sido tal. En todo caso, lo que sí admite la ciencia contemporánea es que el oxígeno no tenía presencia significativa. Este balón contiene electrodos para generar chispas que simulan las descargas energéticas sobre la atmósfera primitiva.
- El segundo balón (B) servía para producir el vapor de agua que una vez calentado se incorpora a elevada temperatura a la mezcla de gases del otro balón (A)
- Estos dos balones se comunican en un circuito cerrado mediante un refrigerante (C) que se continúa con un tubo (D) que cierra el circuito.

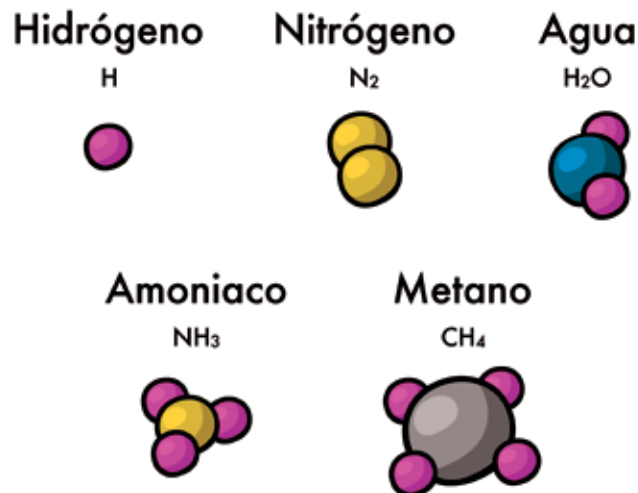


Figura 5. Ilustración de modelos moleculares de nitrógeno, agua, amoníaco y metano.

- A la vista de estas moléculas plantea tres reacciones diferentes de tal forma que se forme amoníaco y una cadena hidrocarbonada
- ¿Cuales serían más abundantes en la atmósfera primitiva según la hipótesis de Miller?
- Si el agua contiene oxígeno, ¿por qué en la atmósfera primitiva no aparecía este elemento libre?



Una vez que tuvo enriquecido el contenido gaseoso en el balón A por el vapor de agua que llega por calentamiento del balón B, hizo saltar una chispa con los electrodos, de forma análoga a las descargas energéticas de la atmósfera primitiva. Los productos resultantes son arrastrados por el vapor de agua, que, al pasar por el refrigerador (C) se condensa de forma análoga a las primeras lluvias de la Tierra, portando así productos gaseosos resultantes de las reacciones desencadenadas en ese medio gaseoso caliente y sometido a descargas energéticas. Debido a la acción del refrigerador, dichos gases se condensan y el líquido resultante se acumula en la U (D), de forma análoga a como lo hicieron los productos de la atmósfera primitiva en los mares primitivos. Analizando su contenido comprobó que contenía diversos compuestos orgánicos, tales como aminoácidos, urea, ácido láctico, etc.

- ¿Ha conseguido Miller demostrar la formación de las moléculas que son los principales constituyentes de los seres vivos? Justifícalo.
- Comenta las fortalezas y las debilidades que le ves a este experimento.

Estas sustancias obtenidas por Miller distan mucho de las macromoléculas. Por lo que cabe pensar que si este proceso ha sido el inicial, en el mar cada vez más tibio se han tenido que ir sintetizando sustancias cada vez más complejas parecidas a las que hoy encontramos en los seres vivos. Además hoy sabemos que estas moléculas no son exclusivas de la Tierra.

Hoy en día cada vez más científicos creen que la atmósfera primitiva era diferente de la que supuso Miller. Piensan que pudo estar compuesta de dióxido de carbono y nitrógeno en lugar





de hidrógeno, metano y amoníaco. Cuando es esta atmósfera la que se pone en el balón del experimento de Miller, y se somete a descargas a esta mezcla de dióxido de carbono y de nitrógeno, se obtiene una cantidad insignificante de moléculas orgánicas. Por eso a los científicos les resulta difícil imaginar que la vida surgiera de un caldo tan diluido.

Nitrógeno



Dióxido de Carbono



- Selecciona dos razones por las que la hipótesis de Miller ha perdido fuerza en la ciencia contemporánea y justifica la elección:
 - La atmósfera primitiva no pudo tener ningún compuesto de oxígeno.
 - La atmósfera primitiva no era tan reductora porque el dióxido de carbono se piensa que era el gas mayoritario
 - Porque no se consiguió ADN en el caldo nutritivo
- Justifica la expresión: “La experiencia de Miller no se merece un sitio en los libros actuales de ciencia sin embargo tiene su espacio asegurado en cualquier libro de Historia de la ciencia”.

Si tal y como se piensa en la actualidad, la atmósfera primitiva estaba mucho de la que supuso Miller, ¿de donde procedían las primeras moléculas orgánicas que han evolucionado hasta la primera forma de vida? La respuesta de la ciencia contemporánea al problema del enriquecimiento del caldo nutritivo, va cada vez más en línea de proponer que esta solución podría proceder del espacio. Por tanto su recorrido pudo ser muy semejante al del agua e incluso en muchos casos, este recorrido lo pudieron hacer en mutua compañía mediante disoluciones de estas sustancias en el agua que llegaba a la Tierra. Por eso actualmente predomina la hipótesis de que los asteroides, los cometas, los meteoritos e incluso las partículas de polvo interplanetario contienen moléculas orgánicas, incluidos aminoácidos o los ingredientes para producirlos.

Dentro del conjunto de las moléculas que originaron la vida, seguro que tuvieron un papel determinante los ácidos nucleicos. Aparecerían así como las primeras moléculas capaces de autorreplicarse y de dirigir las reacciones bioquímicas, siguiendo la lógica del metabolismo celular. En el campo de la biología molecular toma cada vez más fuerza la idea de que los primeros ácidos nucleicos con información genómica debieron ser de tipo ARN.

Uno de los descubrimientos claves de la Biología molecular, que nos hace pensar que la vida tiene al ARN como molécula clave, lo ha protagonizado el científico español Severo Ochoa en 1954, por el recibió el premio Nobel. Este investigador descubrió una enzima, la

polinucleótido fosforilasa (PNPasa) que era capaz de sintetizar ARN sin necesidad de un molde de ADN. La biología molecular contemporánea conoce también procesos biológicos en los que este ácido nucleico, más simple que el ADN, se copia en ADN por lo que se denomina al catalizador transcriptasa inversa (Figura 8) y está presente en el virus del SIDA.

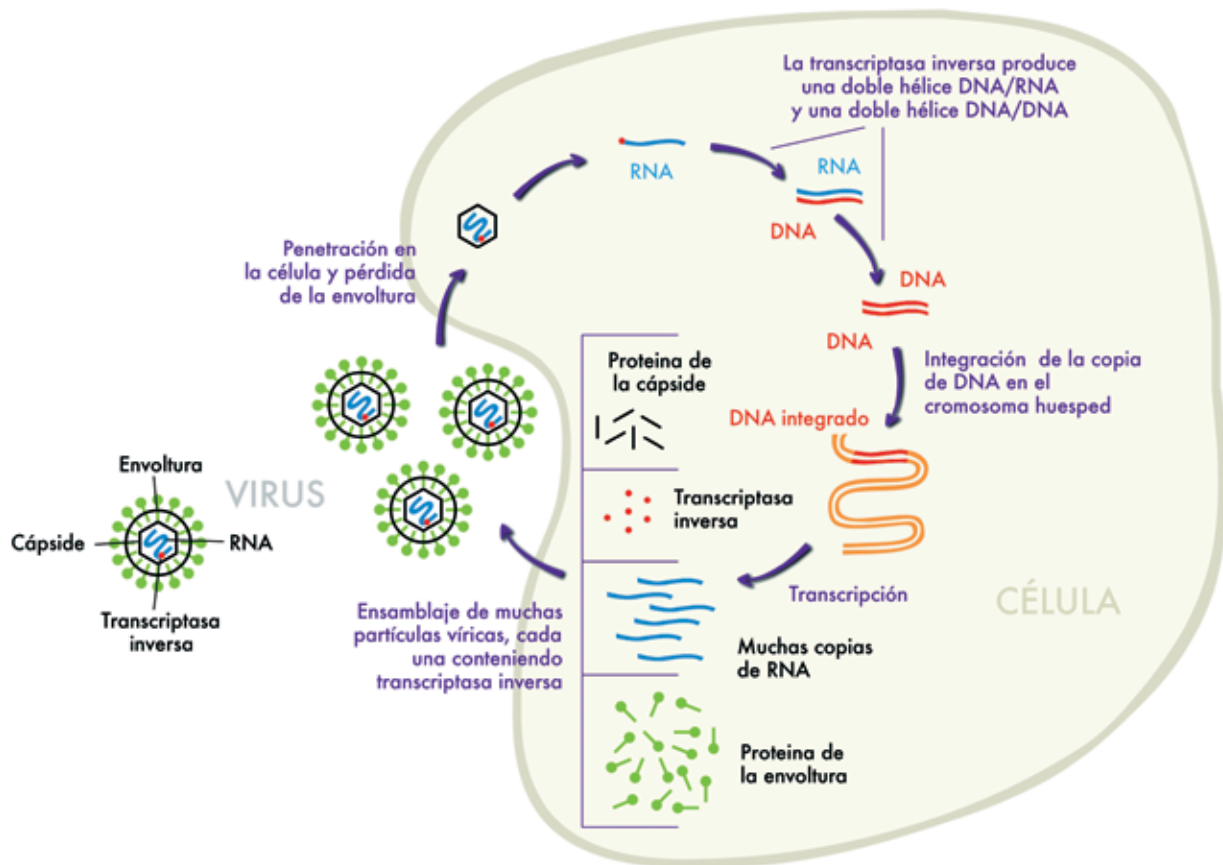


Figura 6. Acción de la transcriptasa inversa

Por tanto la conjunción del ARN de las propiedades de molécula simple que puede llegar a tener capacidad catalítica, autoreplicativa sin molde y transcripción a la inversa para obtener ADN, colocan a esta molécula, a nivel hipotético, como clave en el origen de la vida, entendiendo que por procesos de selección natural debieron evolucionar en sus contextos de selección natural hacia la síntesis de ADN.

En la línea de esta hipótesis, a nivel empírico, uno de los mayores avances contemporáneos en el esclarecimiento del origen de la vida fue el conseguir la evolución y expresión del ARN contenido en gotas con más de un billón de moléculas de ARN a una temperatura del orden de la del cuerpo humano (37° C). Esta hipótesis tampoco resulta convincente y por tanto sigue arrastrando una importante dosis de frustración a la hora de explicar el origen de la vida. La principal razón por la que se considera que estas moléculas no están realmente vivas es porque no controlan del todo su propia replicación. Aunque, sin apartarse de esta línea de frustración empírica para esclarecer el origen de la vida, se espera encontrar una molécula de ARN que pueda copiarse así misma sin necesidad de la intervención del ADN.

Por tanto, cada vez adquiere más fuerza la hipótesis de que antes de la aparición del ADN e incluso de la síntesis de proteínas, puede que la vida consistiera solamente en moléculas de





ARN que flotaban en el mar se multiplicaban, dividían, mutaban y seguían por tanto su propia selección natural. Pero como muchos otros supuestos aspectos que se consideran en relación al origen de la vida, la secuencia temporal de estos acontecimientos relativos a la aparición clave de los ácidos nucleicos para el origen de la vida permanece envuelta en un auténtico misterio.

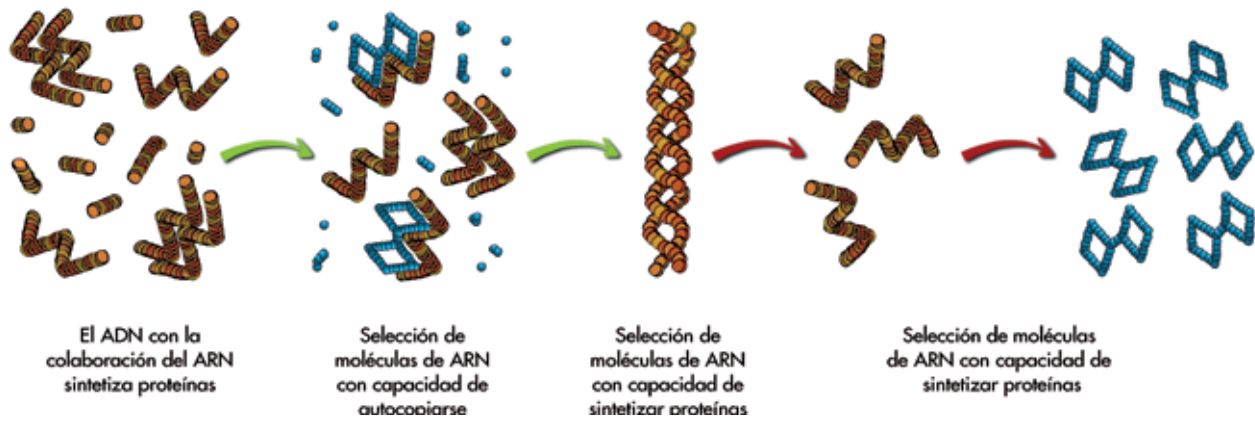


Figura 7. Esquema resumen de las hipótesis sobre la evolución de los mecanismos de control de la información genética

- Lee el extracto de la noticia de la periodista Alicia Rivera publicada en el diario El País de fecha 3/12/20 y responde a las cuestiones que se plantean a continuación (figura imagen o imágenes 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.



- Haz un esquema que ilustre la ubicación del arsénico en las estructuras vitales para las que hasta ahora sabíamos que era imprescindible el fósforo.
- Busca relaciones entre el arsénico y el fósforo que justifiquen estas sustituciones a partir del análisis de la tabla periódica. A la vista de la posición de los dos elementos, ¿por qué preferirán estas bacterias, al igual que el resto de los seres vivos, el fósforo frente al arsénico?

- Investiga sobre las concentraciones en la corteza del arsénico y el fósforo. ¿Cuál es más importante?, ¿Qué conclusiones sacas sobre la selección natural presente siempre en la vida?
 - La NASA se adelantó a pronosticar que este descubrimiento amplía las posibilidades de búsqueda de vida extraterrestre, ¿en que se basarán?
 - ¿Cómo afectará este experimento a la relación de elementos esenciales para la vida?
- Observa la figura y compárala con la lógica del comportamiento actual del ADN y el ARN en nuestras células:
- ¿qué diferencias encuentras?
 - ¿conoces algún virus que se aproxime más que las células al comportamiento que se ilustra?

¿Cómo pudo haber sido la evolución de las moléculas hacia la formación de membranas protectoras?

Para la configuración de la vida tal y como la entendemos hoy en día, sabemos que uno de los acontecimientos cruciales de su proceso evolutivo hacia la primera célula, ha tenido que ser el desarrollo de una membrana protectora que incorporó a su interior los ácidos nucleicos y sus sustratos orgánicos elementales, dándole refugio y oportunidades claves en su proceso evolutivo hacia la formación de las primeras células.

El razonamiento de la importancia de estos compartimentos es muy sencillo si se piensa que la selección natural de las moléculas de ARN en función de la calidad de las proteínas que generaban no podía producirse sin la garantía de que esas proteínas quedaran sólo a disposición del ARN que las originó, para aprovechar de esta forma la ventaja selectiva que la daba su acción.

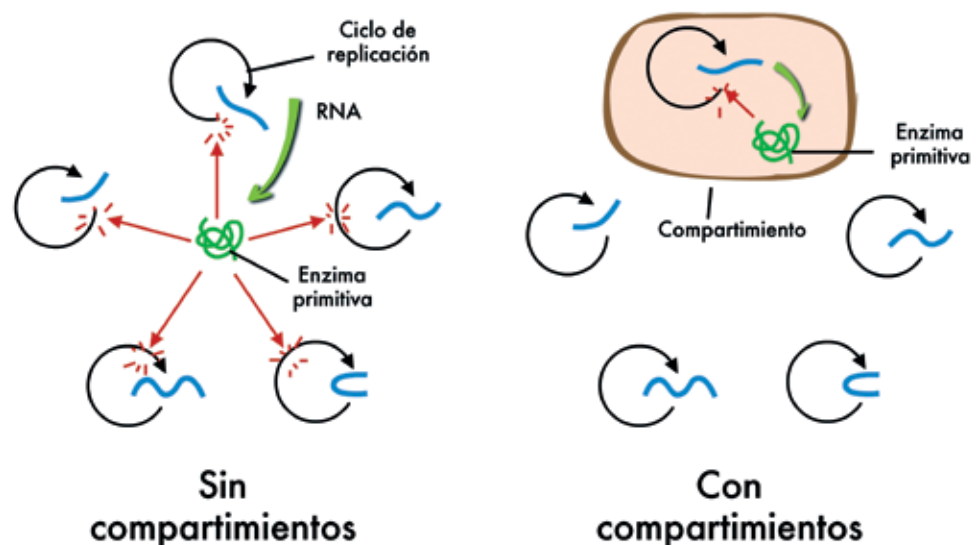


Figura 8. Esquematación de las ventajas que aportaron las membranas plasmáticas a los procesos de evolución molecular





Por tanto ha debido establecerse una tendencia a la síntesis capaz de generar estructuras membranosas que convergieran con esta evolución de los ácidos nucleicos originando las primeras formas unicelulares. Sabemos que este tipo de sustancias complejas tienden a combinarse entre ellas para originar auténticos enjambres que convergen en coloides inestables, formando una especie de gotas a las que en 1924 el científico ruso Aleksandr Oparin, denominó coacervados (del latín *acervus*, montón).

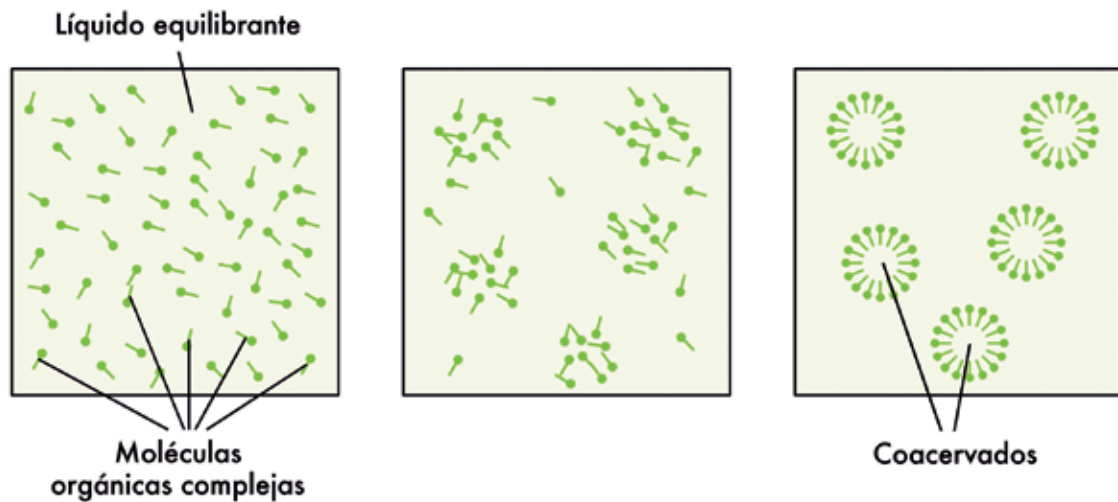


Figura 9. Esquematización de la hipótesis sobre la formación de coacervados

Propugnó que esas gotas quedarían en suspensión en el “caldo primitivo”, nombre que usó para referirse a esos primeros mares que contienen disoluciones acuosas ricas en macromoléculas. Alrededor de un coacervado prácticamente quedaría agua pura, porque las sustancias se concentraron en su interior posiblemente absorbidas por el coacervado. Una masa tan concentrada en sustancias orgánicas propicia las reacciones químicas, pudiendo provocar un aumento de volumen y su crecimiento a costa del líquido circundante.

Hoy sabemos que conseguir a nivel empírico estructuras membranosas es muy sencillo, llega con mezclar en un tubo de ensayo fosfolípidos y agua en condiciones apropiadas para que se formen vesículas de bicapa lipídica. De hecho, estas estructuras (Figura 12) vistas al microscopio electrónico tienen una importante similitud con las membranas plasmáticas, puesto que estas están tienen en su estructura básica una bicapa de moléculas anfipáticas entre las que destacan los fosfolípidos.

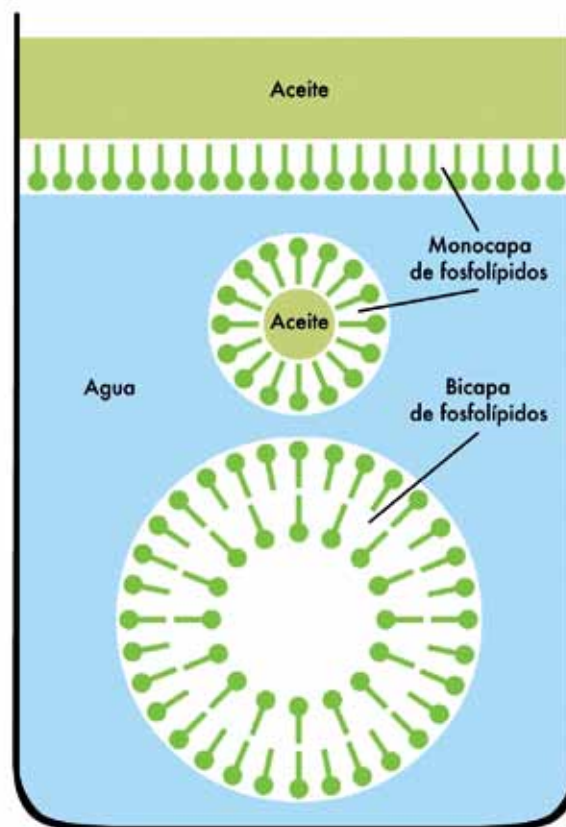


Figura 10. Organización de fosfolípidos en superficies de mono o bicapa cuando se mezclan con agua.

Pero lo más probable es que las primeras células rodeadas de membrana se formaron por ensamblaje espontáneo de fosfolípidos del caldo prebiótico. Por eso Oparín puso la condición empírica para formar a nivel de laboratorio coacervados, la mezcla de soluciones de varias sustancias orgánicas de elevada masa molecular. De esta forma no sólo consiguió la formación de membranas en los coacervados semejantes a las plasmáticas, sino que además consiguió que su contenido fuera semejante al del citosol celular, lo que permitió establecer una cierta analogía entre los coacervados y los hipotéticos contenedores del camino evolutivo hacia la primera célula.

Pero para que se constituya un cuerpo químico complejo, propio de un ser vivo, es necesario que muchas reacciones se produzcan en un orden regular rigurosamente previsto, tal y como se pone de manifiesto en el metabolismo universal de las células.

- Indica en que se asemeja un coacervado a un ser vivo y las razones que lo descartan como tal.

De los supuestos coacervados a los seres vivos: los primeros organismos

Una vez situado el concepto de coacervado sobre la base empírica expresada por Oparín, tenemos que preguntarnos si es posible que estas estructuras hayan podido ser precursoras





de los organismos que con su actividad biológica en los cienos oceánicos primitivos, han originado los estromatolitos de los que hemos hablado al principio de este apartado.

Por ello, recurrimos en primer lugar a hipótesis que Oparín planteó para explicar el paso de las macromoléculas al primer ser vivo. Este científico postuló que para que este paso fuera posible, deberían darse dos condiciones:

- Aislamiento de porciones de caldo primitivo mediante membranas, formándose así los coacervados.
- Coordinación y sincronización de las reacciones químicas entre los sistemas de macromoléculas que quedaron en el interior de los coacervados

Oparín consideraba entonces que estos coacervados fueron sistemas prebiológicos todavía distantes de los primeros seres vivos responsables de la formación de los estromatolitos. De entre toda la variedad posible, tal y como nos muestran las experiencias de laboratorio, unos son más estables, y por tanto capaces de aumentar de tamaño capturando sustancias del medio hacia su interior, aumento que los va a llevar a la fragmentación en coacervados más pequeños.

● ¿Este aumento de tamaño y fragmentación de los coacervados se puede asimilar con el crecimiento por ingesta de nutrientes y reproducción celular?



Tal y como hemos puesto de manifiesto en la introducción de este apartado, el origen de los primeros seres vivos en los océanos primitivos permanece en la oscuridad para la ciencia por falta de evidencias fósiles, aunque sabemos que debieron ser organismos muy primitivos, tal y cómo se intuye de los “estromatolitos” vivientes de Australia. Si bien las hipótesis de Oparín para explicar los procesos de evolución abiótica hasta llegar al coacervado cuenta con bases experimentales, el paso de coacervado a ser vivo se mueve dentro de la pura especulación, porque obviamente el proceso de crecimiento y posterior división de los coacervados más estables es un mero proceso físico-químico que nada tiene que ver con el crecimiento y división de las células.

Por eso a semejanza de la Geología, también la Biología necesita de su actualismo biológico. De esta forma analizando los procesos bioquímicos de las células actuales, podemos inferir ciertas conclusiones sobre las características de las primeras células. Este tipo de análisis permiten hacer hipótesis sobre condiciones que se han tenido que dar para que formaciones membranosas como los coacervados de Oparín hayan llegado a convertirse en organismos unicelulares. Lo que conocemos del control del metabolismo y replicación celular implica la aparición de un gen dentro de un coacervado capaz de dirigir la síntesis de proteínas enzimáticas que a su vez controlarán el orden predeterminado y riguroso de las reacciones necesarias para la vida. Ese material genético, como hemos visto, tuvo que evolucionar desde el primigenio ARN al actual genoma celular de ADN).

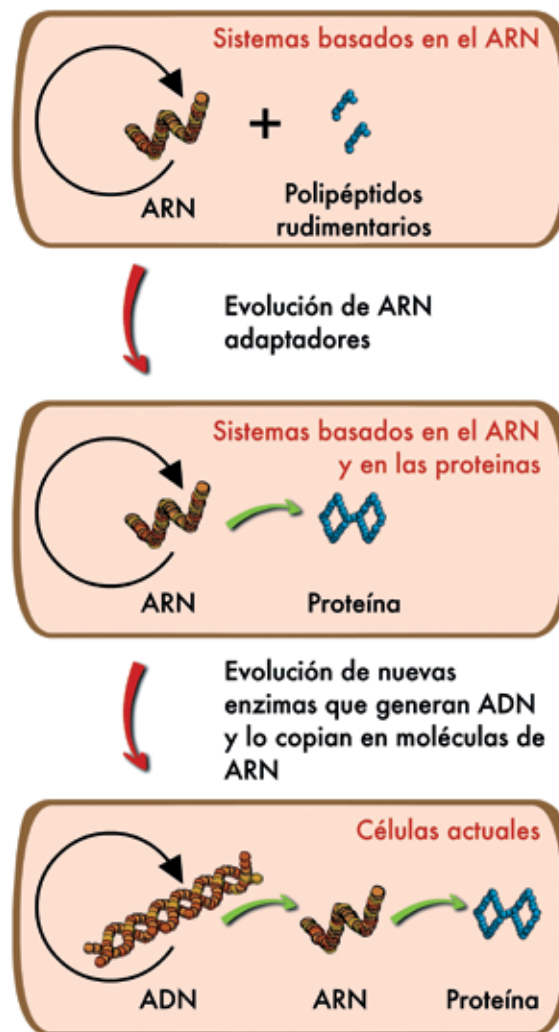


Figura 11. Recapitulación de las hipótesis de los procesos evolutivos que llevaron al funcionamiento de los ácidos nucleicos mediante la transcripción y la traducción

Siguiendo ese mismo razonamiento de interpretación evolutiva en base al conocimiento bioquímico, el primer grupo de reacciones con un orden determinado para obtener energía debió de ser la glucólisis acoplada a la fermentación anaeróbica, dadas las condiciones de la atmósfera primitiva y la presencia de este tipo de secuencia de reacciones catabólicas en las formas celulares más simples.

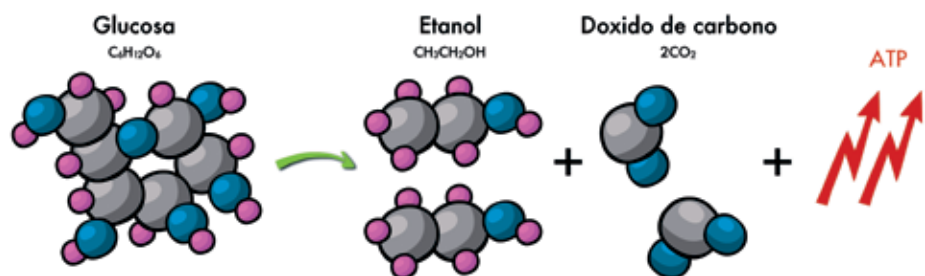


Figura 12. Esquema de la transformación catabólica de glucosa en etanol.





- Busca alguna relación del metabolismo de estos primeros organismos con el hecho de que el vino deba fermentar en condiciones anaeróbicas
- Una célula anaeróbica de un estromatolito de Australia que se divide en 20 segundos:
 - Cuántas células descendientes tendrá al cabo de una hora
 - Si le enriquecemos el medio con oxígeno, ¿el resultado es el mismo? Justifica la respuesta

A estas supuestas formas iniciales de vida marina, Oparín les denominó Eubiontes, que muchos biólogos desde entonces han asimilado a los actuales virus, aunque con la diferencia lógica de que su existencia no podía ser parásita, sino a expensas de los productos orgánicos existentes en el océano

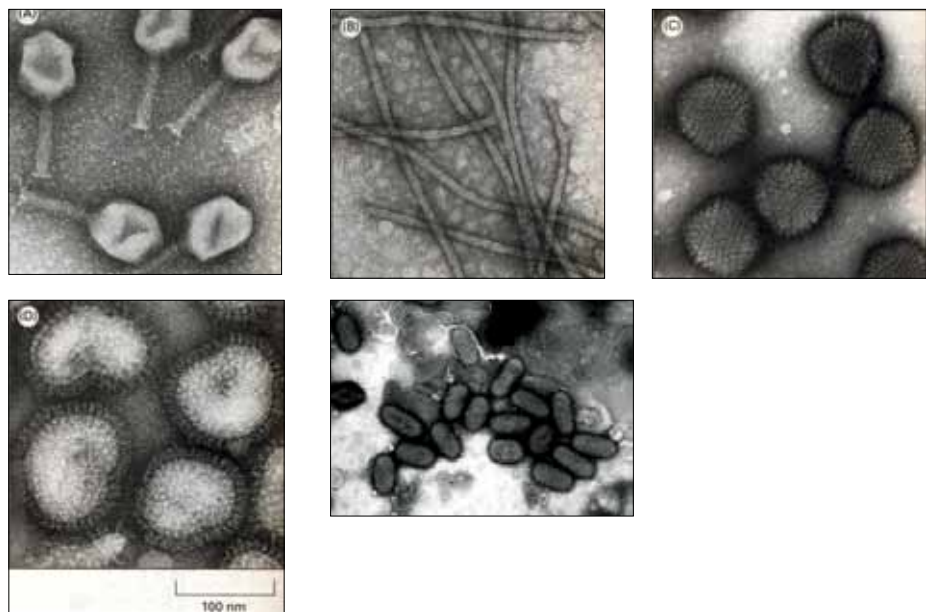


Figura 13. Microfotografías de células infectadas por virus

- Explica por qué razón los Eubiontes no pueden asimilarse en su totalidad a los actuales virus.

Por tanto, se supone que los primeros seres vivos fueron heterótrofos anaerobios, nutriéndose al comienzo de las sustancias orgánicas abundantes en el "caldo primitivo" del océano. Pero al pasar el tiempo, esas sustancias, debido a la proliferación de eubiontes en número y tamaño, se consumieron a un ritmo mucho más rápido que su síntesis.

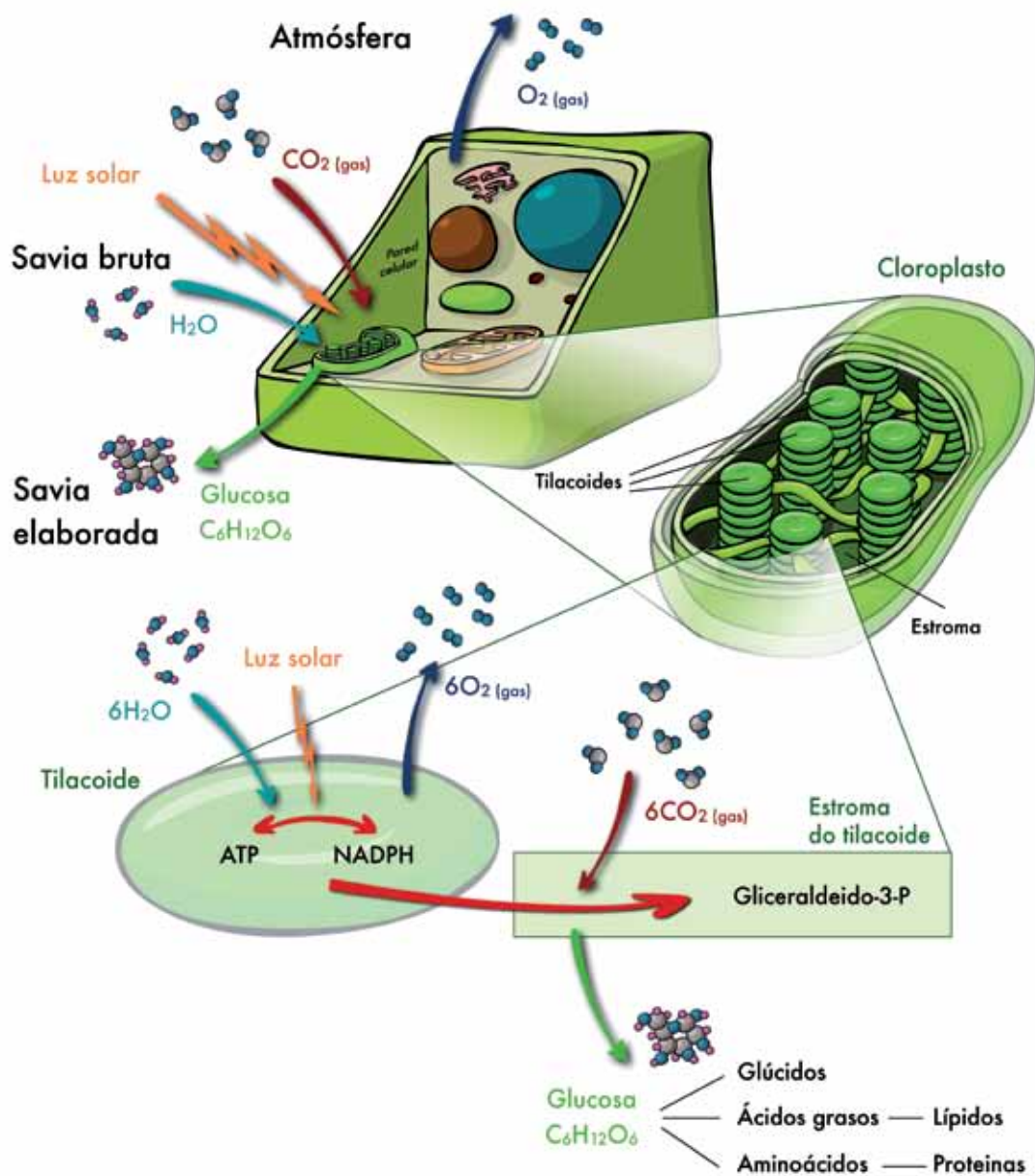


Figura 15. Esquema de la formación de moléculas orgánicas a partir de las inorgánicas mediante el proceso de la fotosíntesis

● ¿Cómo se conoce el proceso al que se refiere el texto y la imagen?, ¿en que organismos se produce?, ¿qué nombre reciben todos los organismos capaces de realizar este proceso?

Se piensa que la aparición de estos organismos fotosintetizadores pudo haber evitado la pérdida de la actividad vital en el mar primitivo con escasez de materia orgánica. Además, a sus expensas empezaron a vivir otros seres heterótrofos. Con la fotosíntesis, la atmósfera se enriqueció de oxígeno, pasando poco a poco de neutra a oxidada. Surgió de ello la vida aerobia, intensificándose las oxidaciones y seleccionando aquellos organismos unicelulares más competitivos. De ahí que poco a poco se fueran imponiendo los organismos que tenían desarrollados los procesos respiratorios que le permitían obtener un mayor rendimiento energético que los procesos fermentativos.

Célula eucariota

Resultado: 38 ATP

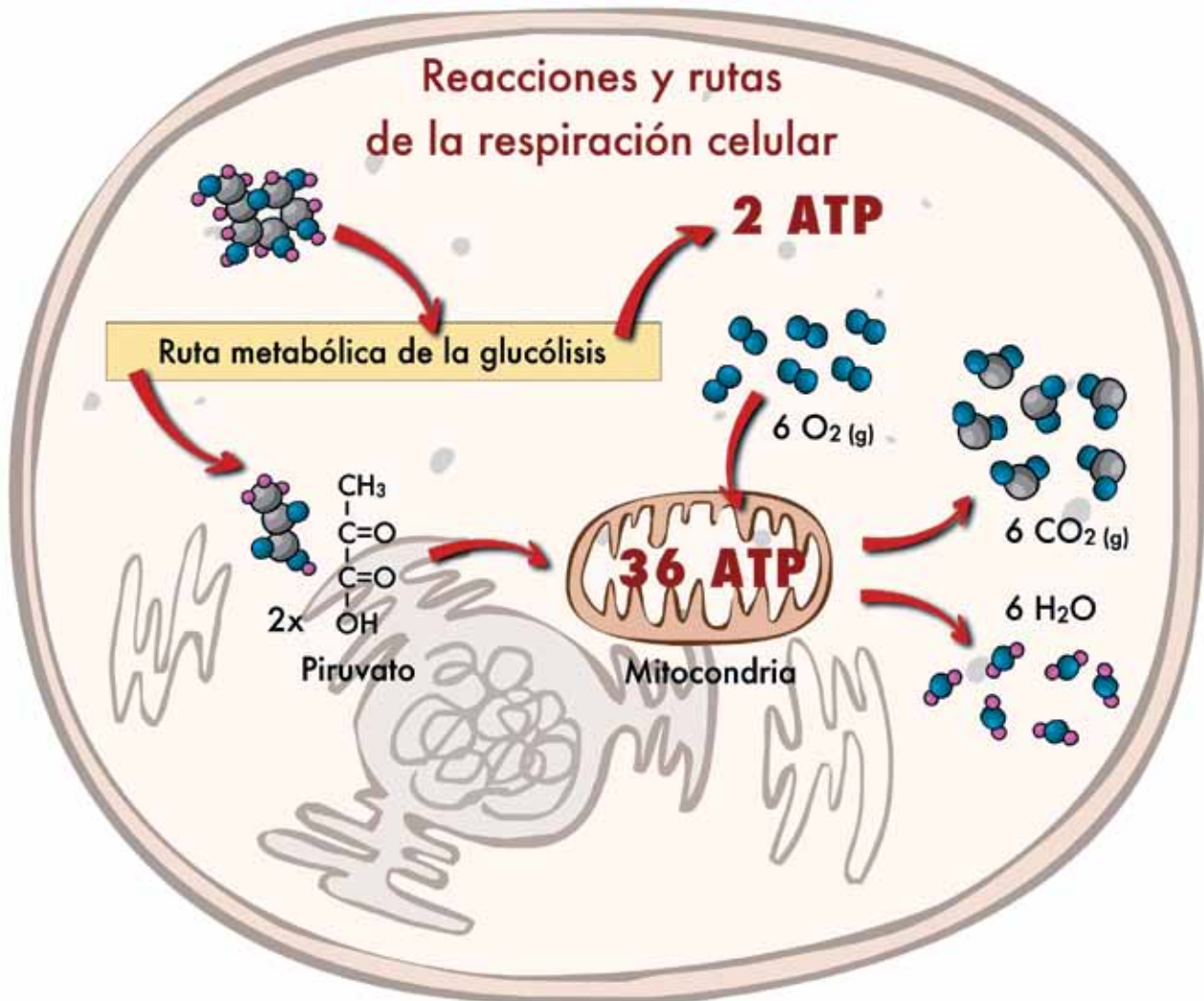


Figura 16. Esquema celular del proceso de la respiración celular aerobia en una célula eucariota

La oxidación de la atmósfera, con el paso del tiempo, acabó conduciendo a la formación de la capa de ozono en la misma, que supuso una barrera protectora de la radiación ultravioleta para los seres vivos. Una vida autótrofa, aerobia y protegida por la atmósfera de la excesiva radiación solar, permitió su expansión. Desde luego este no ha sido un proceso rápido precisamente, pues hay evidencias que inducen a pensar que las primeras células procariontas fotosintetizadoras se originaron hacen unos 3.000 millones de años, y que por tanto el periodo de evolución anterior pudo aproximarse a los 1.000 millones de años (cerca de un $\frac{1}{4}$ de la edad de la Tierra). Pero este dato no es que el nos sitúa en la magnitud de tiempo necesario para pasar de una atmósfera neutra a una oxidante, puesto que se considera que el periodo de enriquecimiento de la atmósfera en oxígeno duró desde los 3.000 millones de años a los 800 de nuestra era.





- Piensa en la lentitud de formación e importancia biológica de la capa de ozono y explica en que medida nosotros como especie podemos poner en peligro ese logro.
- ¿Por qué el oxígeno tardó casi mil millones de años en acumularse en la atmósfera?
- Ante la magnitud que supuso que los seres vivos hayan cambiado la atmósfera terrestre a oxidante, ¿es correcta la afirmación de que la especie humana se está mostrando como la única capaz de provocar cambios significativos para la vida en la Tierra de carácter global?

Una relativa ganancia de independencia del agua

La expansión de la vida oceánica que se produce con la atmósfera oxidante, ha sido de tal magnitud que ha propiciado que algunos seres vivos empezaran a vivir en la Tierra, pero esto no ha sido proceso inmediato, sino un largo proceso evolutivo en el que nuestra especie aparece en el último capítulo.

Una larga y tranquila etapa totalmente dependiente del agua.

Como se ha comentado en el apartado anterior, en el Precámbrico se van imponiendo los organismos procariotas fotosintetizadores semejantes a las cianobacterias y aun con más fuerza, otros capaces de utilizar oxígeno para oxidar la totalidad de los enlaces de las cadenas carbonadas de los nutrientes energéticos. También hemos visto como estas bacterias aprovechan mucha más energía que las que utilizan un metabolismo anaerobio tipo fermentador, por eso un mol de glucosa rinde 38 ATP en el primer caso y 2 ATP en el segundo caso. Por eso las bacterias aeróbicas producen 36 unidades de energía más que las bacterias anaeróbicas.

En los océanos precámbricos es probable que la fagocitosis estuviera presente como uno de los mecanismos de nutrición heterótrofa. Por eso se cree que estas células procariotas con capacidad de realizar la fotosíntesis y la respiración celular, han podido sobrevivir en algunos casos en el interior de las mayores que las habrían fagocitado. En esas situaciones la célula mayor ha conseguido obtener el máximo aprovechamiento energético de los nutrientes y en el caso de que la endocitada sea fotosintética, realizar la síntesis de materia orgánica a partir de inorgánica.

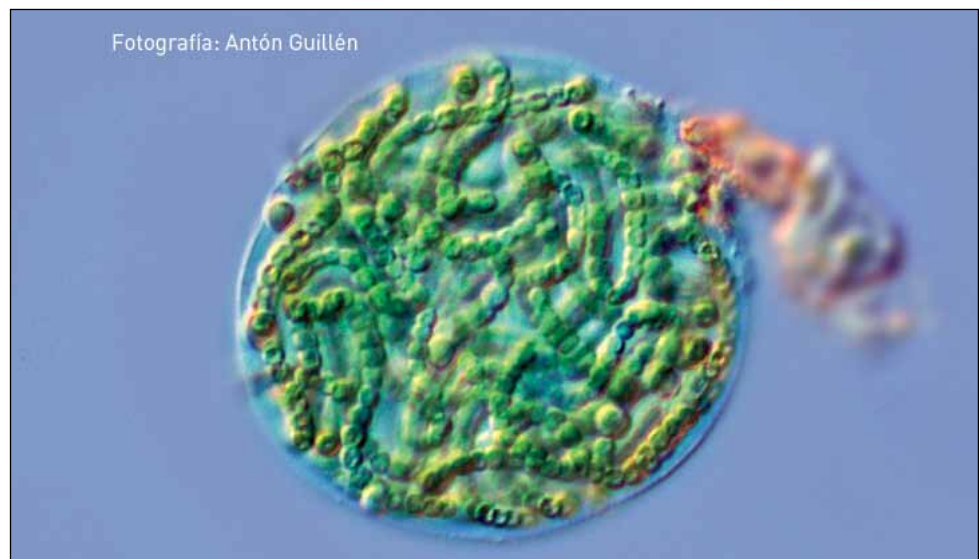


Figura 17. MicroFigura de una cianobacteria

De esta forma se han ido seleccionando organismos unicelulares de tamaño grande, con compartimentos funcionales delimitados por membranas y especializados en determinadas funciones. Esta teoría conocida como de Endosimbiosis nos permite justificar el que una mitocondria y un cloroplasto tengan ADN propio y ribosomas bacterianos.

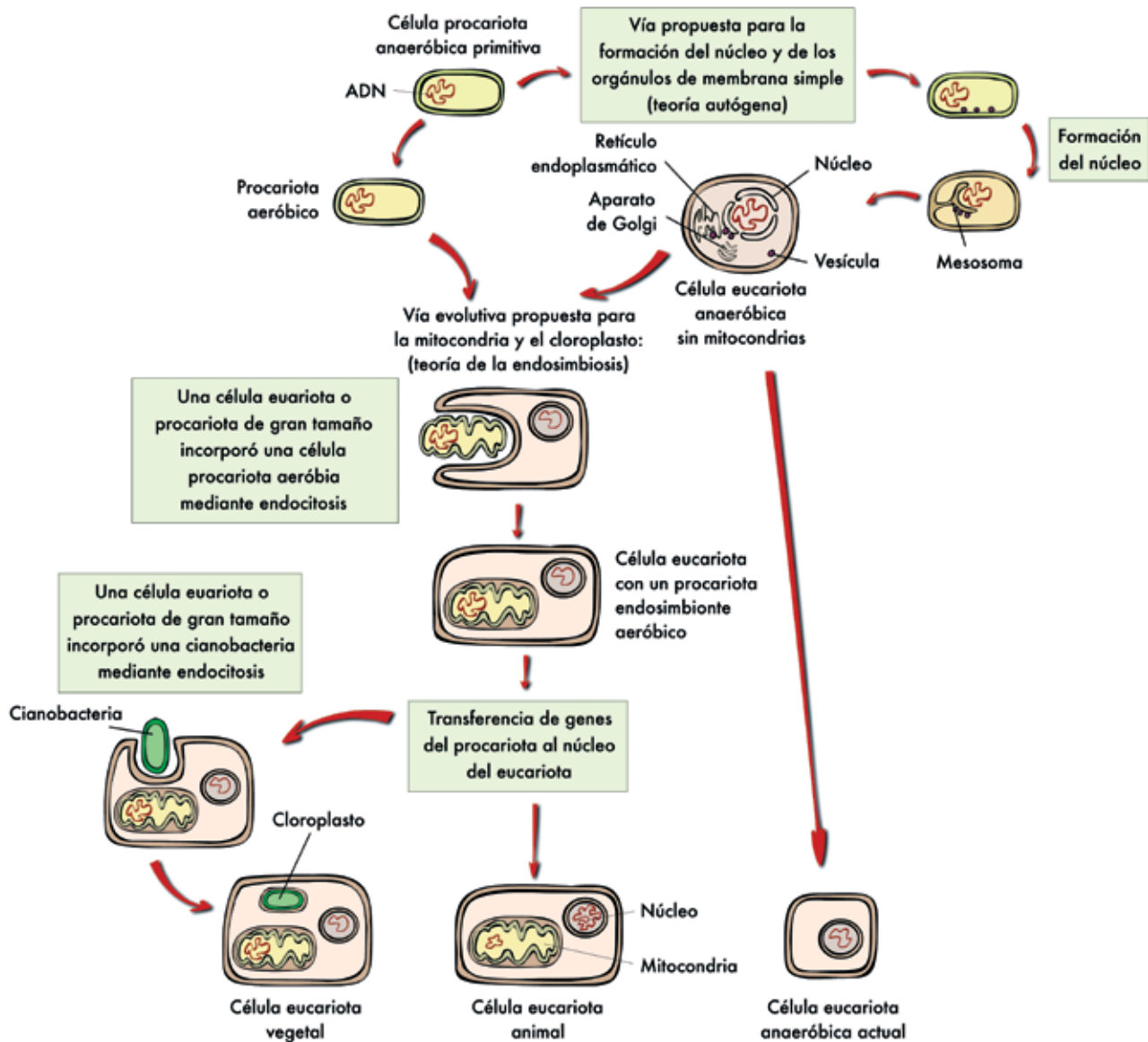


Figura 18. Esquema de la formación de las células actuales a partir de las formas primitivas, aplicando las teorías Autógena y de la Endosimbiosis

Las células grandes y complejas así obtenidas, se conocen como eucariotas. Su potencial evolutivo es por tanto mucho mayor que el de las procariotas. Estas células posibilitan mediante su diferenciación celular y conjunción en tejidos, órganos, aparatos y sistemas, y por tanto la aparición de los organismos pluricelulares.

La aparición de la vida pluricelular en el camino del final del **Precámbrico**, ha conducido a que hace unos 1.500 millones de años surgieran las algas como primeros organismos pluricelulares. Primero los mares se fueron poblando de grandes algas, entre cuya maleza con el paso del tiempo fueron apareciendo numerosas medusas, moluscos, equinodermos y gusanos de mar. Por eso el precámbrico tardío nos dejó los mares poblados de organismos





pluricelulares económicos, dado que estos organismos pluricelulares heterótrofos debían vivir fijados al fondo que se alimentaban del plancton. Esta configuración pluricelular y fijada al sustrato de la vida otorgó al Precámbrico un carácter singular en la historia de la Tierra. En esta etapa proliferaron especies grandes, inmóviles y sin defensas. Este tipo de fondo marino Precámbrico tranquilo fue posible debido a la ausencia de animales predadores.

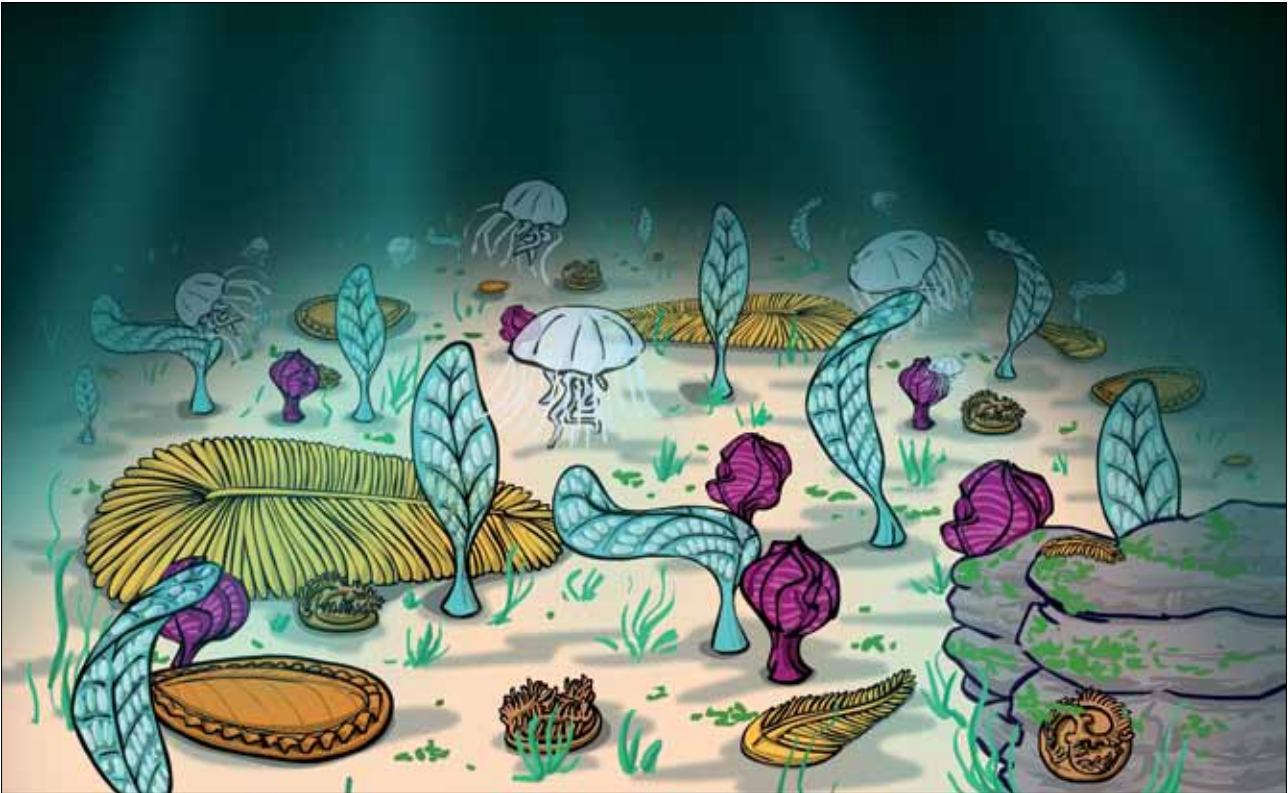


Figura 19. Mar Precámbrico.

- Indica 3 semejanzas entre una mitocondria y un cloroplasto, ¿cómo se relacionan estos dos orgánulos a la luz de la teoría de la endosimbiosis?

El paso a la intranquilidad totalmente dependiente del agua

En el cambio aparecen los predadores y con ellos se aceleran los procesos evolutivos y desaparece la tranquilidad de la vida precámbrica. Esta intranquilidad del nuevo contexto, conduce a la explosión de especies en el Cámbrico, apareciendo los grandes predadores, por lo que fueron seleccionándose las especies con caparazones, esqueletos, dientes, garras, patas y colas.

Se desconoce con exactitud cual fue la causa de esta rápida evolución de la vida animal llegando a grandes predadores. Pero lo que hoy sabemos sobre evolución nos hace pensar que ha habido un cambio ambiental muy significativo. Aunque en esa época ha habido importantes cambios por separación en continentes, la lógica nos hace pensar que el principal cambio que justifique esta evolución, debió radicar en un cambio significativo en la composición química del agua del mar, dada la total dependencia que tiene la vida en relación al agua.

Por eso hace más de 500 millones de años, la vida se hallaba concentrada sólo en los mares y océanos, siendo las algas los únicos organismos pluricelulares macroscópicos autótrofos. En cuanto a animales no había más que medusas, esponjas, anélidos, trilobites y equinodermos.

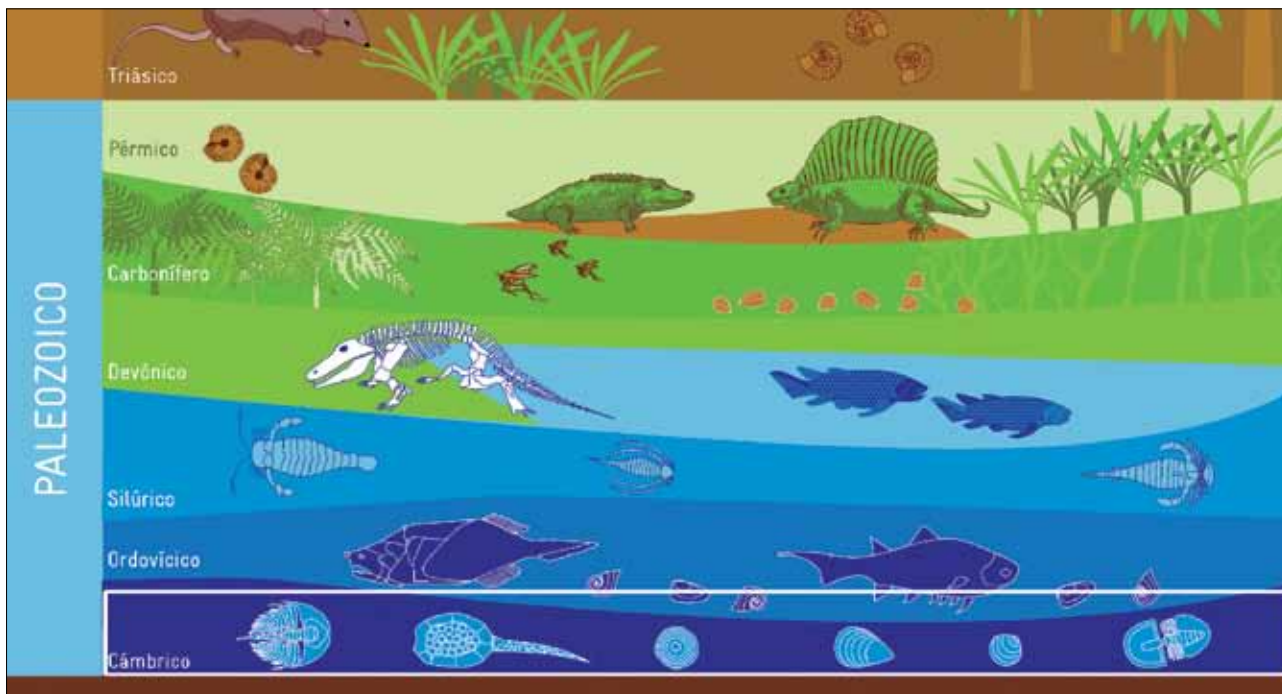


Figura 20. Mar Cámbrico con especies características: trilobites desplazándose por el fondo, medusas y erizos de mar irregulares





- Completa la frase poniendo una palabra en cada espacio: En el Cámbrico solo había animales (-----) y las (-----) constituirían los únicos organismos macroscópicos autótrofos.

Primeros pasos de la aparente independencia del agua

Los primeros organismos que logran vivir en Tierra firme fueron las plantas. Es en el periodo Silúrico que sustituye al Cámbrico cuando la vida se independiza del medio acuático, brotando las primeras plantas terrestres, pero muy vinculadas en su desarrollo y reproducción a la humedad del medio, como están en la actualidad los musgos.

Es también en esta época cuando aparecen los primeros vertebrados marinos, mucho más parecidos a las lampreas actuales que a los peces, pues a diferencia de los peces, aún tenían mandíbulas y, además, presentaban corazas. Los peces no aparecerían hasta hace unos 350 millones de años en los ríos y lagunas marinas del período **Devónico**, con un aspecto muy parecido a los tiburones actuales.

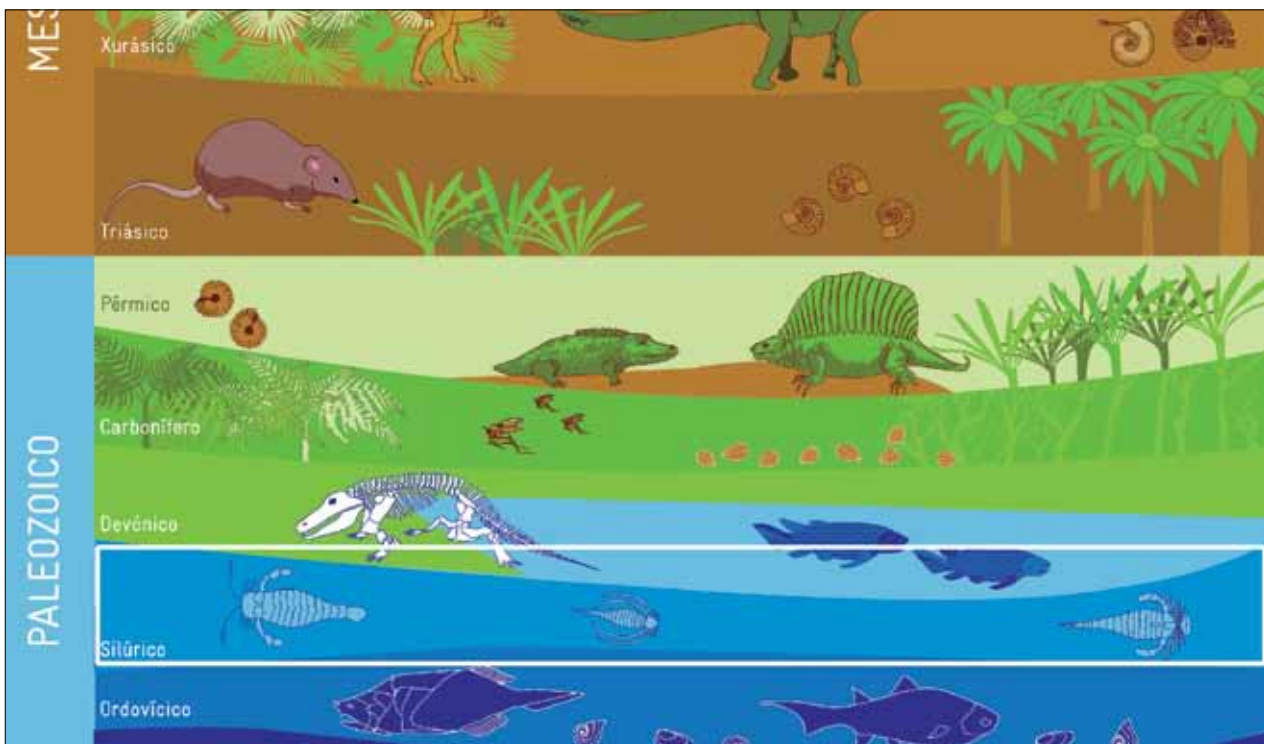


Figura 21. Esquema que sitúa el silúrico dentro del paleozoico y de los primeros pasos en la independización de los seres vivos del medio acuoso



Figura 22. A lamprea semellante aos vertebrados do Silúrico



Figura 23. Vertebrado acoirazado do Silúrico

- Los tiburones y las rayas acumulan urea y otras sales en sus células. ¿puede tener esto algo que ver con las condiciones de salinidad de las aguas en las que aparecieron como especie?





- ¿Cuál es la razón del nombre de Carbonífero y que relación ha tenido esta etapa con la vida ligada al agua?
- ¿Por qué los helechos fueron colonizadores más exitosos del medio terrestre que los musgos?

Los animales empiezan a dar los primeros pasos terrestres en el **Devónico**, y en esta etapa se datan las pisadas del desplazamiento a cuatro extremidades (tetrápodos) que debieron resultar de la modificación de aletas. Por eso se piensa que esta época es clave en la evolución de los peces a tetrápodos, lo que sin duda ha supuesto uno de los avances más importantes para la independencia de la vida animal del medio acuático.

Se piensa que esta supuesta forma intermedia entre peces y anfibios conocida como *Acanthostega* no caminaba en tierra firme, porque se concluye por las impresiones que se muestran en huellas fósiles que sus carpos y sus tarsos son demasiado débiles para soportar su peso en tierra, sus costillas demasiado débiles y su cola no dejó huellas, por lo que se piensa que debió moverse siempre sobre tierras con un recubrimiento somero de agua que evitarían el contacto de la cola con la superficie del terreno.

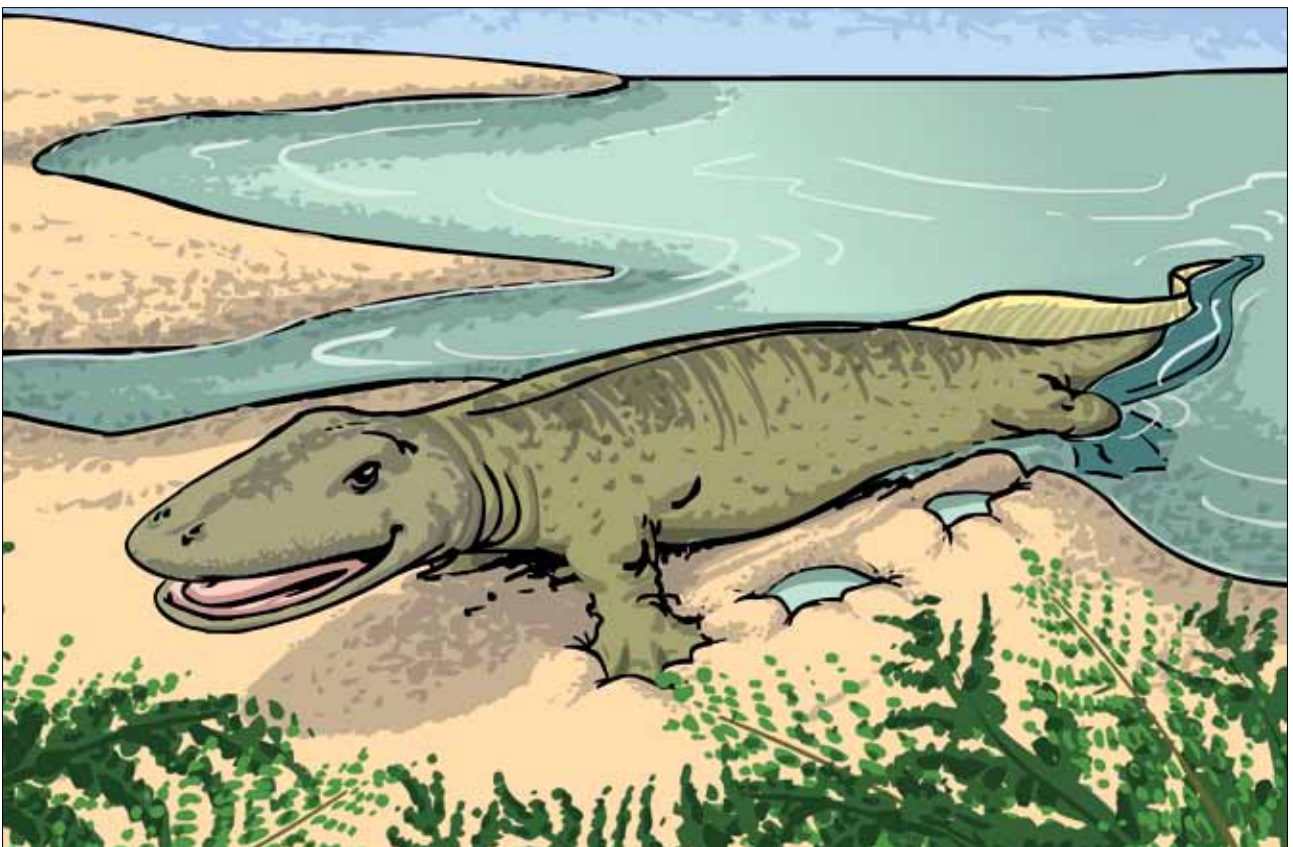


Figura 24. Reproducción de la morfología de *Acanthostega*

Las condiciones que han impulsado este primer paso de la vida animal hacia tierra firme, tenemos que situarlas al final de este período, cuando los dos grandes continentes del planeta estaban cubiertos en algunos lugares por bosques de porte arbustivo y arbóreo, tendiendo además a ser moldeado en un único supercontinente por la actividad de las placas tectónicas, generando de esta forma ambientes de aguas someras.

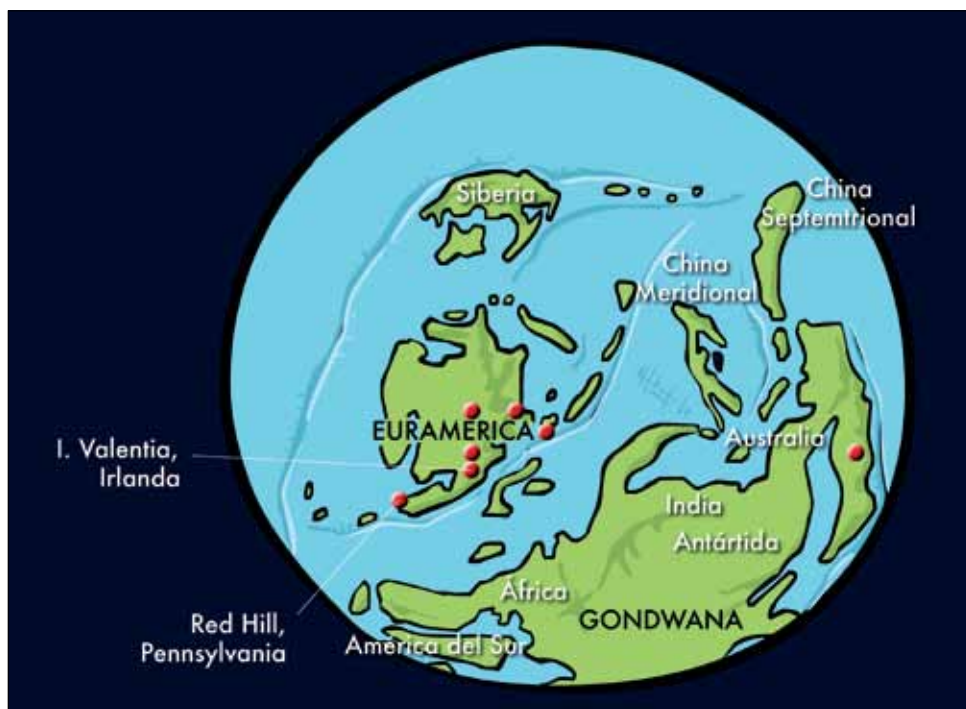


Figura 25. Posición de los continentes a finales del Devónico

Estas aguas devónicas estaban pobladas por predadores gigantes con fuertes mandíbulas y una sólida armadura a modo de exoesqueleto. Por eso se cree que estos tetrápodos descendían de los peces que vivían en aguas someras, posiblemente cerca de los márgenes del río que resultaban demasiado someras para los predadores gigantes.

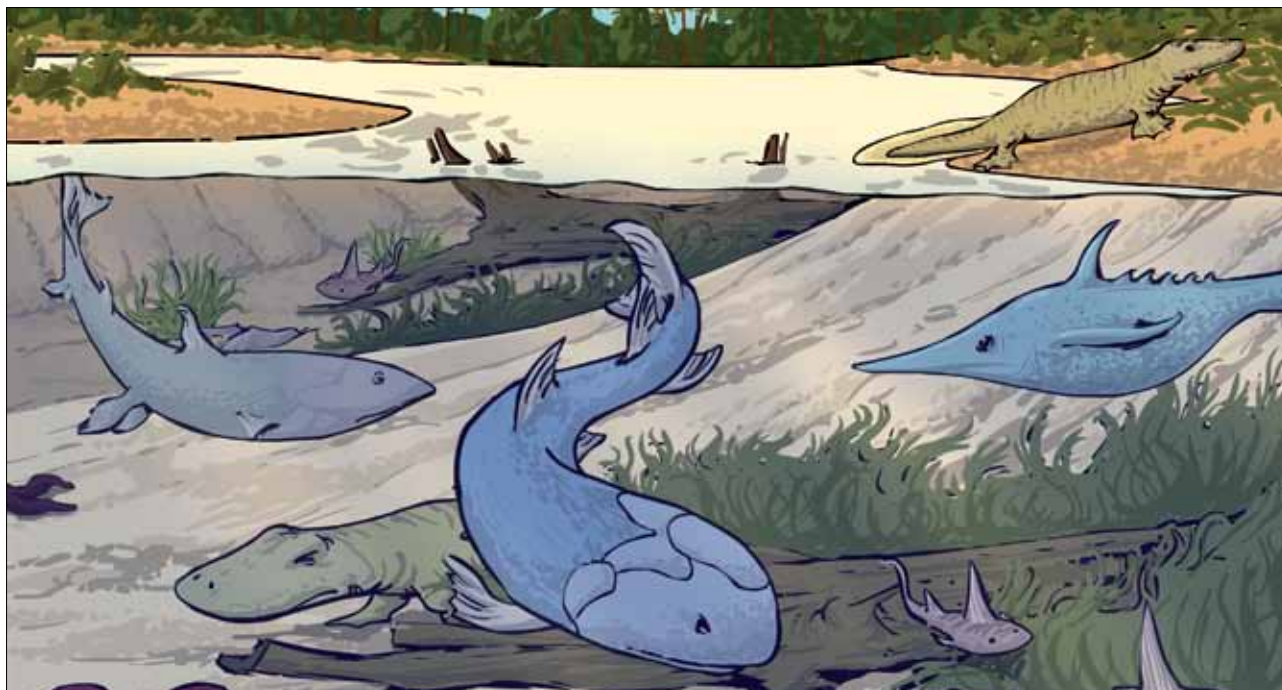


Figura 26. Predadores del Devónico





En estos entornos debieron darse periodos de sequía que forzaron a los peces que tenían aletas a utilizarlas para arrastrarse hasta otras charcas, facilitando así la selección natural de aquellas formas con aletas modificadas funcionalmente para posibilitarles arrastrarse hasta otras charcas próximas.

● ¿Cómo pudo influir el clima en estos primeros pasos en tierra firme?

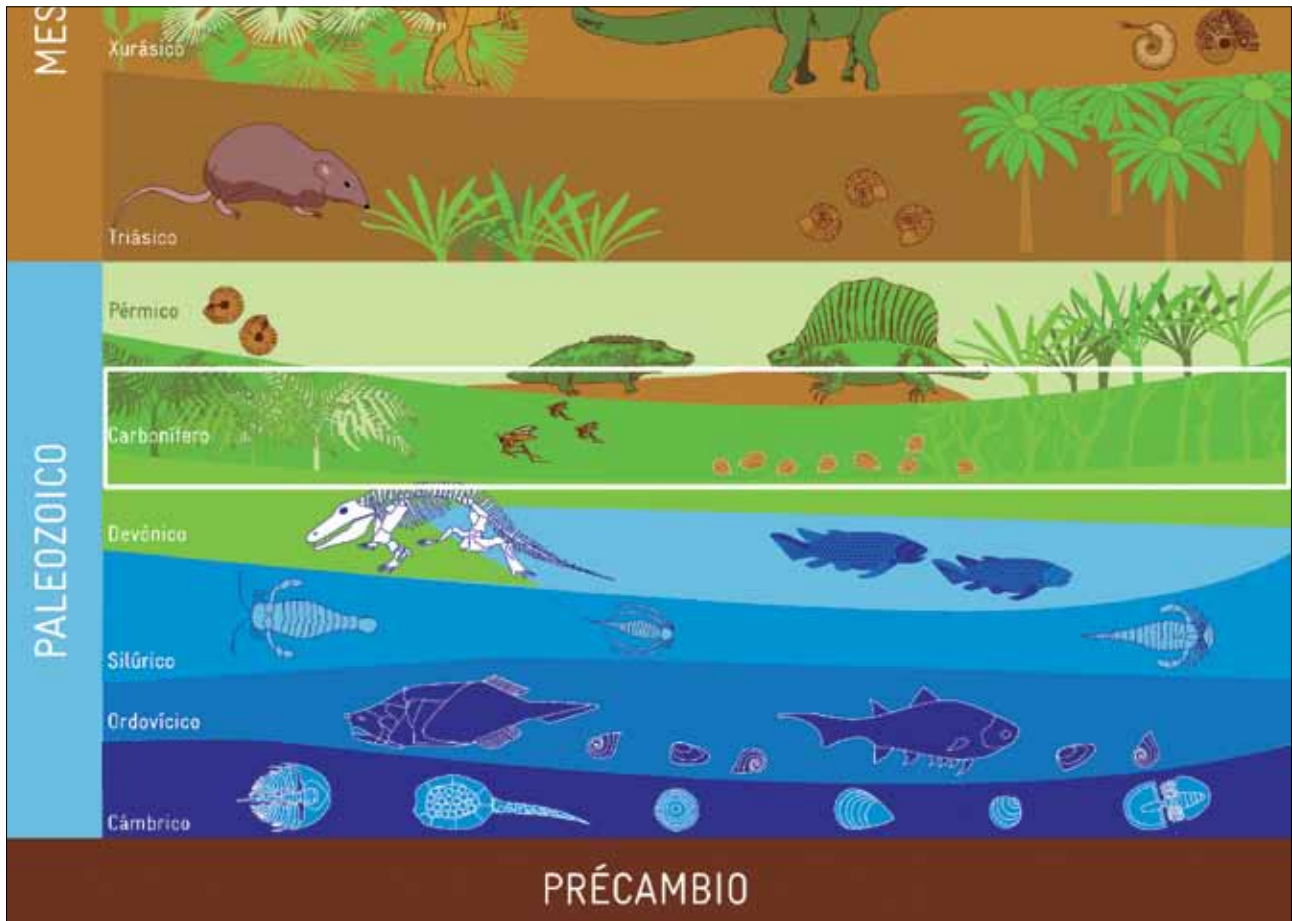


Figura 27. Ubicación del Carbonífero dentro del Paleozoico

La vegetación terrestre tuvo un enorme desarrollo hace unos 25 millones de años. Su expansión fue tal que una enorme cantidad de biomasa vegetal se transformó en carbón, por lo que a este período se le llamó **Carbonífero**. Esta vegetación, de porte arbóreo en muchos casos, estaba formada por helechos enormes. Por eso, a pesar de su tamaño arbóreo, estas enormes plantas estaban conectados al medio acuático, y dependían totalmente del agua para su reproducción.



Figura 28 Reproducción de un paisaje del Carbonífero

En el **Carbonífero** coincidió el desarrollo de los árboles de gran porte con el primer paso claro de la vida de los tetrápodos desde el medio acuático al terrestre. Por tanto se trata de una etapa de proliferación de anfibios de diferentes clases. Pero estos vertebrados no tienen una vida terrestre plena y sus movimientos terrestres son breves y muy vinculados a medios húmedos y próximos a las masas de agua. La dependencia del agua se debe a que necesitan tener constantemente la piel húmeda para no deshidratarse, dado que su superficie participa en el proceso de intercambio de gases. Además, su desarrollo embrionario tiene que ser en el medio acuoso, porque al igual que los peces son anamniotas, es decir sus embriones no están recubiertos de amnios, una membrana que hace que el embrión se desarrolle en medio acuoso interno de la bolsa que delimita esta membrana.



Figura 29. Rana y su puesta de huevos





● ¿Cómo pudo influir el clima en estos primeros pasos en tierra firme?

La etapa de la consolidación de la aparente independencia

A finales del Carbonífero y principios del **Pérmico** los vertebrados ya empiezan a distanciarse de los depósitos del agua con la aparición de los reptiles. Este grupo de vertebrados tiene importantes adaptaciones que le permiten independizarse más del agua que los anfibios. Presentan huevos con amnios, y por tanto los huevos pueden desarrollarse en medio terrestre porque el embrión se desarrolla en el medio acuoso del interior de la membrana .

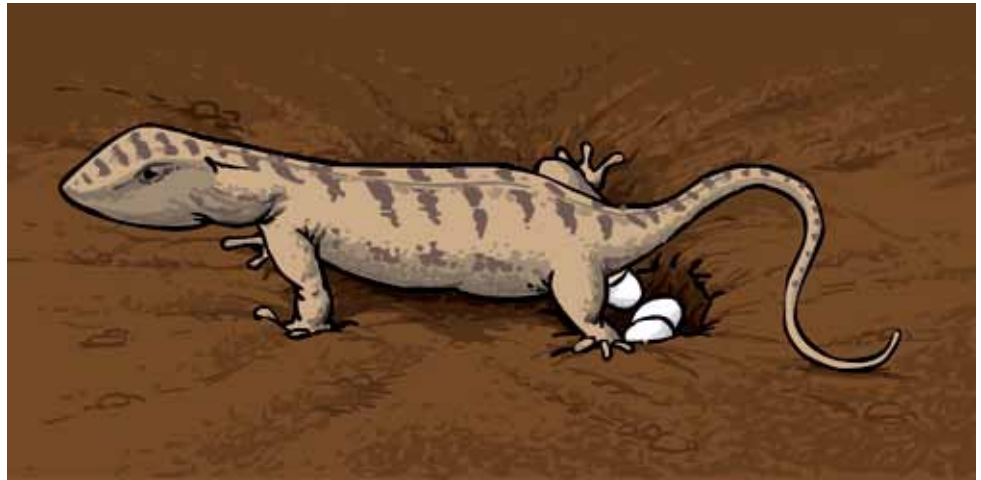


Figura 30. Lagarto poniendo huevos que al tener amnios pueden desarrollarse con total independencia del medio acuoso

Además su piel es córnea y presenta escamas, lo que los preserva de la desecación.



Figura 31. Detalle de las escamas de un lagarto arnal (*Lacerta lepida*)

En esta adaptación al medio terrestre también influyó la estrategia uricotélica para eliminar residuos de nitrógeno. Al excretar los residuos de hidrógeno como cristales sólidos de ácido úrico, evitaba el eliminar iones amonio que al solvarse arrastraría muchas moléculas de agua. Estas tres estrategias permitió a los reptiles diseminarse rápido por tierra firme.

- ¿Qué avances evolutivos presentan los reptiles que les hacen más independientes del agua que los anfibios?
- ¿Qué tendencias evolutivas han permitido a los reptiles vivir en medios desérticos?
- ¿Qué diferencias hay en la adaptación al medio entre un reptil de zonas ecuatoriales y otro de zonas templadas húmedas. ¿En qué medida les facilita la adaptación a cada uno de los medios?





Por tanto, el gametofito va perdiendo importancia a medida que se produce la evolución de los vegetales. En los musgos, el gametofito (n) es la forma predominante y el esporofito (2n) se desarrolla como parásito suyo, porque en su desarrollo permanece ligado al gametangio femenino del gametofito, lugar donde se ha producido la fecundación que lo originó. En los helechos, las dos formas son libres; aunque el gametofito (n) también es mucho más dependiente del agua que el esporofito, su tamaño es significativamente menor y el número de días de vida también es menor. Por último, en las plantas, el gametofito queda reducido al interior del polen (gametofitos masculinos) y del pistilo (gametofitos femeninos).

Esta tendencia evolutiva supone una apuesta de la evolución por la reproducción sexual frente a la asexual, lo que implica una mayor diversidad de opciones genéticas para dar respuestas a los cambios del medio y, por lo tanto, una mejor adaptación. En definitiva, la aparición de las semillas supuso una oportunidad para aumentar la independencia de los vegetales del agua.

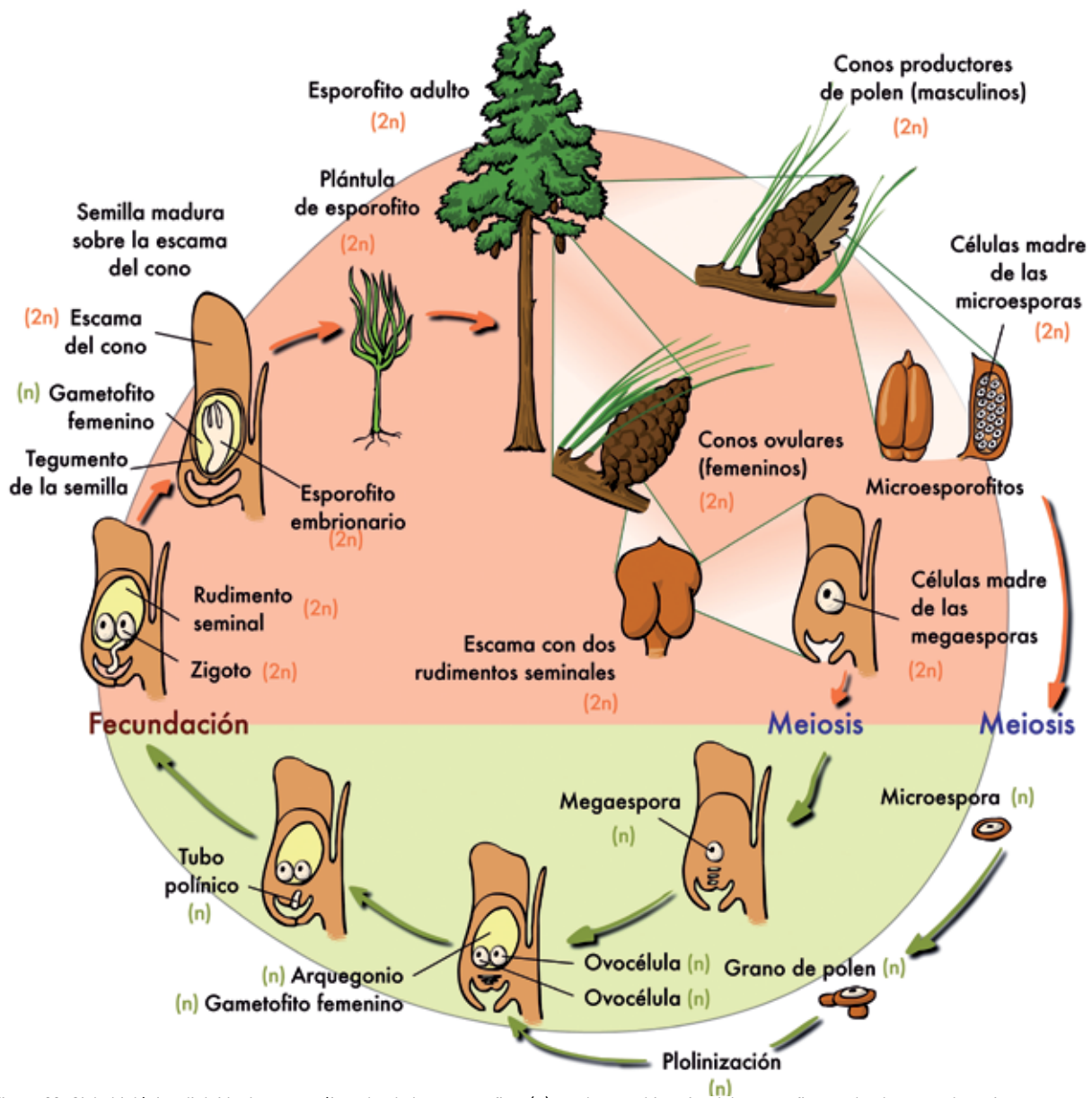


Figura 33. Ciclo biológico diploide de una conífera donde los gametofitos (n) quedan en el interior del gametofito en el polen y en el ovario, y por tanto, además de efímeros, no necesitan desarrollarse en medio acuoso

- Los 3 círculos se refieren a ciclos vitales pertenecientes a los 6 individuos (musgo, helecho, árbol, anfibio, pólipo y medusa de una medusa Aurelia aurita). Asocia cada grupo de organismos con el círculo que corresponde a su ciclo vital.



En definitiva, en los vegetales es muy intuitiva la tendencia evolutiva de reducción progresiva de la forma G hasta llegar a su única presencia en las células reproductivas, y esta tendencia tiene un cierto enfoque en su análisis de estrategia evolutiva para independizarse del agua. En esta adaptación al clima seco de las coníferas, además de la reducción de la forma G, también juega un papel fundamental el desarrollo de un sistema vascular con una conducción muy eficiente de la savia bruta y de la savia elaborada, que en combinación con otras adaptaciones, han contribuido a una mayor facilidad para vivir con independencia del agua.

- Se dice que la aparición de las semillas y del sistema vascular permitió a las plantas colonizar climas extremos ¿En qué medida pueden contribuir la aparición de las semillas y de un sistema vascular a la independencia de las plantas del medio acuático?

Una extraña contribución de un supuesto envenenamiento del mar a esta independencia

Los reptiles y las coníferas aprovecharon sus éxitos evolutivos en su independencia del medio acuoso y se extendieron hasta el Jurásico e incluso en el Cretácico colonizando regiones y climas diversos.

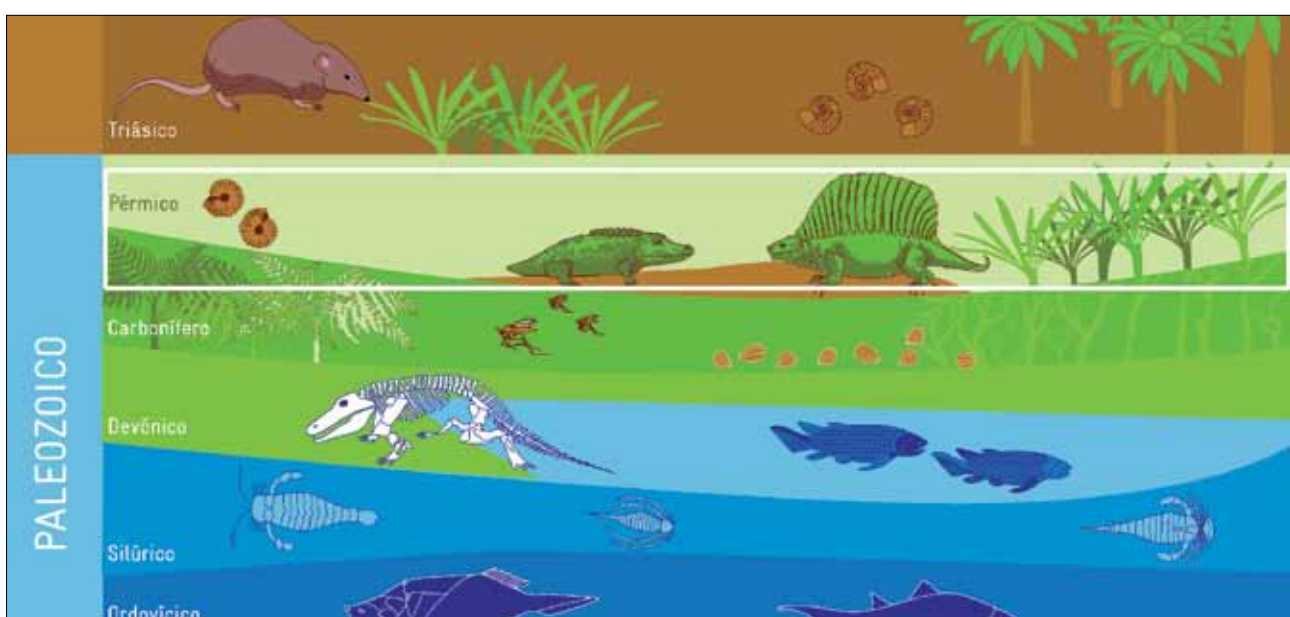


Figura 34. Ubicación del pérmico al final del paleozoico





Sin embargo en este proceso de colonización se encontraron con una profunda crisis ambiental. Hace unos 250 millones de años, al final del **Pérmico**, algo acabó con casi el 90% de las especies del planeta, y se calcula que sobrevivieron menos del 5% de las especies marinas, destruyendo sus ricos y diversos ecosistemas marinos como los arrecifes del Pérmico.



Figura 35. Vida en un mar del Pérmico

Los ecosistemas terrestres también se vieron afectados, quedando menos de una tercera parte de las especies terrestres, entre las que imperaban los sinápsidos, muchos de los cuales se extinguirían en ese momento, aunque una de sus ramas supervivientes sería a la postre precursora de los primeros mamíferos.



Figura 36. Vida en la tierra en el Pérmico

Esta crisis que hoy se conoce como la extinción del Pérmico se llevó por delante a la práctica totalidad de los árboles. Por eso hay científicos que sostienen que su origen pudo deberse a la lluvia ácida causada por una liberación de gases volcánicos. Con este escenario hipotético, la conjunción de oscuridad, frío y lluvia ácida habría matado a las plantas y plancton, alterando así la base de la pirámide trófica, arrastrando de esta forma a las demás especies.

Pero en la actualidad están aumentando los científicos que consideran que el verdadero origen de esta crisis de finales de Pérmico está en el mar. A favor de esta hipótesis está la constatación de que durante el Pérmico superior no había oxígeno en las profundidades del océano y que gran parte de la vida se concentraba en las aguas someras, destacando los arrecifes.

La ciencia moderna ha constatado que en regiones con mala circulación del agua, la contaminación está aumentando la anoxia. Por eso, aplicando el principio del actualismo geológico, existen científicos que identifican la disminución de los casquetes polares de finales del Pérmico con la causa de un estancamiento global de las aguas marinas. El deshielo dificultaría la circulación oceánica por la inclusión de una capa de agua dulce superficial, que al ser más ligera, evitaría la mezcla con el agua salada inferior, más densa, tal y como ocurre al mezclar el aceite con el agua, en el que el segundo líquido tiene más densidad que el primero.

Es muy factible que la ausencia de los casquetes haya supuesto la anulación de las diferencias de temperaturas entre las aguas polares y ecuatoriales, haciendo desaparecer las corrientes de convección y provocando el estancamiento global del agua del océano. Esto habría generado una gran cantidad de agua anóxica profunda que podría acumularse incluso hasta mezclarse en muchos sitios con el agua somera, facilitado por la supuesta subida del mar en este época.





Siguiendo este razonamiento, es fácil imaginarse los océanos del Pérmico envenenados con CO_2 . Por tanto la crisis de los animales marinos se habría iniciado cuando los niveles tóxicos de CO_2 alcanzaron las aguas someras.

Pero la muerte generalizada de finales del Pérmico creó oportunidades futuras que han condicionado la expansión y evolución de los supervivientes que han ocupado los nichos vacantes.

- Plantea una hipótesis que conjunte en la explicación de la extinción del Pérmico las erupciones, un impacto y la anoxia.
- Busca posibles similitudes y diferencias del contexto que te imaginas en el inicio del Pérmico con el actual escenario de cambio climático que nos presentan los científicos del IPCC para los próximos 100 años.
- Puestos en un catastrofista escenario futuro derivado del cambio climático que ha diagnosticado el IPCC, a la vista de la experiencia de extinciones como las del Pérmico, ¿puede un escenario catastrofista derivado del cambio climático ser superado por la vida en la Tierra?, ¿es igual de fácil que lo supere nuestra especie? Explícalo.
- Compara los posibles impactos ambientales del final del Pérmico con los que estamos viviendo en la actualidad y señala las semejanzas y las diferencias.
- Expresa tus ideas sobre si nuestros efectos destructivos de los ecosistemas pueden llevarnos a una extinción similar a la del Pérmico y si en ese caso la vida podría superarla.

La independencia del vuelo como oportunidad para vivir entre los dos medios

El vuelo aparece en los invertebrados muy pronto. Los primeros insectos surgen en el Carbonífero y son los primeros animales que conquistan la tierra firme, pero su ciclo biológico se mantiene muy dependiente del medio acuático, ya que algunas de las fases larvianas de muchas especies están ligadas a este medio.

Situados ya en los vertebrados, los pterosaurios han sido los primeros y más grandes que han surcado el medio aéreo. Aparecieron en el Triásico hace del orden de 215 millones de años, y prosperaron nada menos que 150 millones de años, desapareciendo junto con los dinosaurios hace 65 millones de años, posiblemente debido a las consecuencias del choque de un asteroide en la costa de la península de Yucatán. En su alimentación dependían tanto del medio terrestre como del medio acuático, persiguiendo insectos y pescando lanzándose en picado sobre los peces. Aunque el vuelo les permitió conquistar la mayoría de las latitudes, la mayoría de las especies vivieron en las zonas litorales, por lo que la independencia del medio acuático que le aportaba el vuelo no ha disminuido su dependencia en la alimentación y forma de vida del medio litoral.

A pesar de que se piensa que han evolucionado desde ramas reptilianas, no se logra concebir sus necesidades metabólicas derivadas del vuelo sin asumir la presencia de sangre caliente. La fisiología de los reptiles actuales trasladada en el tiempo hacia atrás a estas formas zoológicas, configura un animal, que de tener sangre fría, no aletearía mucho más de un minuto, al cabo del cual lo más probable es que se precipite a la tierra. Esta suposición se ve reforzada por la presencia de indicios de pelo en algunas formas fósiles.

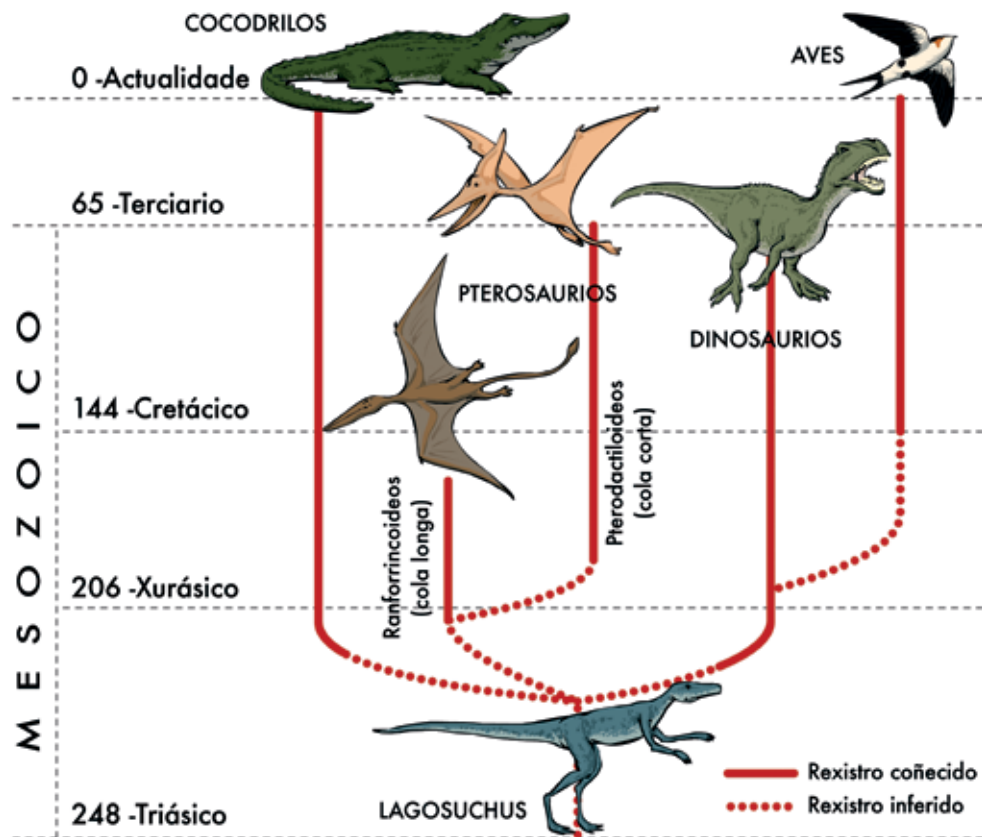


Figura 37. Evolución de los reptiles y de los mamíferos

- ¿Por qué la existencia de sangre fría es poco compatible con la potencia que requerirán estos animales para batir las alas?
- Indica en qué medida podemos asimilar los pterosaurios a las reptiles, a las aves y a los mamíferos

Los pasos definitivos en esta independencia relativa del medio acuático

La Era Secundaria no sólo se corresponde con los avances hacia la conquista de climas diferentes en tierra firme de los grandes reptiles como dinosaurios, sino que es también el periodo en el que empiezan a aparecer los árboles con flores muy parecidos a los actuales, que al interiorizar las semillas, hacen más eficiente el proceso reproductivo, distanciándolo del agua. Pero la mayoría de las plantas fanerógamas dependen de los insectos para la polinización, por lo que el éxito adaptativo para independizar la reproducción del medio acuático, depende a su vez del anterior éxito de la conquista del medio terrestre por parte de los insectos. Estos contribuyeron de forma eficaz a la explosión evolutiva experimentada por las plantas con flores en el Cretácico.

- ¿Qué ventaja evolutiva pudo suponer la aparición de las flores?





Hace 35 millones de años comenzó el reino de las aves y de los mamíferos. Desde mediados del **Terciario** van desapareciendo la mayoría de los grandes reptiles y los mamíferos se van pareciendo más a los actuales.

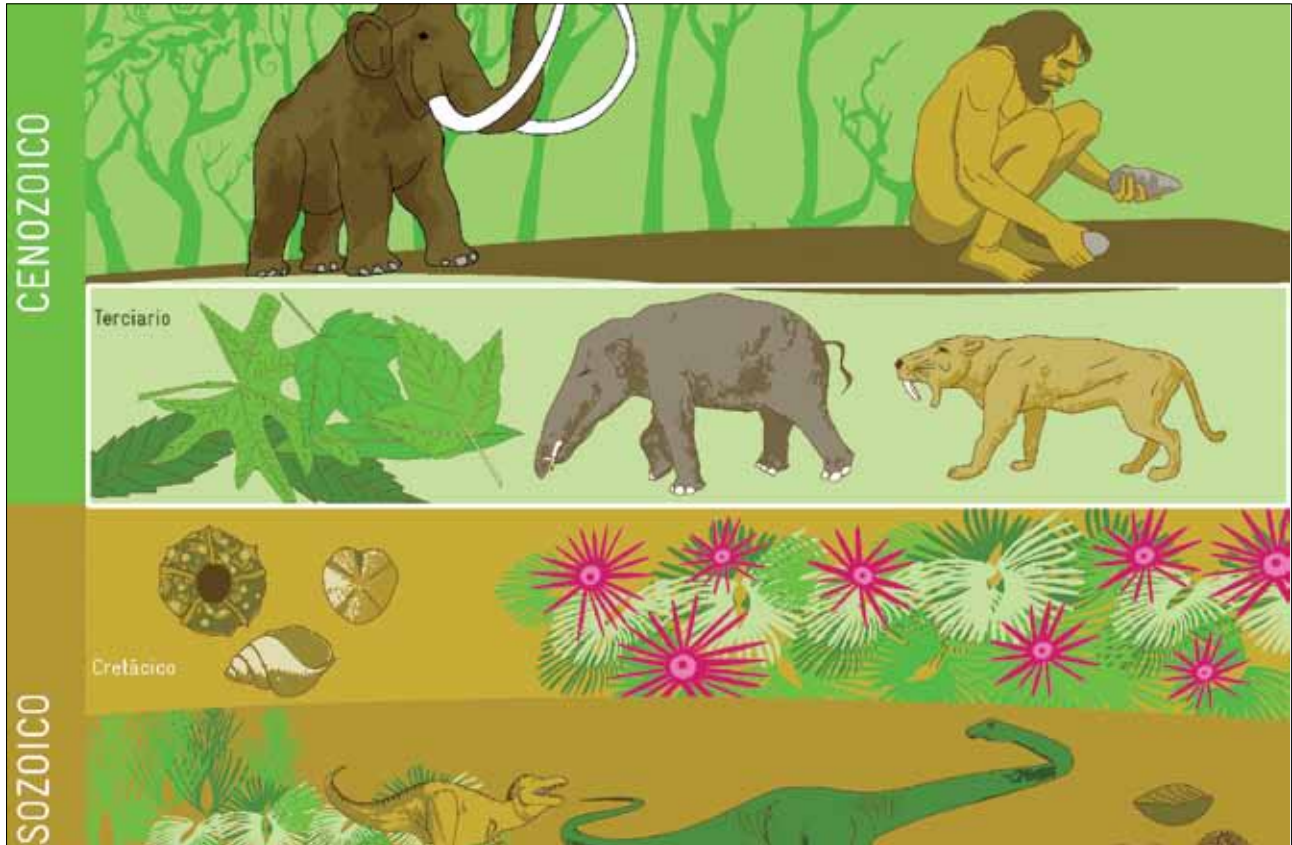


Figura 38. Ubicación del Terciario en el Cenozoico

Tanto aves como mamíferos, son grupos zoológicos que a diferencia de los anfibios y de los reptiles, son vertebrados con capacidad de controlar la temperatura del medio interno, y por tanto con mayor proyección en rangos climáticos diferentes. En los dos grupos la reproducción se distancia de la humedad, pero siguiendo estrategias diferentes. Las aves se independizan del medio húmedo en la reproducción mediante la presencia de cáscara rígida que protege al amnios de la desecación, mientras que los mamíferos presentan placenta interna y la nutrición del embrión se produce a través de la sangre materna mediante la conexión del cordón umbilical.



Figura 39. Fauna y flora del Terciario

- ¿Por qué los reptiles tienen que invernar y la mayoría de las aves y mamíferos no?
- ¿En qué medida podemos considerar a las aves más independientes del agua que a los mamíferos?

¿Por qué la vida no llega a alcanzar una independencia completa del agua?



Figura 40. Savia y sangre, los fluidos internos acuosos de las plantas y de los animales





Como hemos visto desde el primer capítulo, muchas cosas han pasado desde estos primeros mares, desiertos y demasiado calientes, hasta los actuales templados y llenos de organismos. Pero sin duda el más importante de estos acontecimientos es precisamente la aparición y evolución de la vida de la vida. Hemos reflexionado sobre el hecho de que su evolución le haya permitido emerger del medio marino para invadir el medio terrestre.

Sin embargo incluso los organismos que somos más independientes del agua, y que mantenemos menor porcentaje de agua en nuestro organismo, en nuestro caso un 63% del agua sigue muy presente en nosotros tal y como se pone de manifiesto en los siguientes datos biológicos (Tabla 1):

ORGANISMO	% EN MASA
Home	63
Embrión humano	94
Huesos	22
Dentina	10
Semillas	20
Medusa	95

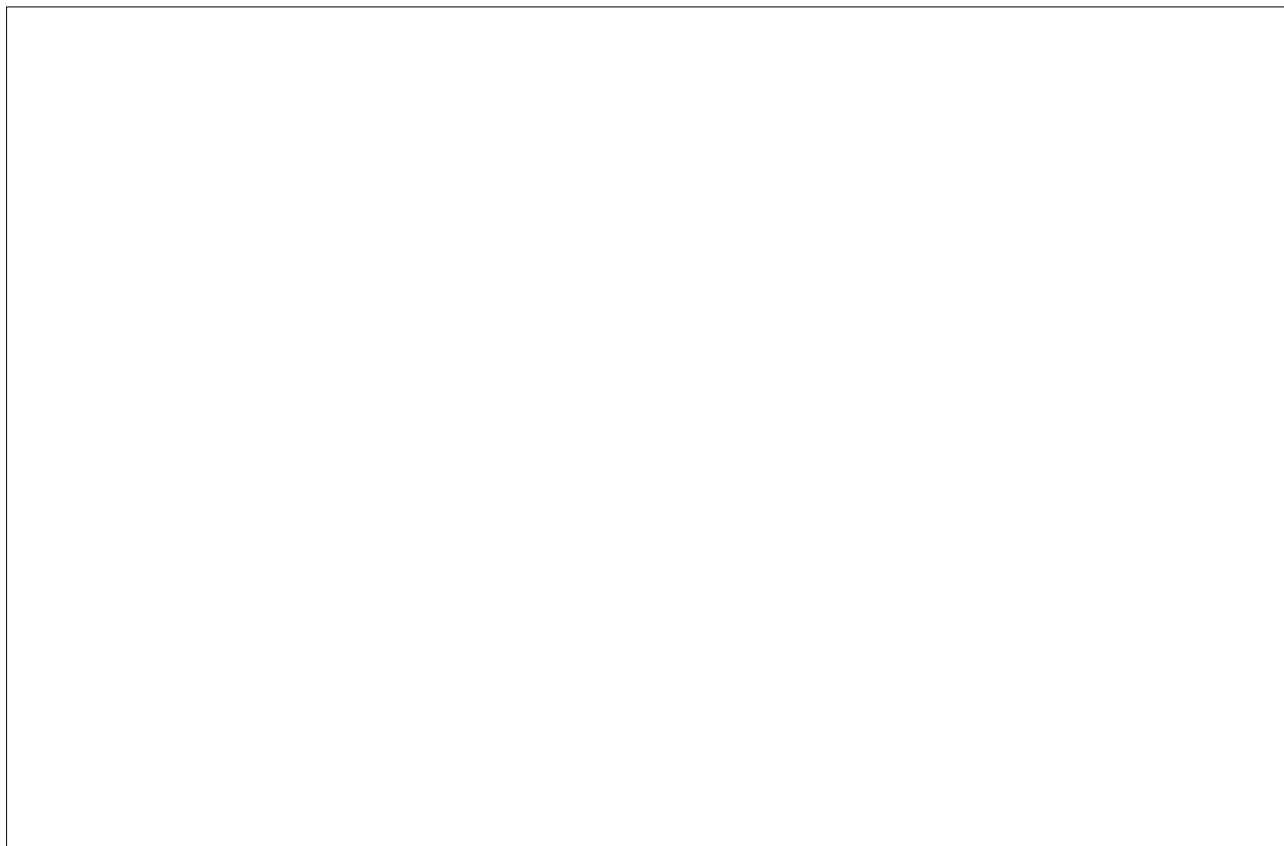
Nuestra especie es la que más éxito ha tenido conquistando medios con climas diferentes y aún así no puede vivir sin más de un 60% de su masa corporal en forma de agua en su interior, a pesar de ser una de las especies que menos porcentaje necesita. Por tanto si la deshidratación llega a afectar de forma significativa al porcentaje de agua propio de la especie, se produce la muerte. Eso es así porque las células de todos los seres vivos contienen como mínimo un 60% de agua, ¡y algunas llegan hasta un 95%! Por esto los científicos están convencidos de que la vida surgió en el agua: es como si los organismos se hubiesen llevado los mares dentro de sus células.

- ¿Qué aspectos de la composición celular nos invita a pensar en el origen de los seres vivos en el medio marino?
- Resume la historia de la Tierra en un año, ¿En que mes habrá aparecido la vida?, ¿En cuál la vida se desarrolla sale a Tierra firme?, ¿En cual se extinguieron los dinosaurios?, ¿en qué momento aparecimos como especie?

¿Qué explica la dependencia de la vida del agua?

El agua constituye más del 70 % del peso de la célula porque en su medio acuoso ocurren la mayoría de las reacciones intracelulares. Esta dependencia tiene una lógica evolutiva evidente que se explica porque la vida, tal y como hemos visto a lo largo de este capítulo, empezó en el mar, y las condiciones que reinaban en aquel ambiente primitivo imprimieron un sello permanente en la química de la materia viva. Para explicar su papel determinante en la vida, la Bioquímica recurrió al análisis de su estructura.

Mediante análisis espectroscópico y de rayos X se ha determinado el ángulo de enlace H-O-H, que es $104,5^\circ$, y la distancia interatómica media H-O, que es $0,0965$ nm (fig 42). Esta disposición de electrones en la molécula del agua comunica asimetría eléctrica, pues la diferencia de electronegatividad de los dos elementos supone que el O posea carga local negativa y que el átomo de H posea carga local parcial positiva, por lo que dicha molécula se comporta como un dipolo eléctrico (Figura 42).



Este dipolo está formado por dos átomos de hidrógeno unidos por enlaces covalentes a un oxígeno, que mediante una hibridación del orbital "s" con los 3 p (px, py y pz) da lugar a cuatro orbitales "sp³" cada uno dirigido a los teóricos vértices de un tetraedro, dos de los cuales serán enlazantes por contener electrones desapareados, que los comparte con los dos átomos de hidrógeno.

La hibridación sp³ justifica que este compuesto posea un punto de fusión, un punto de ebullición, el calor de vaporización y la tensión superficial más elevados que el hidruro más parecido y con mayor masa molecular, como es el caso del H₂S. Este hidruro, próximo en la tabla periódica al H₂O, presenta hibridación sp (un "s" y un "p" se unen para dar dos híbridos sp), tiene sólo los dos orbitales híbridos sp enlazantes y, por tanto, se disponen con un ángulo de 180° que hace que sean dipolos de igual magnitud y dirección, pero de sentidos contrarios, por lo que se anulan y no dan dipolo resultante (Figura 44 ilustración molécula H₂S con hibridación sp y la anulación de los dipolos vinculados a los enlaces). Por eso las moléculas H₂S no experimentan ningún tipo de interacción intermolecular, presentándose en condiciones ambientales en estado gaseoso, a diferencia del agua, que, por ser dipolo, se presenta líquida.



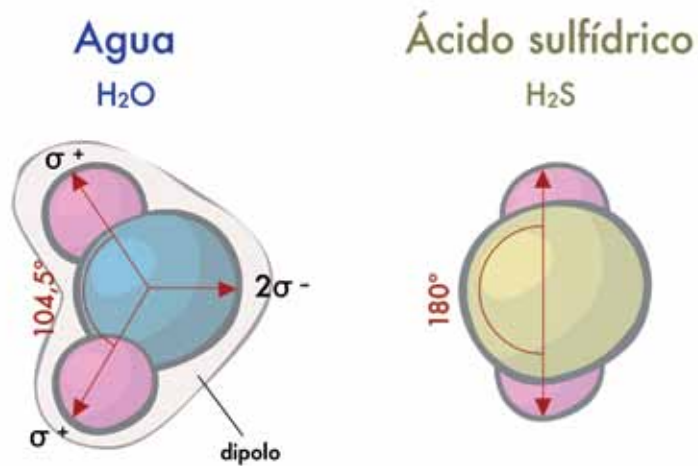


Figura 42. Representación comparativa das moléculas de auga e do sulfuro de hidróxeno

Esta diferencia estructural entre el H_2S y el H_2O justifica que, a temperatura ambiente, el primero sea gaseoso y el segundo líquido. Este estado líquido del agua se debe a que cuando dos moléculas de agua se aproximan mucho, debido a su naturaleza polar, se establece una atracción electrostática entre la carga parcial negativa, situada sobre el átomo de oxígeno de la molécula de agua, y la carga parcial positiva, situada sobre un átomo de hidrógeno de una molécula de agua adyacente, produciéndose de esta forma una unión electrostática compleja denominada enlace de hidrógeno.

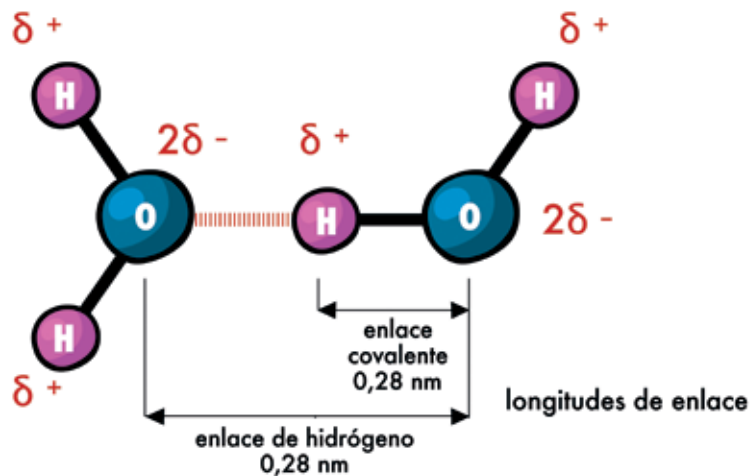


Figura 43. Formación dunha ponte de hidróxeno entre dúas moléculas de auga

En esta red acuosa inestable tienen lugar también las interacciones de los extremos de los dipolos de una determinada carga parcial con cargas parciales de moléculas orgánicas o iones de signo opuesto, posibilitando así el transporte de los nutrientes o los desechos en el medio interno. Este mismo mecanismo, con la intervención de la actividad catalítica de las enzimas proteicas, también posibilita las reacciones metabólicas en el interior de las células.

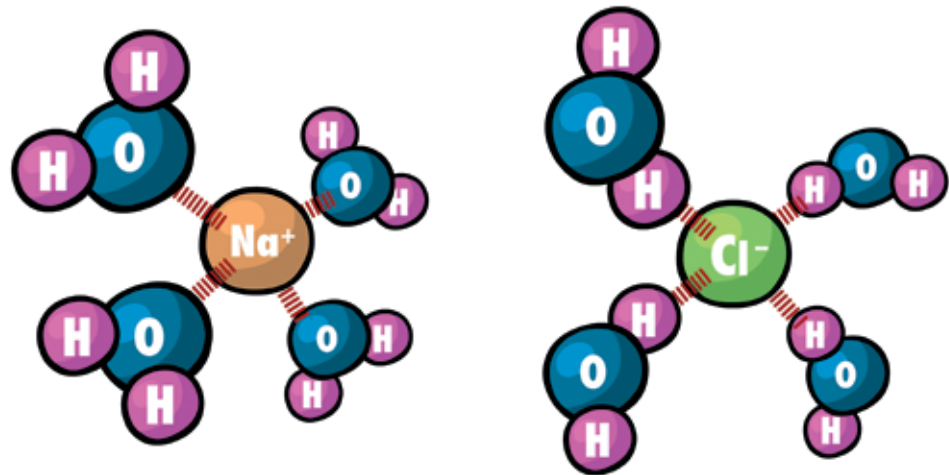


Figura 45. Iones procedentes de la disolución del cloruro sódico sustentados por moléculas de agua mediante puentes de hidrógeno

● ¿En qué se parecen y en qué se diferencian el H_2S y el H_2O ?

Estas características estructurales determinan las propiedades fisicoquímicas que se comentan a continuación.

Relación de las propiedades fisicoquímicas con las funciones biológicas

La estructura dipolar del agua es responsable de las peculiares propiedades fisicoquímicas que le permiten cumplir importantes funciones en los organismos, entre las que destacan:

- **Gran fuerza de cohesión.** Se debe a la elevada tendencia de una molécula de agua a unirse a otras cuatro moléculas vecinas, tal y como se indicó anteriormente, lo que convierte a esta sustancia en un líquido prácticamente incomprensible, capaz de conferir volumen y turgencia a muchos seres uni- o pluricelulares, como ocurre en el esqueleto hidrostático de las plantas. Asimismo, esta fuerza también permite las deformaciones de algunas estructuras (citoplasma), y contribuye a evitar el roce entre huesos en las zonas en las que sus extremos entran en contacto (articulaciones)..



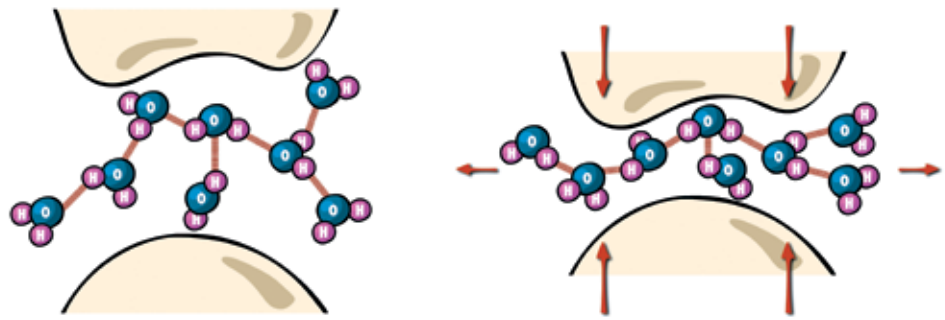


Figura 46. Representación de la capacidad que aporta agua al líquido sinovial para evitar el roce entre articulaciones y que viene dada por su elevada fuerza de cohesión

● Pon ejemplos en los que se manifieste la importancia de la elevada fuerza de cohesión del agua.

- **Elevado calor específico.** Se debe a la tendencia a formar enlaces de hidrógeno entre las moléculas de agua; pues para que la energía cinética de las moléculas de agua aumente lo suficiente y la temperatura se eleve 1°C, es necesario romper algunos de los enlaces de hidrógeno que las mantienen unidas, de tal forma que el agua absorbe gran cantidad de calor para producir un ligero ascenso de la temperatura, lo que la convierte en un buen amortiguador térmico que mantiene la temperatura interna de los seres vivos a pesar de las variaciones externas.

● Calcula la cantidad de calorías que hay que aportar a un litro de agua pura para que su temperatura suba 1°C. ¿Qué conclusiones sacas de este dato sobre su capacidad para regular la temperatura en el medio interno y en el ambiente?

- **Alto calor de vaporización.** El agua absorbe mucho calor cuando cambia de estado líquido a gaseoso, pues para que una molécula de agua se “escape” de las adyacentes han de romperse los enlaces de H, para lo que se necesita una gran cantidad de energía (más de 500 calorías para evaporar 1 g de agua). De esta manera, cuando el agua se evapora en la superficie de una planta o de un animal, absorbe gran cantidad de calor del entorno, actuando de esta forma como mecanismo de regulación térmica.

● Calcula la cantidad de calorías que se eliminan si sudamos un litro de agua. ¿Qué conclusiones sacas de este dato sobre su importancia como refrigerante de las superficies biológicas?

- **Elevada constante dieléctrica.** El agua tiende a oponerse a la atracción electrostática entre los iones positivos y negativos. Esta tendencia viene expresada por la constante dieléctrica “D”, definida por la relación:

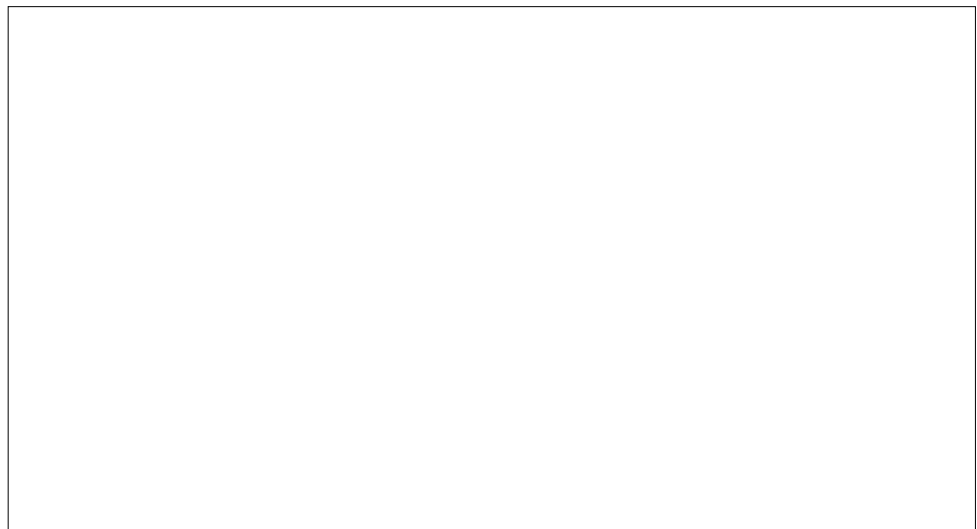
$$F = \frac{e_1 * e_2}{D * r^2}$$

F: fuerza de atracción
 e_1 / e_2 : carga de los iones
 r: distancia entre ellos

El agua tiene una constante dieléctrica relativamente alta, por lo que de la fórmula se deduce que disminuirá mucho la fuerza de atracción entre los iones, favoreciendo en gran medida la disolución de la red cristalina por el agua.

Asimismo, debido a su polaridad, también disuelve con facilidad otros compuestos no iónicos pero que poseen grupos funcionales polares al establecerse enlaces de hidrógeno entre ellos (aldehidos, alcoholes, cetonas...). De esta forma también dispersa o solubiliza micelas a muchos compuestos que contienen grupos simultáneos, unos fuertemente no polares y otros fuertemente polares (moléculas anfipáticas), interaccionando con los segundos.

(figura 48 inferior pág 50 Alberts izda)



Todo ello la convierte en la sustancia disolvente por excelencia, siendo dicha capacidad responsable de dos importantes funciones del agua en los seres vivos: ser vehículo de transporte, que permite la circulación de sustancias en el interior de los organismos y su intercambio con el exterior, y ser el medio donde ocurren todas las reacciones bioquímicas.

- Indica las principales características que justifican la solubilidad en el agua de las sustancias que se transportan en el medio de los seres y explica el fundamento de las interacciones de dichas sustancias con el agua que justifican su transporte.

- **Gran fuerza de adhesión.** Esta propiedad deriva de la tendencia a formar enlaces de hidrógeno entre las moléculas de agua (cohesión) y entre estas y otras moléculas polares (adhesión), lo que hace al agua responsable de todos los fenómenos relacionados con la capilaridad (por ejemplo, el ascenso de savia bruta por el xilema de las plantas). (figura 49. Ilustración: esquema a adherencia de moléculas encadenadas en un vaso conductor onde se visualice a evaporación incorporándose a inmediatamente inferior para ocupar o seu lugar)





El agua tiene una constante dieléctrica relativamente alta, por lo que de esta fórmula se deduce que disminuirá mucho la fuerza de atracción entre los iones, favoreciendo en gran medida la disolución de la red cristalina por el agua.

Así mismo, debido a su polaridad, también disuelve con facilidad otros compuestos no iónicos pero que poseen grupos funcionales polares, de forma que se establecen enlaces de hidrógeno entre ellos (aldehidos, alcoholes, cetonas...). De esta manera también dispersa o solubiliza micelas en muchos compuestos que contienen grupos simultáneos, unos fuertemente no polares y otros fuertemente polares (moléculas anfipáticas), interaccionando con los segundos.

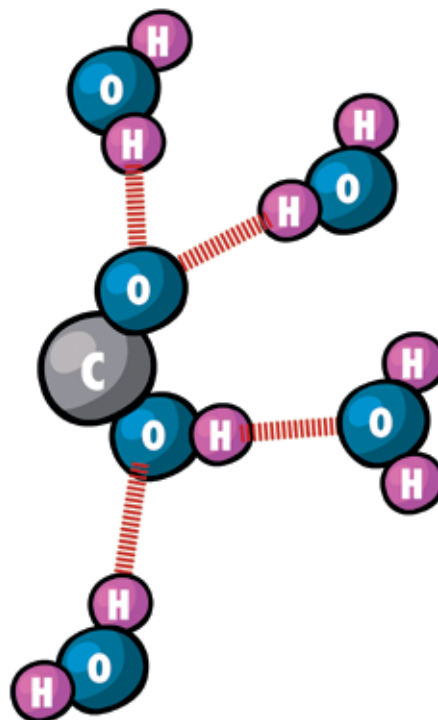


Figura 47. Representación molecular del agua transportando dióxido de carbono disuelto

Todo esto la convierte en la sustancia disolvente por excelencia, y esta capacidad es la responsable de dos funciones importantes del agua en los seres vivos: ser vehículo de transporte, que permite la circulación de sustancias en el interior de los organismos e su intercambio con el exterior, y ser el medio donde ocurren todas las reacciones bioquímicas.

● Indica las principales características que justifican la solubilidad en el agua de las sustancias que se transportan en el medio de los seres y explica o fundamento de las interacciones de dichas sustancias con el agua para justificar su transporte.

- **Gran fuerza de adhesión.** Esta propiedad deriva de la tendencia a formar enlaces de hidrógeno entre las moléculas de agua (cohesión) y entre estas y otras moléculas polares (adhesión), lo que hace que el agua sea responsable de todos los fenómenos relacionados con la capilaridad (por ejemplo, el ascenso de savia por el tallo de las plantas).

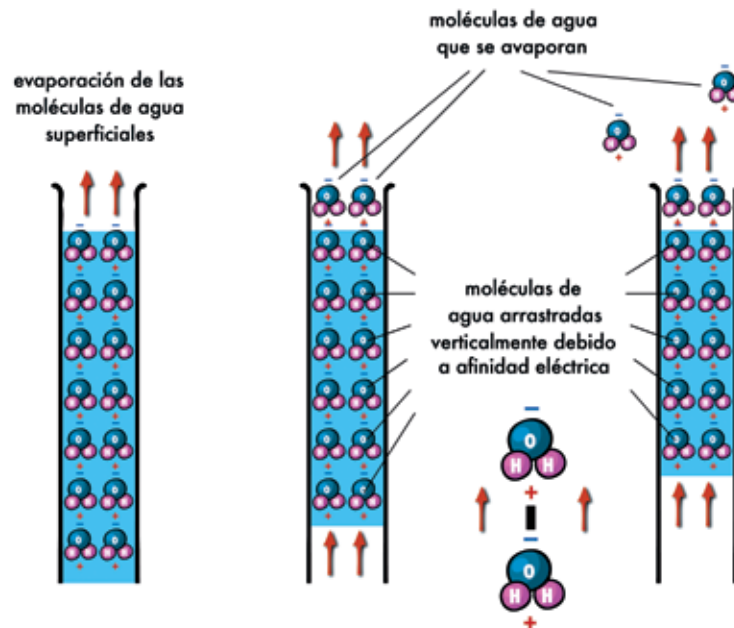


Figura 48. Representación de los fenómenos de capilaridad debidos a la elevada fuerza de adhesión

- El alcohol tiene menor calor de vaporización y tensión superficial que el agua. En base a estos datos, explica por qué después de beber una bebida alcohólica queda en la superficie interior de la copa una fina película líquida y, al cabo de cierto tiempo, esta película se transforma en gotas, fenómeno que se conoce como el “llorar de la copa”:

- **Baja densidad en estado sólido.** El agua alcanza su máxima densidad a 4°C y la mínima en estado sólido, mientras que la mayoría de las sustancias alcanzan la máxima densidad en la temperatura de fusión (ilustración de dos gráficas que representan la variación de volumen frente a la temperatura: la de la mayoría de las sustancias y la del agua).

Al pasar de la estación otoñal a la invernal, el agua de la superficie se enfría hasta alcanzar la máxima densidad a los 4°C; en ese momento, el agua de la superficie es la más densa y desciende hasta la zona más profunda, que pasa a estar ocupada por agua a 4°C. Cuando se instauran temperaturas de la atmósfera por debajo de 4°C, toda el agua acabará descendiendo, hasta que todo el lago queda totalmente lleno de agua a esta temperatura.

Esta característica permite la vida acuática en zonas frías, ya que en los lagos, ríos y mares de estas zonas, al descender la temperatura por debajo de 0°C, se forma una costra de hielo en la superficie, menos denso que el agua líquida que está a 4°C, protegiendo el agua situada bajo ella de los descensos térmicos del exterior y, por tanto, la mantiene alrededor de 4°C, suficientes para la supervivencia de muchas especies.



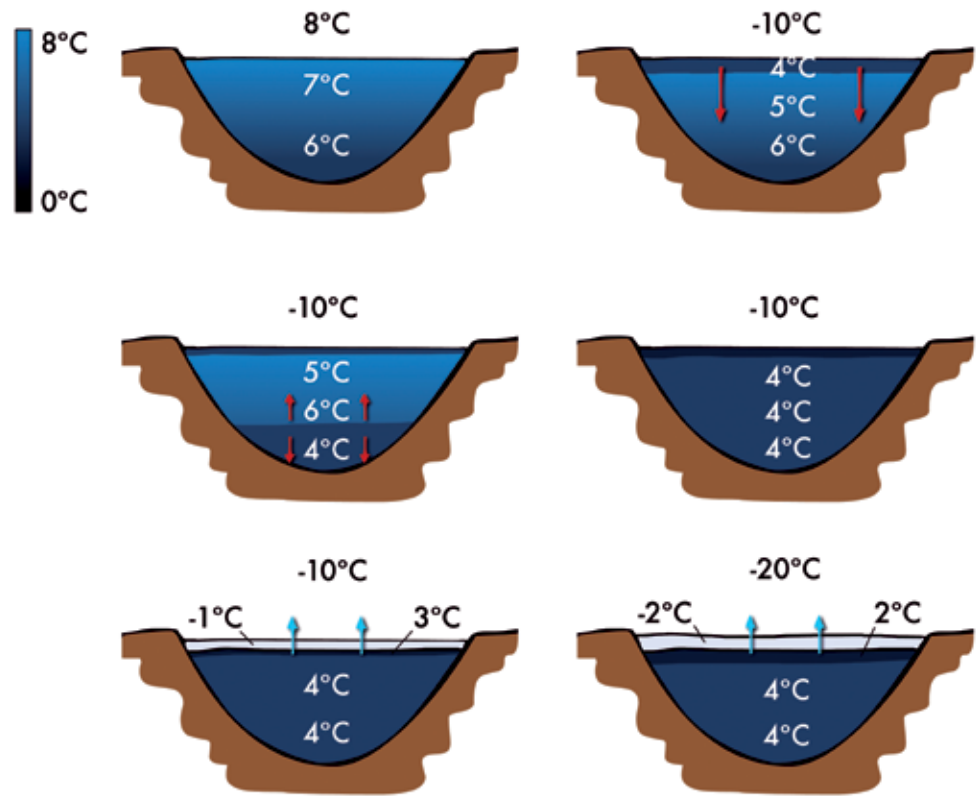


Figura 49. Representación de la capacidad que tiene el agua para permitir la vida en medios acuáticos con temperaturas frecuentes de cero grados.

- Los autores P. Bacas, M^a J. Martín-Díaz, F. Perera y A. Pizarro, en su libro Física y ciencia-ficción, nos sugieren imaginar esta curiosa reunión a la que te invitamos para que redactes una noticia sobre la asamblea justificando las razones de cada sindicato participante en la asamblea para apoyar o desaprobar la petición del agua:

“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 agua, 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 agua, por distintos motivos, apoyan la idea (el agua 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 con lo estudiado en este apartado a las cuestiones iniciales: “RESPONDE CON LO QUE SABES AHORA”.

