

{ BIO LOGÍA } 2

JOSÉ ALCAMÍ
JUAN JESÚS BASTERO
BENJAMÍN FERNÁNDEZ
JOSÉ MARÍA GÓMEZ DE SALAZAR
M^a JESÚS MÉNDEZ
JAVIER SLÖCKER

SOLUCIONARIO



BACHILLERATO

PROYECTO EDITORIAL

Equipo de Educación Secundaria de Ediciones SM

AUTORES

José Alcamí
Juan Jesús Bastero
Benjamín Fernández
José María Gómez de Salazar
María Jesús Méndez
Javier Slöcker

EDICIÓN

Marta Balbás
Susana Gonzalo
Esther Sánchez

ILUSTRACIÓN

Ricardo Salas
Félix Moreno

DISEÑO DE CUBIERTAS E INTERIORES

Maritxu Eizaguirre
Pablo Canelas

COORDINACIÓN EDITORIAL

Nuria Corredera
Marta Balbás

DIRECCIÓN EDITORIAL

Aída Moya

Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra solo puede ser realizada con la autorización de sus titulares, salvo excepción prevista por la ley. Diríjase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos, www.cedro.org) si necesita fotocopiar o escanear algún fragmento de esta obra.

Índice

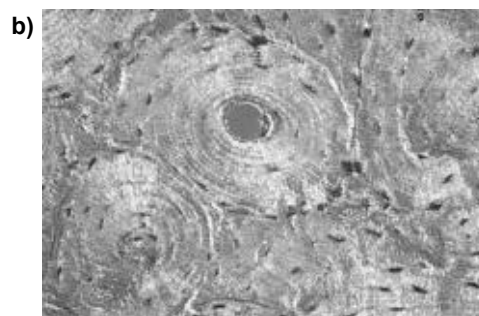
1. Química de la materia viva y su estudio	4
2. El agua y las sales minerales	13
3. Glúcidos	26
4. Lípidos	41
5. Aminoácidos y proteínas	51
6. Nucleótidos y ácidos nucleicos	62
7. La célula. El núcleo	73
8. Reproducción celular	82
9. La membrana plasmática y otros orgánulos membranosos	92
10. Hialoplasma, citoesqueleto y estructuras no membranosas de la célula	105
11. Metabolismo celular y del ser vivo	117
12. Catabolismo aeróbico y anaeróbico	128
13. Anabolismo	141
14. Las leyes de la herencia	152
15. Del ADN a las proteínas	166
16. El ADN y la ingeniería genética	177
17. Genética y evolución	186
18. La diversidad de los microorganismos	197
19. Los microorganismos en la biosfera	206
20. Defensa del organismo frente a la infección	214
21. Inmunología y enfermedad	222

1

Química de la materia viva y su estudio

ACTIVIDADES PAU RESUELTAS

1.1. Observa las siguientes microfotografías, e indica el tipo de técnica microscópica con la que se han obtenido. Justifica en cada caso la respuesta.



Actividad resuelta en el libro del alumno.

ACTIVIDADES

1.2. Define los conceptos siguientes; para ello, pon los ejemplos necesarios y da una breve explicación de cada grupo.

- a) Bioelementos mayoritarios.
- b) Biomoléculas.

- a) Son los elementos químicos que más abundan en la materia viva, pero no por ello son más importantes, pues los más escasos son también indispensables para el buen funcionamiento de los organismos. Entre los mayoritarios, se encuadran: C, H, O, N, P, S.
- b) Son las moléculas integrantes de la materia viva. Se distinguen las no exclusivas de los seres vivos, como el agua, y las que solo los organismos pueden fabricar, como glúcidos, lípidos, proteínas y nucleótidos.

1.3. Explica con precisión el significado de los términos.

- a) *In vitro*.
- b) *In vivo*.
- c) *In situ*.

Pon algún ejemplo de cada caso.

- a) El estudio o la experimentación de lo viviente se realiza en el laboratorio. Por ejemplo, el estudio de un cultivo de células.
- b) Lo mismo que a), pero en el propio ser vivo. Por ejemplo, el examen del tubo digestivo por endoscopia.
- c) Lo mismo que el apartado a), pero sin trasladar el objeto de observación de su lugar natural. Por ejemplo, el examen de la confección de una telaraña. Esto sería también *in vivo*.

1.4. Define los conceptos siguientes, y pon los ejemplos de cada uno de ellos.

- a) **Oligoelementos.**
- b) **Principios inmediatos.**

- a) Bioelementos muy escasos en la materia viva, pero indispensables para el metabolismo. Decimos que su importancia es desproporcionada respecto a su abundancia. Por ejemplo, Co, Mn, Fe.
- b) Conjunto de iones y moléculas que integran la materia viva, y pueden aislarse de ella mediante procedimientos físicos. Se describen seis grupos: agua, sales minerales, glúcidos, lípidos, proteínas y nucleótidos.

1.5. Respecto a los métodos de estudio de la materia viva, contesta lo siguiente.

- a) **Ventajas que tiene el microscopio óptico para la investigación.**
- b) **Inconvenientes del microscopio electrónico de transmisión.**
- c) **Finalidad de la cromatografía: para qué se utiliza.**
- d) **Finalidad de la ultracentrifugación.**

Puedes hacer dibujos para ilustrar tus respuestas.

- a) Permite la observación *in vivo* y en colores.
- b) No permite ninguna de las dos propiedades anteriores.
- c) Separar sustancias semejantes de una disolución mediante impregnación y migración diferencial de las mismas en un soporte permeable. Por ejemplo, la separación de los pigmentos vegetales disueltos en alcohol.
- d) Separar sustancias o partículas subcelulares de semejante peso molecular, suspendidas en un líquido, mediante sedimentación diferencial; para ello, se someten a una fuerza mucho mayor que la gravitatoria, producida por el giro veloz de la ultracentrifugadora.

1.6. El calcio es un bioelemento cuya abundancia, en distintos seres naturales, es la siguiente.

Corteza terrestre: 3,4% Cuerpo humano: 1,5% Materia viva, en conjunto: 0,02%

Haz un comentario de estos datos, ateniéndote a las siguientes indicaciones.

- a) **¿Cuál puede ser la razón del enorme contraste entre la abundancia del calcio en el cuerpo humano y en el conjunto de la materia viva?**
 - b) **¿De qué formas puede encontrarse el calcio en la materia viva?**
 - c) **¿Merece el calcio el título de oligoelemento? Razona tu respuesta.**
- a) La razón obvia es el esqueleto óseo del cuerpo humano está impregnado de sales de calcio. Esto hace que la proporción de este bioelemento sea mucho mayor que en el conjunto de los seres vivos.
 - b) Puede encontrarse disuelto como catión Ca^{2+} , realizando diversas funciones en el metabolismo (por ejemplo, la contracción muscular), y en estructuras sólidas formadas por sales cristalizadas (por ejemplo, carbonato, en conchas de moluscos, impregnación del caparazón de los crustáceos, esqueleto de los erizos de mar, corales y fosfato en el tejido óseo).
 - c) Respecto al cuerpo humano, el calcio no merece el nombre de oligoelemento por su abundancia. Respecto al conjunto de la materia viva, podría discutirse.

1.7. ¿Qué ventajas tiene la microscopía electrónica sobre la óptica? ¿En qué se diferencian ambos tipos de microscopía? ¿Qué tipo de microscopio de los antes citados utilizarías para hacer un recuento de glóbulos rojos? Razona la respuesta.

La microscopía electrónica permite realizar un análisis ultraestructural de la muestra, alcanzando en condiciones óptimas un aumento de $\times 500\,000$. La microscopía óptica permite el análisis estructural con un aumento máximo de $\times 2500$.

El microscopio óptico consta de dos juegos de lentes: el ocular y el objetivo; es fácilmente transportable, y el tamaño mínimo observable es de 120 nm. Permite la observación *in vivo*.

El microscopio electrónico utiliza como fuente de radiación un haz de electrones; no es transportable, y el tamaño mínimo observable es de 1 nm en el microscopio electrónico de transmisión (MET) y de 10 nm en el microscopio electrónico de barrido (MEB). No permite la observación in vivo.

Para hacer un recuento de glóbulos rojos es necesario hacer una observación in vivo, para lo que habría que utilizar un microscopio óptico.

1.8. Considera de qué modo los avances tecnológicos han influido en los avances de las ciencias experimentales como, por ejemplo, la biología.

En el ámbito de la biología celular, ¿qué avances te parecen trascendentales?

El pensamiento científico debe cumplir, obligatoriamente, unos requisitos: la fiabilidad de los datos obtenidos, la posibilidad de reproducir los mismos, la precisión de las técnicas de medición, la objetividad del experimentador, etc. El conocimiento basado en el método científico es un saber cierto, verificable y objetivo.

En biología, el método utilizado es la experimentación, cuyos resultados permiten formular modelos y teorías. Las teorías son modelos contrastados y consolidados, que explican un fenómeno y representan una base para futuras investigaciones. El conocimiento científico se incrementa con el conocimiento de las diferentes teorías, y tiene una clara dependencia de la evolución tecnológica.

La obtención de datos requiere una observación precisa de la realidad con métodos precisos. El avance tecnológico permite disponer de técnicas y aparatos que facilitan la investigación científica.

La recogida de datos no tiene solo origen en el mundo de la naturaleza, sino en las observaciones previas realizadas por otros científicos. El progreso de las comunicaciones modernas facilita enormemente la actividad científica, que ha experimentado un notable cambio con la aparición de internet.

La red de redes permite a la comunidad científica disponer de forma gratuita de gigantescas bases de datos de secuencias genéticas, estructuras de proteínas y bases bibliográficas.

Los grandes conocimientos que se tienen hoy día sobre citología no hubieran sido posibles sin el extraordinario desarrollo que han experimentado las técnicas para poder observar aquello que el ojo humano no puede apreciar. Desde la construcción del primer microscopio hasta las modernas técnicas de microscopía electrónica han pasado casi cuatrocientos años. La elaboración de la teoría celular no hubiera sido posible sin la aparición del microscopio óptico. El conocimiento de la estructura celular ha avanzado al utilizar microscopios ópticos de mayor poder de resolución; además, el análisis ultraestructural de la célula ha sido posible desde la aparición del microscopio electrónico.

1.9. Los avances de la citología han estado ligados a los correspondientes progresos tecnológicos.

a) Indica los dos instrumentos más utilizados para el estudio morfológico de las células, especificando las fuentes de emisión y los aumentos máximos posibles.

b) ¿Cuál de ellos no utilizarías para la observación de células vivas?

a) Los dos instrumentos más utilizados para el estudio morfológico de las células son el microscopio óptico y el microscopio electrónico.

El microscopio óptico utiliza como fuente de emisión los fotones de la luz visible, y alcanza un aumento máximo de $\times 2500$.

El microscopio electrónico utiliza como fuente de emisión un haz de electrones. El aumento máximo es de $\times 500\,000$ en el microscopio electrónico de transmisión (MET), y de $\times 20\,000$ en el microscopio electrónico de barrido (MEB).

b) Para la observación de células vivas no se utilizaría el microscopio electrónico, ya que siempre es necesario emplear técnicas de fijación y deshidratar la muestra; además, se produce un aumento de la temperatura por el bombardeo de electrones.

1.10. ¿Cuáles son las diferencias entre los términos “resolución” y “aumento” en un microscopio?

El poder de resolución o poder separador de una lente es la capacidad que posee de separar dos puntos muy cercanos en el campo visual como entidades diferentes.

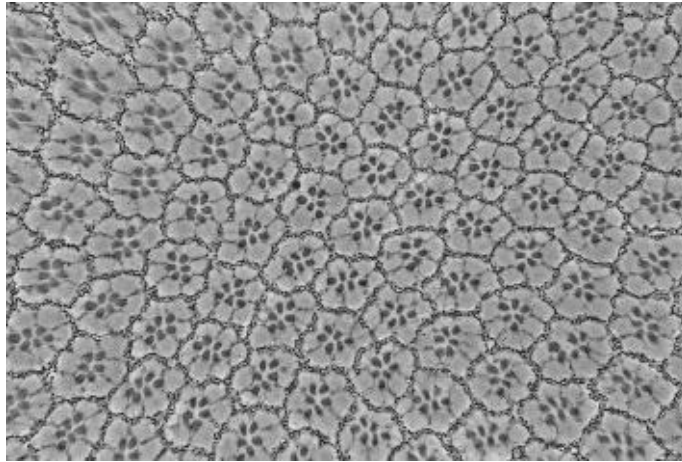
1.11. ¿Cuál es la finalidad de la fijación de tejidos frescos para su observación al microscopio óptico?

La fijación evita la autólisis y la putrefacción. Consiste en la estabilización de las estructuras celulares, precipitando los componentes solubles de las células y tejidos. Existen dos tipos de fijación: la fijación física, que se realiza mediante congelación de la muestra, y la fijación química, que se consigue sumergiendo la muestra en líquidos fijadores como el etanol.

1.12. ¿Cómo consideras que puede afectar la técnica de fijación a la observación de la estructura de una célula en el microscopio óptico?

La fijación impide la observación *in vivo*, pero permite obtener preparaciones permanentes con estructuras celulares estables. No obstante, existe el riesgo de que el proceso de fijación, cualquiera que sea, altere la estructura de la célula o sus constituyentes moleculares.

1.13. Indica cuál crees que es la técnica que se ha utilizado para la preparación que aparece en la fotografía.



La técnica empleada es la tinción con un colorante que presenta diferente afinidad por las estructuras celulares; facilita su observación, ya que las células en su estado natural, aunque hayan sido fijadas y seccionadas, son casi invisibles al microscopio óptico convencional.

1.14. ¿Por qué las muestras observadas en el microscopio electrónico deben ser contrastadas con metales pesados para su conservación?

El contraste de las muestras en el microscopio electrónico depende del número atómico de los átomos de la muestra. Para aumentar este contraste, las muestras se impregnan con sales de metales pesados, que a su vez “tiñen” o impregnan de forma diferencial a los distintos componentes moleculares de las células. El objetivo es aumentar el contraste de la imagen y resaltar las estructuras. Así, por ejemplo, las sales de osmio tienden a impregnar, principalmente, los lípidos; este hecho permite resaltar las membranas celulares.

1.15. Cada técnica analítica está indicada para el estudio de un aspecto concreto de la materia, y, por tanto, supone una limitación a las características de la muestra que se quiere analizar.

Con el microscopio electrónico no se pueden observar muestras *in vivo*.

a) ¿Por qué crees que sucede?

b) ¿Qué tipo de microscopia utilizarías para observar una célula en movimiento?

a) El procesamiento del material para microscopia electrónica requiere la fijación de la muestra, lo que implica la precipitación de los componentes solubles de las células. Además, el bombardeo de electrones provoca un aumento de la temperatura.

b) Para observar una célula en movimiento se utilizaría un microscopio óptico de contraste de fase, puesto que permite observar células sin teñir, por lo que resulta útil en el estudio de las células vivas. Con él, las diferencias en el índice de refracción de las partes de la muestra se convierten en diferencias de intensidad (brillo y oscuridad) que son visibles para el ojo.

1.16. ¿Qué tipo de técnica previa sería necesaria para abordar el estudio de orgánulos celulares aislados? Razona la respuesta.

Para abordar el estudio de orgánulos celulares aislados es necesario fraccionar el contenido celular mediante ultracentrifugación. Esta técnica consiste en someter una mezcla homogeneizada de un tejido cualquiera a una rotación de elevada velocidad angular, originándose una fuerza centrífuga de miles de veces el valor de la fuerza de gravedad. De este modo –aunque las masas de distintas partículas sean muy similares– se consigue que sedimenten en tiempos distintos, quedando los diferentes componentes estratificados en el fondo del tubo.

En función del radio de giro, de la velocidad angular y de la velocidad de sedimentación se establecen unidades que ayudan a clasificar los cuerpos sedimentados.

1.17. ¿Por qué consideras que las muestras que van a ser estudiadas al microscopio electrónico se colocan sobre una rejilla metálica?

La fundamentación del microscopio electrónico consiste en la dispersión que se produce en el chorro de electrones incidente al chocar con la muestra. Para ello, la muestra debe teñirse con átomos de metales pesados como el oro o el osmio. El resultado es una imagen en blanco y negro, en la que las zonas más claras se corresponden con las regiones menos densas que han permitido el paso de los electrones. Si se colocara la muestra en una placa metálica, el resultado sería la dispersión total, dando lugar a una imagen totalmente negra. Es preciso el uso de una rejilla para que permita el paso de los electrones que no han sido dispersados por ninguna estructura.

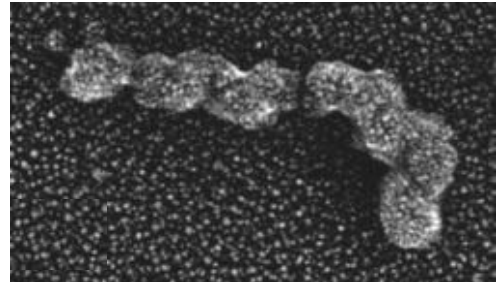
1.18. ¿Qué efectos tiene la deshidratación de las muestras sobre la materia viva? ¿Cómo crees que se resuelve este problema en la preparación de muestras para el microscopio electrónico?

La eliminación de agua tiene un efecto sumamente destructivo sobre la estructura celular, por lo que en las preparaciones para el microscopio electrónico de barrido (MEB) es necesario someter las muestras a la técnica de secado hasta el punto crítico.

Cada solvente, dentro de un recipiente cerrado donde la densidad de vapor es igual a la densidad de líquido, tiene una temperatura y presión críticas. En este punto no existe tensión superficial entre el gas y el líquido. El solvente de la célula se sustituye por un fluido de transición en estado líquido –generalmente, dióxido de carbono– que vaporiza bajo presión, de modo que las células no se expongan a ninguna tensión superficial, ya que podría afectar a su estructura tridimensional.

1.19. La fotografía muestra la fibra de cromatina de 30 nm. ¿Qué tipo de microscopio se ha utilizado para obtener esta imagen? Justifica la respuesta.

El tamaño de la fibra de cromatina de 30 nm exige el empleo del microscopio electrónico, ya que el tamaño mínimo observable a través del microscopio óptico es de 120 nm. En la fotografía en blanco y negro se aprecia relieve, por lo se ha utilizado un microscopio electrónico de barrido (MEB).



1.20. Describe en qué consiste la técnica de estudio de la materia viva denominada cromatografía. ¿Qué diferencias hay entre la fase móvil y la fase inmóvil?

La cromatografía reúne una gran variedad de técnicas destinadas a fraccionar una mezcla de componentes disueltos, a medida que se desplazan a través de una matriz porosa. La técnica, en general, se basa en la diferente afinidad que tienen las moléculas por un disolvente y por la trama porosa de la matriz a través de la que fluyen.

Existen diferentes tipos de cromatografía en función del soporte poroso: la cromatografía en capa fina (gel de sílice sobre vidrio) y en columna (capas de materiales inertes, finamente granulados, dispuestas en un cilindro a través del cual fluye el eluyente). La cromatografía de alta resolución (HPLC: *High Pressure Liquid Chromatography*) es una variedad de cromatografía en columna, en la que la velocidad de migración aumenta considerablemente.

Cualquier tipo de cromatografía ofrece a los componentes de la mezcla dos fases alternativas, a las que pueden asociarse una fase móvil que contiene el solvente y una fase inmóvil formada por la matriz porosa.

Cuanto mayor es la afinidad de una molécula por la matriz, más lento será su avance a través de la misma. Como los componentes de una mezcla tienen distinta afinidad por la matriz, se separarán diferencialmente.

1.21. ¿Cuáles son las diferencias entre la cromatografía y la electroforesis? ¿Qué tipo de moléculas se separan mejor por electroforesis? ¿Por qué?

La cromatografía y la electroforesis son técnicas destinadas a fraccionar una mezcla de componentes disueltos, a medida que se desplazan a través de una matriz porosa.

La cromatografía se basa en la diferente afinidad que tienen las moléculas por un disolvente, y por la trama porosa de la matriz a través de la que fluyen. La electroforesis tiene el mismo fundamento físico que la cromatografía, pero se lleva a cabo en presencia de un campo eléctrico.

Las moléculas con carga eléctrica neta, como las proteínas, son las que mejor se separan por electroforesis en función de su capacidad para migrar en el campo eléctrico. La migración de cada porción proteica depende no solo de su tamaño, forma y afinidad por el disolvente o el soporte poroso, sino también de su carga eléctrica.

1.22. ¿Pueden existir compuestos diferentes con la misma fórmula molecular? ¿Y con la misma fórmula semidesarrollada? Pon ejemplos.

En ambos casos, la respuesta es afirmativa. En la fórmula molecular, nada se dice del modo en que están unidos entre sí los átomos que la integran. Por tanto, caben varias posibilidades que corresponden a moléculas distintas.

En la fórmula semidesarrollada obtenemos más información sobre la unión de los átomos, pero no tenemos ninguna sobre su orientación espacial; por tanto, también pueden representarse varias moléculas distintas con una misma fórmula semidesarrollada.

El ejemplo para ambos casos sería la fórmula molecular $C_6H_{12}O_6$.

Esta misma, semidesarrollada, sería $CHO-CHOH-CHOH-CHOH-CHOH-CH_2OH$.

Dado que en esta molécula existen cuatro carbonos asimétricos (los carbonos 2, 3, 4 y 5), el H y el OH podrán disponerse de forma distinta en cada uno de ellos según los vértices de un tetraedro, dando así toda la serie de estereoisómeros. Esta fórmula semidesarrollada serviría para 16 isómeros posibles de aldohexosas: 8 de la serie D (que son los que existen en la naturaleza), y 8 para la serie L.

La fórmula molecular propuesta todavía abarcaría más moléculas, como las aldohexosas y las cetoheptosas, pues en ella no se especifica si se trata de un aldehído o de una cetona.

1.23. Completa el cuadro comparativo entre el microscopio óptico y el microscopio electrónico.

	Microscopio óptico	Microscopio electrónico
Poder de resolución	0,12 μm con radiación ultravioleta.	10 Å.
Formación de la imagen	Mediante dos sistemas de lentes de vidrio.	Mediante dos sistemas de lentes electromagnéticas.
Aplicación	Observaciones <i>in vivo</i> , en fresco y sin teñir, o fijadas y teñidas.	Observaciones fijadas e impregnadas, de modo que metales pesados se acumulen en las regiones hidrófilas del material.
Condiciones de las preparaciones	Grosor de 5 a 10 μm . Montaje sobre vidrio: portaobjetos y cubreobjetos.	Grosor de cientos de Ångströms. Montaje sobre una rejilla metálica en tubo de alto vacío.

Dando valores aproximados y fijándonos en lo más importante de cada caso. En cuanto al poder de resolución, lo interpretamos como "tamaño mínimo" observable.

1.24. ¿Por qué crees que el microscopio electrónico ha revelado muchos detalles importantes sobre la ultraestructura celular que no había revelado, anteriormente, el microscopio óptico? Razona la respuesta.

Porque el poder de resolución del microscopio electrónico es mucho mayor que el del óptico. Aunque la imagen obtenida con el microscopio óptico se aumente mucho (por ejemplo, proyectándola en una pantalla), no nos da más detalle sobre la estructura del objeto observado. De ahí, el término *ultraestructura*: lo que nos permite ver el microscopio electrónico está *más allá* (*ultra*) de lo que observamos con el óptico.

1.25. Contesta a las siguientes preguntas referidas al microscopio óptico.

- a) ¿Cuál es el papel que tiene el condensador en el microscopio óptico?
 - b) ¿Cómo se regula la intensidad luminosa que entra por el condensador?
 - c) ¿Qué funciones tienen el ocular y el objetivo en la formación de una imagen?
 - d) Si al observar una muestra, vemos que el ocular utilizado es 10x y el objetivo 100x, ¿a cuántos aumentos estamos observando la preparación?
-
- a) Concentrar el haz de luz, de modo que aumente la intensidad de la iluminación de la preparación.
 - b) Graduando la intensidad luminosa de la lámpara de incandescencia. También puede influir en esto el diafragma de campo (no siempre lo tiene el microscopio).
 - c) El objetivo produce una imagen invertida del objeto. Esta imagen es el objeto para el ocular, que la amplía sin invertirla.
 - d) A 1000 aumentos, ya que el aumento total es el producto de ambos.

1.26. De los siguientes elementos químicos presentes en la materia viva, indica cómo los clasificarías y la misión que ejercen en los seres vivos.

- a) **Carbono.**
 - b) **Azufre.**
 - c) **Sodio.**
 - d) **Hierro.**
-
- a) y b) El carbono y el azufre están en el grupo de elementos “primarios”, por ser los más abundantes; aunque el azufre es más escaso que el carbono. El carbono está en todas las biomoléculas exclusivas de la materia viva. El azufre está en algunos aminoácidos integrantes de proteínas (metionina, cisteína) y en algunos derivados de glúcidos (heteroglicanos, como el ácido condroitinsulfúrico y la heparina).
 - c) El sodio está en el grupo de los bioelementos “secundarios”, pero no por ello menos importantes. Su presencia como ión es fundamental para el equilibrio osmótico de las células.
 - d) El hierro está clasificado entre los oligoelementos: bioelementos muy escasos, pero cuya importancia es grande. En este caso, tomamos como ejemplo la molécula de hemoglobina: en cada una existen cuatro átomos de Fe, que hacen posible el adecuado transporte de oxígeno en la sangre.

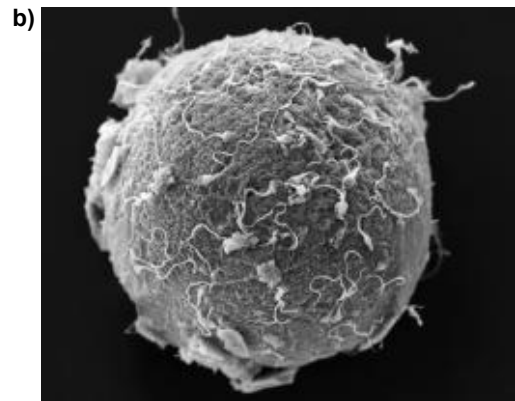
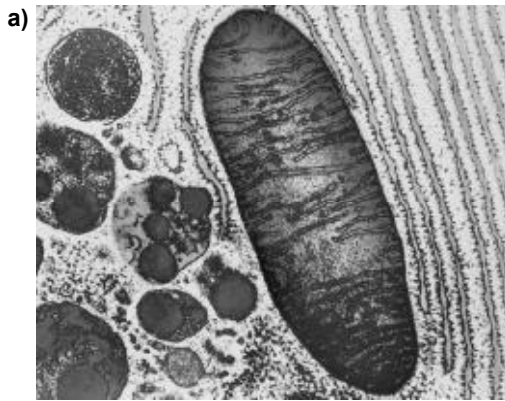
1.27. ¿Con qué tipo de microscopio sería posible estudiar la secuencia ordenada en la separación de los cromosomas durante la mitosis?

Con el óptico, porque el tamaño de los cromosomas está muy por encima del tamaño mínimo observable, y porque este microscopio nos permite hacer observaciones *in vivo*.

1.28. ¿Por qué algunos elementos químicos se denominan oligoelementos? ¿Crees que son indispensables para la vida? Señala algún ejemplo de oligoelemento que conozcas, e indica su función biológica.

Se denominan oligoelementos (en griego, *poco*) por su escasez en la materia viva. Sin embargo, tienen gran importancia en el metabolismo. Ejemplos: el hierro es fundamental para el transporte del oxígeno en la sangre (cuatro átomos de Fe en cada molécula de hemoglobina). El cobalto está en la molécula de la vitamina B₁₂ (cobalamina), que es la vitamina antianémica. Ambas funciones son indispensables para el equilibrio de las funciones vitales.

1.29. Indica con qué tipo de microscopio se han obtenido las siguientes microfotografías. Argumenta tu respuesta.



- a) Esta imagen está producida por el microscopio electrónico de transmisión. Los colores son ficticios, pues los electrones “no tienen color”, sino que inciden sobre una pantalla fluorescente. La luz emitida por esta pantalla es monocromática, o sea, se obtiene una imagen con zonas claras y oscuras. En la imagen, se observa claramente una mitocondria, coloreada en rojo; se trata de una sección longitudinal de este orgánulo membranoso. No se aprecian las dos membranas, pues se necesitaría mayor aumento y buena resolución, pero sí se ven con claridad las abundantes crestas, que son repliegues o invaginaciones transversales de la membrana interna. A la derecha, se ve el retículo endoplasmático rugoso, es decir, recubierto de abundantes ribosomas (los puntitos oscuros).
- b) Imagen obtenida con microscopio electrónico de barrido, que produce la sensación de relieve. Se trata de un ovocito, probablemente de mamífero, rodeado de espermatozoides adheridos. El color es ficticio, como hemos explicado en la imagen anterior. Se aprecia la gran diferencia de tamaño entre el gameto femenino y el masculino. Las briznas y salientes irregulares del ovocito pueden corresponder a restos de la *corona radiata*, que suelen acompañar al ovocito al ser expulsado del ovario.

1.30. El silicio y el carbono son elementos químicos que pertenecen al mismo grupo de la tabla periódica, poseen configuración electrónica similar en su última capa y, por tanto, muchas propiedades químicas semejantes; sin embargo, aunque el silicio aparece en una alta proporción en la corteza terrestre, la vida está basada en el carbono. ¿A qué crees que es debido?

Una poderosa razón es que el dióxido de silicio (SiO_2), que sería el equivalente al CO_2 , es sólido en la temperatura ambiente (el cuarzo funde a unos 1700°C), lo cual haría prácticamente imposible su intercambio con el ambiente, tanto en la respiración mitocondrial (se expulsa CO_2) como en la fase oscura de la fotosíntesis (se asimila CO_2). Con solo esto, ya se descarta la posibilidad de que la vida se base en el silicio.

UN PASO MÁS

1.31. Dispones de dos microscopios ópticos, A y B, con las siguientes características.

A: 1000 aumentos; luz anaranjada; AN del objetivo: 1,25.

B: 800 aumentos; luz azul; AN del objetivo: 1,30.

Sabiendo que ambos permiten la inmersión del objetivo en aceite, indica cuál escogerías y por qué.

El criterio de elección de un microscopio u otro se basa en el tamaño mínimo observable, que es el inverso del poder de resolución; este viene dado por la relación entre la apertura numérica y la longitud de onda de la luz utilizada ($\text{PR} = \text{AN} / \lambda$). Por tanto, suponiendo $\lambda = 0,7 \mu\text{m}$ en el caso (A) y $\lambda = 0,5 \mu\text{m}$ para el (B), el primero permitirá observar un tamaño mínimo de $0,56 \mu\text{m}$ y el segundo, de $0,38 \mu\text{m}$. Esto hace aconsejable escoger el microscopio (B), aunque su aumento sea un 20% menor que el del (A).

- 1.32. Dada la abundancia del silicio en la corteza terrestre, se ha especulado en ocasiones sobre la posibilidad de que en la Tierra se hubiesen formado las células vivas construyendo sus biomoléculas con ese elemento, en lugar del carbono, manteniéndose los demás bioelementos en la misma proporción que actualmente conocemos. Razona tu opinión sobre esta imaginaria propuesta.**

La orientación de los orbitales de los cuatro electrones de enlace del átomo de silicio es similar a la del átomo de carbono en configuración sp^3 , es decir, están orientados según los vértices de un tetraedro. Además, el silicio se puede unir consigo mismo formando cadenas. El hecho de que el peso atómico del silicio y su radio atómico sean mayores que los del carbono, repercutiría en la masa y tamaño totales de las células y de los organismos, que serían de mayor tamaño, pero sin cambiar la proporción de sus formas. Todas estas consideraciones apoyan positivamente la hipótesis del enunciado. Sin embargo, dado que es esencial para todo ser viviente la posibilidad de intercambio de determinadas sustancias con el ambiente —entre ellas, está la expulsión de CO_2 al medio tanto para las plantas como para los animales—, nos encontramos con que el dióxido de silicio (SiO_2) a temperatura ambiente es sólido. Recordemos que los cristales de cuarzo funden a unos $1700\text{ }^\circ\text{C}$, lo cual haría inviable el proceso de la respiración y, por tanto, se anula la posibilidad de vida organizada sobre el silicio en lugar del carbono.

- 1.33. Con el microscopio óptico no se pueden apreciar los detalles del interior de bacterias teñidas que tengan un tamaño de 500 nm, de modo que lo único observable es su silueta. Indica qué características deberá reunir el microscopio utilizado para que la observación sea lo más nítida posible.**

Para obtener mayor nitidez hay que conseguir un poder de resolución lo mayor posible. Este poder de resolución, suponiendo una apertura numérica fija y un objetivo de inmersión, aumentará cuanto menor sea la longitud de onda de la radiación utilizada. Podría iluminarse la preparación con luz azul o, mejor todavía, con lámpara ultravioleta, pero tomando las precauciones necesarias.

- 1.34. Respecto a los métodos de estudio de la materia viva, sabemos lo siguiente.**

- a) **La cromatografía se utiliza para separar sustancias semejantes que están en disolución. Describe brevemente el fundamento de este método, y explica por qué es importante el factor que añade el método de la electroforesis.**
- b) **La ultracentrifugación consigue separar partículas semejantes en densidad y en tamaño, pero no iguales. ¿Cómo lo consigue? Exponlo brevemente.**

- a) El fundamento de la cromatografía estriba, por una parte, en el fenómeno de la capilaridad (un líquido cuya adherencia a las paredes del recipiente es mayor que su cohesión molecular, ascenderá por un tubo capilar o también entre láminas paralelas muy próximas) y, por otra parte, en la mayor o menor afinidad que las distintas partículas disueltas tengan por mantenerse suspendidas en el propio líquido o por quedar adsorbidas (adsorción: adherencia a la superficie de la trama porosa) en el soporte donde se realiza la cromatografía. Las sustancias que tengan más afinidad por el disolvente migrarán más lejos, y las que mayor tendencia tengan a quedar adsorbidas quedarán más cerca del punto origen donde se colocó la muestra. La electroforesis añade el factor de someter la muestra a un campo eléctrico, de modo que las partículas, además de migrar más o menos lejos por las razones ya dichas, aumentarán su velocidad de migración huyendo del electrodo que sea del mismo signo que la carga de la partícula, tanto más cuanto mayor sea esta.
- b) En la ultracentrifugación, al someter las partículas suspendidas a una artificial fuerza gravitatoria mucho más intensa que la terrestre (gracias a la enorme velocidad angular del aparato), resulta que las pequeñas diferencias de densidad entre las partículas son suficientes para que las velocidades de caída sean lo bastante distintas como para que queden sedimentadas en capas diferenciadas. También hay que decir que, a igualdad de densidad, las partículas más pequeñas son las últimas en sedimentarse porque, al ser mayor en ellas la relación superficie/volumen, el efecto de frenado que produce su rozamiento con el líquido es más eficaz.

ACTIVIDADES PAU RESUELTAS

- 2.1. Explica las razones por las que consideramos el agua como disolvente universal. ¿Por qué es tan importante esta función en los seres vivos?

Actividad resuelta en el libro del alumno.

- 2.2. Respecto a las sales minerales solubles, indica si son verdaderas o no las siguientes afirmaciones.

- Aportan energía a las células.
- En solución están disociadas en iones.
- Realizan una función catalítica.
- Solo se encuentran en células con función de sostén.

Actividad resuelta en el libro del alumno.

- 2.3. Entre el líquido intracelular y el líquido extracelular de una célula animal se observan las siguientes concentraciones de los productos A, B y C.

LÍQUIDO INTRACELULAR		LÍQUIDO EXTRACELULAR		Al cabo de unos minutos, se observan los siguientes cambios.	LÍQUIDO INTRACELULAR		LÍQUIDO EXTRACELULAR	
A	10 nM	A	4 nM		A	12 nM	A	2 Nm
B	50 nM	B	30nM		B	40 nM	B	40 Nm
C	5 nM	C	20nM		C	5 nM	C	20 nM

- Nombra qué procesos han utilizado los compuestos A y B para moverse de un lado a otro de la membrana.
- Señala la diferencia fundamental entre un proceso y otro.
- ¿Por qué no han cambiado las concentraciones de C?

Actividad resuelta en el libro del alumno.

ACTIVIDADES

- 2.4. Relaciona la densidad del agua con su importancia para el mantenimiento de la vida.

La densidad del agua es máxima a 4 °C, por lo que en estado líquido es más densa que en estado sólido.

Esta propiedad permite la **vida acuática** en climas fríos, ya que al descender la temperatura, se forma una capa de hielo en la superficie; esta capa flota y protege de los efectos térmicos del exterior al agua líquida que queda bajo ella, permitiendo la supervivencia de muchas especies.

- 2.5. Comenta brevemente la importancia del agua para los seres vivos. ¿Qué propiedades del agua le confieren dicha importancia? Razona la respuesta.

El agua es la molécula más abundante de la materia viva. Los organismos pueden obtenerla directamente del medio ambiente o generarla a partir de otras moléculas mediante diferentes reacciones químicas.

Presenta una serie de propiedades inherentes a su estructura molecular, que permiten la realización de funciones biológicas imprescindibles para el mantenimiento de la vida.

- **Elevada cohesión molecular.** El hecho de ser un fluido dentro de un amplio margen de temperatura permite al agua dar volumen a las células, **turgencia** a las plantas e incluso actuar como un **esqueleto hidrostático** en algunos animales invertebrados. También explica las **deformaciones** que experimentan algunas estructuras celulares como el citoplasma, y la función **mecánica amortiguadora** que ejerce en las articulaciones de los animales vertebrados, constituyendo el líquido sinovial que evita el contacto entre los huesos.

- **Elevada tensión superficial.** Las moléculas de la superficie del agua experimentan fuerzas de atracción netas hacia el interior del líquido. Esto favorece que dicha superficie oponga una gran resistencia a ser traspasada, y origina una “película superficial” que permite, por ejemplo, el **desplazamiento** sobre ella de algunos organismos.
- **Elevada fuerza de adhesión.** Las moléculas de agua tienen gran capacidad de adherirse a las paredes de conductos de diámetros pequeños, ascendiendo en contra de la acción de la gravedad. Este fenómeno se conoce con el nombre de **capilaridad**, y contribuye, por ejemplo, a la ascensión de la savia bruta a través de los vasos leñosos.
- **Elevado calor específico.** Las moléculas de agua pueden absorber gran cantidad de calor, sin elevar por ello su temperatura, ya que parte de la energía es empleada en romper los enlaces de hidrógeno. Esta propiedad explica su función **termorreguladora**, al mantener la temperatura interna de los seres.
- **Densidad.** Es máxima a 4 °C, por lo que en estado líquido es más densa que en estado sólido. Esta propiedad permite la **vida acuática** en climas fríos, ya que al descender la temperatura se forma una capa de hielo en la superficie; esta capa flota y protege de los efectos térmicos del exterior al agua líquida que queda bajo ella, permitiendo la supervivencia de muchas especies.
- **Elevado calor de vaporización.** Cuando el agua pasa de estado líquido a estado gaseoso, necesita absorber mucho calor para romper todos los enlaces de hidrógeno. Cuando el agua se evapora en la superficie de un ser vivo, absorbe el calor del organismo, actuando como **regulador térmico**. Gracias a esta propiedad se puede eliminar gran cantidad de calor con poca pérdida de agua.
- **Elevada constante dieléctrica.** Las moléculas de agua, debido a su carácter polar, tienden a disminuir las atracciones entre los iones de las sales y otros compuestos iónicos, facilitando su disociación en forma de cationes y aniones, y rodeándolos por dipolos de agua que impiden su unión. Este fenómeno se conoce como **solvatación iónica**. Esta tendencia del agua a oponerse a las atracciones electrostáticas entre iones positivos y negativos viene determinada por su elevada constante dieléctrica. Este factor, superior al de otros disolventes líquidos, favorece la disolución de las redes cristalinas en agua. El agua puede también manifestar su acción como disolvente mediante el establecimiento de **enlaces de hidrógeno** con otras moléculas que contienen grupos funcionales polares, como alcoholes, aldehídos o cetonas, provocando su dispersión o disolución. El agua es el **principal disolvente biológico**; permite el **transporte de sustancias** en el interior de los seres vivos y su intercambio con el medio externo, facilitando el aporte de sustancias nutritivas y la eliminación de productos de desecho. Otra importante función biológica derivada de esta propiedad es constituir el medio en el que se verifican la mayoría de las reacciones bioquímicas, y, en ocasiones, además, intervenir de forma activa en la reacción, como en el caso de las hidrólisis.
- **Bajo grado de ionización.** En el agua líquida existe una pequeñísima cantidad de moléculas ionizadas (disociadas en sus iones). La tendencia a ionizarse permite al agua actuar como ácido débil o como base débil. Esta es la razón de las interacciones del agua con las macromoléculas celulares. De estas interacciones derivan muchas de las propiedades biológicas importantes de dichas macromoléculas.
- **Elevado calor latente.** Las moléculas de agua han de absorber o ceder gran cantidad de calor para cambiar de estado físico. Este calor no produce alteración de la temperatura del agua.

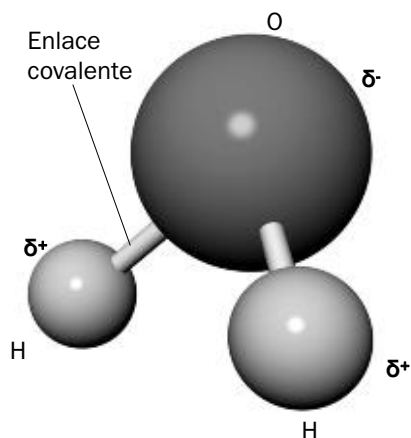
2.6. Explica, ayudándote de un dibujo, una de las propiedades más importantes del agua: la fuerte cohesión entre sus moléculas.

La molécula de agua está formada por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno, unidos por enlaces covalentes.

Es eléctricamente neutra, aunque sus átomos tienen diferentes valores de electronegatividad o capacidad de atraer a los electrones, lo que da lugar a un exceso de carga negativa sobre el átomo de oxígeno y un exceso de carga positiva sobre los átomos de hidrógeno.

La distribución espacial de cargas eléctricas se definió como **momento dipolar** y da lugar a una molécula caracterizada por la ausencia de carga neta en la que se establece un dipolo y que adquiere **carácter polar**.

Debido a su carácter polar, las moléculas de agua pueden interaccionar entre sí, mediante atracciones electrostáticas, estableciendo enlaces de hidrógeno. Cada átomo de oxígeno cargado negativamente ejerce atracción sobre cada una de las cargas parciales positivas de dos átomos de hidrógeno; así, cada molécula de agua puede formar hasta cuatro enlaces de hidrógeno: dos con cada uno de los átomos de hidrógeno y otros dos con cada átomo de oxígeno, igualmente las moléculas de agua pueden formar enlaces de hidrógeno con otras moléculas polares o iones.



A pesar de la relativa debilidad de los enlaces de hidrógeno, su presencia confiere una estructura interna al agua que permite explicar algunas de sus características más importantes.

El hecho de encontrarse en estado líquido dentro de un amplio margen de temperatura permite al agua dar **volumen** a las células, **turgencia** a las plantas e incluso actúa como **esqueleto hidrostático** en algunos animales invertebrados. También explica las deformaciones que experimentan algunas estructuras celulares como el citoplasma y la **función mecánica amortiguadora** que ejerce en las articulaciones de los animales vertebrados, constituyendo el líquido sinovial que evita el contacto entre los huesos.

2.7. Describe la estructura de la molécula de agua, y explica el proceso de disolución de una sustancia soluble en ella, como, por ejemplo, el cloruro sódico o sal común.

La molécula de agua está formada por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno, unidos por enlaces covalentes simples que forman un ángulo de $104,5^\circ$.

Es **eléctricamente neutra**, aunque sus átomos tienen diferentes valores de electronegatividad o capacidad de atraer a los electrones. El átomo de oxígeno es más electronegativo que el de hidrógeno; por ello, los electrones de los enlaces entre estos dos átomos están desplazados hacia el oxígeno. Este desplazamiento da lugar a un exceso de carga negativa sobre el átomo de oxígeno, y un exceso de carga positiva sobre los dos átomos de hidrógeno. La distribución espacial de cargas eléctricas se define como momento dipolar, y da lugar a una molécula caracterizada por la ausencia de carga neta en la que se establece un dipolo y que adquiere carácter polar.

Debido a su **carácter polar**, las moléculas de agua pueden interactuar entre sí mediante atracciones electrostáticas, estableciendo enlaces de hidrógeno. Cada átomo de oxígeno con densidad de carga negativa ejerce atracción sobre cada una de las cargas parciales positivas de los átomos de hidrógeno de otras moléculas; así, cada molécula de agua puede formar hasta cuatro enlaces de hidrógeno: dos por medio de cada uno de sus átomos de hidrógeno, y otros dos con cada átomo de oxígeno. Igualmente, las moléculas de agua pueden formar enlaces de hidrógeno con otras moléculas polares o iones.

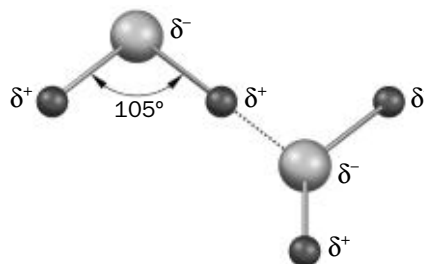
Las moléculas de agua presentan una elevada **constante dieléctrica**, es decir, tienden a oponerse a las atracciones electrostáticas entre iones positivos y negativos. Este factor, superior al de otros disolventes líquidos, favorece la disolución de redes cristalinas. Las moléculas de agua, debido a su carácter polar, tienden a disminuir las atracciones entre los iones de cloruro sódico, facilitando su disociación en forma de cationes (Na^+) y aniones (Cl^-), y rodeándolos por dipolos de agua que impiden su unión.

2.8. El agua tiene dos propiedades como son su alto calor específico y su alto calor de vaporización. Indica en qué consiste cada una de ellas, y las ventajas que suponen para los seres vivos.

Gracias al **elevado calor específico**, las moléculas de agua pueden absorber gran cantidad de calor sin elevar notablemente, por ello, su temperatura, ya que parte de la energía es empleada en romper los enlaces de hidrógeno. Esta propiedad explica su función termorreguladora, manteniendo constante la temperatura interna de los seres vivos.

El **elevado calor de vaporización** permite eliminar gran cantidad de calor con poca pérdida de agua. Cuando el agua pasa de estado líquido a estado gaseoso, necesita absorber mucho calor para romper todos los enlaces de hidrógeno.

2.9. En relación con la imagen adjunta, responde las siguientes cuestiones.



- Identifica la sustancia representada, y explica los criterios utilizados para identificarla.
- ¿Qué tipo de enlace se establece entre ambas moléculas?
- Explica una consecuencia biológica de la existencia de estos enlaces.
- Indica cinco funciones que realiza esta sustancia en los seres vivos.

- a) La imagen representa dos moléculas de agua. En ella se observan átomos con carga parcial positiva de hidrógeno, unidos a átomos con carga parcial negativa de oxígeno que forman un ángulo característico de 105 grados.
- b) Entre ambas moléculas se establecen enlaces de hidrógeno.
- c) Los enlaces de hidrógeno explican algunas de las propiedades del agua de gran importancia biológica:
- La íntima unión entre las moléculas, a través de los enlaces de hidrógeno, permite al agua ser un fluido dentro de un amplio margen de temperatura. Gracias a esta propiedad, el agua puede dar volumen a las células, turgencia a las plantas e incluso actuar como esqueleto hidrostático en algunos animales invertebrados. Explica las deformaciones de algunas estructuras celulares como el citoplasma, y la función mecánica amortiguadora que ejerce en las articulaciones de los animales vertebrados, constituyendo el líquido sinovial que evita el contacto entre los huesos.
 - El agua en estado líquido es más densa que en estado sólido. En estado sólido, el agua presenta todos sus posibles enlaces de hidrógeno, cuatro por cada molécula, formando un retículo que ocupa mayor volumen, por lo que es menos denso. Esta propiedad permite la vida acuática en climas fríos, ya que al descender la temperatura, se forma una capa de hielo en la superficie que flota y protege de los efectos térmicos del exterior al agua líquida que queda bajo ella, lo que permite la supervivencia de muchas especies.
- d) El agua presenta, entre otras, las siguientes funciones:
- **Principal disolvente biológico.** El agua, además de disociar compuestos iónicos, puede manifestar también su acción como disolvente mediante el establecimiento de enlaces de hidrógeno con otras moléculas que contienen grupos funcionales polares como alcoholes, aldehídos o cetonas, provocando su dispersión o disolución.
 - **Función metabólica.** El agua constituye el medio en el que se realizan la mayoría de las reacciones bioquímicas, y en ocasiones, además, interviene de forma activa en la reacción, como en el caso de las hidrólisis. En el proceso de fotosíntesis aporta electrones y H^+ , imprescindibles para la síntesis de moléculas orgánicas; es, además, responsable de la producción de O_2 atmosférico.
 - **Función mecánica amortiguadora.** El ser un líquido incompresible le permite ejercer esta función en las articulaciones de los animales vertebrados, constituyendo el líquido sinovial que evita el contacto entre los huesos.
 - **Función de transporte.** La elevada capacidad disolvente del agua permite el transporte de sustancias en el interior de los seres vivos y su intercambio con el medio externo, facilitando el aporte de sustancias nutritivas y la eliminación de productos de desecho. La capilaridad contribuye a la ascensión de la savia bruta a través de los vasos leñosos.
 - **Función termorreguladora.** El elevado calor específico del agua permite mantener constante la temperatura interna de los seres vivos. El elevado calor de vaporización explica la disminución de temperatura que experimenta un organismo cuando el agua se evapora en su superficie.

2.10. Señala lo incorrecto en relación con las funciones biológicas del agua: es disolvente, termorreguladora, tiene función esquelética en estado sólido, actúa como medio de transporte y aporta hidrógeno y oxígeno.

Son incorrectas las siguientes funciones:

- **Tiene función esquelética en estado sólido.** El agua es líquida en un amplio rango de temperaturas; condición indispensable para que pueda desempeñar su función en el organismo, a pesar de las variaciones de la temperatura. En este estado, el agua da volumen a las células, actúa como termorregulador amortiguando los cambios bruscos de temperatura, y sirve como medio en el que se llevan a cabo todas las reacciones del metabolismo.
Su elevado calor específico le sirve para mantener el organismo a una temperatura constante, lo que implica la presencia de agua en estado líquido.
En el organismo, el agua en estado sólido no es compatible con las temperaturas a las que se desarrolla la actividad del mismo.
- **Aporta hidrógeno y oxígeno.** No es cierto, porque, de hecho, no existen protones desnudos en el agua ionizada ni átomos de oxígeno, sino que son los electrones y los protones los que se desplazan de unas células a otras. La forma normal de ionización son el ión hidronio H_3O^+ y el hidroxilo OH^- ; aunque, de hecho, se generan formas más hidratadas posteriormente.

- 2.11. Una de las propiedades del agua es que permanece líquida a temperaturas compatibles con la vida. Si la comparamos con otros hidruros semejantes químicamente, su temperatura de ebullición debería ser -80°C . ¿A qué debe el agua esta propiedad? ¿Qué consecuencia tendría para los seres vivos el que no fuese semejante a otros hidruros?**

El elevado calor específico permite que las moléculas de agua puedan absorber gran cantidad de calor sin elevar notablemente, por ello, su temperatura, ya que parte de la energía es empleada en romper los enlaces de hidrógeno. Hace falta 1 Kcal para elevar 1°C la temperatura de 1 litro de agua, lo que supone que incrementos o descensos importantes en la temperatura externa produzcan únicamente pequeñas variaciones en el medio acuoso. Esta propiedad explica su función termorreguladora, manteniendo constante la temperatura interna de los seres vivos; algo imposible, si fuera semejante a otros hidruros.

- 2.12. La hoja de una planta al sol tiene, generalmente, menos temperatura que las rocas de su entorno. ¿A qué propiedad fisicoquímica del agua se debe este hecho?**

Al elevado calor específico, que permite que las moléculas de agua presentes en la hoja de la planta puedan absorber gran cantidad de calor sin elevar notablemente, por ello, su temperatura, ya que parte de la energía es empleada en romper los enlaces de hidrógeno. Hace falta 1 Kcal para elevar 1°C la temperatura de 1 litro de agua, lo que supone que incrementos o descensos importantes en la temperatura externa produzcan únicamente pequeñas variaciones en el medio acuoso.

- 2.13. Las sales minerales son esenciales para el mantenimiento de la vida.**

- a) **Respecto al citoplasma celular, define medio hipertónico y medio hipotónico.**
- b) **Explica razonadamente qué le ocurriría a una planta si la regamos con agua salada.**
- c) **Pon un ejemplo, mencionando composición y función, de sales minerales en estado sólido (sales insolubles) presentes en los seres vivos.**

- a) La materia viva contiene gran cantidad de agua que actúa como disolvente o fase dispersante de una serie de moléculas de soluto que constituyen la fase dispersa. Las moléculas de menor tamaño dispersas en el disolvente son las sales minerales, cuya presencia es valorada en relación con el volumen de agua y cuantificada en unidades de concentración salina. El citoplasma celular puede tener diferente concentración salina con respecto al medio externo, siendo hipertónico si presenta mayor proporción de sales minerales, e hipotónico cuando está más diluido.

El medio interno celular y el medio externo están separados por la membrana plasmática, de carácter semipermeable, que permite la difusión de agua, e impide la de moléculas de soluto. Las moléculas de agua difunden desde los medios hipotónicos hasta los medios hipertónicos, hasta alcanzar el equilibrio igualando las concentraciones. Cuando el medio interno celular es hipertónico respecto al medio externo, se produce una entrada de agua hacia el interior de la célula que ocasiona un aumento de volumen. Cuando el contenido celular es hipotónico respecto al medio externo, se produce una salida de agua que ocasiona la disminución del volumen celular.

- b) El agua salada incrementaría la proporción salina del medio externo, que de este modo sería hipertónico respecto al medio interno de la planta. La diferencia de concentración entre ambos medios acuosos provocaría la difusión de agua desde el medio hipotónico hacia el medio hipertónico, ocasionando la deshidratación de la planta.
- c) Las sales minerales en estado sólido presentan funciones variadas en los seres vivos, siendo frecuente la constitución de estructuras de protección o sostén. Existen sales de carbonato cálcico (caparazones de protozoos marinos, esqueleto externo de algunos artrópodos y corales, conchas de moluscos, huesos y dientes de vertebrados) o de sílice (elementos de sostén en algunos vegetales, caparazones de microorganismos, espículas de esponjas).

- 2.14. Explica si la proposición que sigue es verdadera o falsa.**

“Todas las células viven en un medio acuoso, excepto las de los reptiles, que prefieren el ambiente seco.”

La proposición es falsa. El agua es la molécula más abundante de la materia viva. Los organismos pueden obtener el agua directamente del medio ambiente (agua exógena), o generarla a partir de otras moléculas orgánicas mediante diferentes reacciones bioquímicas (agua endógena o metabólica).

Es el principal disolvente biológico; permite el transporte de sustancias en el interior de los seres vivos y su intercambio con el medio externo, facilitando el aporte de sustancias nutritivas y la eliminación de sustancias de productos de desecho. En todas las células, incluidas las de los reptiles, el agua constituye el medio en el que se realizan la mayoría de las reacciones bioquímicas; en ocasiones, además, interviene de forma activa en la reacción, como en el caso de la hidrólisis.

2.15. Las sales minerales en la célula: estructura y componentes. Importancia y funciones biológicas que desempeñan.

Las sales minerales son moléculas inorgánicas que se encuentran disueltas o en estado sólido (precipitadas) en todos los seres vivos, y que también se pueden asociar a otras moléculas orgánicas.

Las **sales minerales disueltas** son solubles en agua; se encuentran disociadas en sus iones, y forman parte de los medios internos intracelulares y extracelulares.

Los iones con carga negativa o **aniones** más frecuentes en la materia viva son los cloruros (Cl^-), los fosfatos (PO_4^{3-}), los fosfatos monoácidos (HPO_4^{2-}), los carbonatos (CO_3^{2-}), los bicarbonatos (HCO_3^-) y los nitratos (NO_3^-).

Los iones con carga positiva o **cationes** más abundantes en la materia viva son el sodio (Na^+), el calcio (Ca^{2+}), el magnesio (Mg^{2+}), el hierro (Fe^{2+} y Fe^{3+}) y el potasio (K^+).

Las sales minerales hidrosolubles, a través de sus iones, cumplen diversas funciones de tipo general, colaborando en el mantenimiento de la homeostasis o equilibrio del medio interno, o de tipo específico, dependiendo del sistema biológico en el que se encuentran. Además, pueden asociarse a moléculas orgánicas como lípidos, proteínas o glúcidos.

Algunas **funciones generales de las sales solubles** son:

- **Mantener el grado de salinidad en los organismos.** Las concentraciones iónicas de sales minerales se mantienen constantes, dentro de unos ciertos límites, en los distintos organismos. En un mismo organismo, las concentraciones pueden variar de unos compartimentos a otros; por ejemplo, en el interior celular, la concentración salina varía considerablemente con respecto al plasma sanguíneo. Asimismo, existen diferencias importantes de unos organismos a otros.
- **Regular la actividad enzimática.** La presencia de determinados iones activa o inhibe reacciones bioquímicas, asociándose a la sustancia reaccionante o a las enzimas.
- **Regular la presión osmótica y el volumen celular.** La presencia de sales en el medio interno celular es determinante para que se verifique la entrada o salida de agua a través de la membrana. Los medios con alta concentración salina son hipertónicos con respecto a los que tienen una concentración salina menor, e hipotónicos en el caso contrario. Si el medio interno celular es hipertónico con respecto al exterior, se producirá entrada de agua, que ocasionará aumento del volumen celular; si la concentración iónica en el interior es menor, se producirá el efecto contrario.
- **Generar potenciales eléctricos.** Los iones que se encuentran en el interior de las células no son los mismos que los del medio externo; por esto, a ambos lados de la membrana existe una diferencia de cargas eléctricas. Esta irregular distribución de iones provoca la existencia de un potencial de membrana que ejerce una fuerza sobre cualquier molécula con carga eléctrica.
- **Regulación del pH.** La actividad biológica en el medio interno celular se produce a un determinado valor de pH. Las reacciones químicas que se verifican en los organismos producen variaciones del pH, y algunas sales minerales disueltas contribuyen a disminuir estas variaciones, manteniendo el pH constante. Las disoluciones de sales minerales que tienen esta función se denominan tampones o disoluciones amortiguadoras. Existen soluciones amortiguadoras en todos los fluidos biológicos; por ejemplo, el **tampón fosfato** ($\text{H}_2\text{PO}_4^-/\text{HPO}_4^{2-}$) en el medio intracelular, y el **tampón bicarbonato** ($\text{HCO}_3^-/\text{H}_2\text{CO}_3$) en un medio extracelular como es la sangre.
- **Estabilizar las dispersiones coloidales.** Las sales minerales mantienen el grado de hidratación, y su disociación en iones contribuye a mantener en suspensión las partículas coloidales.
- Las **sales minerales precipitadas** que se encuentran en estado sólido son insolubles en agua. Presentan funciones variadas en los seres vivos, siendo frecuente la constitución de estructuras de protección o sostén. Tienen gran importancia biológica las siguientes sales precipitadas:

Carbonato cálcico.

- Forma parte de los caparazones de protozoos marinos como los foraminíferos.
- Constituye el esqueleto externo de los corales, forma las conchas de los moluscos gasterópodos y bivalvos, e impregna el exoesqueleto de algunos artrópodos. Confiere rigidez a la estructura de algunas esponjas, y forma estructuras como las espinas de los erizos de mar.
- En animales vertebrados, endurece huesos y dientes. También constituye los otolitos, que son cristales o acúmulos de carbonato cálcico presentes en el oído interno, y que permiten el mantenimiento del equilibrio.

Fosfato cálcico.

- Forma parte de la matriz mineral que compone los tejidos óseos de los animales vertebrados.

Silicatos.

- Endurecen estructuras de sostén de algunos vegetales, como las gramíneas o los equisetos.
- Forman parte de los caparazones de protección que presentan algunos microorganismos, como los radiolarios y las diatomeas.
- Constituyen las espículas de las esponjas.

2.16. En relación con la presencia de sales minerales en los organismos vivos.

- Explica en qué situación las células están turgentes.**
- Explica en qué situación las células están plasmolizadas.**
- Pon un ejemplo de una sal mineral disuelta y otra precipitada, e indica la función de cada una de ellas.**

- Cuando el medio externo celular es hipotónico respecto al medio interno, se produce entrada de agua al interior de la célula; esto ocasiona aumento de volumen celular y disminución de la presión osmótica en el interior celular. En el caso de las células animales, puede producirse estallido celular. En las vegetales, debido a la existencia de pared celular rígida, se produce turgencia o también se dice que las células están turgentes.
- Cuando el medio externo celular es hipertónico respecto al medio interno, sale agua de la célula por ósmosis; entonces, disminuye el volumen celular y aumenta la presión osmótica en el interior celular. En el caso de las células vegetales, este hecho provoca la rotura de la célula o plasmólisis al desprenderse la membrana plasmática de la pared celular.
- Las sales minerales precipitadas constituyen estructuras sólidas e insolubles. Desarrollan una función esquelética, dando soporte y protección a los seres vivos. Por ejemplo, el carbonato cálcico en las conchas de los moluscos, el fosfato cálcico ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$) que, junto al carbonato cálcico, se deposita sobre las fibras de colágeno, transformándose en una matriz dura que conducirá a la formación de los huesos.

Las sales minerales disueltas se presentan en la materia viva disociadas en sus iones correspondientes. Aparecen en concentraciones relativas similares en todos los seres vivos, y resultan imprescindibles para estos porque mantienen el pH del citoplasma celular, aseguran la estabilidad de los coloides, intervienen en la regulación osmótica de los organismos, y desarrollan diferentes acciones específicas. Los aniones más importantes en los seres vivos son: Cl^- , H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , SO_4^{2-} . En cuanto a los cationes, conviene destacar los siguientes: Na^+ , K^+ , NH_4^+ , Mg^{2+} y Ca^{2+} .

2.17. Indica si son verdaderas o falsas las afirmaciones que aparecen a continuación.

- Las sales minerales son moléculas inorgánicas que se ionizan en el medio acuoso.**
- Las moléculas de agua se unen por enlaces de hidrógeno.**
- El agua alcanza su máxima densidad al convertirse en hielo.**

- Verdadera. El carácter polar del agua disminuye las atracciones entre los iones de las sales, facilitando su disociación en forma de cationes y aniones.
- Verdadera. Son atracciones electrostáticas generadas entre cada una de las cargas negativas de los átomos de oxígeno y la carga parcial positiva de cada átomo de hidrógeno. Cada molécula de agua puede formar cuatro enlaces de hidrógeno: dos por cada átomo de oxígeno y dos correspondientes a los átomos de hidrógeno.
- Falsa. El agua alcanza su máxima densidad a cuatro grados centígrados; por lo tanto, por encima y por debajo de esta temperatura, su densidad disminuye. Por debajo del punto de congelación, la densidad es menor que a cuatro grados centígrados, por lo que el hielo flota en el agua.

2.18. En el mar Muerto existe una elevada salinidad. Explica razonadamente por qué el número de especies en el mar Muerto es menor que en otros mares.

La elevada salinidad del mar Muerto constituye un medio hipertónico para los seres vivos que puedan vivir en él. En estas condiciones, las células tienden a expulsar agua por ósmosis, disminuyendo el volumen celular y aumentando la presión osmótica en el interior celular. En el caso de las células vegetales, este hecho provoca la rotura de la célula o plasmólisis, al desprenderse la membrana plasmática de la pared celular.

- 2.19. Al añadir un ácido a una disolución de cloruro sódico se produce un gran descenso en el valor del pH. Sin embargo, si se añade la misma cantidad de ácido al plasma sanguíneo apenas cambia el pH. Propón una explicación para este hecho.

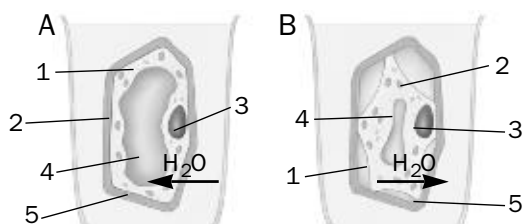
El plasma sanguíneo contiene disoluciones de naturaleza variada que mantienen el pH constante cuando se le añade un ácido o una base, denominadas sistemas tampón o *buffer*. Generalmente, contienen dos especies iónicas en equilibrio formadas por ácidos débiles y sus bases conjugadas, o bases débiles y sus ácidos conjugados. La alteración del pH del medio se contrarresta debido al desplazamiento del equilibrio entre estas dos especies. Los tampones fisiológicos pueden ser de naturaleza orgánica como las proteínas, los aminoácidos y el tampón hemoglobina, o de naturaleza inorgánica como el tampón bicarbonato y el tampón fosfato.

- 2.20. ¿Qué ventajas puede suponer para un ser vivo disponer de sistemas tampón en su medio interno? Razona la respuesta.

Los sistemas tampón o buffer son disoluciones de naturaleza variada que mantienen el pH constante cuando se le añade un ácido o una base. Generalmente, contienen dos especies iónicas en equilibrio formadas por ácidos débiles y sus bases conjugadas, o bases débiles y sus ácidos conjugados. La alteración del pH del medio se contrarresta debido al desplazamiento del equilibrio entre estas dos especies.

Existen disoluciones amortiguadoras en todos los fluidos biológicos. Son imprescindibles para mantener la vida, al permitir la realización de funciones bioquímicas y fisiológicas en las diferentes estructuras de los organismos. Los tampones fisiológicos pueden ser de naturaleza orgánica como las proteínas, los aminoácidos y el tampón hemoglobina, o de naturaleza inorgánica como el tampón bicarbonato y el tampón fosfato.

- 2.21. Se sumergen dos células en soluciones de distinta concentración salina (A y B en el dibujo).



- Deduce la concentración relativa de las soluciones A y B.
- Nombra las estructuras señaladas en el dibujo.
- Explica el proceso por el cual el agua entra en A y sale en B.

- En la célula sumergida en la solución A se produce entrada de agua en la célula, lo que ocasiona un aumento del volumen celular y una disminución de la presión osmótica en el interior celular. La presencia de una pared celular en esta célula vegetal evita el estallido celular, produciéndose el fenómeno de turgencia. La solución A es hipotónica con respecto al medio interno celular.

En la célula sumergida en la solución B se produce salida de agua por ósmosis, que ocasiona disminución del volumen celular y disminución de la presión osmótica en el exterior celular. Este hecho provoca la rotura de la célula vegetal o plasmólisis, al desprenderse la membrana plasmática de la pared celular. La solución B es hipertónica con respecto al medio interno celular.

1. Citoplasma. 2. Membrana plasmática. 3. Núcleo. 4. Vacuola. 5. Pared celular.

- La **ósmosis** es un fenómeno por el que se produce el paso o difusión de un disolvente a través de una membrana semipermeable –permite el paso de disolventes, pero no de solutos– desde una disolución diluida a otra más concentrada. El agua es capaz de atravesar las membranas celulares que son semipermeables para penetrar en el interior celular o salir de él. Esta capacidad depende de la diferencia de concentración entre los líquidos extracelular e intracelular, determinada por la presencia de sales minerales y moléculas orgánicas disueltas.

La presencia de sales en el medio interno celular es determinante para que se verifique la entrada o salida de agua a través de la membrana. Los medios con alta concentración salina son hipertónicos con respecto a los que tienen una concentración salina menor, e hipotónicos en el caso contrario. Si el medio interno celular es hipertónico con respecto al exterior, se producirá entrada de agua que ocasionará aumento del volumen celular; si la concentración iónica en el interior es menor, se producirá el efecto contrario.

Las moléculas de agua difunden desde los medios hipotónicos hacia los hipertónicos, provocando un aumento de presión sobre la cara de la membrana del compartimento hipotónico, denominada **presión osmótica**. Como consecuencia del proceso osmótico se puede alcanzar el equilibrio, igualándose las concentraciones; entonces, los medios serán **isotónicos**.

2.22. La concentración de cloruro sódico en la sangre es de 0,9 g/100 mL. Explica razonadamente qué ocurriría si se colocaran hematíes humanos en.

- a) Agua destilada.
 - b) Una solución salina (3 g/100 mL).
 - c) Una solución salina (9 g/100 mL).
 - d) Una solución salina (9 g/L).
- a) Se produciría una hemólisis de los hematíes. El medio extracelular sería hipotónico respecto al medio intracelular, lo que implicaría una entrada de agua hacia el interior de los glóbulos rojos que provocaría, dada la diferencia de concentración, el estallido celular.
- b) Los hematíes disminuirían su volumen celular. La solución salina sería hipertónica con respecto al medio interno celular, lo que implicaría salida de agua del interior de las células.
- c) La solución salina es hipertónica con respecto al medio intracelular, siendo mayor la diferencia de concentración entre ambos medios que en el caso anterior. La salida de agua desde el interior de las células provocaría una mayor disminución del volumen celular.
- d) La solución salina presenta la misma concentración que el medio intracelular; son isotónicos, por lo que los hematíes no experimentarían ningún cambio de volumen.

2.23. Relaciona los términos turgencia y plasmólisis. ¿Cómo podrías comprobar en el laboratorio el proceso de plasmólisis en la epidermis de cebolla?

Las células vegetales presentan una pared celular rígida adherida a la membrana plasmática que actúa como exoesqueleto, e interviene activamente en el mantenimiento de la presión osmótica intracelular. Como consecuencia de su variación, se producen dos fenómenos opuestos: plasmólisis y turgencia.

Cuando la célula está inmersa en un medio hipotónico se produce entrada de agua hacia el interior, dando lugar a un aumento del volumen celular y a una disminución de la presión osmótica. Gracias a la existencia de la pared celular, que es rígida, la célula mantiene su forma, evitando el estallido de la misma, produciéndose el fenómeno de turgencia.

Si la célula vegetal se encuentra inmersa en un medio hipertónico, el agua de la célula sale hacia el exterior, dando lugar a una disminución del volumen celular y a un aumento de la presión osmótica en el interior. En este caso, debido a la rigidez de la pared celular, incapaz de deformarse, se produce el desprendimiento de la membrana plasmática y, por tanto, la rotura de la célula; este fenómeno es conocido como plasmólisis.

El proceso de plasmólisis en la epidermis de cebolla podría observarse en el laboratorio a través del microscopio óptico, aplicando como medio extracelular una solución concentrada de sal o de azúcar (por ejemplo, al 30%).

La forma más sencilla de hacer esta observación es realizar el montaje de la preparación de la muestra sobre un portaobjetos que contenga unas gotas de la solución hipertónica. A continuación, se coloca el cubreobjetos y se observa directamente con el microscopio óptico. Puede realizarse otra preparación, sustituyendo la solución concentrada por agua; después, se comparan los resultados.

2.24. El tratamiento de glóbulos rojos en un medio hipotónico se puede utilizar como paso previo en el aislamiento de su membrana. ¿Podrías decir por qué?

Porque los glóbulos rojos en un medio hipotónico sufren hemólisis. Cuando el medio externo celular es hipotónico con respecto al medio interno se produce entrada de agua hacia el interior de la célula, ocasionando un aumento del volumen celular y una disminución de la presión osmótica intracelular, que puede producir el estallido de los glóbulos rojos, facilitando el aislamiento de sus membranas.

2.25. ¿Son diferentes el proceso de ósmosis y el proceso de diálisis? Explica por qué.

La **ósmosis** es un fenómeno físico que tiene lugar al poner en contacto dos disoluciones de distinta concentración, separadas por una membrana semipermeable que no deja pasar al soluto; el disolvente de la disolución menos concentrada pasa a la más concentrada, hasta que se igualan las concentraciones a ambos lados de la membrana, produciéndose el equilibrio.

La **diálisis** es una técnica basada en la ósmosis. Es un proceso de separación de las moléculas que integran una dispersión coloidal en función de su tamaño a través de una membrana semipermeable. Esta membrana permite el paso de moléculas de pequeño tamaño (sales minerales, iones) y de agua, e impide el de las macromoléculas o partículas coloidales. La membrana celular actúa como una membrana de diálisis, que permite el intercambio de sustancias entre el interior y el exterior celular, e impide la salida de las macromoléculas que quedan en el interior.

2.26. ¿Qué ocurriría si introducimos un pez marino en agua dulce? ¿Y en el caso contrario? Razona las respuestas.

El medio externo de un pez marino es hipertónico respecto a su medio interno. Si introducimos el pez en agua dulce, el medio externo se convierte en hipotónico respecto al medio interno del pez, entrara agua a las células por el proceso de ósmosis, y estas se hincharán; este fenómeno recibe el nombre de **turgencia**. Si la diferencia de concentraciones es muy alta entre los dos tipos de agua (marina y dulce), las células puede llegar a estallar, provocando la muerte del pez.

En el otro caso, si introducimos un pez de agua dulce en agua salada —el medio externo es ahora hipertónico respecto al medio interno—, las células tienden a perder agua por ósmosis y se arrugan; este fenómeno es conocido como **plasmólisis**, pudiendo conducir a la muerte del animal.

2.27. Para observar el proceso de ósmosis, tres muestras de sangre son sometidas a una prueba de laboratorio.

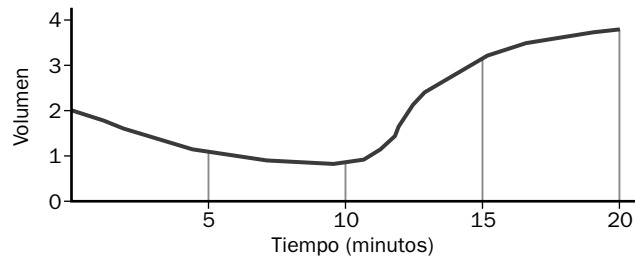
- a) Si se añade agua destilada a una de las muestras, indica qué aspecto presentarán los glóbulos rojos y por qué.
- b) Si se añade una solución saturada de sal a otra de las muestras, indica qué aspecto presentarán los glóbulos rojos al microscopio, cómo se denomina este fenómeno y explica cómo se produce.
- c) Si a la tercera muestra se le añade una solución isotónica, explica si se alteraría la forma y función del glóbulo rojo.

- a) Al introducir un glóbulo rojo en agua destilada, el medio extracelular es hipotónico respecto al medio interno.
En estas condiciones, el agua entra en el interior de la célula a través de la membrana plasmática, de carácter semipermeable, provocando un fenómeno de turgencia. El glóbulo rojo aumentará su volumen hasta que se rompa la membrana celular y estalle.
- b) En este caso, el glóbulo rojo se encontrará en un medio hipertónico respecto al medio intracelular, que provocará la salida de agua desde la célula hacia el exterior a través de la membrana semipermeable. El glóbulo rojo sufrirá el fenómeno de plasmólisis, y aparecerá arrugado.
- c) La solución isotónica permite un equilibrio en el flujo de agua a través de la membrana, por lo que la célula no sufrirá deformación y podrá seguir desarrollando su función.

2.28. Si un tejido vegetal o animal se introduce en soluciones de diferentes concentraciones osmóticas.

- a) ¿Qué ocurriría si la solución utilizada fuera hipotónica? Razona la respuesta.
 - b) ¿Y si fuera hipertónica?
 - c) Explica con qué propiedad de la membrana plasmática están relacionadas las respuestas anteriores.
- a) Cuando el medio externo celular es hipotónico con respecto al medio interno se produce entrada de agua hacia el interior de la célula, lo que ocasiona aumento del volumen celular y disminución de la presión osmótica en el interior celular.
En el caso de las células animales, puede producirse estallido celular o hemólisis. En células vegetales, que presentan paredes rígidas, se produce turgencia celular.
 - b) Cuando el medio externo celular es hipertónico con respecto al medio interno, sale de la célula agua por ósmosis, lo que provoca una disminución del volumen celular y un aumento la presión osmótica en el interior celular.
Las células animales aparecerán arrugadas. En el caso de las células vegetales, este hecho provoca la rotura de la célula o plasmólisis al desprenderse la membrana plasmática de la pared celular.
 - c) La membrana plasmática es de carácter semipermeable; impide el movimiento de las partículas de soluto, y permite el flujo de las moléculas de agua.

- 2.29. En la gráfica adjunta se representa la variación del volumen de una célula en función del tiempo. La célula fue colocada inicialmente en un medio con alta concentración de sales, y a los 10 minutos fue transferida a un medio con agua destilada. Propón una explicación razonada a los cambios de volumen que sufre la célula a lo largo del tiempo.



El medio con alta concentración de sales resulta hipertónico respecto al medio interno de la célula. En estas condiciones, la célula expulsa agua para equilibrar ambas concentraciones, y disminuye su volumen. A los diez minutos, la célula es transferida a un medio con agua destilada, cuya ausencia de sales la convierte en un medio hipotónico respecto al medio interno celular. Inicialmente, la célula se encuentra en un medio hipertónico. En consecuencia, la célula absorbe agua para intentar alcanzar el equilibrio, aumentando su volumen.

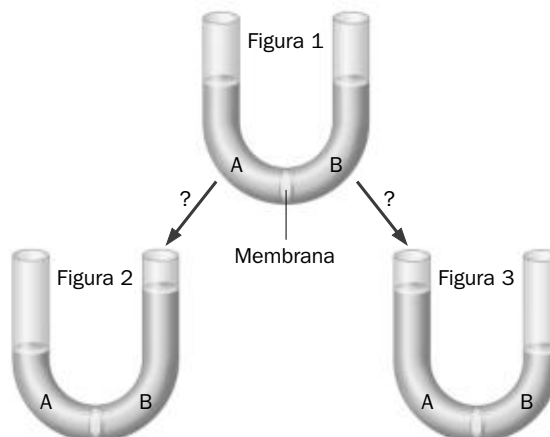
- 2.30. El contenido salino interno de los glóbulos rojos presentes en la sangre es del 0,9%. ¿Qué le pasaría a un organismo si se le inyectará en la sangre una solución salina que hiciera que la concentración final de sales en sangre fuese del 2,2%? ¿Y si la concentración final de sales en sangre fuese del 0,01%? Razona las respuestas.

Un aumento de la concentración de sales en sangre provoca una alteración de medio externo, que será hipertónico respecto al medio interno de los glóbulos rojos. En estas condiciones, las células sufrirán plasmólisis al expulsar agua para intentar alcanzar el equilibrio.

Una disminución de la concentración de sales provoca el efecto contrario; el medio externo resultará ahora hipotónico respecto al medio interno celular. Los glóbulos rojos absorberán agua, aumentando su volumen; este fenómeno se conoce con el nombre de turgencia. Finalmente, se producirá hemólisis o estallido de los glóbulos rojos.

- 2.31. Se dispone de un tubo en "U" como el que aparece en la figura 1, en el que los dos brazos están separados por una membrana con las mismas propiedades de una membrana plasmática. En el brazo A se añaden 50 ml de una solución de 1 g por litro de glucosa, y, simultáneamente, en el brazo B se añaden 50 ml de una solución de 25 g por litro de glucosa.

- a) Indica qué ocurrirá en el tubo al cabo de un tiempo.
b) ¿Se llegará a la situación indicada en la figura 2, a la situación indicada en la figura 3 o permanecerá como en la figura 1? Razona la respuesta.



- a) y b) La solución del brazo A resulta hipotónica respecto a la solución introducida en el brazo B. Como ambos brazos están comunicados a través de una membrana semipermeable, se producirá un flujo de agua desde A hacia B. En consecuencia, se llegará a la situación indicada en la figura 2.

UN PASO MÁS

2.32. La hemodiálisis es una técnica que se aplica, principalmente a enfermos renales. La sangre del paciente, mediante un circuito extracorpóreo, pasa a un dializador que contiene un líquido de diálisis con el que entra en contacto a través de una membrana semipermeable. Esta membrana permite el paso de iones minerales y moléculas de bajo peso molecular como la urea, e impide el de los elementos formes de la sangre y las proteínas. El líquido de diálisis contiene valores fisiológicos de iones minerales.

- a) **Explica la propiedad física de las emulsiones coloidales en que está basada esta técnica.**
 - b) **Indica la causa por la que el líquido de diálisis contiene valores fisiológicos de iones minerales.**
 - c) **Razona la existencia o no de urea en el líquido de diálisis.**
- a) El tratamiento está basado en la diálisis, es decir, un proceso de separación de las moléculas que integran una dispersión coloidal en función de su tamaño a través de una membrana semipermeable. Esta membrana permite el paso de moléculas de pequeño tamaño (sales minerales, iones) y de agua, e impide el de macromoléculas o partículas coloidales.
 - b) La presencia de valores fisiológicos de iones minerales en el líquido de diálisis asegura que tras la difusión, a través de la membrana semipermeable, permanezcan en sangre las concentraciones necesarias para mantener la homeostasis.
 - c) La urea es un producto de excreción que es necesario eliminar debido a su carácter tóxico. En consecuencia, el líquido de diálisis no contendrá urea: a mayor diferencia de concentración de urea entre el líquido de diálisis y la sangre, mayor será la cantidad de urea eliminada.

2.33. En el tratamiento de aguas residuales, se aplica un proceso químico de coagulación-floculación para lograr la sedimentación de partículas en suspensión. El coagulante de naturaleza mineral desestabiliza las partículas neutralizando sus cargas eléctricas y facilitando la acción del floculante. La solución floculante aglutina las sustancias presentes en el agua permitiendo su decantación y posterior filtrado.

- a) **¿Tienen naturaleza coloidal las aguas residuales?**
 - b) **¿Por qué la neutralización de las cargas eléctricas permite la coagulación?**
 - c) **¿Por qué se utilizan agentes coagulantes antes del proceso de floculación?**
- a) Sí, en el texto se alude a la necesidad de eliminar las partículas en suspensión del agua. El agua actúa como disolvente o fase dispersante para diversas moléculas de soluto, que constituyen la fase dispersa. Las partículas de soluto de las dispersiones coloidales son grandes moléculas que permanecen en suspensión y no sedimentan.
 - b) Las partículas coloidales presentan un movimiento arbitrario y desordenado provocado por las moléculas de la fase dispersante. La suspensión de las partículas coloidales se mantiene gracias a la interacción de estas con las moléculas de agua. La neutralización de las cargas eléctricas de las partículas coloidales impide su relación con los dipolos de agua y su separación. En ausencia de cargas eléctricas, es posible la reunión de las partículas coloidales formando coágulos.
 - c) La solución floculante aglutina sustancias para provocar su decantación. Por lo tanto, anular las cargas eléctricas de las partículas coloidales facilita la formación de coágulos, y en esas condiciones resulta más fácil la aglutinación y la decantación.

- 2.34. En una revista especializada de ictiología se puede leer el siguiente texto sobre la trucha Arco iris. Léelo atentamente y responde:

“La especie más utilizada en la piscicultura comercial en España es la trucha Arco iris denominada *Oncorhynchus mykiss* que por su capacidad de osmorregulación se adapta a muchos ambientes. Es una especie migratoria eurihalina aunque presenta poblaciones que viven toda su vida en lagos, ríos y arroyos.

Las truchas de piscifactoría pueden ocasionalmente sufrir una parasitosis denominada enfermedad del punto blanco. El parásito oportunista es un protozoo ciliado denominado *Icthyophthirius multifiliis* que se sitúa en la epidermis del hospedador donde se nutre de material celular observándose como un punto blanco. La enfermedad suele desaparecer cuando los piscicultores sumergen a los ejemplares afectados durante ocho minutos en una solución salina de cloruro de sodio de 15 g/L.”

- a) ¿Qué estudia la ictiología?
- b) Indica el significado de los términos que aparecen subrayados en el texto.
- c) ¿Cómo explicarías la eficacia del tratamiento de sumergir a los ejemplares afectados en una solución salina aplicado por los piscicultores?

- a) La ictiología es una rama de la zoología que estudia los peces.
- b) La **osmorregulación** es la capacidad de los seres vivos para mantener en su medio interno una determinada presión osmótica. Todos los seres vivos, sean acuáticos o terrestres, están obligados a la osmorregulación para sobrevivir en medios hipotónicos o hipertónicos mediante mecanismos físicos o químicos que evitan los cambios de presión osmótica en su medio interno.
Las especies **eurihalinas** son aquellas que poseen un amplio rango de resistencia a los cambios en la concentración salina del medio.
- c) El tratamiento se basa en un fenómeno osmótico. Al introducir la trucha en una solución hipertónica, los parásitos externos expulsan agua y sufren un fenómeno de plasmólisis que les provoca la muerte. El breve período de inmersión permite la eliminación de los parásitos, pero no afecta a la trucha, que presenta mecanismos de osmorregulación.

3

Glúcidos

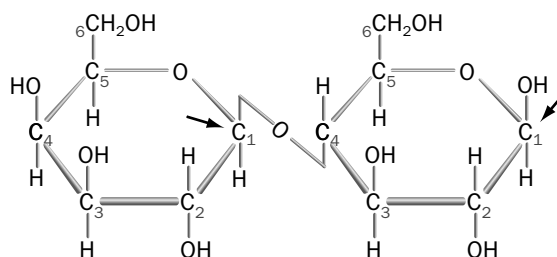
ACTIVIDADES PAU RESUELTAS

3.1. Define e indica la importancia biológica de la:

- a) Glucosa.
- b) Ribosa.
- c) Ribulosa.
- d) Sacarosa.

Actividad resuelta en el libro del alumno.

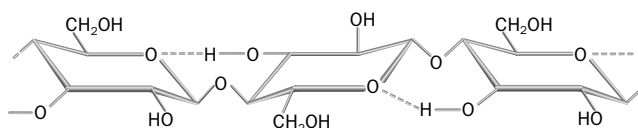
3.2. Observa la molécula representada, y contesta a las siguientes preguntas.



- a) ¿Qué nombre recibe? ¿A qué tipo de biomoléculas pertenece?
- b) ¿Cómo está formado químicamente el disacárido maltosa? Representalo.
- c) ¿En qué se diferencia del representado?
- d) Cita tres polisacáridos de la glucosa, frecuentes en los seres vivos.

Actividad resuelta en el libro del alumno.

3.3. En la siguiente figura se representa la biomolécula celulosa.



- a) ¿Qué tipo de biomolécula es?
- b) ¿Qué unidades estructurales la forman y mediante qué enlace se unen?
- c) ¿En qué estructuras celulares podrías encontrarla y cuál sería su función?

Actividad resuelta en el libro del alumno.

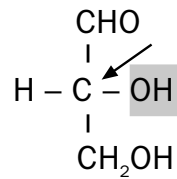
ACTIVIDADES

3.4. Explica el significado de los siguientes símbolos relativos a los monosacáridos.

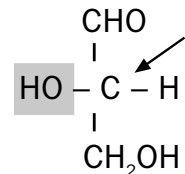
- a) D y L
- b) (+) y (-)
- c) α y β

Cita ejemplos de cada apartado.

- a) La estereoisomería o isomería geométrica se debe a la presencia de carbonos asimétricos (carbonos intermedios con radicales diferentes), que originan que moléculas iguales tengan diferentes propiedades. La posición del -OH del carbono asimétrico más alejado del grupo carbonilo permite diferenciar dos formas de isómeros: la forma D cuando el -OH está a la derecha, y la forma L si el -OH está a la izquierda.

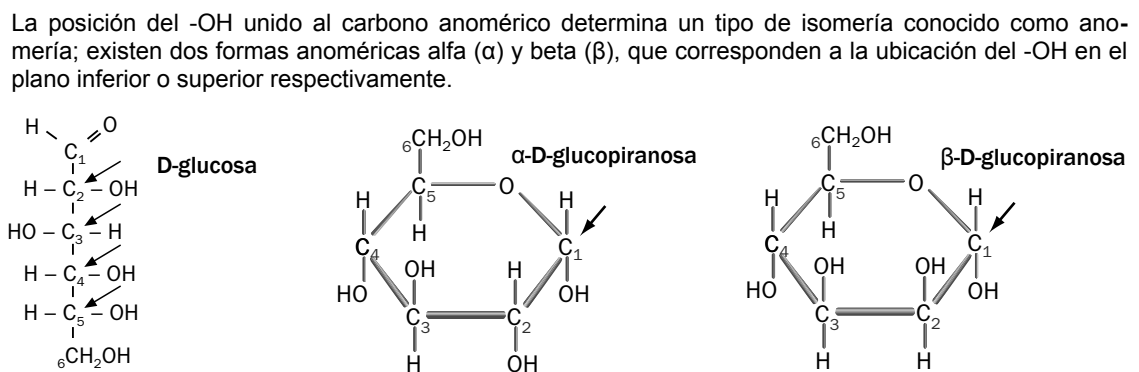


D-gliceraldehído



L-gliceraldehído

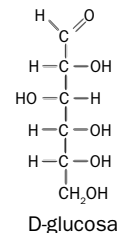
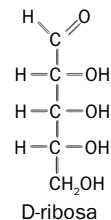
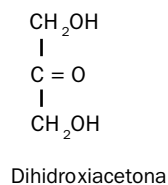
- b) La presencia de carbonos asimétricos determina una propiedad de los monosacáridos en disolución, la actividad óptica. Esta es la capacidad que poseen para desviar el plano de polarización de un haz de luz polarizada que atraviesa la disolución, efectuando un ángulo concreto hacia la derecha o hacia la izquierda. Cuando la desviación es hacia la derecha se denominan dextrógiros o (+); cuando la desviación es hacia la izquierda son levógiros o (-). La glucosa es dextrógira (+52,7°), y la fructosa es levógira (-92,4°)
- c) El comportamiento químico de los monosacáridos en disolución sugiere la presencia de un carbono asimétrico más, que no es observable en las fórmulas lineales y sí en estructuras cíclicas de cinco o seis carbonos. La formación del ciclo implica la aparición de un enlace hemiacetal entre el grupo aldehído y un alcohol (aldosas), o un enlace hemiacetal entre el grupo cetona y un alcohol (cetosas). El carbono carbonílico correspondiente a los grupos aldehído y cetona se designa en la fórmula cíclica carbono anomérico.



3.5. Monosacáridos y su función.

- a) Cita tres monosacáridos y escribe su fórmula.
- b) Explica las funciones que realizan.
- c) Sitúalos en el medio celular y extracelular.

- a) La dihidroxiacetona es una cetotriosa; la ribosa es una aldopentosa, y la glucosa es una aldohexosa.



- b) y c) Los monosacáridos en la materia viva son los monómeros constituyentes de todos los hidratos de carbono, aunque también pueden presentarse en forma aislada, siendo nutrientes utilizados por las células para la obtención de energía, o metabolitos intermediarios de procesos biológicos como la respiración celular y la fotosíntesis.

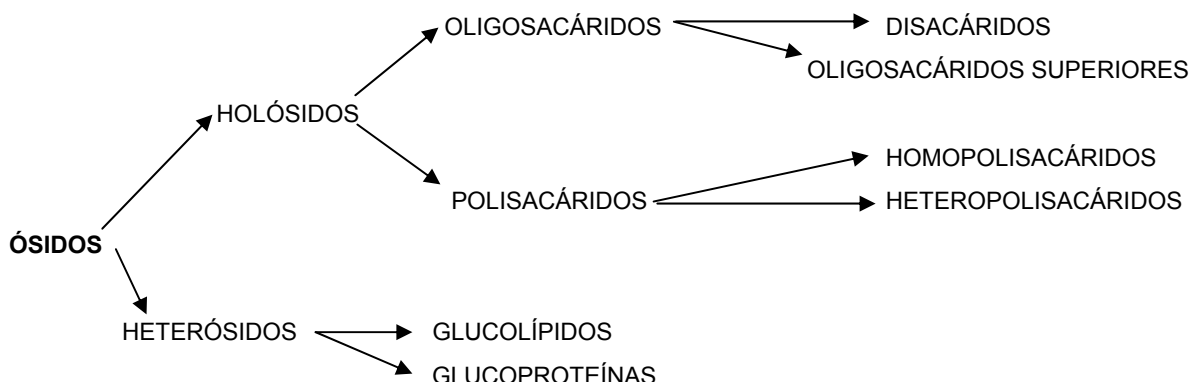
La **dihidroxiacetona** es un intermediario activo en el metabolismo de la glucosa, presente en el citosol de la mayoría de los organismos. La **ribosa** forma parte de nucleótidos en estado libre como el ATP (adenosín-trifosfato) y del ácido ribonucleico o ARN. Se encuentra en el citosol, en los ribosomas y en el interior del núcleo de las mitocondrias y de los cloroplastos. La **glucosa** o azúcar de uva es muy abundante en las células vegetales, y es el monosacárido más importante en las células animales. Es el nutriente favorito de las células que, mediante el proceso de respiración celular, degradan total o parcialmente la molécula para obtener energía. Se encuentra en estado libre en el citosol, y formando parte de polímeros en la pared celular de células vegetales y el glucocáliz de células animales.

3.6. Glúcidos.

- a) **Concepto y clasificación.**
- b) **Con la ayuda de dos ejemplos en el reino vegetal, comenta las funciones principales que desempeñan en los seres vivos.**
- a) Los glúcidos se conocen también como hidratos de carbono o carbohidratos. Son biomoléculas constituidas por átomos de carbono (C), hidrógeno (H) y oxígeno (O) en una proporción como la que indica su fórmula empírica $C_nH_{2n}O_n$; pueden contener excepcionalmente átomos de otros elementos como nitrógeno (N), azufre (S) o fósforo (P).

Los más simples se llaman osas o monosacáridos; de la unión de estos monómeros se obtienen moléculas más complejas llamadas ósidos, que pueden contener un número variable de osas e incluso fracciones moleculares diferentes como lípidos o proteínas. Los ósidos constituidos solo por osas se denominan **holósidos**; se diferencian en oligosacáridos, que contienen entre dos y diez monosacáridos, y polisacáridos, formados por múltiples unidades repetitivas de monosacáridos. Los polisacáridos se diferencian en dos grupos: los homopolisacáridos, formados por la repetición de un único monómero, y los heteropolisacáridos, de composición más variada, ya que contienen más de un tipo de monómero. Los ósidos más complejos se denominan **heterósidos**. Surgen de la combinación de un conjunto de monosacáridos con fracciones moleculares de naturaleza no glucídica, como proteínas o lípidos.

OSAS - MONOSACÁRIDOS



- b) Dos polímeros tienen de especial importancia en el reino vegetal: el almidón y la celulosa.

El **almidón** es un polisacárido de reserva formado por moléculas de α -D-glucosa que constituyen dos tipos de estructuras:

La **amilosa**. Constituida por la unión de moléculas de glucosa mediante enlaces (1→4) que forman cadenas lineales con arrollamiento helicoidal.

La **amilopectina**. Muy ramificada, con un esqueleto formado por monómeros de glucosa con uniones (1→4) y puntos de ramificación con enlaces (1→6).

Se encuentra en los plastos de las células vegetales, y es abundante en los órganos de reserva de plantas como tubérculos, semillas o raíces. Las células necesitan cantidades variables de energía, que obtienen preferentemente a través de la degradación de la glucosa; los vegetales almacenan este monosacárido en forma de almidón para evitar cambios en la presión osmótica.

La **celulosa** es un polisacárido estructural formado por moléculas de β -D-glucosa con enlaces (1→4). Las cadenas lineales, dispuestas en paralelo, se unen mediante enlaces de hidrógeno, originando fibras de diferente grosor que forman capas o láminas en dirección alternante, y constituyendo el entramado esencial de la pared celular vegetal. Su función principal es dar forma a las células vegetales, y contribuir a la protección y soporte mecánico de las plantas.

3.7. Contesta a las siguientes preguntas.

- ¿Cuándo se dice que un carbono es asimétrico?
- ¿A qué da lugar la existencia de un carbono asimétrico?
- ¿Cuáles son los carbonos asimétricos en la D-glucosa?
- ¿Cuál es el carbono que determina las configuraciones D y L cuando hay más de un carbono asimétrico?

- Un carbono es asimétrico cuando está unido a cuatro radicales diferentes entre sí.
- La presencia de un carbono asimétrico determina la estereoisomería y la actividad óptica.

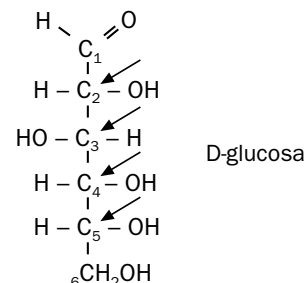
La **estereoisomería** la presentan moléculas aparentemente iguales, pero con diferentes propiedades, debido a que sus átomos tienen diferente disposición espacial. Entre los estereoisómeros se distinguen:

Enantiómeros: la posición de todos los -OH varía. Los enantiómeros son imágenes especulares.

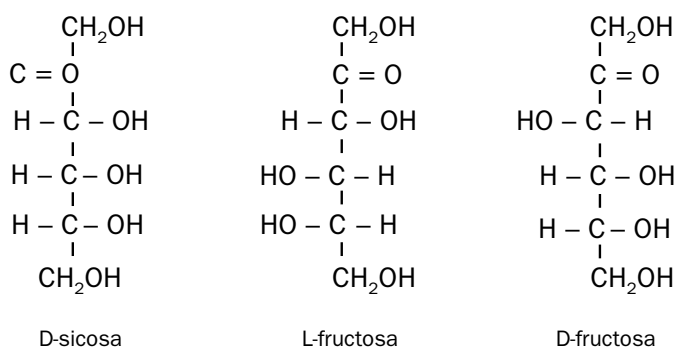
Diastereoisómeros o epímeros: solo varía la posición de un grupo -OH.

La **actividad óptica** es la capacidad de desviar el plano de polarización de un haz de luz polarizada que atraviesa la disolución de monosacárido. Cuando la rotación es en el sentido de las agujas del reloj, se denominan **dextrógiros** o **(+)**. Cuando la rotación es contraria a las agujas del reloj, son **levógiros** o **(-)**.

- Los carbonos asimétricos en la molécula de α-D-glucosa son los intermedios (2, 3, 4 y 5).
- El carbono asimétrico más alejado del grupo carbonilo.



3.8. Escribe las fórmulas lineales (según proyección de Fischer) de los enantiómeros de la fructosa, y de un epímero de la serie D.



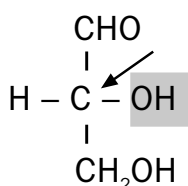
D-fructosa y L-fructosa son enantiómeros, en tanto que D-sicosa y D-fructosa son epímeros.

3.9. ¿Qué circunstancia determina la actividad óptica de una molécula? ¿Presenta isómeros ópticos el gliceraldehído? En caso afirmativo, dibújalos y nómbralos correctamente.

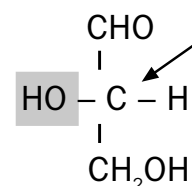
La actividad óptica de una molécula, capacidad de desviar el plano de polarización de un haz de luz polarizada, está determinada por la presencia de, al menos, un carbono asimétrico en dicha molécula. Cada molécula efectúa una rotación del plano de polarización hacia la derecha o hacia la izquierda.

- Cuando la rotación es en el sentido de las agujas del reloj, se denominan **dextrógiros** o **(+)**.
- Cuando la rotación es contraria a las agujas del reloj, son **levógiros** o **(-)**.

La presencia de carbonos asimétricos determina también que moléculas aparentemente iguales tengan diferentes propiedades por tener sus átomos diferente disposición espacial, siendo estas moléculas isómeras.



D-gliceraldehído

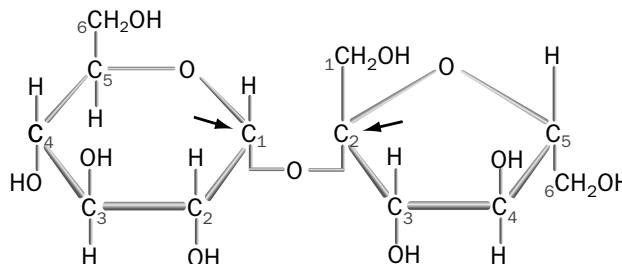


L-gliceraldehído

El gliceraldehído es una aldotriosa cuyo carbono intermedio es asimétrico por estar unido a cuatro radicales diferentes entre sí. Por este motivo, es una molécula ópticamente activa, y presenta estereoisomería. Uno de los isómeros es el reflejo o imagen especular del otro, por lo que son enantiómeros, y se denominan:

- Forma D cuando el -OH del carbono asimétrico está a la derecha.
- Forma L cuando el -OH del carbono asimétrico está a la izquierda.

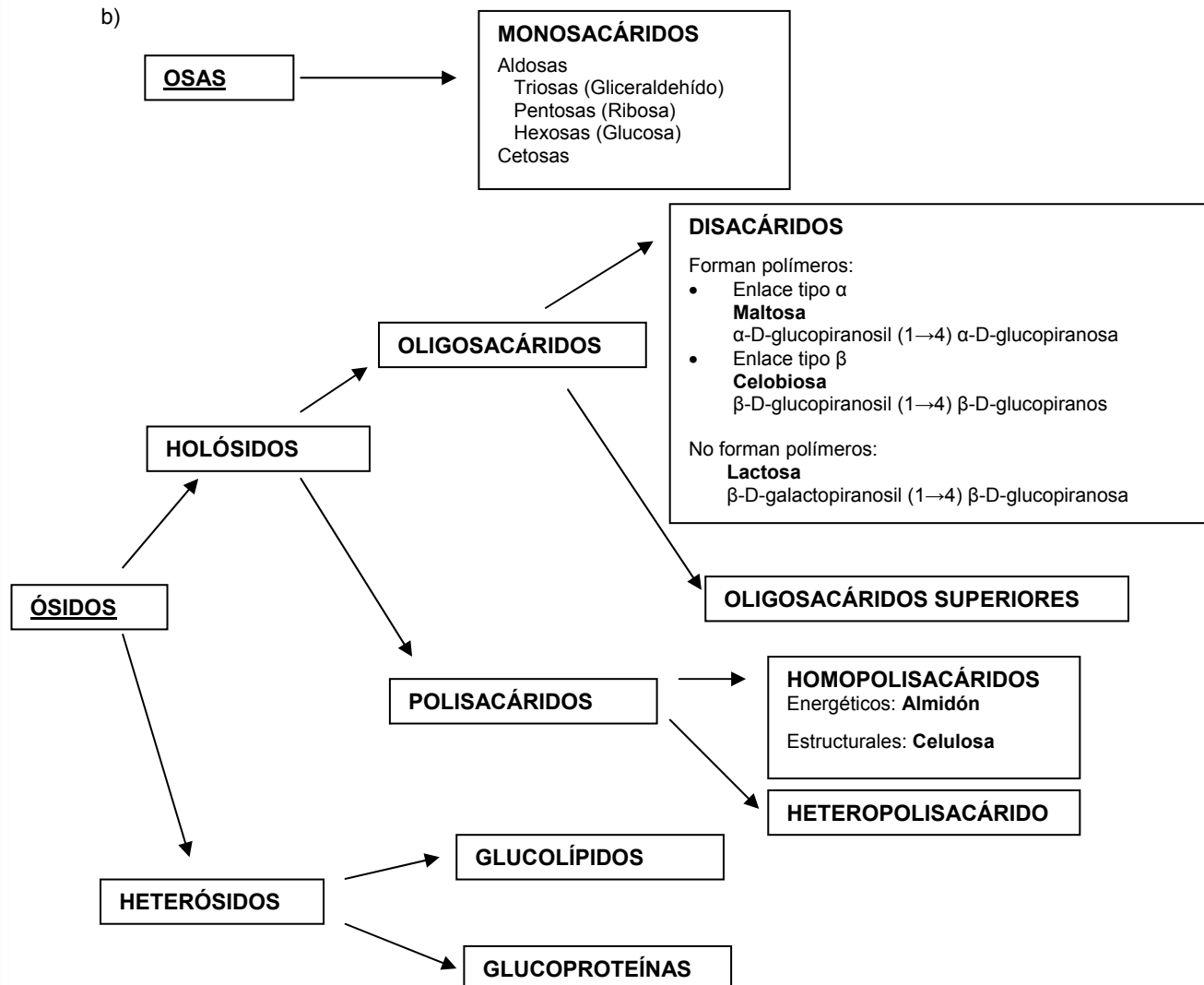
3.10. El esquema representa la molécula de sacarosa.



- a) ¿Qué tipo de glúcido es la sacarosa?
- b) Realiza una clasificación detallada de los glúcidos, e incluye en ella los siguientes sacáridos: glucosa, celulosa, ribosa, maltosa, celobiosa, almidón, lactosa y gliceraldehído.

a) Es un disacárido formado por la unión dicarbonílica (1 $\rightarrow$ 2) de α -D-glucosa y β -D-fructosa.

b)



3.11. Explica brevemente.

- ¿En qué se diferencian las aldosas y las cetosas?
- ¿Qué repercusión tiene la presencia de un carbono asimétrico en las moléculas?
- Cita el papel que te parezca más relevante de los desempeñados por los siguientes glúcidos: glucosa, ribosa, celulosa, almidón y glucógeno.

a) Los monosacáridos son, químicamente, polihidrosialdehídos o cetonas, es decir, polialcoholes (poseen varios grupos -OH) con un grupo aldehído (-CHO) o cetona (-CO).

- **Aldosas:** tienen un grupo aldehído en C₁, y grupos hidroxilo en el resto de los carbonos.
- **Cetosas:** tienen un grupo funcional cetona en C₂, y grupos hidroxilo en el resto de la cadena.

b) La presencia de un carbono asimétrico determina la **estereoisomería** y la **actividad óptica**.

- La estereoisomería la presentan moléculas aparentemente iguales, pero con diferentes propiedades, por tener sus átomos diferente disposición espacial. Entre los estereoisómeros, se distinguen:
 - **Enantiómeros:** la posición de todos los -OH varía. Son imágenes especulares.
 - **Diastereoisómeros o epímeros:** solo varía la posición de un grupo -OH.

- La actividad óptica es la capacidad de desviar el plano de polarización de un haz de luz polarizada que atraviesa la disolución de monosacárido. Cuando la rotación es en el sentido de las agujas del reloj, se denominan **dextrógiros** o **(+)**. Cuando la rotación es contraria a las agujas del reloj son **levógiros** o **(-)**.

c) La **glucosa** o azúcar de uva es muy abundante en las células vegetales, y es el monosacárido más importante en las células animales. Es el nutriente favorito de las células que, mediante el proceso de respiración celular, degradan total o parcialmente la molécula para obtener energía. Se encuentra en estado libre en el citosol, y formando parte de polímeros en la pared celular de células vegetales y el glucocálix de células animales.

La **ribosa** forma parte de nucleótidos en estado libre como el ATP (adenosín-tri-fosfato) y del ácido ribonucleico o ARN. Se encuentra en el citosol, en los ribosomas y en el interior del núcleo de las mitocondrias y de los cloroplastos.

La **celulosa** es un polisacárido estructural formado por moléculas de β-D-glucosa con enlaces (1→4). Las cadenas lineales, dispuestas en paralelo, se unen mediante enlaces de hidrógeno, originando fibras de diferente grosor que forman capas o láminas en dirección alternante, constituyendo el entramado esencial de la pared celular vegetal. Su función principal es dar forma a las células vegetales, y contribuir a la protección y soporte mecánico de las plantas.

El **almidón** es un polisacárido de reserva formado por moléculas de α-D-glucosa, que constituyen dos tipos de estructuras:

- La **amilosa**. Constituida por la unión de moléculas de glucosa mediante enlaces (1→4), que forman cadenas lineales con arrollamiento helicoidal.
- La **amilopectina**. Muy ramificada, con un esqueleto formado por monómeros de glucosa con uniones (1 → 4) y puntos de ramificación con enlaces (1→6).

Se encuentra en los plastos de las células vegetales, y es abundante en los órganos de reserva de plantas como tubérculos, semillas o raíces. Las células necesitan cantidades variables de energía, que obtienen preferentemente a través de la degradación de la glucosa; los vegetales almacenan este monosacárido en forma de almidón para evitar cambios en la presión osmótica.

El **glucógeno** es el homopolisacárido de reserva de las células animales. Su constitución es similar a la de las cadenas de amilopectina con enlaces (1→4), aunque posee más ramificaciones en α (1→6); aproximadamente, una cada 8 ó 12 monómeros. Se almacena en forma de gránulos en el hígado y en el músculo esquelético, donde se hidroliza fácilmente y rinde gran cantidad de glucosa cuando se requiere.

3.12. Indica la diferencia entre:

- Monosacárido y holósido.
- Holósido y heterósido.
- Homopolisacárido y heteropolisacárido.
- Almidón y glucógeno.

- Las osas o **monosacáridos** son los glúcidos más simples. De la unión de estos monómeros se obtienen moléculas más complejas llamadas ósid, que, en el caso de estar constituidos solo por osas, se denominan **holósidos**.
- De la unión de osas o monosacáridos se obtienen moléculas más complejas llamadas ósid, que pueden contener un número variable de osas e incluso fracciones moleculares diferentes como lípidos o proteínas. Los ósid constituidos solo por osas se denominan **holósidos**. Los ósid más complejos se denominan **heterósidos**, y surgen de la combinación de un conjunto de monosacáridos con fracciones moleculares de naturaleza no glucídica como proteínas o lípidos.
- Los polisacáridos están formados por múltiples unidades repetitivas de monosacáridos. Se diferencian en dos grupos: los **homopolisacáridos**, formados por la repetición de un único monómero; y los **heteropolisacáridos**, de composición más variada, ya que contienen más de un tipo de monómero.
- El **almidón** es el homopolisacárido de reserva de las células vegetales. Está formado por una mezcla de dos componentes con diferentes estructuras: la amilosa, constituida por cadenas largas no ramificadas de moléculas de α -D-glucosa unidas mediante enlaces α (1 $\rightarrow$ 4) que adoptan un arrollamiento helicoidal; y la amilopectina, muy ramificada, y con un esqueleto de monómeros de α -D-glucosa con uniones α (1 $\rightarrow$ 4) y puntos de ramificación con enlaces (1 $\rightarrow$ 6) cada 15 ó 30 monómeros.

Se encuentra en los plastos de las células vegetales, y es abundante en los órganos de reserva de las plantas como tubérculos, semillas o raíces.

El **glucógeno** es el homopolisacárido de reserva de las células animales. Su constitución es similar a la de las cadenas de amilopectina con enlaces α (1 $\rightarrow$ 4), aunque posee más ramificaciones en α (1 $\rightarrow$ 6); aproximadamente, una cada 8 ó 12 monómeros. Se almacena en forma de gránulos en el hígado y en el músculo esquelético, donde se hidroliza fácilmente y rinde gran cantidad de glucosa cuando se requiere.

3.13. Glúcidos: monosacáridos, disacáridos y polisacáridos. Estructura y función.

Los glúcidos se conocen también como hidratos de carbono o carbohidratos. Son biomoléculas constituidas por átomos de carbono (C), hidrógeno (H) y oxígeno (O) en una proporción como la que indica su fórmula empírica $C_nH_{2n}O_n$; pueden contener, excepcionalmente, átomos de otros elementos como nitrógeno (N), azufre (S) o fósforo (P).

- Los **monosacáridos** son los glúcidos más simples. Son sólidos cristalinos de color blanco y solubles en agua. Presentan un característico sabor dulce, por lo que también reciben el nombre de azúcares. Contienen entre 3 y 7 átomos de carbono; se denominan triosas, tetrasas, pentosas, hexosas o heptosas si el número de átomos de carbono es, respectivamente, 3, 4, 5, 6 ó 7. Químicamente, son polihidroxialdehídos o polihidroxiketonas, es decir, polialcoholes (poseen varios grupos -OH) con un grupo aldehído (-CHO) o cetona (-CO). Según el grupo funcional principal, se clasifican en **aldosas** (tienen un grupo aldehído en el C₁ y grupos hidroxilo en el resto de los carbonos) y **cetosas** (tienen un grupo funcional cetona en el C₂ y grupos hidroxilo en el resto de la cadena).
Los monosacáridos se nombran anteponiendo el prefijo aldo- o ceto- al nombre que indica su número de átomos de carbono, seguido de la terminación -osa. Las aldopentosas y las hexosas en disolución no presentan estructura lineal, sino que adoptan estructuras cíclicas de forma pentagonal o hexagonal. Tienen gran interés por ser los monómeros constituyentes de todos los glúcidos. También se presentan libres, y actúan como nutrientes de las células para la obtención de energía, o como metabolitos intermediarios de importantes procesos biológicos como la respiración celular y la fotosíntesis.
- Los **disacáridos** son oligosacáridos; glúcidos de cadena corta formados por la unión de dos monosacáridos unidos mediante enlace O-glucosídico. Este enlace se establece entre dos grupos hidroxilo de diferentes monosacáridos, denominándose enlace monocarbonílico cuando interviene el hidroxilo del carbono anomérico del primer monosacárido, y enlace dicarbonílico si intervienen los hidroxilos de los carbonos anoméricos de ambos monosacáridos.
Algunos disacáridos –como la lactosa y la sacarosa– se encuentran libres en la naturaleza, presentando función energética; otros forman polímeros, como la **maltosa** (producto de la hidrólisis del almidón o del glucógeno) y la **celobiosa** (producto de la hidrólisis de la celulosa).
- Los polisacáridos son polímeros constituidos por la unión de muchos monosacáridos mediante enlaces O-glucosídicos, que originan largas cadenas moleculares, lineales o ramificadas. Cuando contienen una repetición de monosacáridos iguales se denominan **homopolisacáridos**; cuando están formados por monosacáridos diferentes son **heteropolisacáridos**.
Pueden contener enlaces tipo α o β . Los enlaces α son más débiles, y se rompen y forman con gran facilidad, por lo que se encuentran en los polisacáridos con función de reserva. El enlace tipo β es mucho más estable y resistente, por lo que es característico de polisacáridos con función estructural.
Los polisacáridos de reserva se acumulan en gránulos insolubles en el citoplasma celular, siendo utilizados por los seres vivos como almacén de moléculas de glucosa, cuya degradación proporciona a las células la energía necesaria para mantener la vida. Los de mayor interés biológico son:

- **Almidón.** Es el homopolisacárido de reserva de las células vegetales. Está formado por una mezcla de dos componentes con diferentes estructuras: la amilosa, constituida por cadenas largas no ramificadas de moléculas de α -D-glucosa unidas mediante enlaces α (1 $\rightarrow$ 4), que adoptan un enrollamiento helicoidal; y la amilopectina, muy ramificada, y con un esqueleto de monómeros de α -D-glucosa con uniones α (1 $\rightarrow$ 4) y puntos de ramificación con enlaces α (1 $\rightarrow$ 6) cada 15 ó 30 monómeros.

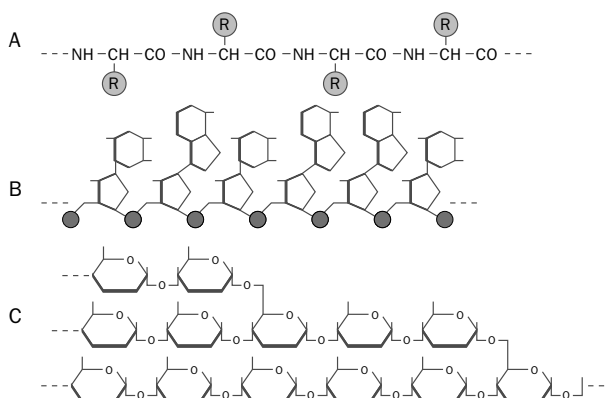
Se encuentra en los plastos de las células vegetales y es abundante en los órganos de reserva de las plantas como tubérculos, semillas o raíces.

- **Glucógeno.** Es el homopolisacárido de reserva de las células animales. Su constitución es similar a la de las cadenas de amilopectina con enlaces α (1 $\rightarrow$ 4), aunque posee más ramificaciones en α (1 $\rightarrow$ 6); aproximadamente, una cada 8 ó 12 monómeros. Se almacena en forma de gránulos en el hígado y en el músculo esquelético, donde se hidroliza fácilmente y rinde gran cantidad de glucosa cuando se requiere.

Los polisacáridos estructurales proporcionan soporte y protección a diversas estructuras y organismos. Los de mayor interés biológico son los homopolisacáridos celulosa y quitina.

- **Celulosa.** Es un homopolisacárido lineal de β -D-glucosa con enlaces β (1 $\rightarrow$ 4). La unión de varias cadenas de celulosa origina fibras de diferente grosor, que forman capas o láminas en dirección alternante, y constituye el entramado esencial de la pared celular vegetal.
- **Quitina.** Polímero lineal de N-acetil- β -D-glucosamina con enlaces β (1 $\rightarrow$ 4). Forma parte del exoesqueleto de los artrópodos y de las paredes celulares de los hongos. Su estructura es similar a la de la celulosa, y, como ella, forma capas alternas. Esto confiere una gran resistencia y dureza a los organismos. Se piensa que el exoesqueleto de quitina es una de las claves del gran éxito evolutivo de los artrópodos, ya que contribuye a su locomoción y les proporciona protección frente a las agresiones externas.

3.14. Observa las moléculas representadas, y responde a las siguientes cuestiones.



- En la figura se representan esquemáticamente tres tipos de macromoléculas presentes en los seres vivos (A, B y C). Identifica la que pertenece al grupo de glúcidos.
 - De entre los siguientes elementos, indica cuáles intervienen regularmente en la composición de los glúcidos: carbono, hidrógeno, oxígeno, fósforo, nitrógeno y azufre.
 - Indica, mediante ejemplos, dos funciones diferentes de los glúcidos, explicando muy brevemente en qué consisten tales funciones.
- La molécula C pertenece al grupo de glúcidos. La A pertenece a las proteínas, y la B a ácidos nucleicos.
 - Los átomos de carbono (C), hidrógeno (H) y oxígeno (O) intervienen, regularmente, en la composición de los glúcidos. Solo excepcionalmente pueden contener átomos de otros elementos como nitrógeno (N), azufre (S) o fósforo (P).
 - Las funciones que desempeñan los glúcidos en los seres vivos son principalmente de dos tipos:
 - **Función energética:** son la principal fuente de energía de los seres vivos; por ejemplo, la glucosa, el almidón y el glucógeno.
 - **Función estructural:** forman parte fundamental de las paredes celulares de los vegetales, de los hongos y de las bacterias, y son también moléculas asociadas a los componentes estructurales de las membranas plasmáticas. Por ejemplo, la celulosa presente en las células vegetales, y la quitina componente del exoesqueleto de artrópodos y de las células de los hongos.

3.15. El almidón y el glucógeno son moléculas de reserva.

- Indica su composición y estructura.
- Explica dónde llevan a cabo tal función.
- Señala las diferencias estructurales y funcionales entre el almidón y la celulosa.

- a) El **almidón** es el homopolisacárido de reserva de las células vegetales. Está formado por una mezcla de dos componentes con diferentes estructuras: la amilosa, constituida por cadenas largas no ramificadas de moléculas de α -D-glucosa unidas mediante enlaces α (1 $\rightarrow$ 4), que adoptan un arrollamiento helicoidal; y la amilopectina, muy ramificada, con un esqueleto de monómeros de α -D-glucosa con uniones α (1 $\rightarrow$ 4) y puntos de ramificación con enlaces α (1 $\rightarrow$ 6) cada 15 ó 30 monómeros.

El **glucógeno** es el homopolisacárido de reserva de las células animales. Su constitución es similar a la de las cadenas de amilopectina con enlaces α (1 $\rightarrow$ 4), aunque posee más ramificaciones en α (1 $\rightarrow$ 6); aproximadamente, una cada 8 ó 12 monómeros.

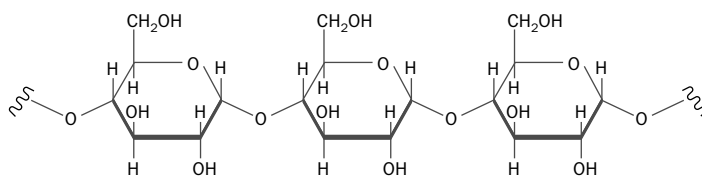
- b) El **almidón** se encuentra en los plastos de las células vegetales, y es abundante en los órganos de reserva de las plantas como tubérculos, semillas o raíces.

El **glucógeno** se almacena en forma de gránulos en el hígado y en el músculo esquelético, donde se hidroliza fácilmente y rinde gran cantidad de glucosa cuando se requiere.

- c) El **almidón** es sintetizado durante la fotosíntesis, y se acumula en forma de gránulos de almidón dentro de la célula, bien en el interior de los cloroplastos o en los amiloplastos. Es un homopolisacárido formado por cadenas lineales y ramificadas constituidas por moléculas de α -D-glucosa, unidas mediante enlaces α (1 $\rightarrow$ 4) y puntos de ramificación con enlaces α (1 $\rightarrow$ 6). Es una molécula con función de reserva energética.

La **celulosa** es un homopolisacárido lineal de β -D-glucosa con enlaces β (1 $\rightarrow$ 4). La unión de varias cadenas de celulosa origina fibras de diferente grosor, que forman capas o láminas en dirección alternante y constituye el entramado esencial de la pared celular vegetal. Es una molécula con función estructural.

3.16. Responde a las siguientes cuestiones relacionadas con la molécula representada.



- ¿A qué grupo de biomoléculas pertenece?
- ¿Qué componentes moleculares la forman?
- Explica el tipo de enlace que se establece entre dichos componentes.
- Comenta alguna de las funciones que este tipo de biomoléculas realiza en las células.

- a) La molécula es un fragmento de un polisacárido, y, por tanto, pertenece al grupo de los glúcidos.
- b) El polisacárido representado está formado por unidades de α -D-glucosa.
- c) Las moléculas de α -D-glucosa están unidas mediante enlaces O-glucosídicos α (1 $\rightarrow$ 4). Este enlace se establece entre dos grupos hidroxilo de diferentes monosacáridos. Se denomina síntesis por condensación o deshidratación debido a la liberación de una molécula de agua.
- d) Los polisacáridos son polímeros constituidos por la unión de muchos monosacáridos mediante enlaces O-glucosídicos, que originan largas cadenas moleculares, lineales o ramificadas. Cuando contienen una repetición de monosacáridos iguales se denominan homopolisacáridos; cuando están formados por monosacáridos diferentes son heteropolisacáridos.

Pueden contener enlaces tipo α o β . Los enlaces α son más débiles, y se rompen y forman con gran facilidad, por lo que se encuentran en los polisacáridos con función de reserva. El enlace tipo β es mucho más estable y resistente, por lo que es característico de polisacáridos con función estructural.

Los polisacáridos de reserva se acumulan en gránulos insolubles en el citoplasma celular, siendo utilizados por los seres vivos como almacén de moléculas de glucosa cuya degradación proporciona a las células la energía necesaria para mantener la vida. Los de mayor interés biológico son el almidón en los organismos vegetales y el glucógeno en los animales.

Los polisacáridos estructurales proporcionan soporte y protección a diversas estructuras y organismos. Los de mayor interés biológico son la celulosa, que forma parte de la pared celular de las células vegetales, y la quitina, que constituye el exoesqueleto de los artrópodos.

3.17. Los glúcidos son principios inmediatos o biomoléculas.

- a) Define el concepto de glúcido.
- b) Explica en qué consiste el enlace O-glucosídico.
- c) Describe brevemente las funciones biológicas más importantes de los glúcidos.

a) Los glúcidos se conocen también como hidratos de carbono o carbohidratos. Son biomoléculas constituidas por átomos de carbono (C), hidrógeno (H) y oxígeno (O) en una proporción como la que indica su fórmula empírica $C_nH_{2n}O_n$; pueden contener, excepcionalmente, átomos de otros elementos como nitrógeno (N), azufre (S) o fósforo (P). Los más simples se llaman osas o monosacáridos; de la unión de estos monómeros se obtienen moléculas más complejas llamadas ósidos, que pueden contener un número variable de osas e incluso fracciones moleculares diferentes como lípidos o proteínas.

Los monosacáridos, unidades estructurales de los glúcidos, se unen para formar moléculas más complejas, denominadas ósidos, mediante enlaces O-glucosídicos, con pérdida de una molécula de agua.

- b) Este tipo de enlace se establece entre el radical -OH del carbono hemiacetalítico (carbono que porta el grupo aldehído o el cetónico en la fórmula lineal del monosacárido) y el grupo alcohol de otro monosacárido. El enlace es α -glucosídico cuando el primer monosacárido es α (el grupo -OH unido al carbono hemiacetalítico está hacia abajo), y β -glucosídico cuando el primer monosacárido es β (el grupo -OH está hacia arriba).
- c) Los monosacáridos tienen gran interés debido a que son los monómeros constituyentes de todos los glúcidos. También se presentan libres, y actúan como nutrientes de las células para la obtención de energía, o como metabolitos intermediarios de importantes procesos biológicos como la respiración celular o la fotosíntesis.

Entre los **ósidos**, son especialmente importantes los disacáridos, constituidos por la unión de dos monosacáridos, y los polisacáridos, que contienen muchos monosacáridos.

Los **disacáridos** se encuentran libres en la naturaleza, presentando función energética, como la lactosa y la sacarosa; otros forman polímeros, como la maltosa (producto de la hidrólisis del almidón o del glucógeno) y la celobiosa (producto de la hidrólisis de la celulosa).

Los **polisacáridos** son sustancias de elevado peso molecular, y presentan dos funciones biológicas características; bien como sustancias de reserva o bien como moléculas estructurales. Los que realizan una función estructural presentan enlace β -glucosídico, y los que realizan una función de reserva energética presentan el enlace α -glucosídico.

Los **polisacáridos de reserva** se acumulan en gránulos insolubles en el citoplasma celular, siendo utilizados por los seres vivos como almacén de moléculas de glucosa, cuya degradación proporciona a las células la energía necesaria para mantener la vida. Los de mayor interés biológico son el almidón, en los organismos vegetales, y el glucógeno en los animales.

Los **polisacáridos estructurales** proporcionan soporte y protección a diversas estructuras y organismos. Los de mayor interés biológico son la celulosa, que forma parte de la pared celular de las células vegetales, y la quitina, que constituye el exoesqueleto de los artrópodos.

3.18. La glucosa es el nutriente predilecto de todas las células. Explica por qué los animales no poseen almacenes de polisacáridos de reserva tan grandes como los vegetales.

Los polisacáridos de reserva se consideran las principales fuentes de energía directa por su rápida movilización al ser solubles en agua. El **glucógeno**, polisacárido de reserva de los animales, tiene que almacenarse hidratado, por lo que su masa molecular aumenta considerablemente. Por este motivo, las reservas de glucógeno son limitadas y se agotan rápidamente.

Las necesidades energéticas de los animales son mayores que las de los vegetales, por lo que en lugar de almacenes enormes de glúcidos, que dificultarían el desplazamiento, poseen reservas de grasa cuyo aporte energético es muy superior. Cada gramo de grasa libera 9 Kcal (37,62 KJ) frente a 3,75 Kcal (17,68 KJ) que aporta una cantidad igual de glúcido.

3.19. La celulosa. Composición, estructura, propiedades y distribución en los seres vivos.

Es un **homopolisacárido lineal** de β -D-glucosa con enlace β (1 $\rightarrow$ 4). Debido a este tipo de enlace, cada glucosa gira 180° respecto a sus vecinas. Entre las glucosas de una misma cadena se establecen enlaces de hidrógeno intracatenarios. Además, las cadenas lineales se disponen en paralelo, y se mantienen estrechamente unidas unas con otras mediante enlaces de hidrógeno intercatenarios. Esta configuración confiere a la celulosa una estructura de gran resistencia, ya que los enlaces β quedan protegidos, convirtiendo la celulosa en una molécula relativamente inerte.

La unión de 60 ó 70 cadenas de celulosa forma la llamada micela de celulosa. A su vez, la asociación de 20 ó 30 micelas da lugar a una microfibrilla, que se puede unir con otras para originar fibras de diferente grosor que forman capas o láminas en dirección alternante; constituyen, además, el entramado esencial de la pared celular vegetal.

La celulosa carece de sabor dulce, no tiene carácter reductor y es insoluble en agua. Solo puede ser hidrolizada totalmente a glucosa por algunas enzimas producidas por microorganismos, como las bacterias de la flora intestinal de los animales herbívoros o los protozoos que viven en el intestino de las termitas.

La celulosa forma parte de la pared celular de las células vegetales, que constituye un exoesqueleto de protección que da forma a las células y es responsable de que las plantas se mantengan erguidas.

3.20. Indica si son verdaderas o falsas las siguientes afirmaciones relacionadas con el glucógeno.

- a) **Es un óxido presente en la sangre.**
 - b) **Es un polisacárido de reserva animal.**
 - c) **Es un polisacárido de reserva vegetal.**
 - d) **Es un glúcido de membrana.**
- a) Falsa. El glucógeno es un óxido que se almacena en forma de gránulos en las células del hígado y del músculo esquelético.
 - b) Verdadera. Es un polisacárido formado por moléculas de α -D-glucosa con enlaces α (1 $\rightarrow$ 4), aunque posee más ramificaciones en α (1 $\rightarrow$ 6). Se almacena en el hígado y en el músculo esquelético, donde se hidroliza fácilmente y rinde gran cantidad de glucosa cuando se requiere.
 - c) Falsa. Es un polisacárido de reserva animal. El polisacárido de reserva vegetal es el almidón.
 - d) Falsa. Los glúcidos de membrana son glucolípidos y glucoproteínas, cuya fracción glucídica nunca es un polisacárido.

3.21. Glúcidos. Importancia biológica.

- a) **Explica qué son los polisacáridos. Cita tres polisacáridos e indica su función biológica.**
- b) **En algunas células, la glucosa es completamente degradada en presencia de oxígeno; en su ausencia, solo es parcialmente degradada. ¿Qué ventajas crees que tiene la degradación total de la glucosa con respecto a su degradación parcial?**

- a) Los polisacáridos son polímeros constituidos por la unión de muchos monosacáridos mediante enlaces O-glucosídicos que originan largas cadenas moleculares, lineales o ramificadas. Cuando contienen una repetición de monosacáridos iguales se denominan **homopolisacáridos**; cuando están formados por monosacáridos diferentes son **heteropolisacáridos**.

Pueden contener enlaces tipo α o β . Los enlaces α son más débiles, y se hidrolizan y polimerizan con gran facilidad, por lo que se encuentran en los polisacáridos con función de reserva. El enlace tipo β es mucho más estable y resistente, por lo que es característico de polisacáridos con función estructural. Los **polisacáridos de reserva** se acumulan en gránulos insolubles en el citoplasma celular, siendo utilizados por los seres vivos como almacén de moléculas de glucosa cuya degradación proporciona a las células la energía necesaria para mantener la vida.

Los polisacáridos estructurales proporcionan soporte y protección a diversas estructuras y organismos.

Los de mayor interés biológico son:

- Almidón. Es el homopolisacárido de reserva de las células vegetales. Se encuentra en los plastos de las células vegetales, y es abundante en los órganos de reserva de las plantas, como los tubérculos o raíces, y en las semillas.
 - Glucógeno. Es el homopolisacárido de reserva de las células animales. Se almacena en forma de gránulos en el hígado y en el músculo esquelético, donde se hidroliza fácilmente y rinde gran cantidad de glucosa cuando se requiere.
 - Celulosa. Es un homopolisacárido estructural presente en las células vegetales. La unión de varias cadenas de celulosa origina fibras de diferente grosor, que forman capas o láminas en dirección alternante, y constituye el entramado esencial de la pared celular vegetal.
- b) La degradación total de la glucosa es ventajosa respecto a la degradación parcial porque aporta una cantidad de energía muy superior.

3.22. Las vacas lecheras dan cada día una media de entre 30 y 40 litros de leche, con un elevado contenido de grasa, glúcidos y proteínas. Y todo esto lo producen a partir de la hierba de la que se alimentan. Por sí mismas, no pueden digerir la celulosa. Consiguen hacerlo gracias a la gran cantidad de bacterias que tienen en su aparato digestivo.

- a) ¿Qué crees que tienen las bacterias (que les falta a las vacas) para poder digerir la celulosa?
- b) Explica qué tipo de relación interespecífica se establece entre estas bacterias y la vaca.

- a) La celulosa solo puede ser hidrolizada totalmente a glucosa por las enzimas denominadas celulasas. Estas enzimas son producidas por las bacterias que viven en el aparato digestivo de las vacas.
- b) La relación interespecífica en que ambos organismos obtienen beneficio se denomina simbiosis. En el aparato digestivo de las vacas, las bacterias disponen de alimento y, a su vez, les proporcionan las enzimas necesarias para digerir la celulosa.

3.23. En relación con los glúcidos, responde a las cuestiones.

- a) ¿Qué es un glúcido?
- b) Indica la diferencia entre monómero y polímero, poniendo dos ejemplos de cada uno de ellos.
- c) Cita compuestos de interés biológico, donde aparezcan enlaces α (1→6).
- d) Cita algún compuesto estructural que forme parte de los vegetales.

- a) Los glúcidos se conocen también como hidratos de carbono o carbohidratos. Son biomoléculas constituidas por átomos de carbono (C), hidrógeno (H) y oxígeno (O) en una proporción como la que indica su fórmula empírica $C_nH_{2n}O_n$; pueden contener, excepcionalmente, átomos de otros elementos como nitrógeno (N), azufre (S) o fósforo (P).

Los más simples se llaman **osas** o monosacáridos; de la unión de estos monómeros se obtienen moléculas más complejas llamadas **ósidos**, que pueden contener un número variable de osas, e incluso fracciones moleculares diferentes como lípidos o proteínas.

- b) Los **polímeros** son moléculas complejas constituidas por la unión de muchos monómeros. Los monómeros son unidades estructurales básicas no hidrolizables. La **celulosa** es un polímero lineal formado por la unión, mediante enlaces β (1→4), de numerosos monómeros de N-acetil- β -D-glucosamina. El **glucógeno** es un polímero constituido por la unión de monómeros de α -D-glucosa unidos mediante enlace α (1→4), y ramificaciones en α (1→6) cada 8 ó 12 monómeros.
- c) Los glúcidos que presentan enlaces α (1→6) son los **polisacáridos de reserva**. Se acumulan en gránulos insolubles en el citoplasma celular, siendo utilizados por los seres vivos como almacén de moléculas de glucosa cuya degradación proporciona a las células la energía necesaria para mantener la vida. Los de mayor interés biológico son:

- **Almidón**. Es el homopolisacárido de reserva de las células vegetales. Está formado por una mezcla de dos componentes con diferentes estructuras: la amilosa, constituida por cadenas largas no ramificadas de moléculas de α -D-glucosa, unidas mediante enlaces α (1→4) que adoptan un arrollamiento helicoidal; y la amilopectina, muy ramificada, con un esqueleto de monómeros de α -D-glucosa con uniones α (1→4) y puntos de ramificación con enlaces α (1→6) cada 15 ó 30 monómeros. Se encuentra en los plastos de las células vegetales, y es abundante en los órganos de reserva de plantas como tubérculos, semillas o raíces
- **Glucógeno**. Es el homopolisacárido de reserva de las células animales. Su constitución es similar a la de las cadenas de amilopectina con enlaces α (1→4), aunque posee más ramificaciones en α (1→6); aproximadamente, una cada 8 ó 12 monómeros. Se almacena en forma de gránulos en el hígado y en el músculo esquelético, donde se hidroliza fácilmente y rinde gran cantidad de glucosa cuando se requiere.

- d) La celulosa es un homopolisacárido estructural presente en las células vegetales. La unión de varias cadenas de celulosa origina fibras de diferente grosor, que forman capas o láminas en dirección alterna, y constituye el entramado esencial de la pared celular vegetal.

3.24. Completa la siguiente tabla.

Nombre	Función en los seres vivos	Tipo de compuesto químico	Localización
Almidón	Reserva energética	Homopolisacárido	Plastos de células vegetales Órganos de reserva de las plantas
Fructosa	Energética	Monosacárido	Frutas Líquido seminal
Inmunoglobulina	Defensiva	Glucoproteína	Tejidos animales
Quitina	Estructural	Homopolisacárido	Exoesqueleto de artrópodos Pared celular de los hongos
Glucógeno	Reserva energética	Homopolisacárido	Hígado Músculo esquelético
Hemicelulosa	Estructural	Heteropolisacárido	Pared celular vegetal
Sacarosa	Energética	Disacárido	Células vegetales
Desoxirribosa	Estructural	Monosacárido (Desoxi-azúcar)	ADN

UN PASO MÁS

3.25. Un grupo de alumnos de Bachillerato obtuvo los siguientes resultados en una práctica de laboratorio, cuyo objetivo era identificar tres muestras de glúcidos diferentes.

Glúcido	Glúcido + Licor de Fehling	Glúcido + Lugol
1	Reacción positiva	Reacción negativa
2	Reacción negativa	Reacción positiva
3	Reacción negativa	Reacción negativa

- a) Explica la utilidad de ambos reactivos en el reconocimiento de glúcidos.
- b) ¿Podrías indicar a qué tipo de glúcidos pertenecen las dos primeras muestras?
- c) La muestra 3 fue sometida a hidrólisis en medio ácido, y posteriormente dio reacción positiva con el reactivo de Fehling. Identifica qué contenía la muestra y justifica los resultados obtenidos.

- a) Todos los monosacáridos y la mayoría de los disacáridos tienen la capacidad de reducir otros compuestos. Esta propiedad es detectable a través de la reacción de Fehling.

El licor de Fehling consta de solución A, que aporta sulfato de cobre, y solución B, que constituye el medio alcalino necesario para que se verifique la reacción.

En medio alcalino y en presencia de un azúcar reductor, el CuSO_4 (Cu^{2+}) de color azul se reduce formando Cu_2O (Cu^+) de color rojo ladrillo.

La presencia de polisacáridos en una muestra puede detectarse utilizando lugol. Este reactivo está constituido por una disolución de yodo y yoduro potásico de color ámbar. En contacto con almidón, la solución adquiere una coloración azul-violeta; en el caso de las dextrinas o el glucógeno, la coloración es roja.

- b) La muestra 1 es un azúcar reductor; puede ser un monosacárido o un disacárido con enlace monocarbonílico al ser positiva la reacción con el licor de Fehling. No es un polisacárido, ya que la reacción con lugol es negativa.

La muestra 2 es un polisacárido, al ser positiva la reacción con el lugol.

- c) La muestra 3 es un disacárido con enlace dicarbonílico. La presencia de este enlace explica que, aun tratándose de un disacárido, no reaccione positivamente con el licor de Fehling, al no poseer carácter reductor. La hidrólisis en medio ácido de la sacarosa rompe el enlace O-glucosídico, rindiendo glucosa y fructosa –ambos monosacáridos con carácter reductor–, que reaccionan positivamente con el licor de Fehling.

3.26. Aunque no posea ningún valor nutricional ni energético, la fibra constituye un elemento vital en la dieta diaria.

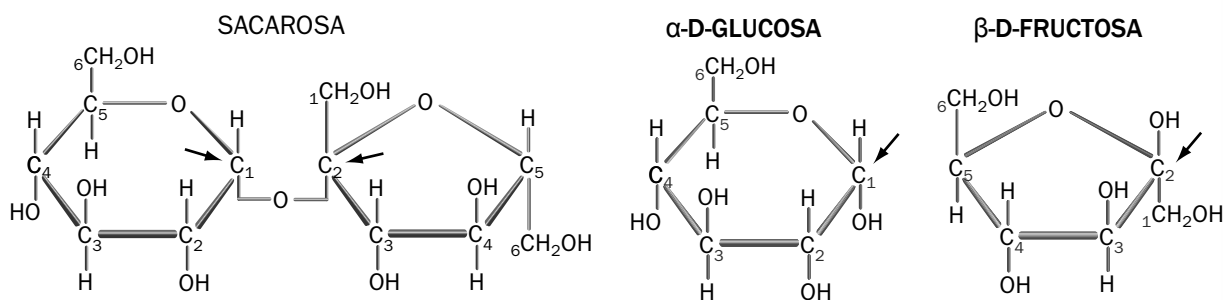
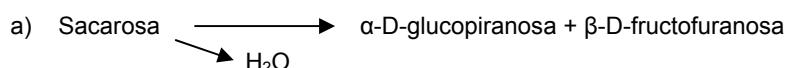
Los alimentos ricos en fibra suelen proporcionar una mayor sensación de saciedad y un menor aporte energético. Algunos tipos de fibra pueden retener varias veces su peso de agua, por lo que son la base de una buena movilidad intestinal al aumentar el volumen y ablandar los residuos intestinales.

- ¿Qué moléculas pueden constituir parte de la fibra?
- Explica la carencia de valor nutricional y energético.
- ¿A qué se debe la retención de agua?

- La fibra está constituida por polisacáridos estructurales de las células vegetales, constituidos por glucosa, fructosa y otros monosacáridos. Entre estas moléculas se encuentran:
 - Celulosa.** Polímero de β -D-glucosa que origina fibras de diferente grosor que forman capas o láminas, y constituyen el entramado esencial de la pared celular vegetal.
 - Hemicelulosas.** Heteropolisacárido presente en la pared celular de las células vegetales, que recubre las fibras de celulosa y permite su anclaje a la matriz de pectinas.
 - Pectinas.** Heteropolisacárido presente en la pared celular vegetal, donde forman una matriz en la que se disponen las fibras de celulosa.
- El ser polisacáridos de difícil digestión impide la obtención de monómeros. Solo los monómeros pueden ser nutrientes celulares, gracias a su absorción a través de las microvellosidades intestinales.
- El complejo entramado de los polisacáridos en las paredes de las células vegetales y la presencia de enlaces O-glucosídicos tipo β impiden su digestión, por lo que envuelven el contenido intestinal. El carácter insoluble de estas moléculas facilita la retención de agua, lo que provoca un aumento de la masa fecal y contribuye a evitar el estreñimiento.

3.27. El azúcar invertido se produce de forma natural en la miel de abeja, razón por la cuál es tan dulce. Recibe el nombre de azúcar invertido la mezcla de azúcares producida cuando la sacarosa se hidroliza química o enzimáticamente. El nombre de inversión se refiere al cambio de poder rotatorio que se observa durante dicha hidrólisis: la sacarosa es dextrógira (+66°), pero al transformarse en glucosa (+52°) y en fructosa (-92°), la mezcla resultante desarrolla un poder levorrotatorio (-20°) por la fuerte influencia de la cetohexosa. Es precisamente a este giro de +66° a -22° a lo que se llama inversión.

- Escribe la reacción de hidrólisis de la sacarosa.
- ¿A qué se refiere el texto cuando indica que la sacarosa es dextrógira (+66°)?
- ¿Qué tipo de hexosa es la glucosa?
- ¿Qué tienen en común las moléculas con poder rotatorio?



- Se refiere a que la sacarosa presenta actividad óptica, es decir, capacidad de desviar el plano de polarización de un haz de luz polarizada. Cada molécula efectúa una rotación del plano de polarización hacia la derecha o hacia la izquierda. Cuando la rotación es en el sentido de las agujas del reloj, se denominan dextrógiras o (+); cuando la rotación es contraria a las agujas del reloj, son levógiras o (-). La sacarosa desvía el haz de luz polarizada un ángulo de 66° hacia la derecha.
- La glucosa es una aldohexosa.
- La actividad óptica está determinada por la presencia en la molécula de, al menos, un carbono asimétrico; carbono unido a cuatro radicales diferentes entre sí.

3.28. Un artículo de una revista de información general exponía lo siguiente.

“...En los alimentos existen dos tipos de glúcidos: azúcares simples y azúcares complejos o polisacáridos. Los primeros tienen sabor dulce, son de fácil digestión y rápido aporte energético. Los segundos se forman por la unión de varios azúcares simples y se clasifican en digeribles que son utilizables como fuente de energía y no digeribles que forman parte de la fibra alimentaria...”

- Redacta una crítica al artículo, que incluya los aspectos ciertos y los erróneos.
- ¿A qué tipo de glúcidos podría estar refiriéndose el artículo al hablar de azúcares simples, polisacáridos digeribles y polisacáridos no digeribles?
- ¿Existe alguna razón científica que justifique el criterio de clasificación empleado en el artículo?
- ¿Hay otro criterio de clasificación de los polisacáridos?

- Pueden considerarse ciertos los siguientes aspectos:

- Existen glúcidos simples con sabor dulce, y glúcidos complejos que carecen de sabor dulce.
- La fibra alimentaria está constituida por polisacáridos estructurales, cuyo complejo entramado unido a la presencia de enlaces tipo β dificulta su digestión.

Sin embargo, aparecen en el texto numerosos aspectos que son erróneos:

- Los glúcidos complejos no pueden llamarse azúcares, ya que no poseen sabor dulce. Los polisacáridos no son los únicos glúcidos complejos; existen los oligosacáridos superiores, que contienen entre 3 y 10 monosacáridos, y los heterósidos, formados por una fracción glucídica unida a lípidos o proteínas.
 - La digestión de estas moléculas puede relacionarse con la cantidad de enlaces O-glucosídicos para hidrolizar; será más lenta cuanto mayor sea el tamaño de la molécula, pero no más difícil. La dificultad estriba principalmente en el tipo de enlace O-glucosídico. El enlace α , presente en moléculas de almidón, es fácilmente digerible; todo lo contrario que el enlace β , que existe en las moléculas de celulosa.
 - Tras la digestión, los glúcidos en forma de monosacáridos son absorbidos y almacenados en forma de glucógeno en el hígado o en el músculo esquelético, donde se hidroliza fácilmente rindiendo gran cantidad de glucosa a las células que lo requieran. Los glúcidos simples se absorben más rápidamente que los complejos, pero ello no significa que sean de rápido aporte energético; pueden ser transformados en grasa si las reservas hepática y muscular están completas.
- Los azúcares simples son los monosacáridos y los disacáridos. Los polisacáridos digeribles son polímeros lineales o ramificados con enlaces tipo α , y los polisacáridos no digeribles son polímeros con enlaces tipo β .
 - El primer criterio empleado es el tamaño de las moléculas, que, a su vez, se relaciona con la velocidad de absorción a través de las microvellosidades intestinales. Los glúcidos simples (monosacáridos y disacáridos) son de absorción rápida, y los complejos, de mayor tamaño molecular, son de absorción lenta.
El segundo criterio es que sean o no digeribles. La clasificación puede coincidir con la presencia de enlaces O-glucosídicos tipo α (polisacáridos digeribles) y tipo β (polisacáridos no digeribles). Los enlaces α son más débiles, y se rompen y forman con gran facilidad, por lo que se encuentran en los polisacáridos con función de reserva. El enlace tipo β es mucho más estable y resistente, por lo que es característico de polisacáridos con función estructural.
 - Los polisacáridos son polímeros constituidos por la unión de muchos monosacáridos mediante enlaces O-glucosídicos, que originan largas cadenas moleculares, lineales o ramificadas. Cuando contienen una repetición de monosacáridos iguales se denominan homopolisacáridos; cuando están formados por monosacáridos diferentes son heteropolisacáridos.

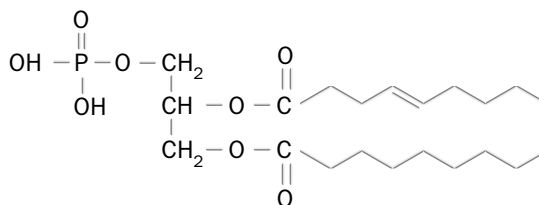
ACTIVIDADES PAU RESUELTAS

4.1.

- Indica qué son los lípidos. Haz una clasificación de los lípidos indicando los criterios que utilizas, y cita algún ejemplo de cada nivel de la clasificación.
- El agua y las sustancias apolares atraviesan fácilmente la membrana plasmática, mientras que las sustancias polares lo hacen con más dificultad. Explica razonadamente la causa.

Actividad resuelta en el libro del alumno.

4.2. En la siguiente figura se representa una biomolécula.



- ¿Qué tipo de biomolécula es?
- ¿Qué simboliza la línea quebrada?
- ¿En qué estructuras celulares podrías encontrarla y cuál sería su función?
- ¿Cuál sería su comportamiento en medio acuoso?

Actividad resuelta en el libro del alumno.

4.3.

- Indica la naturaleza química de los ácidos grasos. Señala las diferencias entre ácidos grasos saturados e insaturados.
- Indica a qué tipo de moléculas biológicas pertenecen los carotenoides, así como algunas de sus funciones en las plantas.

Actividad resuelta en el libro del alumno.

ACTIVIDADES

- 4.4. Para la fabricación de jabones se utilizan todo tipo de grasas vegetales y animales. Sin embargo, el jabón se emplea para eliminar las manchas de grasa tanto de la piel como de los tejidos. Explícalo razonadamente.

Los **lípidos saponificables** forman jabones cuando se les somete a una hidrólisis alcalina, que desde el punto de vista químico son sales de los ácidos grasos. A la reacción de formación de un jabón se le denomina saponificación.

Las **moléculas de jabón** tienen una estructura bipolar; uno de los dos polos es hidrófilo, y el otro –formado por la cadena alifática–, es hidrófobo. Cuando el jabón se disuelve en agua, los componentes hidrófilos e hidrófobos se orientan formando una estructura llamada micela, en la que el polo hidrófilo se sitúa hacia el exterior, mientras que el hidrófobo se sitúa hacia el interior, alejándose del agua lo más posible.

Las **grasas** son insolubles en el agua. Cuando se agita una mezcla de agua y grasa, se forma una emulsión pasajera; pero cuando añadimos jabón, la emulsión es permanente, puesto que pequeñísimas cantidades de grasa quedan englobadas en el interior de las micelas de jabón. Dicho de otra manera, cada pequeña gota de grasa se rodea de una finísima capa de jabón. Cuando se produce el aclarado de las manos o de la ropa, el agua arrastra las micelas, y con ellas se elimina la grasa que provoca la suciedad.

4.5. Enumera los diferentes tipos de lípidos y explica su función biológica. Describe el enlace éster característico de algunos tipos de lípidos.

Los lípidos se clasifican en dos grandes grupos: **lípidos saponificables** e **insaponificables**.

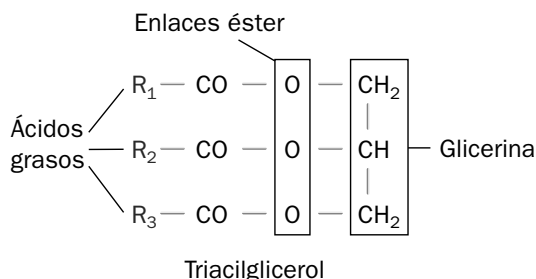
Entre los saponificables, se encuentran las **grasas**, las **ceras**, los **fosfolípidos** y los **esfingolípidos**. Las funciones biológicas de estos lípidos saponificables son:

- **Grasas.** Son la principal reserva energética tanto en los animales como en los vegetales, actúan como aislantes térmicos y como un almacén de alimento.
- **Ceras.** Funciones de protección, revestimiento e impermeabilizante.
- **Fosfolípidos.** Tienen una función eminentemente estructural, ya que son los principales integrantes de las membranas celulares.
- **Esfingolípidos.** Existen dos tipos de esfingolípidos, las esfingomielinas y los esfingoglucolípidos. Las esfingomielinas se encuentran en las membranas de las células animales y, fundamentalmente, en la vaina de mielina que rodea las fibras nerviosas. Esta vaina se forma por el enrollamiento de la célula de Schwann alrededor del axón, aislándolo y protegiéndolo. Los esfingoglucolípidos se disponen en la zona externa de la membrana plasmática junto a las glucoproteínas, formando el glucocálix. Esta zona periférica de la membrana celular está constituida por las fracciones glucídicas de los esfingoglucolípidos y de las glucoproteínas, que se proyectan hacia el exterior de la membrana.

Entre los insaponificables se encuentran los terpenos, los esteroides y las prostaglandinas.

- **Terpenos.** Algunos terpenos son esencias que dan olor a las plantas, otros son vitaminas como la A, la E o la K, son precursores del colesterol, o bien son pigmentos vegetales como la xantofila o los carotenoides, que colaboran con la clorofila en la fotosíntesis.
- **Esteroides.** Son esteroides importantes el colesterol, que tiene función estructural; la vitamina D, que regula la absorción del calcio; las hormonas esteroideas, que regulan importantes procesos biológicos; y los ácidos biliares, que forman la bilis.
- **Prostaglandinas.** Pueden actuar como vasodilatadores regulando la presión arterial, e intervienen en los procesos inflamatorios que provocan fiebre, rubor, edema y dolor.

El **enlace éster** es un tipo de enlace covalente que se forma entre el grupo hidroxilo (-OH) de un alcohol y el grupo carboxilo (-COOH) de un ácido carboxílico, perdiendo una molécula de agua.



4.6. Define ácido graso y escribe su fórmula general. Explica las principales propiedades físicas y químicas de los ácidos grasos.

Los ácidos grasos son ácidos orgánicos monocarboxílicos, de fórmula general $\text{CH}_3\text{-(CH}_2\text{)}_n\text{-COOH}$ y con un número par de átomos de carbono (entre 10 y 22).

Las principales propiedades físicas y químicas de los ácidos grasos son:

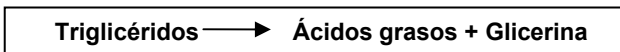
- Son compuestos **anfipáticos**. Poseen dos zonas: una polar, que contiene el grupo carboxilo (-COOH) de carácter hidrófilo; y otra apolar, que es la cadena carbonada (alifática) e hidrófoba. El grupo carboxilo establece enlaces de hidrógeno con otras moléculas polares, mientras que la cadena alifática interacciona mediante fuerzas de Van der Waals con otras cadenas de ácidos grasos adyacentes.
- **Reaccionan** con los alcoholes formando ésteres y liberando agua. Se hidrolizan en presencia de álcalis (saponificación) formando sales de sodio y potasio (jabones).
- **Punto de fusión.** Viene determinado por el grado de insaturación y por la longitud de la cadena alifática. El punto de fusión aumenta con la longitud de la cadena, ya que las interacciones de Van der Waals con otras cadenas semejantes se incrementan. Sin embargo, la presencia de dobles enlaces origina codos en las moléculas que, además de acortarlas, favorecen la disminución del punto de fusión por reducir el número de interacciones con otras cadenas.

4.7. La publicidad de cierto producto lácteo dice: “Si está preocupado por el colesterol y los triglicéridos, le interesa saber que existen dos tipos de grasas: las saturadas y las insaturadas; siendo estas últimas más saludables, por lo que el producto está enriquecido con ácidos grasos Omega-3 para el control de los niveles...”.

- ¿A qué tipo de biomoléculas (ácidos nucleicos, lípidos, glúcidos o proteínas) hace referencia el anuncio?
- ¿Cómo son químicamente los ácidos grasos?
- ¿Qué significa que pueden ser saturadas o insaturadas?

- Colesterol, triglicéridos, grasas saturadas, grasas insaturadas y ácidos grasos Omega-3 son lípidos.
- Químicamente, los ácidos grasos son ácidos orgánicos monocarboxílicos, de fórmula general $\text{CH}_3\text{-(CH}_2\text{)}_n\text{-COOH}$, con un número par de átomos de carbono (entre 10 y 22); pueden ser saturados si no llevan dobles enlaces, y si los llevan, insaturados.
- Las grasas pueden ser de dos tipos, las saturadas y las insaturadas. Las saturadas llevan en su molécula ácidos grasos saturados –como el palmítico, el esteárico o el decanoico–, que no tienen dobles enlaces en su cadena carbonada; mientras que las grasas insaturadas llevan en su molécula ácidos grasos insaturados –como el oleico, el linoleico, el linolénico o el araquidónico–, que tienen en su cadena carbonada uno o más dobles enlaces.

4.8. El siguiente esquema generaliza el transcurso de una de las reacciones que ocurren en el metabolismo celular.



- ¿Qué tipo de lípidos son los triglicéridos?
- ¿Qué funciones biológicas tienen este tipo de lípidos?
- ¿Qué “transformación” sufren los triglicéridos para convertirse en ácidos grasos + glicerina?
- ¿Mediante qué proceso un triglicérido se convierte en jabón?

- Los triglicéridos son **grasas** o **triacilglicéridos**, formados por una molécula de glicerina esterificada y por tres moléculas de ácidos grasos, que pueden ser iguales o diferentes.
- Los triglicéridos son la principal **reserva energética** tanto en los animales como en los vegetales. Actúan como aislantes térmicos, como un almacén de alimento y protegen mecánicamente a determinados órganos que, como el riñón o el corazón, son sensibles a los golpes.
- La “**transformación**” de un triglicérido en ácidos grasos más glicerina consiste en la ruptura de los enlaces éster entre los grupos hidroxilo (-OH) de la glicerina y el grupo carboxilo (-COOH) de los ácidos grasos.
- Un triglicérido se convierte en jabón cuando se somete a **hidrólisis alcalina** con disoluciones de NaOH y KOH, produciéndose una sal (estearato) sódica o potásica que es el jabón, y la glicerina, que es un alcohol.

4.9. A la vista de la imagen, contesta las siguientes cuestiones.



- Indica de qué biomolécula se trata y cuál es la naturaleza química de los componentes señalados con los números 1 y 2.
 - ¿De qué estructura celular forma parte esta molécula? Describe dicha estructura.
- La biomolécula representada en la imagen es compatible con la estructura química de cualquier lípido de membrana que sea anfipático; podría tratarse, por ejemplo, de un **fosfolípido**. El número 1 representa la región **polar hidrofílica** constituida por el grupo fosfato y los constituyentes polares que se unen a él; el número 2 representa la región **apolar hidrofóbica** formada por los ácidos grasos que esterifican la glicerina.

- b) Los fosfolípidos forman parte de las membranas celulares. Son, junto a las proteínas, los principales constituyentes de la membrana plasmática.

La membrana plasmática representa el límite entre el medio extracelular y el intracelular; dado su pequeño grosor, solo es visible con el microscopio electrónico. Desde el punto de vista químico, está formada por lípidos (fosfolípidos, glucolípidos y esteroides), que le proporcionan una cierta fluidez; proteínas de diverso tipo, que confieren a la membrana funciones específicas y, al igual que los lípidos, contribuyen a su fluidez; y glúcidos, que en su mayoría son oligosacáridos unidos a las proteínas y a los lípidos, formando parte de la cubierta celular o glucocálix.

Mediante estudios microscópicos y por medio de análisis bioquímicos se han elaborado varios modelos para explicar la estructura de la membrana plasmática, siendo, actualmente, el modelo más aceptado el denominado del mosaico fluido, que presenta las siguientes características:

- Considera a la membrana como un mosaico fluido en el que la bicapa lipídica es la red cementante y las proteínas están embebidas en ella, interaccionando unas con otras y, a su vez, con los lípidos. Tanto las proteínas como los lípidos pueden desplazarse lateralmente.
- Los lípidos y las proteínas integrales se hallan dispuestos en mosaico.
- Las membranas son estructuras asimétricas en cuanto a la distribución de todos sus componentes químicos: lípidos, proteínas y glúcidos.

4.10. Los lípidos son componentes esenciales de las membranas celulares.

- a) Indica dos lípidos que se encuentren en ellas.
- b) Indica cuál es la polaridad de estas moléculas y explica su repercusión en la formación de la membrana.
- c) Los lípidos de membrana pueden asociarse a otras biomoléculas. Indica a cuáles, y señala su localización en la membrana.

- a) Dos lípidos que forman parte de la membrana plasmática son los fosfolípidos y el colesterol.
- b) El principal componente de las membranas biológicas son los fosfolípidos, que son moléculas anfipáticas, es decir, poseen una región polar hidrofílica formada por el grupo fosfato y los sustituyentes polares que se unen a él, y otra región apolar hidrofóbica formada por los ácidos grasos que esterifican la glicerina.

La naturaleza anfipática de los fosfolípidos les proporciona un papel fundamental en la formación de las membranas biológicas –tanto de células procarióticas como de eucarióticas, ya que se organizan formando bicapas–, en las que los grupos hidrofílicos se orientan hacia las moléculas de agua e interaccionan con ella mediante enlaces de hidrógeno, y los hidrófobos se alejan interaccionando entre sí mediante fuerzas de Van der Waals y ocultándose dentro de la estructura.

- c) Los lípidos de membrana están asociados a glúcidos (en la mayoría de los casos se trata de oligosacáridos) que se unen covalentemente a ellos para formar los glucolípidos. Los glucolípidos, junto con las glicoproteínas, se distribuyen de manera asimétrica; solo se localizan en la cubierta externa de la membrana plasmática de las células eucarióticas, formando la cubierta celular o glucocálix.

4.11. Tanto los glúcidos como las grasas tienen una función energética en el organismo. ¿Por qué entonces son las grasas los compuestos que sirven como almacén principal de energía en todos los organismos?

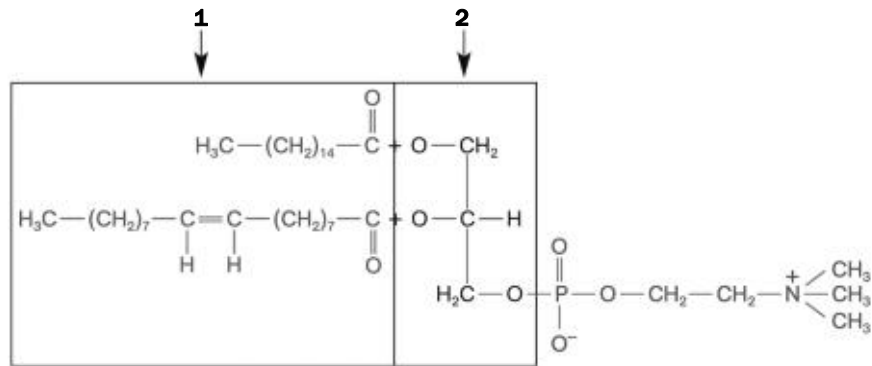
Los lípidos suponen la principal **reserva energética** tanto en los animales como en los vegetales.

Los lípidos se acumulan en **vacuolas** en las células vegetales, y en los mamíferos lo hacen en células especializadas del tejido adiposo denominadas **adipocitos**.

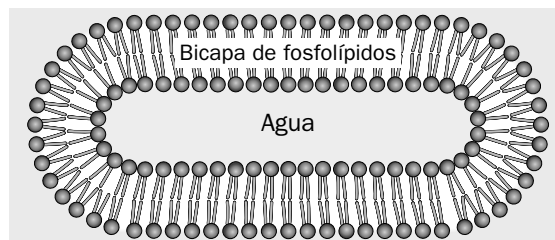
A pesar de que los glúcidos –por ejemplo, pueden ser el glucógeno y el almidón– tienen también función energética, son los lípidos las principales fuentes de energía directa por dos razones:

- Su rápida movilización al ser solubles en agua.
- El aporte energético de los lípidos es muy superior al de los glúcidos. Si nos referimos a un tipo concreto de lípidos como son las grasas, cada gramo de grasa libera 9 kcal (37,62 kJ), frente a 3,75 kcal (17,68 kJ) que aporta igual cantidad de glúcido.

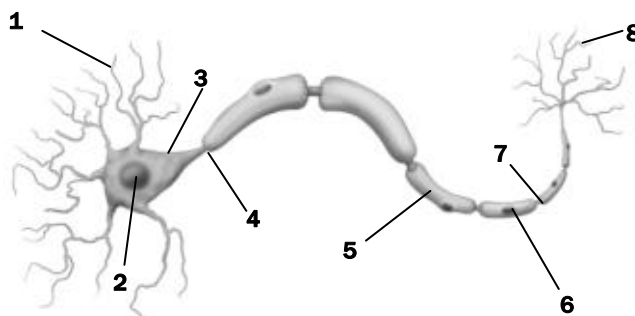
4.12. En relación con la fórmula adjunta, contesta las siguientes cuestiones.



- ¿Qué tipo de biomolécula representa?
 - Indica el nombre de los compuestos incluidos en los recuadros 1 y 2, e identifica el enlace entre ellos. Explica cómo se forma dicho enlace.
 - ¿Cuál es el comportamiento de esta biomolécula en un medio acuoso?
 - ¿En qué estructuras celulares se encuentra esta biomolécula?
- Es un fosfolípido; concretamente, se trata de la **fosfatidil colina o lecitina**.
 - En el recuadro 1 están representados dos ácidos grasos; concretamente, el esteárico, con 16 átomos de carbono, y el oleico, con 18 átomos de carbono y con un doble enlace entre los carbonos 9 y 10. La fórmula del recuadro 2 representa la glicerina o propanotriol. El enlace que une la glicerina con los ácidos grasos es un enlace de tipo éster, enlace que se produce entre el grupo -OH (hidroxilo) del alcohol y el grupo -COOH (carboxilo) del ácido graso con pérdida de una molécula de agua.
 - Como todos los fosfolípidos, la fosfatidil colina es una sustancia anfipática que cuando se encuentra en disolución orienta las zonas apolares hidrofóbicas (los ácidos grasos) hacia el interior, alejándose lo más posible del agua, mientras que las zonas polares hidrofílicas (el grupo fosfato y los sustituyentes polares) se sitúan en contacto con el agua. La estructura resultante es una bicapa lipídica.
 - Los fosfolípidos y la fosfatidil colina es uno de ellos; forman parte de la estructura en forma de bicapa lipídica, característica de las membranas celulares.



4.13. La imagen nos muestra un tipo de célula característica de un tejido concreto.



- ¿De qué célula se trata?
- ¿Qué elemento de los señalados es la vaina de mielina? ¿Cómo se forma esta banda?
- Nombra el tipo de lípido que forma la banda de mielina y explica cómo está constituido desde el punto de vista químico. ¿Es un lípido saponificable? ¿Por qué?

- Es una neurona.
- La vaina de mielina está señalada con el número 5. La vaina de mielina se forma por el enrollamiento de la célula de Schwann alrededor del axón, aislándolo y protegiéndolo.
- La vaina de mielina está formada, fundamentalmente, por esfingolípidos; concretamente, por las **esfingomielinas**.

Desde el punto de vista químico, las esfingomielinas están formadas por una **ceramida** (compuesto formado por la unión de la esfingosina y un ácido graso) a la que se une un **aminoalcohol fosforilado**, que puede ser la fosfocolina o la fosfoetanolamina. Las **esfingomielinas** son lípidos saponificables, ya que en su composición química entran a formar parte de los ácidos grasos.

4.14. Define qué son los esteroides. Cita tres ejemplos de moléculas esteroídicas. Describe las funciones biológicas fundamentales de los esteroides.

Los **esteroides** son lípidos insaponificables y derivados de un compuesto cíclico denominado ciclopentano-perhidrofenantreno, cuya estructura la forman tres anillos de ciclohexano unidos a un ciclopentano.

El **colesterol**, la **vitamina D** y la **testosterona** son esteroides. Las funciones realizadas por los esteroides son diversas. Así, el colesterol forma parte de la membrana plasmática de las células animales; la vitamina D está implicada en la regulación de los procesos de absorción de calcio y fósforo; algunos de los esteroides tienen funciones hormonales, como serían la testosterona, los estrógenos, la progesterona, la aldosterona y el cortisol; y, finalmente, los hay que forman parte de la bilis, como el ácido cólico y el desoxicólico.

4.15. Los lípidos son un grupo de moléculas orgánicas con estructuras químicas diversas y funciones muy diferentes.

- Explica qué significa que sean moléculas anfipáticas.
 - Representa mediante un esquema la molécula de un fosfolípido, señalando en ella su carácter anfipático.
 - Enumera al menos tres funciones biológicas que realizan los lípidos.
- Anfipáticos quiere decir que su estructura molecular está formada por dos regiones, una polar de carácter hidrófilo y otra apolar de carácter hidrófobo.
 - La representación esquemática de un fosfolípido es la que se muestra en la figura adjunta. La región polar e hidrófila está representada con el número 1, que, químicamente, está constituida por el grupo fosfato y los sustituyentes polares que se unen a él; la región apolar e hidrófoba está representada con el número 2, que, químicamente, está constituida por los ácidos grasos que esterifican la glicerina.



- Las funciones biológicas de los lípidos son las siguientes:
 - Estructurales.** En todas las células son los elementos mayoritarios de las membranas.
 - Energéticas.** Algunos, como los triacilglicéridos, son eficientes reservas para el almacenamiento de energía.
 - Vitamínicas y hormonales.** Muchas de las vitaminas y hormonas presentes en los vertebrados son lípidos o derivados de lípidos.

4.16. Enumera los diferentes lípidos de membrana, indicando la composición química de uno de ellos.

Explica la formación de la bicapa lipídica en función de las propiedades de los lípidos que la constituyen. ¿Qué tipo de fuerzas e interacciones se establecen?

Los lípidos que forman parte de las membranas celulares son: fosfolípidos, glucolípidos y esteroides (entre los que se encuentra el colesterol). Los esteroides son derivados de un compuesto cíclico llamado ciclopentanoperhidrofenantreno, que lleva un grupo hidroxilo en el carbono número 3 y una cadena hidrocarbonada en el 17.

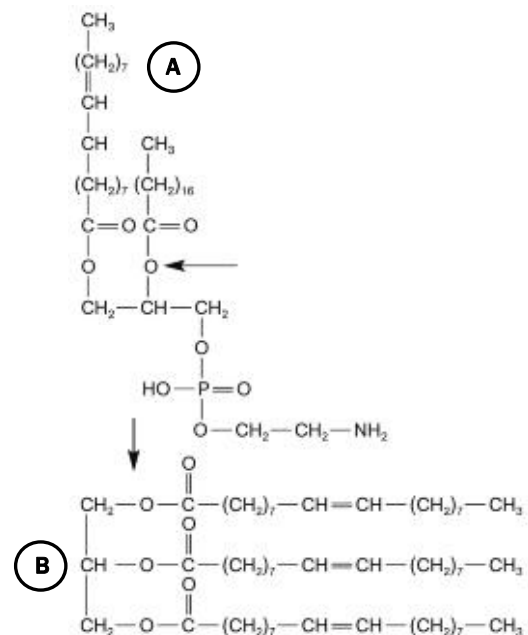
La mayoría de los lípidos que forman parte de las membranas tienen carácter **anfipático**; cuando se encuentran en disolución acuosa se orientan de tal manera, que las cadenas hidrofóbicas se sitúan hacia el interior alejándose del agua, mientras que las cabezas polares, que son hidrófilas, se hallan en contacto con el agua. Este comportamiento anfipático de los lípidos de membrana hace que la estructura de las membranas celulares sea la de una doble capa.

La estructura en forma de doble capa lipídica que presentan las membranas celulares es estable gracias a las fuerzas e interacciones siguientes: los grupos hidrófilos, es decir, las cabezas polares interaccionan con las moléculas de agua mediante enlaces de hidrógeno, mientras que los grupos hidrófobos se unen mediante débiles fuerzas de Van der Waals. Dado el elevado número de interacciones que se producen entre los compuestos lipídicos que constituyen la membrana, hace que su estructura sea muy estable.

4.17. En relación con los lípidos representados por las fórmulas A (fosfolípido) y B (triacilglicérido), contesta las siguientes cuestiones.

- ¿Son lípidos saponificables o insaponificables? Justifica la respuesta. ¿Qué tipo de enlace señalan las flechas? Descríbelo. Explica la función que desempeñan ambas clases de moléculas.**
- Nombra otros dos tipos de lípidos presentes en las células, e indica dos funciones biológicas de cada uno de ellos.**

- Ambos son lípidos saponificables, ya que en su composición química llevan ácidos grasos; cuando se les somete a una hidrólisis alcalina se obtienen jabones, llamándose a esta reacción, reacción de saponificación. Las flechas señalan enlaces de tipo **éster**. Un enlace de tipo éster es el que se forma entre el grupo -OH (hidroxilo) de un alcohol y el grupo carboxilo -COOH de un ácido graso, con pérdida de una molécula de agua.

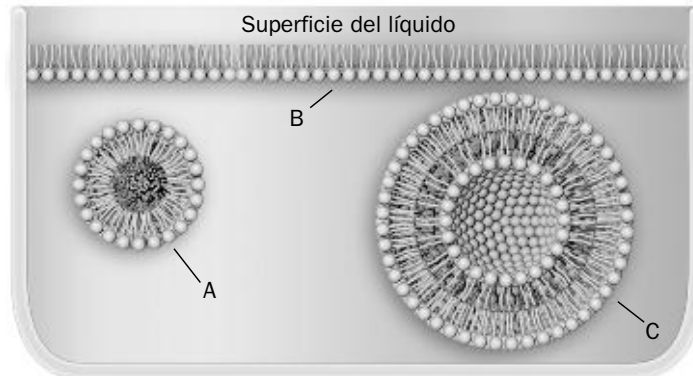


La función de los fosfolípidos es de tipo estructural, ya que junto con otros compuestos forma parte de las membranas celulares, tanto de los organismos eucariotas como de los procariotas. Los triacilglicéridos o grasas suponen la principal reserva energética en los animales y también en los vegetales. Además, actúan como aislantes térmicos y almacén de alimento; este hecho es muy importante en los animales que hibernan, ya que utilizan esta reserva como alimento durante el largo período de letargo invernal.

- Otros dos tipos de lípidos presentes en las células son las ceras y los esteroides.
 - Ceras.** Debido a que los dos extremos de la cadena tienen naturaleza hidrofoba, las ceras son sustancias marcadamente insolubles en agua y realizan funciones de protección y de revestimiento. En los vertebrados, recubren e impermeabilizan la piel, el pelo y las plumas; en los insectos, el exoesqueleto; y en las plantas, forman una película que recubre hojas, frutos, flores y tallos jóvenes, protegiéndolos de la evaporación y de los ataques de los insectos.
 - Esteroides.** Existen diversos esteroides; así, el colesterol tiene una función estructural al formar parte de la membrana plasmática de las células. Además, es precursor de otros esteroides, como, por ejemplo, las hormonas esteroideas y la vitamina D. La testosterona, los estrógenos o la progesterona regulan diversos procesos biológicos relacionados con la reproducción, mientras que la vitamina D regula la absorción del calcio.

4.18. Respecto a los lípidos.

- ¿Son todos los lípidos saponificables? Define el proceso de saponificación.
- ¿Por qué un aceite es líquido y una grasa es sólida a temperatura ambiente?
- ¿Qué diferencia existe entre un fosfoglicérido y una esfingomielina?
- ¿Por qué los ácidos grasos son moléculas anfipáticas?
- ¿Qué es una lipoproteína? Pon un ejemplo.
- ¿Qué lípidos desempeñan una función energética en el organismo, y cuáles una función estructural?
- Nombra las diferentes estructuras lipídicas que aparecen señaladas con una letra en el dibujo.



- No, también los hay **insaponificables**. Son saponificables los que en su composición llevan ácidos grasos. La saponificación es la obtención de jabón a partir de una sustancia que tenga ácidos grasos. Se realiza sometiendo a hidrólisis alcalina lípidos que lleven ácidos grasos, es decir, que sean saponificables. Los jabones que se obtienen son sales de los ácidos grasos.
- Los **aceites** se mantienen en estado líquido a temperatura ambiente debido a que en su composición llevan ácidos grasos insaturados cuyo punto de fusión es bajo, mientras que las grasas son sólidas porque en su composición llevan ácidos grasos saturados, cuyo punto de fusión es alto.
- Fosfoglicéridos y esfingomielinas** son dos tipos de fosfolípidos, y se diferencian en la composición química. En los fosfoglicéridos, el alcohol es la glicerina y en las esfingomielinas es la esfingosina.
- Los **ácidos grasos** son moléculas anfipáticas porque están formados por dos zonas con comportamiento distinto: la región polar, que contiene el grupo carboxilo ($-\text{COOH}$), tiene carácter hidrófilo; la región apolar, formada por la cadena carbonada o alifática, es hidrófoba.
- Las **lipoproteínas** son proteínas transportadoras de lípidos en la sangre.
- Entre los lípidos, las **grasas o triacilglicéridos** tienen función energética, mientras que con función estructural están los llamados genéricamente lípidos de membrana, entre los que se encuentran los fosfolípidos, los esfingolípidos y el colesterol.
- Las estructuras que aparecen en el dibujo son las siguientes: a: micela monocapa; b: monocapa lipídica; y c: liposoma o micela bicapa.

UN PASO MÁS

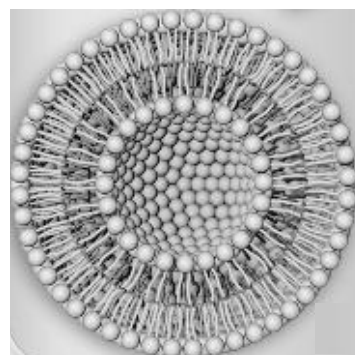
4.19. Anuncio de una crema facial:

“Crema para el cutis multiactiva con liposomas. Un aliado contra las arrugas y líneas de expresión.

Crema para el cutis formulada con liposomas que penetran la barrera de la epidermis, ayudando a suavizar las arrugas que aparecen en la piel. Contiene ingredientes hidratantes y vitaminas A, C y E conocidas como ‘antirradicales’ libres.”

- ¿Qué son los liposomas? Realiza un dibujo esquemático de un liposoma, y nombra los compuestos químicos susceptibles de constituir un liposoma.**
- ¿Por qué razón se utilizan los liposomas en la industria cosmética?**
- Además de la industria cosmética, ¿en qué otras actividades se utilizan liposomas? ¿Para qué?**
- De las vitaminas nombradas, ¿cuál o cuáles son lípidos? Nómbralas y describe las características generales del grupo de lípidos al que pertenecen.**

- Los liposomas son estructuras obtenidas en laboratorio, formadas por una bicapa de fosfolípidos que deja en su interior un compartimento que contiene agua. Además de los fosfolípidos, los compuestos químicos susceptibles de formar liposomas son todos los que, como ellos, sean anfipáticos, como, por ejemplo, los esfingolípidos, los esfingoglucolípidos y el colesterol.
- Los liposomas se utilizan en la industria cosmética como transportadores de sustancias hidrófilas entre el exterior y el interior de la célula, ya que la membrana artificial del liposoma se puede unir a la de la célula, y de esta manera se pueden introducir en su interior sustancias que por sí solas no atravesarían la membrana plasmática de forma natural.



- Además de utilizarse en la industria cosmética, se pueden utilizar para:
 - Introducir medicamentos en el interior del organismo con los que tratar ciertas enfermedades.
 - En biotecnología, se usan como vehículos transportadores de genes. En determinados casos de terapia génica sirven para introducir genes en el interior de células que carecen de ellos o son defectuosos.
- De las vitaminas nombradas, son lípidos la A y la E. Desde un punto de vista químico, ambas vitaminas son terpenos. Los terpenos se denominan también isoprenoides, ya que químicamente derivan de la polimerización del isopreno, dando lugar a estructuras que pueden ser lineales o cíclicas. La presencia de dobles enlaces en la molécula de isopreno confiere a algunas de estas sustancias una coloración característica. Son muy abundantes en los vegetales. Tanto la vitamina A como la E son diterpenos; por lo tanto, están formadas por cuatro moléculas de isopreno.

4.20. Haciendo limpieza en el laboratorio de Ciencias Naturales, nos encontramos con dos vasos de precipitados, el A y el B, que contienen sendas sustancias de naturaleza grasa. Observamos que, a temperatura ambiente, la del vaso A está sólida y la del vaso B está líquida. Se han perdido las etiquetas y lo único que sabemos es que un frasco contiene tripalmitina y el otro trioleína.

- Contesta, de manera razonada, qué vaso de precipitados contiene tripalmitina y cuál contiene trioleína.**
- ¿Por qué unas grasas a temperatura ambiente son líquidas y otras son sólidas?**

- Vaso A.** Contiene tripalmitina. La tripalmitina es una grasa que, a temperatura ambiente, es sólida porque en su composición química lleva ácidos grasos saturados; concretamente, el ácido palmítico. La presencia de ácidos grasos saturados –ácidos que carecen de dobles enlaces– hace que el punto de fusión sea elevado; por tanto, grasas como la tripalmitina, a temperatura ambiente, son sólidas.

Vaso B. Contiene trioleína, que es una grasa que a temperatura ambiente es líquida porque en su composición química lleva ácidos grasos insaturados; concretamente, el ácido oleico. La presencia de ácidos grasos insaturados –ácidos que tienen uno o más dobles enlaces en su cadena carbonada– hace que el punto de fusión sea bajo y que a temperatura ambiente las grasas, como la trioleína, sean líquidas.

- b) Las grasas que son sólidas a temperatura ambiente llevan ácidos grasos saturados. Entre las cadenas carbonadas de los ácidos grasos se producen numerosas uniones de Van der Waals que las mantienen muy unidas, de tal manera que cuando se necesita romper estas uniones para separar las moléculas y pasar de un estado sólido a otro líquido, se requiere elevar mucho la temperatura.

Las grasas que son líquidas a temperatura ambiente tienen ácidos grasos insaturados. La existencia de dobles enlaces en los ácidos grasos insaturados provoca que la molécula no sea del todo lineal, sino que tenga unos codos que hacen que el número de interacciones de Van der Waals entre las cadenas carbonadas sea menor que cuando se trata de ácidos grasos saturados. Este menor número de interacciones hace que se necesite menos calor para pasar a estado líquido, ya que el número de uniones que romper es menor, con lo que el punto de fusión es bajo y son líquidas a temperatura ambiente.

- 4.21. Los datos de la siguiente tabla se han obtenido de la información nutricional de dos productos alimenticios de consumo habitual; en su fabricación se han utilizado aceites vegetales. Expresan el valor medio por cada 100 gramos de producto. Observa los datos y contesta las cuestiones.

	Pan para hamburguesas	Pan de molde
Grasas, de las cuales:	3,0 gr	5,2 gr
Saturadas	0,5 gr	0,9 gr
Monoinsaturadas	0,6 gr	1,3 gr
Poliinsaturadas	1,9 gr	3,0 gr
Colesterol	Inapreciable	< 5 mg

- a) ¿Qué diferencias existen entre las grasas nombradas en la tabla?
- b) Razona si la siguiente afirmación es verdadera o falsa: el colesterol es un lípido, pero no es una grasa.
- c) ¿Con el mismo tipo de aceite vegetal que se utiliza para la fabricación de los panes se podría obtener jabón? Razona la respuesta.
- d) Las grasas poliinsaturadas llevan ácidos grasos poliinsaturados. Nombra los principales ácidos grasos poliinsaturados y relaciónalos con la denominada vitamina F.
- a) La diferencia entre las grasas utilizadas en la fabricación de los panes está en la presencia de dobles enlaces en las cadenas carbonadas de los ácidos grasos que forman parte de las grasas nombradas en la tabla. Los ácidos grasos de las saturadas carecen de dobles enlaces, las monoinsaturadas llevan un doble enlace y las poliinsaturadas tienen más de un doble enlace.
- b) La afirmación es verdadera. El colesterol es un lípido esteroideo no saponificable, mientras que las grasas también son lípidos, pero saponificables.
- c) Sí se podrían obtener jabones con las mismas grasas saturadas, monoinsaturadas y poliinsaturadas utilizadas en la fabricación de los panes. Las grasas son lípidos saponificables, y a partir de ellos se pueden obtener jabones mediante hidrólisis alcalina.
- d) Los principales ácidos grasos poliinsaturados son: el ácido linoleico, el linolénico y el araquidónico. Al igual que ocurre con las vitaminas, los mamíferos no pueden fabricarlos; por tanto, a estos efectos se consideran igual y son llamados en su conjunto vitamina F.

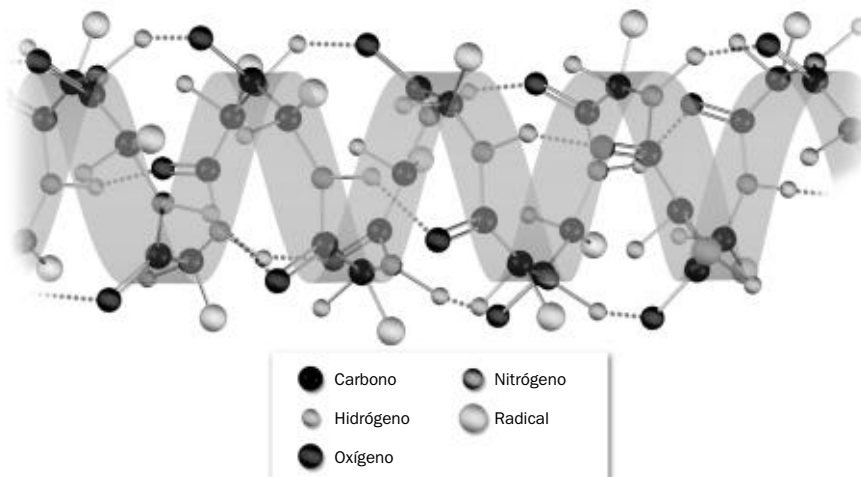
- 4.22. La mantequilla y la margarina son productos alimenticios sólidos a temperatura ambiente. La mantequilla se fabrica a partir de la leche, mientras que las margarinas a partir de aceites vegetales. En la etiqueta de una determinada margarina se indica que se ha fabricado a partir de aceites vegetales hidrogenados.

¿Cómo es posible que ambos productos sean sólidos a temperatura ambiente?

Cuando se hidrogena un ácido graso insaturado, se eliminan los dobles enlaces que tiene y, en consecuencia, se transforma en un ácido graso saturado. Las grasas que tienen ácidos grasos saturados son sólidas a temperatura ambiente, independientemente de que se hayan obtenido por deshidrogenación de ácidos grasos insaturados o no.

ACTIVIDADES PAU RESUELTAS

5.1. En relación con la figura adjunta, contesta las siguientes cuestiones.



- Identifica la macromolécula que representa, indica cuáles son sus componentes esenciales y describe el enlace que se produce entre ellos, citando dos características del mismo.
- Nombra y describe la estructura espacial de la macromolécula representada. Cita alguna otra estructura espacial de mayor complejidad que pueda adoptar la misma macromolécula y descríbela.

Actividad resuelta en el libro del alumno.

5.2. Con referencia a las proteínas.

- Define estructura terciaria y cuaternaria de una proteína.
- Explica el significado del término “desnaturalización” aplicado a las proteínas.
- Di cuatro funciones de las proteínas, indicando un ejemplo en cada caso.

Actividad resuelta en el libro del alumno.

5.3 Algunas de nuestras prendas de vestir tienen un origen vegetal y están hechas de algodón, que contiene celulosa. Otras, como la seda, son de origen animal. La seda está formada por una proteína que forma láminas β con cadenas que repiten una secuencia de glicina-serina-alanina-glicina-alanina.

- ¿Qué es la celulosa? ¿Qué función tiene en el vegetal de origen? ¿De qué estructura forma parte?
- ¿Qué es una lámina β ?
- ¿Qué tipo de enlace unirá la glicina con serina? Expresa la formación del enlace de una forma general.
- ¿En qué orgánulo de las células del gusano de seda se habrán formado estos enlaces y sintetizado la proteína?

Actividad resuelta en el libro del alumno.

ACTIVIDADES

5.4. Los aminoácidos son compuestos anfóteros que se caracterizan por tener un grupo amino y otro carboxilo.

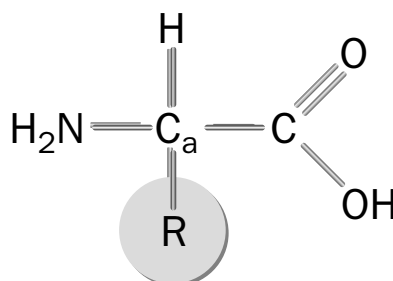
¿Se podrían separar los distintos aminoácidos de una mezcla en función de su carga eléctrica? Razona la respuesta.

Se podrían separar, sometiendo la mezcla de aminoácidos a una electroforesis, que es una técnica instrumental basada en el principio de la migración de los iones cuando se someten a un campo eléctrico. Esta separación es posible, gracias a que existen aminoácidos con carga positiva o con carga negativa en sus radicales.

5.5. Con relación a las proteínas.

- ¿Cuáles son las unidades estructurales de las proteínas?
- Escribe su fórmula general. Atendiendo a la variedad de radicales, cita cuatro tipos de dichas unidades estructurales.
- Enumera cinco funciones de las proteínas y pon un ejemplo de cada una de ellas.

- Las unidades estructurales de las proteínas son los aminoácidos.
- La fórmula general de un aminoácido se muestra en el dibujo.



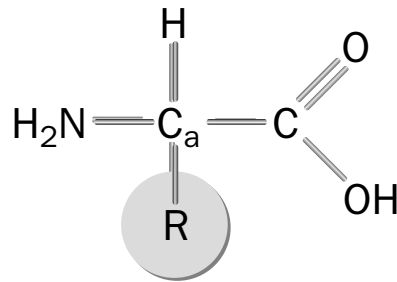
En función del radical que lleven, los aminoácidos se clasifican en cuatro grupos: **hidrófobos**, como la alanina; **hidrófilos**, como la serina; **básicos**, como la lisina; y **ácidos**, como el ácido aspártico.

- Cinco de las funciones desarrolladas por las proteínas son:
 - De **reserva**, como la ovoalbúmina de la clara de huevo.
 - De **transporte**, como la hemoglobina de la sangre que transporta oxígeno.
 - Contráctil**, como la miosina o la actina de las células musculares.
 - De **protección**, como el fibrinógeno, proteína que impide la coagulación de la sangre.
 - De **defensa**, como los anticuerpos.

5.6. Define qué son los aminoácidos, escribe su fórmula general y clasifícalos en función de sus radicales. Describe el enlace peptídico como característico de la estructura de las proteínas.

Los aminoácidos son compuestos orgánicos sencillos de bajo peso molecular que cuando se unen entre sí forman proteínas. Químicamente, están formados por carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno. Se caracterizan por poseer en su molécula un **grupo carboxilo** (-COOH), un **grupo amino** (-NH₂) y una cadena lateral o **grupo R**: todos ellos, unidos covalentemente a un átomo de carbono denominado **carbono α** (Cα).

La fórmula general de un aminoácido se muestra en el siguiente dibujo:



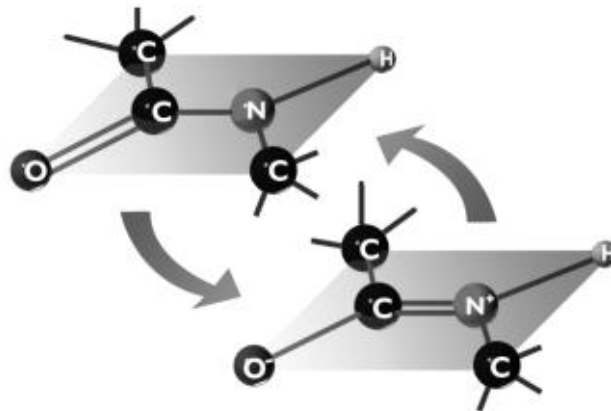
Los aminoácidos en función de los radicales que posean se clasifican en cuatro grupos:

- **Hidrófobos.** Los radicales son de naturaleza hidrocarbonada no polar.
- **Polares hidrofílicos.** Los radicales son polares, pero sin carga.
- **Básicos.** Los radicales poseen un grupo amino que se ioniza positivamente.
- **Ácidos.** Los radicales poseen un grupo carboxilo que se ioniza negativamente.

El **enlace peptídico** es un enlace covalente que se forma entre el grupo carboxilo de un aminoácido y el grupo amino de otro, perdiéndose en tal unión una molécula de agua. Las características del enlace peptídico son las siguientes:

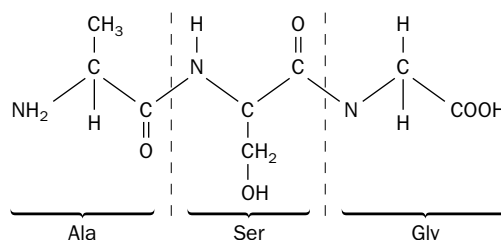
- Es un enlace covalente más corto que la mayor parte de los demás enlaces C–N.
- Posee cierto **carácter de doble enlace**, lo que le impide girar libremente.
- Los cuatro átomos (C=O y N–H) del grupo péptido y los dos átomos de carbono se hallan situados sobre un mismo **plano**, manteniendo distancias y ángulos fijos.

Los únicos enlaces que pueden girar, y no del todo libremente, son los formados por C–C y N–C.



5.7. Las proteínas son macromoléculas poliméricas constituidas por la unión de moléculas más simples.

- ¿Cómo se denominan las unidades estructurales de las proteínas?
- ¿Qué características comunes poseen estas unidades?
- A partir de la fórmula de la glicina (Gly), alanina (Ala) y serina (Ser), formula el tripéptido Ala-Ser-Gly.
- Describe las funciones biológicas de las proteínas.
 - Las unidades estructurales que forman las proteínas son los aminoácidos.
 - Los aminoácidos tienen en común el estar formados por carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno y llevar en su molécula un **grupo carboxilo** (–COOH), un **grupo amino** (–NH₂) y una cadena lateral o **grupo R**, todos ellos unidos covalentemente a un átomo de carbono denominado **carbono α (Cα)**.
 - El tripéptido Ala-Ser-Gly se formula según aparece en el dibujo.

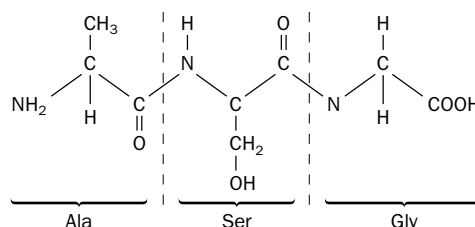
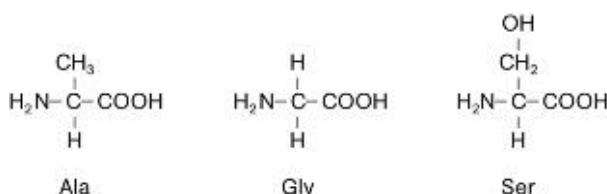


d) Las funciones biológicas más importantes de las proteínas son:

- Función **estructural**. Forman parte de todas las estructuras celulares, como, por ejemplo, las proteínas que se encuentran en las membranas celulares.
- Función **enzimática**. Son los catalizadores de las reacciones biológicas. Tal es el caso de la lipasa.
- Función de **reserva**. Algunas proteínas sirven como alimento al embrión durante su desarrollo, como la ovalbúmina de la clara de huevo.
- Función **contráctil**. La actina y la miosina son dos de las proteínas con función contráctil. Se encuentran en los músculos y son responsables de su contracción.
- Función **defensiva** o **protectora**. Los anticuerpos son inmunoglobulinas que defienden a los seres vivos de las infecciones.
- Función **hormonal**. Algunas proteínas son hormonas y su función es regular alguna de las muchas actividades celulares, como el metabolismo o la reproducción. La insulina es un ejemplo de proteína con función hormonal: regula la cantidad de azúcar en sangre.
- Función de **transporte**. Las enzimas pueden transportar una diversidad de sustancias, como sería el caso de las lipoproteínas, transportadoras de lípidos: o la hemoglobina, transportadora de oxígeno.
- Función **homeostática**. Las proteínas están implicadas en el mantenimiento del pH debido a que los radicales de los aminoácidos pueden ser ácidos o básicos.

5.8. Formula el tripéptido Ala-Ser-Gly, sabiendo que la alanina es el extremo amino (grupo amino libre) y la glicina el extremo carboxilo (grupo carboxilo libre).

¿Cómo se llama el enlace que une los aminoácidos?



El enlace que une dos aminoácidos se llama enlace peptídico.

5.9. Con relación a las proteínas.

- Define la estructura primaria de las proteínas, indica qué tipo de enlace la caracteriza y nombra los grupos químicos que participan en el mismo.
- Explica qué se entiende por desnaturalización de una proteína y nombra los orgánulos que están implicados en su síntesis y empaquetamiento.

- Las proteínas se disponen en el espacio con una estructura tridimensional definida, que puede presentar cuatro niveles de complejidad: estructura primaria, secundaria, terciaria y cuaternaria.

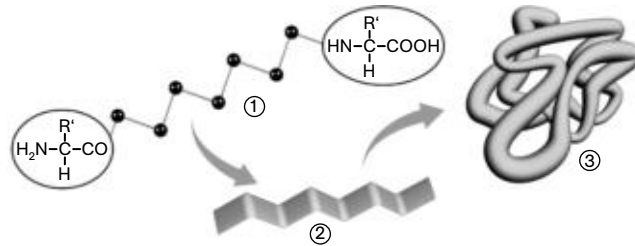
La **estructura primaria** la poseen todas las proteínas y es la secuencia lineal de aminoácidos que la integran; es decir, indica los aminoácidos que la forman y el orden en que se encuentran unidos. Es la estructura más sencilla y, sin embargo, la más importante, ya que determina el resto de las estructuras proteicas con niveles superiores de organización.

Los enlaces característicos de la estructura primaria son los enlaces peptídicos que se producen entre los aminoácidos que integran la proteína. En el enlace peptídico participa el grupo carboxilo de un aminoácido y el grupo amino de otro.

- Desnaturalización**. Consiste en la rotura de los enlaces que mantienen el estado nativo de la molécula, perdiéndose las estructuras secundaria, terciaria y cuaternaria. Los enlaces peptídicos permanecen, por lo que la proteína conserva su estructura primaria y pasa a adoptar una forma filamentosa. La conformación nativa es la conformación más estable de una proteína plegada, y tiene la menor energía libre a partir de los enlaces no covalentes entre los aminoácidos y cualquier grupo prostético, y entre la proteína y su entorno. La desnaturalización puede estar provocada por cambios en el pH o en la temperatura, o bien por el tratamiento con sustancias desnaturalizantes como la urea.

Los orgánulos que están implicados en la síntesis de proteínas son el núcleo y los ribosomas, mientras que los que están implicados en su empaquetamiento son el retículo endoplásmico rugoso y el aparato de Golgi.

5.10. Una macromolécula puede contener tres niveles estructurales, tal como se esquematiza en el dibujo.



- ¿De qué macromolécula se trata?
 - ¿En qué nivel de conformación estructural es funcionalmente activa?
 - ¿Qué consecuencias tendría para la macromolécula la reacción que la convierte del nivel 3 al 1?
- Se trata de una proteína, y en el esquema se han representado tres de sus cuatro posibles niveles estructurales: concretamente, el 1 se corresponde con la estructura primaria, el 2 con la estructura secundaria (lámina plegada) y el 3 representa la estructura terciaria.
 - Para que una proteína sea funcionalmente activa tiene que presentar estructura secundaria, terciaria o cuaternaria.
 - La reacción que provoca en una proteína la pérdida de su estructura terciaria (nivel 3 de la figura) implica la pérdida de su función. A este proceso se le denomina desnaturalización.

5.11. Describe la estructura terciaria y cuaternaria de las proteínas, haciendo hincapié en los enlaces y las fuerzas que las estabilizan.

Estructura terciaria. El término estructura terciaria se refiere al modo en que la proteína nativa se encuentra plegada en el espacio.

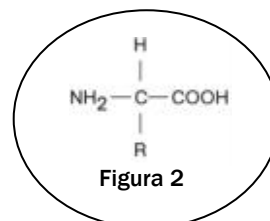
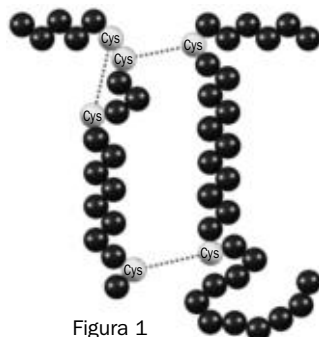
Esta estructura es estable gracias a las uniones que se producen entre los radicales -R de los diferentes aminoácidos que se sitúan en posiciones muy alejadas el uno del otro. Estas uniones pueden ser de distintos tipos:

- **Enlaces de hidrógeno** entre grupos peptídicos.
- **Atracciones electrostáticas** entre grupos con carga opuesta.
- **Atracciones hidrofóbicas** y fuerzas de Van der Waals entre radicales alifáticos o aromáticos de las cadenas laterales.
- **Puentes disulfuro** entre restos de cisteína. Son enlaces covalentes entre dos grupos tiol (-SH) correspondientes a dos cisteínas.

Las características de una proteína y, lo que es más importante, las funciones biológicas que realiza dependen de la estructura terciaria que tenga.

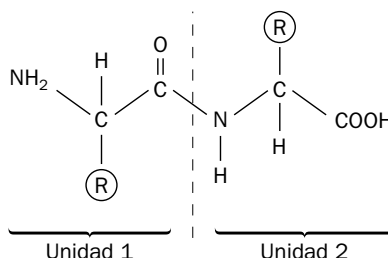
Estructura cuaternaria. Es la estructura que poseen las proteínas, tanto fibrosas como globulares, formadas por dos o más cadenas polipeptídicas –denominadas subunidad, monómero o protómero– que pueden ser iguales o diferentes. Para que la proteína sea funcional, los protómeros tienen que estar unidos y, en general, lo hacen mediante uniones débiles, como enlaces de hidrógeno, fuerzas de Van der Waals, e incluso puentes disulfuro, como es el caso de las inmunoglobulinas.

5.12. La figura 1 corresponde a una hormona constituida por la unión de 51 unidades representadas por círculos. La 2 corresponde a la estructura básica de cada una de sus unidades.



- a) ¿A qué grupo de macromoléculas pertenece esta hormona?
 b) Considerando la estructura básica, dibuja la unión de dos unidades.
 c) Si las hormonas pertenecientes a este tipo de macromoléculas están formadas por estas unidades, ¿a qué se debe la variedad de estas sustancias hormonales?

- a) La hormona representada en la primera figura es una proteína formada por dos cadenas polipeptídicas (los aminoácidos están representados por las bolas), unidas entre sí por medio de puentes disulfuro entre residuos de cisteína.
 b) La unidad básica que forma parte de las proteínas son los aminoácidos, cuya estructura se corresponde con la segunda figura.



- c) Las hormonas son proteínas y, como tales, están formadas por la unión de aminoácidos. Existen 20 aminoácidos proteicos que pueden unirse entre sí formando múltiples combinaciones, dando origen a proteínas muy distintas que se diferencian, fundamentalmente, en su estructura primaria.

5.13. Explica en qué consiste la desnaturalización proteica. Indica qué tipos de enlaces se conservan y cuáles se ven afectados. ¿Qué factores provocan la desnaturalización?

La desnaturalización consiste en la rotura de los enlaces que mantienen el estado nativo de la molécula, perdiéndose las estructuras secundaria, terciaria y cuaternaria.

Los enlaces que se conservan son los enlaces peptídicos, por lo que la proteína conserva su estructura primaria y pasa a adoptar una forma filamentosa. Los enlaces que se ven afectados por la desnaturalización son todos aquellos que mantienen la estructura terciaria; son los siguientes:

- **Enlaces de hidrógeno** entre grupos peptídicos.
- **Atracciones electrostáticas** entre grupos con carga opuesta.
- **Atracciones hidrofóbicas y fuerzas de Van der Waals** entre radicales alifáticos o aromáticos de las cadenas laterales.
- **Puentes disulfuro** entre restos de cisteína. Son enlaces covalentes entre dos grupos tiol ($-\text{SH}$), correspondientes a dos cisteínas.

La desnaturalización puede estar provocada por cambios en el pH o en la temperatura, o bien por el tratamiento con sustancias desnaturalizantes como la urea.

5.14. Indica cuáles son las diferencias entre hidrólisis y desnaturalización de proteínas, enumerando los enlaces que se rompen en cada caso y los productos de ambos procesos. Cita un agente que pueda hidrolizar y otro que pueda desnaturalizar las proteínas.

La **hidrólisis** es una reacción en la que el agua actúa como reactivo, y tiene como consecuencia la ruptura de los enlaces peptídicos, con lo que los aminoácidos quedan libres; mientras que la desnaturalización es la pérdida de la conformación espacial de la proteína, lo que supone la pérdida de las estructuras secundaria, terciaria y cuaternaria. No se rompen los enlaces peptídicos, por lo que la proteína conserva su estructura primaria y nunca se obtienen aminoácidos libres. Los enlaces que se rompen cuando se produce la **desnaturalización** son aquellos que mantienen la estructura secundaria, terciaria y cuaternaria:

- **Enlaces de hidrógeno** entre grupos peptídicos.
- **Atracciones electrostáticas** entre grupos con carga opuesta.
- **Atracciones hidrofóbicas y fuerzas de Van der Waals** entre radicales alifáticos o aromáticos de las cadenas laterales.
- **Puentes disulfuro** entre restos de cisteína. Son enlaces covalentes entre dos grupos tiol ($-\text{SH}$), correspondientes a dos cisteínas.

El agente que provoca la hidrólisis es el agua, y los que provocan desnaturalización pueden ser la urea, la sal común en concentraciones elevadas, la elevación de la temperatura, cambios de pH, etc.

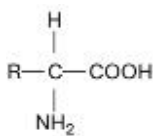
5.15. De entre las siguientes proteínas: colágeno, actina, fibrina, queratina, lactoalbúmina, inmunoglobulinas y elastina.

- ¿Cuáles son fibrosas y cuáles son globulares?
- Desde el punto de vista estructural, ¿qué diferencias existen entre una proteína con estructura fibrilar y otra globular?
- Respecto a la solubilidad de las proteínas, ¿por qué, generalmente, las proteínas fibrosas son insolubles en agua mientras que las globulares son hidrosolubles?

- Las proteínas fibrosas son: colágeno, miosina, fibrina, queratina y elastina; mientras que las globulares son: actina, lactoglobulina e inmunoglobulinas.
- Las proteínas fibrilares poseen estructuras más simples que las globulares. En la mayoría de los casos, los polipéptidos que las integran se hallan ordenados o enrollados a lo largo de una sola dimensión; frecuentemente, en haces paralelos. Las proteínas globulares son más complejas que las fibrosas. Las cadenas polipeptídicas que las integran se encuentran plegadas formando una estructura compacta, más o menos esférica.
- Las proteínas fibrilares son insolubles en agua porque los radicales de los aminoácidos, que pueden ser de naturaleza hidrófila o hidrófoba, se orientan hacia el exterior de la estructura secundaria que caracteriza a estas proteínas; ello hace que la cadena proteica no se rodee en su totalidad por el agua. Las proteínas globulares son solubles en el agua, ya que los radicales de los aminoácidos hidrófilos quedan orientados hacia el exterior, mientras que los hidrófobos se orientan hacia el interior de la molécula. Esto hace que la proteína pueda quedar rodeada de agua, y ello conlleva su solubilidad.

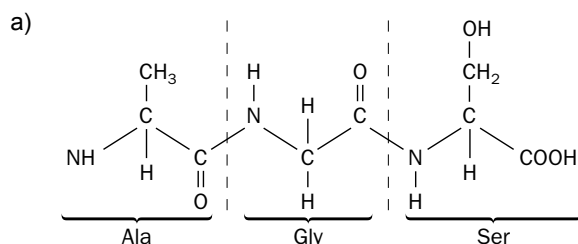
5.16. Las proteínas son biopolímeros constituidas por la combinación de unidades llamadas aminoácidos.

- La figura muestra la fórmula general de un aminoácido.



El grupo R es para la alanina -CH₃, la glicina -H y la serina -CH₂OH. Escribe la fórmula del tripéptido Ala-Gly-Ser. Ten en cuenta que la alanina es el extremo amino (con el grupo amino libre) del tripéptido.

- Las proteínas se pueden clasificar en holoproteínas y heteroproteínas. ¿Cuáles son los constituyentes de cada tipo?
- ¿De qué nivel estructural depende la función biológica de una proteína?
- Indica cuál de las siguientes funciones no puede ser desempeñada por proteínas: constituyente de las membranas biológicas, almacenamiento de información genética, catálisis de reacciones metabólicas y transporte de sustancias a través de membranas.



- Las holoproteínas son aquellas que están compuestas exclusivamente por aminoácidos, mientras que las heteroproteínas son proteínas que en su composición presentan una parte proteica formada por aminoácidos (grupo proteico) y otra porción no proteica denominada grupo prostético.
- La función biológica de una proteína depende de su estructura terciaria, que le confiere una conformación espacial a la que debe su función.
- De todas las funciones nombradas, el almacenamiento de la información genética no es una función propia de las proteínas, lo es de los ácidos nucleicos.

5.17. Cita cuatro de las funciones más relevantes de las proteínas y explica dos de ellas, ilustrando cada explicación con un ejemplo.

De las diversas funciones de las proteínas, las más relevantes pueden ser: enzimática, estructural, transportadora y defensiva.

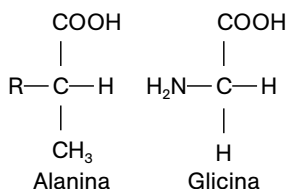
- **Función enzimática.** Los catalizadores bioquímicos –conocidos como enzimas– son proteínas que catalizan la práctica totalidad de las reacciones químicas que tienen lugar en las células vivas, aumentando la velocidad de dichas reacciones. Se conocen numerosas enzimas, y se clasifican según la reacción que catalizan. Algunas de las enzimas más importantes son las hidrolasas, las liasas, las transferasas, las isomerasas, las oxidoreductasas, las sintetisas, las deshidrogenasas, etc.
- **Función estructural.** Las proteínas –sobre todo, las fibrosas– realizan importantes funciones estructurales, proporcionando soporte mecánico a las células animales y vegetales. Se pueden encontrar tanto en las células como en los tejidos.
- En las células encontramos las proteínas de la membrana plasmática, las **histonas**, que se comportan como elementos estructurales de los cromosomas; también encontramos los microtúbulos de **tubulina**, que forman parte del citoesqueleto, y realizan funciones tan importantes como la formación del huso mitótico, el transporte intracelular o los movimientos de la célula.
- Formando parte de los tejidos, tenemos las fibras de **colágeno** de los tejidos conjuntivos, que son las encargadas de dar resistencia mecánica; la **queratina** de la epidermis, la **elastina** del cartílago, etc. En algunos casos, forman también sus cubiertas externas; por ejemplo, la **esclerotina** del exoesqueleto de los insectos.

5.18. Para cada una de las siguientes proteínas: hemoglobina, histona, amilasa, inmunoglobulina, albúminas, queratina, colágeno, miosina, insulina y mucinas, indica.

- Grupo al que pertenece.
- Tipo de estructura que presenta.
- Función biológica que desempeña.

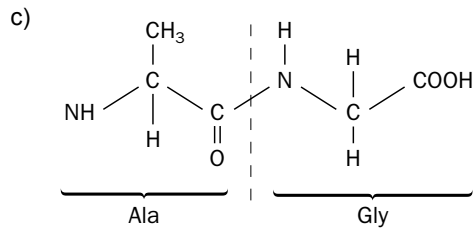
Proteína	Grupo	Estructura	Función
Hemoglobina	Heteroproteína	Globular	Transporte de oxígeno
Histona	Holoproteína	Globular	Estructural
Aamilasa	Holoproteína	Globular	Enzimática
Inmunoglobulina	Holoproteína	Globular	Defensa
Albúmina	Holoproteína	Globular	Reserva
Queratina	Holoproteína	Fibrilar	Estructural
Colágeno	Holoproteína	Fibrilar	Estructural
Miosina	Holoproteína	Fibrilar	Contráctil
Insulina	Holoproteína	Globular	Hormonal
Mucina	Heteroproteína	Globular	Protectora

5.19. Las proteínas son macromoléculas poliméricas constituidas por la unión de moléculas más simples.



- ¿Cómo se denominan las unidades que se enlazan para constituir las proteínas?
- ¿Qué características comunes poseen estas unidades?
- Formula el dipéptido Ala-Gly.
- Nombra tres funciones que pueden realizar estas macromoléculas en las células.

- a) Las unidades que se enlazan para formar las proteínas se denominan aminoácidos.
- b) Los aminoácidos son compuestos orgánicos sencillos de bajo peso molecular que cuando se unen entre sí forman proteínas. Químicamente, están formados por carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno. Se caracterizan por poseer un grupo carboxilo (-COOH), un grupo amino (-NH₂) y una cadena lateral o grupo R; todos ellos, unidos covalentemente a un átomo de carbono llamado carbono α (Cα).



- d) Tres de las diferentes funciones desarrolladas por las proteínas son: enzimática, estructural y de transporte.

5.20. ¿Cuántos aminoácidos diferentes constituyen las proteínas en los seres vivos? ¿Por qué elementos químicos están constituidos esos aminoácidos? ¿Qué se entiende por aminoácidos esenciales?

El número de aminoácidos diferentes que constituyen una proteína es de veinte.

Químicamente, los aminoácidos están formados por carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno.

Los aminoácidos esenciales son aquellos que el organismo no puede sintetizar, y por tanto, tiene que incorporarlos a partir de los alimentos.

5.21. La α-queratina es una proteína presente en la piel de mamíferos y en sus derivados como uñas y pelos, siendo responsable en gran medida de los rizos naturales del cabello. Los “moldeados” son tratamientos capilares que modifican el aspecto natural del cabello, haciendo desaparecer rizos naturales y provocando la aparición de otros supuestamente más estéticos. Explica razonadamente la probable actuación de los “moldeadores” sobre las α-queratinas capilares.

Las **queratinas** son un amplio grupo de proteínas animales que se sintetizan y almacenan en las células de la epidermis; forman los cuernos, uñas, pelo y lana de muchos animales.

Para explicar la probable actuación de los “moldeadores” sobre las α-queratinas capilares hay que conocer la estructura que tiene esta proteína:

La **α-queratina** tiene una estructura secundaria en forma de α-hélice, ya que la cadena polipeptídica se va enrollando en espiral sobre sí misma debido a los giros que se producen en torno al carbono α de cada aminoácido. Es una estructura que se mantiene estable gracias a los enlaces de hidrógeno intracatenarios, formados entre el grupo -NH de un enlace peptídico y el grupo -C=O del cuarto aminoácido que lo sigue. La formación de estos enlaces determina no solo la estabilidad de la estructura, sino también la longitud del paso de rosca (avance por vuelta), que es de 0,54 nm.

La unión entre las cadenas polipeptídicas que forman la molécula de α-queratina se realiza por medio de puentes disulfuro entre restos de cisteína. En las personas que tienen los cabellos lisos, los puentes disulfuro se establecen al mismo nivel; mientras que en las de pelo rizado se sitúan a distinto nivel, igual que ocurre cuando abrochamos mal los botones de una chaqueta.

Los “moldeadores” se utilizan en peluquería para que el pelo sea más rizado. Se trata de sustancias químicas que rompen los puentes disulfuro del cabello lacio natural, y establecen otros nuevos entre regiones diferentes, consiguiendo con ello un acortamiento de la estructura en α-hélice y con ello un rizado más intenso.

UN PASO MÁS

- 5.22. Las proteínas son la fuente de aminoácidos para los organismos heterótrofos y proceden de los alimentos consumidos en la dieta, pero ¿cómo es posible que en el interior del aparato digestivo las proteínas se transformen en aminoácidos para con ellos formar las proteínas propias del animal?**

En el aparato digestivo, las proteínas son sometidas a hidrólisis por acción de enzimas específicas, que rompen los enlaces peptídicos entre los aminoácidos, con lo que estos quedan libres y son absorbidos para, posteriormente en la célula, unirse nuevamente, pero en un orden distinto y formar las proteínas propias del animal.

- 5.23. A la vista de las siguientes secuencias de aminoácidos, analiza si se trata de un mismo péptido o por el contrario son péptidos diferentes:**

Secuencia A: Pro-Glu-Ala-Cis-Tir-Ser

Secuencia B: Ser-Tir-Cis-Ala-Glu-Pro

Son dos péptidos distintos, pues aunque tienen los mismos aminoácidos, están ordenados de distinta manera y es por ello que son diferentes.

- 5.24. La hemoglobina es una proteína formada por cuatro cadenas polipeptídicas, dos de tipo α y otras dos de tipo β . Se conoce la secuencia completa de aminoácidos, existiendo una pequeña diferencia entre la hemoglobina de las personas sanas y la hemoglobina de las personas con anemia falciforme.**

Personas sanas: Val-His-Leu-Tre-Pro-Glu-Glu-Lis

Personas con anemia falciforme: Val-His-Leu-Tre-Pro-Val-Glu-Lis

- a) ¿Qué cambio hay entre ambas moléculas de hemoglobina?
 - b) ¿Cuál es la función de la hemoglobina? ¿Crees que se puede ver alterada por el cambio experimentado? Razona la respuesta.
 - c) ¿Qué tipo de estructuras proteicas posee la hemoglobina? De entre las nombradas, describe la estructura de orden superior.
 - d) Cita alguna proteína que desarrolle la misma función que la hemoglobina, pero en las células vegetales.
- a) La diferencia entre la hemoglobina normal y la falciforme reside en el aminoácido que ocupa el 6º lugar; en la normal es el ácido glutámico (Glu), y en la falciforme es la valina (Val).
 - b) La función de la hemoglobina es transportar oxígeno desde las superficies respiratorias hasta las células. La función transportadora de la hemoglobina se altera por el cambio en el aminoácido, ya que este cambio provoca, a su vez, una modificación de la estructura terciaria de la proteína, que hace que la hemoglobina no pueda unirse de manera eficaz al oxígeno, provocando con ello una enfermedad llamada anemia falciforme.
 - c) La hemoglobina posee las siguientes estructuras: primaria, secundaria, terciaria y cuaternaria. La estructura de orden superior es la **cuaternaria**, estructura que poseen las proteínas, tanto fibrosas como globulares, formadas por dos o más cadenas polipeptídicas –denominadas **subunidad**, **monómero** o **protómero**– que pueden ser iguales o diferentes. Para que la proteína sea funcional, los protómeros tienen que estar unidos y, en general, lo hacen mediante uniones débiles, como enlaces de hidrógeno, fuerzas de Van der Waals, e incluso puentes disulfuro, como es el caso de las inmunoglobulinas. La hemoglobina es una proteína globular compuesta de cuatro cadenas polipeptídicas, dos de un tipo (cadena α) y dos de otro tipo (cadena β).
 - d) La hemoglobina tiene una función transportadora, igual que ocurre con los citocromos, que son proteínas transportadoras de electrones, localizadas en la membrana celular de las bacterias y en la membrana interior de las mitocondrias y de los cloroplastos. Intervienen en la respiración celular y en la fotosíntesis, aceptando y liberando alternativamente electrones dentro de una cadena transportadora que tiene como fin la liberación de energía.

5.25. "Del interior de la cueva salía un fuerte olor a cuerno quemado." Este podría ser el comienzo de algún relato de misterio del que sabemos poco, pero lo suficiente para saber que el olor a cuerno quemado es el que se desprende cuando se quema el pelo, la lana, las uñas o los cuernos de muchos animales, y que es consecuencia de las emanaciones de SO_2 .

- Pelo, lana, uñas y cuernos son estructuras epidérmicas que están formadas por una determinada proteína, ¿de qué proteína se trata? ¿Qué función tiene?
- Atendiendo a su composición química, ¿qué tipo de proteína es?
- ¿A qué se deben las emanaciones de SO_2 que provocan el característico olor a cuerno quemado?

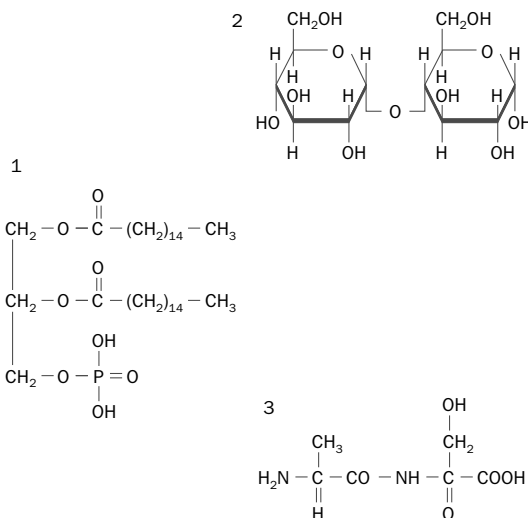
- El pelo, la lana, las uñas y los cuernos son estructuras epidérmicas formadas por queratina, proteína rica en aminoácidos azufrados. La función de la queratina es estructural.
- Según su composición química es una holoproteína, ya que está formada únicamente por aminoácidos.
- Las emanaciones de SO_2 se deben a que durante la combustión del pelo o de los cuernos, el radical SH de los grupos tiol ($-\text{CH}_2-\text{SH}$), propios de la cisteína, se oxida y se transforma en SO_2 , que es lo que provoca el característico olor a cuerno quemado.

5.26. Conocemos las diferencias que presenta un huevo antes y después de freírlo. Explica el proceso biológico que ha transformado la clara desde un producto gelatinoso y transparente hasta otro de mayor consistencia y opaco a la luz.

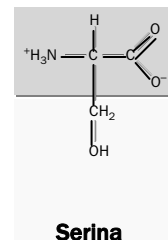
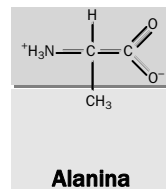
Las diferencias observadas en el huevo antes y después de freírlo son debidas a que, al freír el huevo, se incrementa la temperatura, y esto produce la desnaturalización de la ovoalbúmina, proteína que forma la clara. Las proteínas desnaturalizadas se coagulan, confiriendo a la clara de huevo aspecto consistente y opaco a la luz.

5.27. El cuadro adjunto contiene un azúcar, un lípido y un dipéptido.

- Identifica cada molécula numerada.
- Dibuja las moléculas resultantes de la hidrólisis del compuesto n.º 3.



- El número 1 es un fosfolípido, concretamente el ácido fosfatídico; el número 2 es un disacárido, concretamente la maltosa; y el número 3 es un dipéptido formado por la unión de la alanina (Ala) y la serina (Ser).
- La hidrólisis de la molécula 3, que es un dipéptido, provoca la rotura del enlace peptídico entre la alanina y la serina, y se quedan libres los dos aminoácidos.



6

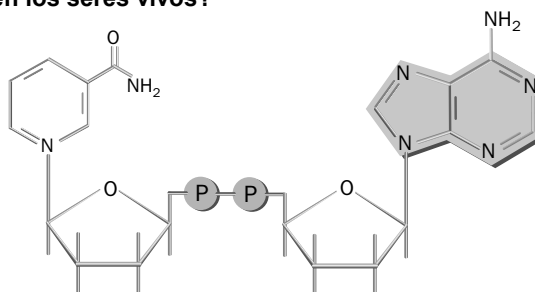
Nucleótidos y ácidos nucleicos

ACTIVIDADES PAU RESUELTAS

- 6.1. El ADN presente en una determinada especie bacteriana posee un 18% de citosina del total de bases nitrogenadas. Calcula el porcentaje de las restantes bases nitrogenadas presentes en el ADN de dicha bacteria.

Actividad resuelta en el libro del alumno.

- 6.2. La figura representa un dinucleótido muy importante en los seres vivos. ¿De qué molécula se trata? ¿Qué función desempeña en los seres vivos?



Actividad resuelta en el libro del alumno.

- 6.3. En relación con los ácidos nucleicos, indica.

- ¿Cuáles son los componentes de un nucleótido?
- ¿Cuáles son las bases nitrogenadas derivadas de la purina? ¿Y de la pirimidina?
- ¿Qué bases nitrogenadas entran a formar parte en la composición del ARN y del ADN?
- ¿Qué tipo de enlaces soporta la estructura de los ácidos nucleicos?

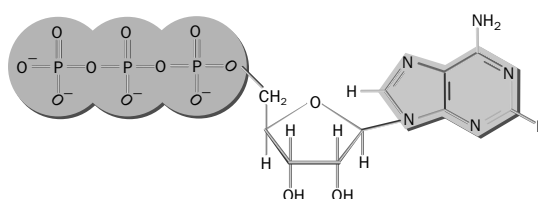
Actividad resuelta en el libro del alumno.

ACTIVIDADES

- 6.4. ¿Cuál es la estructura molecular del ATP? ¿Qué significa que el ATP actúa como “intercambiador de energía” o como “moneda energética”?

ATP es el acrónimo utilizado para designar un compuesto químico llamado adenosín trifosfato, que químicamente es un nucleótido formado por la unión de la adenosina y tres moléculas de ácido fosfórico, con la particularidad que los enlaces entre las dos moléculas de ácido fosfórico son enlaces ricos en energía.

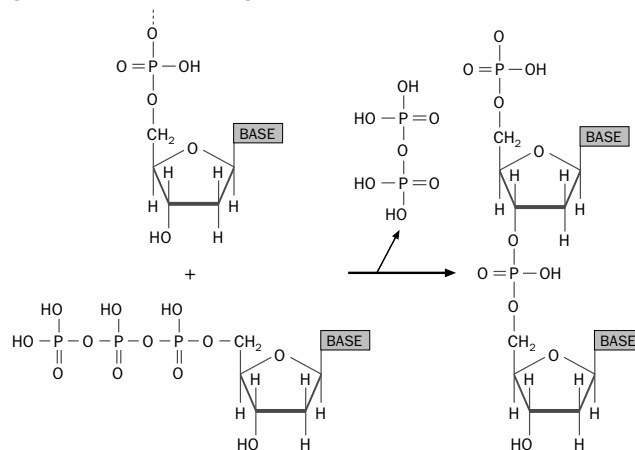
El ATP actúa como “intercambiador de energía” o como “moneda energética” en las reacciones metabólicas en las que se desprende o se consume energía. Esto significa que la energía desprendida en las reacciones exergónicas se utiliza para formar ATP (adenosín trifosfato) a partir de ADP (adenosín difosfato) y ácido fosfórico (fosforilación), mientras que la energía que se necesita en las reacciones endergónicas procede de la liberada cuando el ATP se hidroliza a ADP y ácido fosfórico (defosforilación).



6.5. En la célula se encuentran los nucleótidos, que tienen una notable importancia biológica.

- ¿Cuál es la composición química de un nucleótido?
 - ¿Cómo se llama el enlace que une a dos o más nucleótidos?
 - Indica cuál es la principal función del ATP, NADH, ADN y ARN.
- Desde el punto de vista químico, un nucleótido está formado por una base nitrogenada, un azúcar de cinco átomos de carbono (pentosa) y una molécula de ácido fosfórico (H_3PO_4).
 - El enlace que une dos o más nucleótidos se denomina fosfodiéster.
 - Funciones de ATP, NADH, ADN y ARN:
 - El **ATP** (adenosín trifosfato) es un nucleótido que en las reacciones metabólicas transporta energía. Es la molécula encargada de suministrar energía a las reacciones endergónicas, es decir, aquellas que necesitan energía.
 - El **NADH** (dinucleótido de nicotinamida y adenina) es una coenzima de las deshidrogenasas. Actúa como transportador de H en diferentes procesos metabólicos, como es el caso de la respiración celular.
 - El **ADN** o ácido desoxirribonucleico es la molécula portadora de la información genética. Lleva las instrucciones necesarias para la formación de todas y cada una de las proteínas de un ser vivo.
 - El **ARN** o ácido ribonucleico dirige la síntesis de las proteínas a partir de la información obtenida del ADN.

6.6. A la vista de la imagen, responde las siguientes cuestiones.



- ¿Qué tipo de monómeros están implicados en la reacción? ¿Cuáles son sus componentes? Indica el nombre de las posibles bases que puedan formar parte de ellos. Describe dos de las funciones de estos monómeros.
- ¿Qué nombre recibe el enlace que se produce entre los monómeros? Indica los grupos químicos que intervienen en su formación. ¿Qué nombre reciben las moléculas biológicas formadas por gran cantidad de monómeros unidos por enlaces de este tipo?

- Los monómeros que están implicados en esta reacción son **nucleótidos**. Los componentes de un nucleótido son: una base nitrogenada, un azúcar de cinco átomos de carbono (pentosa) y una molécula de ácido fosfórico (H_3PO_4). Las posibles bases que pueden formar parte de los nucleótidos son cinco: la adenina y la guanina, que son bases púricas, y la citosina, timina y uracilo, que son bases pirimidínicas.

Dos de las funciones realizadas por los nucleótidos son:

- Son **componentes** de los ácidos nucleicos.
 - Algunos nucleótidos actúan como **coenzimas** en determinadas reacciones, o bien son moléculas **transportadoras de energía**, como sería el ATP.
- Los enlaces que unen entre sí los nucleótidos son enlaces fosfodiéster.

En la formación de un enlace fosfodiéster intervienen los siguientes grupos químicos: el radical fosfato situado en el carbono 5' de un nucleótido y el radical hidroxilo ($-OH$) del carbono 3' del otro nucleótido.

Las moléculas biológicas formadas por la unión de monómeros se denominan polímeros. En el caso de que el monómero sea un nucleótido, el polímero resultante de la unión de varios nucleótidos se llama polinucleótido.

6.7. Los ácidos nucleicos son los componentes estructurales de la información genética.

- Indica los componentes de un nucleósido y un nucleótido.
- Copia y completa la tabla adjunta.

		ADN	ARN
Composición química	Azúcar	Desoxirribosa	Ribosa
	Bases nitrogenadas	Adenina, guanina, citosina y timina	Adenina, guanina, citosina y uracilo
Estructura	Monocatenario	No	Sí
	Bicatenario	Sí	No
Función		El ADN es el almacén de la información genética y la molécula encargada de transmitir a la descendencia las instrucciones necesarias para construir todas las Proteínas presentes en un ser vivo.	El ARNm dirige la síntesis de las proteínas a partir de la información obtenida del ADN, el ARNt lleva los aminoácidos hasta los ribosomas, el ARNr forma los ribosomas y el ARNn Forma el nucléolo.

- Un nucleósido está formado por la unión de una base nitrogenada y un azúcar de cinco átomos de carbono (pentosa), mientras que un nucleótido está formado por la unión de un nucleósido y una molécula de ácido fosfórico (H_3PO_4).
- Apartado resuelto en la misma tabla.

6.8. Una determinada molécula de ADN de cadena doble presenta un 30% de adenina.

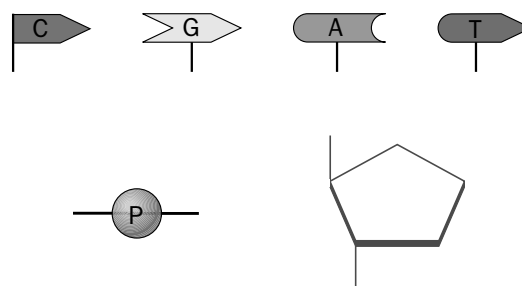
- ¿Cuáles serán los porcentajes de timina, guanina y citosina? Razona la respuesta.
- ¿Cuál será el porcentaje conjunto de bases púricas? Razona la respuesta.
- ¿Cuál será el porcentaje conjunto de las bases pirimidínicas? Razona la respuesta.
- Indica qué valor tomará la relación bases púricas / bases pirimidínicas en dicha molécula. Razona la respuesta.

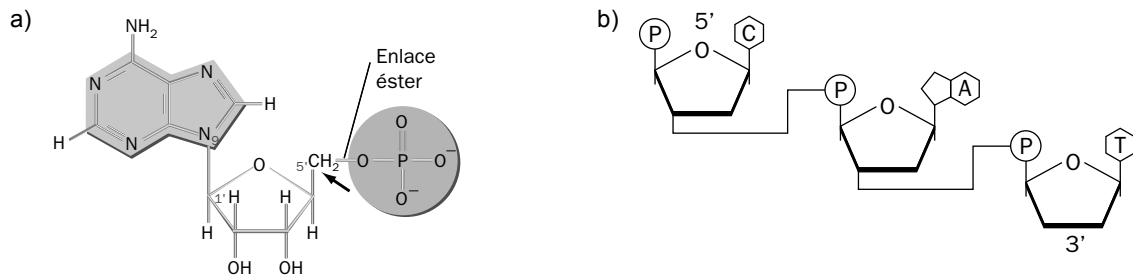
El razonamiento para contestar estas preguntas se basa en las **reglas de Chargaff**, reglas que determinan la relación existente entre las concentraciones de bases púricas y pirimidínicas para una misma molécula de ADN.

- En la molécula de ADN, la cantidad relativa de adenina y de timina es la misma; si hay 30% de adenina, tiene que haber 30% de timina. La cantidad de citosina es la misma que la de guanina; como la suma de las cantidades de adenina y timina es de 60%, el resto —es decir, el 40%— tiene que ser de citosina y guanina, luego de cada una de estas dos bases tendrá que haber 20%.
- El total de las bases púricas es del 50%, 30% de adenina y 20% de guanina.
- El total de bases pirimidínicas es del 50%, 20% de citosina y 30% de timina.
- La relación entre bases púricas y bases pirimidínicas es de 1.

6.9. Los ácidos nucleicos son uno de los componentes más importantes de la célula, ya que son los encargados de transmitir la información genética.

- Representa la estructura básica de un nucleótido.
- Empleando los esquemas adjuntos, dibuja el fragmento de ADN nuclear con secuencia T – A – C en una cadena.
- ¿Cuáles son las diferencias estructurales entre ADN y ARN?





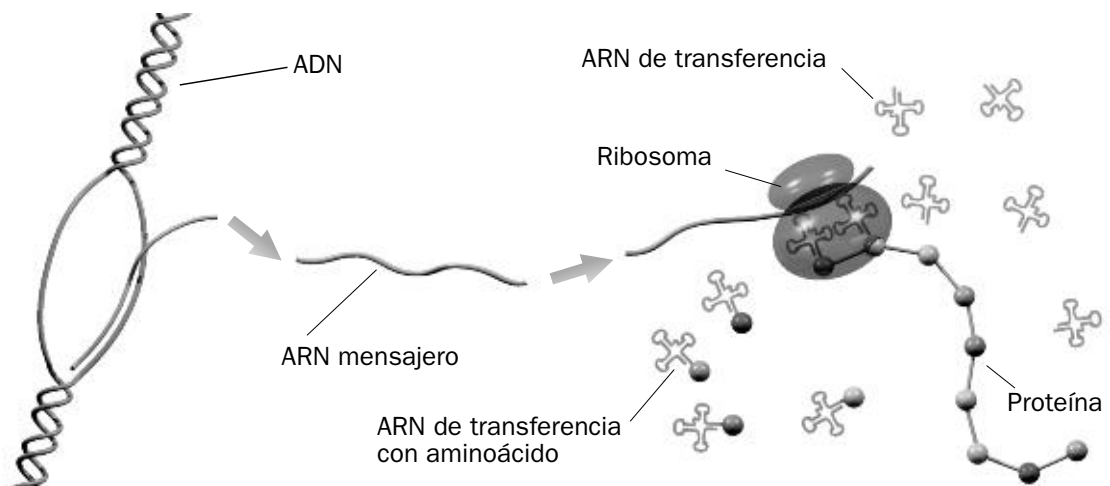
c) Las diferencias estructurales entre el ADN y el ARN:

ADN: por lo general, el ADN tiene una estructura secundaria en toda su cadena, ya que está constituido por una doble hélice de 2 nm de diámetro, formada por dos cadenas de polinucleótidos enrolladas alrededor de un eje imaginario.

ARN: en la mayor parte de los organismos, el ARN es monocatenario, salvo en algunos virus en los que es bicatenario. En los monocatenarios, algunas zonas de su molécula, denominadas horquillas, pueden presentar estructura de doble hélice como resultado de la formación de enlaces de hidrógeno entre bases complementarias. En las regiones donde no existe complementariedad de bases se forman unas estructuras llamadas bucles.

6.10. Enumera los componentes del ADN y explica su estructura. Indica de forma esquemática cómo se realiza la expresión de la información genética desde ADN a proteína.

El ADN es un **polinucleótido** formado por la unión mediante enlaces fosfodiéster de desoxirribonucleótidos de adenina (dAMP), timina (dTMP), guanina (dGMP) y citosina (dCMP). Cada uno de los nucleótidos está formado por la unión de una base nitrogenada; en este caso, puede ser una de estas cuatro, A, T, G y C, un azúcar de cinco átomos de carbono, la desoxirribosa y una molécula de ácido fosfórico.



La expresión de la información genética desde el ADN a proteína se puede esquematizar utilizando el llamado “**dogma central de la biología molecular**”.

6.11. Respecto a la siguiente tabla.

Cadena 1			N.º enlaces	Cadena 2		
P	D	A	2	T	D	P
P	D	C	3	G	D	P
P	D	C	3	G	D	P
P	D	A	2	T	D	P

- a) Completa qué corresponde a las cadenas complementarias de un fragmento de ADN. Utiliza las letras P para el ácido fosfórico, D para la pentosa (2'- desoxirribosa), A para adenina, C para citosina, G para guanina y T para timina. Indica, en cada caso, el número de puentes de hidrógeno que se establecen entre las dos bases nitrogenadas.
- b) Al analizar las proporciones de bases nitrogenadas de un fragmento monocatenario de ADN humano, los resultados fueron los siguientes: 27% de A, 35% de G, 25% de C y 13% de T. Indica cuáles serán las proporciones de bases de la cadena complementaria.

- a) Apartado resuelto en la misma tabla.
- b) Según las reglas de Chargaff, en una misma molécula de ADN la cantidad de adenina es igual a la de timina, y la cantidad de guanina es la misma que la de citosina. Por tanto, la cadena complementaria tendrá las siguientes cantidades: 27% de timina, 35% de citosina, 25% de guanina y 13% de adenina.

6.12. En relación con la molécula de ADN, indica.

- a) Los tres compuestos químicos de sus monómeros.
- b) El nombre de las bases nitrogenadas.
- c) Las parejas de bases que se establecen entre las dos cadenas complementarias y el tipo de enlace que se establece entre ellas.
- d) La forma espacial de la molécula.
- e) Si el diámetro de la molécula es constante en toda su longitud.

Razona tus respuestas.

- a) Cada uno de los monómeros que forman parte del ADN está formado por un azúcar de cinco átomos de carbono (desoxirribosa), una base nitrogenada y una molécula de ácido fosfórico.
- b) Las bases nitrogenadas son cuatro: adenina, guanina, citosina y timina.
- c) Las parejas de bases que se establecen entre las dos cadenas complementarias son la adenina-timina y la guanina-citosina. Entre la adenina y la timina se forman dos enlaces de hidrógeno, y entre la guanina y la citosina son tres los enlaces de hidrógeno con los que se unen.
- d) Espacialmente, la molécula de ADN presenta las siguientes características:
 - El ADN es una **doble hélice** de 2 nm de diámetro formada por dos cadenas de polinucleótidos enrolladas alrededor de un eje imaginario; las bases nitrogenadas se encuentran situadas hacia el interior de la molécula. Los planos de sus anillos son paralelos entre sí y perpendiculares al eje de la doble hélice. Así, esta estructura recuerda a una escalera de caracol en la que los peldaños son las bases nitrogenadas, y los pasamanos las cadenas formadas por el azúcar y el ácido fosfórico.
 - El enrollamiento es **dextrógiro** (hacia la derecha) y **plectonémico**, es decir, que para que las dos cadenas se separen es necesario que se desenrollen.
 - Cada pareja de nucleótidos está separada de la siguiente por una distancia de 0,34 nm, y cada vuelta de la doble hélice está formada por 10 pares de nucleótidos; esto supone una longitud de 3,40 nm por vuelta de hélice.
 - Las dos cadenas de polinucleótidos son antiparalelas, es decir, los enlaces 5' → 3' están orientados en sentidos opuestos y son complementarias; o, lo que es lo mismo, existe una correspondencia entre las bases nitrogenadas.
- e) El diámetro de la molécula de ADN es 2 nm, y es constante en toda su longitud. Esto es debido al enfrentamiento entre las bases nitrogenadas, ya que enfrente de una base púrica, estructuralmente formada por dos anillos, se sitúa una base pirimidínica, estructuralmente formada por un solo anillo, ocurriendo esto a lo largo de toda la molécula.

6.13. Explica la estructura química del ARN.

- a) Cita las diferencias químicas y estructurales entre ARN y ADN.
- b) Comenta la estructura del ARN de transferencia, y explica su función.

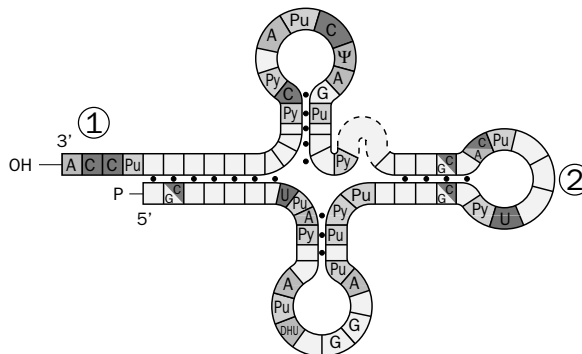
Químicamente, el ARN o ácido ribonucleico está formado por la **unión de ribonucleótidos** de adenina, guanina, citosina y uracilo, unidos entre sí por **enlaces fosfodiéster**.

a)

Diferencias químicas		Diferencias estructurales
ADN	El azúcar que forma parte de los nucleótidos es la desoxirribosa, y las bases nitrogenadas son: adenina, guanina, citosina y timina.	Por lo general, el ADN tiene una estructura secundaria en toda su cadena, ya que está constituido por una doble hélice de 2 nm de diámetro, formada por dos cadenas de polinucleótidos enrolladas alrededor de un eje imaginario.
ARN	El azúcar que forma parte de los nucleótidos es la ribosa y las bases nitrogenadas son: adenina, guanina, citosina y uracilo.	En la mayor parte de los organismos, el ARN es monocatenario, salvo en algunos virus en los que es bicatenario. En los monocatenarios algunas zonas de su molécula, denominadas horquillas, pueden presentar estructura de doble hélice como resultado de la formación de enlaces de hidrógeno entre bases complementarias. En las zonas donde no existe complementariedad de bases se forman unas estructuras denominadas bucles.

- b) El ARN transferente (ARNt) es monocatenario, es decir, está formado por una sola cadena de nucleótidos. En algunas zonas de la molécula presenta una estructura en forma de doble hélice, debido a la formación de enlaces de hidrógeno entre bases complementarias; la adenina se une al uracilo, y la guanina lo hace con la citosina. En las zonas donde no existe apareamiento de bases se forman bucles; concretamente, tres. Si la molécula de ARNt se dispone en un plano, su aspecto recuerda al que tiene una hoja de trébol formada por tres brazos –el brazo A, el brazo T y el brazo D–, pero si se dispone espacialmente, su forma es parecida a la de la letra L. La función del ARNt es transportar los aminoácidos hasta los ribosomas, para que allí se unan y formen las proteínas.

6.14. En relación con la figura, responde las siguientes cuestiones.



- a) ¿Qué tipo de molécula representa? Explica su composición, indicando el tipo de enlace entre sus componentes.
- b) ¿Cumple esta molécula la relación purinas / pirimidinas = 1?
- c) Explica su función, indicando el nombre y la implicación en la misma de las regiones señaladas con los números 1 y 2.

- a) La molécula representada en la figura adjunta es el **ARN de transferencia** (ARNt). Está formado por la unión, mediante enlaces fosfodiéster, de ribonucleótidos. Cada uno de los ribonucleótidos está formado por un azúcar de cinco átomos de carbono, la ribosa, una de alguna de estas cuatro bases nitrogenadas –adenina, guanina, citosina y uracilo–, y una molécula de ácido fosfórico.
- b) La relación de bases purinas / pirimidinas = 1 es una de las reglas de Chargaff, y se cumple para el ADN –que es un ácido nucleico formado por dos cadenas de nucleótidos, una complementaria a la otra–, pero no se cumple para el ARN, que es un ácido nucleico monocatenario.
- c) La función del ARNt es transportar los aminoácidos hasta los ribosomas, para que allí se unan y formen las proteínas.

La región 1 se llama extremo 3', y está formado por tres bases nitrogenadas (C-C-A) sin aparear, siendo este el lugar por donde el ARNt se une al aminoácido que va a transportar hasta el ribosoma.

La región 2 se llama brazo A, y en él existe un triplete de bases nitrogenadas llamado anticodón, diferente para cada ARNt en función del aminoácido que va a transportar, y es complementario del correspondiente triplete codón del ARNm.

6.15. En el ADN bicatenario de un virus.

- a) ¿Qué tipos de bases nitrogenadas podrías encontrar?
 b) ¿Qué proporciones cuantitativas cabría esperar entre dichas bases?
 c) En el caso de un virus con ARN monocatenario, ¿qué tipos de bases nitrogenadas esperarías encontrar?

- a) En un ADN bicatenario de un virus existen las mismas bases nitrogenadas que en cualquier otro ADN, la adenina, la timina, la guanina y la citosina.
 b) La proporción cuantitativa entre las bases nitrogenadas de un mismo ADN viene determinada por las reglas de Chargaff:

- La proporción de adenina (A) es igual a la de timina (T). $A = T$. La relación entre adenina y timina es igual a la unidad ($A / T = 1$).
- La proporción de guanina (G) es igual a la de citosina (C). $G = C$. La relación entre guanina y citosina es igual a la unidad ($G / C = 1$).
- La proporción de bases púricas (A + G) es igual a la de las bases pirimidínicas (T + C). $(A + G) = (T + C)$. La relación entre (A + G) y (T + C) es igual a la unidad $(A + G) / (T + C) = 1$.

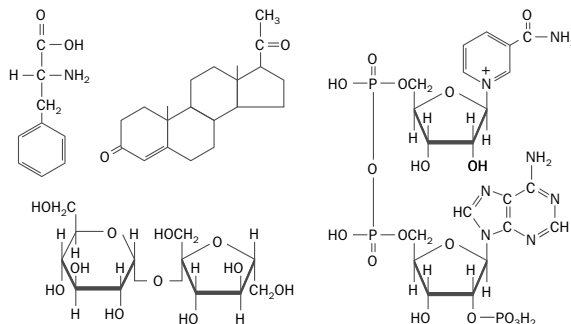
Según estas reglas, en un mismo ADN habrá la misma cantidad de adenina que de timina, y la misma cantidad de guanina que de citosina; el 50% de las bases serán púricas (A + G), y el otro 50% será de bases pirimidínicas (C + T).

- c) El ARN monocatenario de un virus estaría formado por las mismas bases nitrogenadas que forman parte de todos los ARN, es decir, la adenina, la guanina, la citosina y el uracilo.

6.16. Enumera las características y la función de los distintos ARN.

	Características	Función
ARNm	Es monocatenario con estructura lineal, salvo en algunas zonas de la cadena, donde se forman horquillas debido a la existencia de complementariedad entre las bases. En los organismos eucariotas es monocistrónico, ya que lleva información para que se sintetice una proteína, mientras que en los procariotas es policistrónico, ya que contiene información separada para la síntesis de varias proteínas distintas.	Su función es copiar la información genética del ADN (transcripción) y llevarla hasta los ribosomas, que son los orgánulos donde se realiza la síntesis de las proteínas. Cada ARN mensajero se sintetiza tomando como molde una porción de ADN, y es complementario a él.
ARNr	Las moléculas de ARNr son largas y monocatenarias; aunque en algunas regiones, las bases nitrogenadas se encuentran apareadas; por tanto, en esas zonas, el ARNr tiene una estructura de doble cadena.	Varias moléculas de este ARN, asociadas a un conjunto de proteínas básicas, forman un ribosoma, que es el orgánulo donde se sintetizan las proteínas.
ARNt	El ARN de transferencia (ARNt) es monocatenario, es decir, está formado por una sola cadena de nucleótidos. En algunas zonas de la molécula presenta una estructura en forma de doble hélice, debido a la formación de enlaces de hidrógeno entre bases complementarias; la adenina se une al uracilo, y la guanina lo hace con la citosina. En los sitios donde no existe apareamiento de bases se forman bucles, concretamente tres. Si la molécula de ARNt se dispone en un plano, su aspecto recuerda al que tiene una hoja de trébol formada por tres brazos —el brazo A, el brazo T y el brazo D—, pero si se dispone espacialmente, su forma es parecida a la de la letra L.	La función del ARNt es transportar los aminoácidos hasta los ribosomas, para que allí se unan y formen las proteínas.
ARNn	Se origina en el núcleo a partir de diferentes segmentos del ADN, denominados organizadores nucleolares. Una vez formado, se fragmenta y da origen a los diferentes tipos de ARNr.	Se encuentra asociado a diferentes proteínas, y forma el nucléolo.

6.17. Las cuatro moléculas que aparecen en la figura son la sacarosa, la fenilalanina, el NADP y la progesterona.

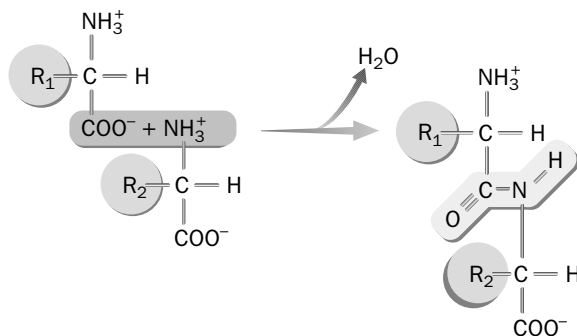


- Identifícalas e indica el grupo de compuestos al que pertenecen.
- Las proteínas están formadas por la unión de aminoácidos. Indica, mediante un esquema, el tipo de enlace que une los aminoácidos entre sí.
- Haz un esquema de la estructura molecular de un mononucleótido, y señala una función importante que desempeñen los mononucleótidos en los seres vivos.

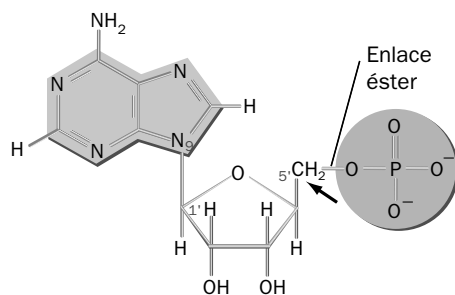
a)

Compuesto	Tipo	Grupo
Sacarosa	C	Disacárido
Fenilalanina	A	Aminoácido
NADP	D	Coenzima
Progesterona	B	Esteroides

- El enlace que une entre sí a dos aminoácidos es un **enlace peptídico**. Es un enlace covalente entre el grupo carboxilo de un aminoácido y el grupo amino de otro.



- Un mononucleótido es un compuesto químico formado por la unión de un azúcar de cinco átomos de carbono (pentosa), una base nitrogenada y un ácido fosfórico (H_3PO_4). Los mononucleótidos son las unidades estructurales que constituyen los ácidos nucleicos.



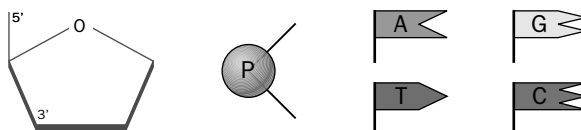
6.18. Enumera y describe, de acuerdo con su estructura, composición, localización y función los diferentes tipos de ácidos ribonucleicos de las células eucarióticas.

	ARNm	ARNt	ARNr	ARNn
Estructura	Monocatenario con estructura lineal salvo en algunas zonas de la cadena, donde se forman horquillas debido a la existencia de complementariedad entre las bases.	Monocatenario con estructura lineal, pero que en algunas zonas presenta una estructura en forma de doble hélice debido a la formación de enlaces de hidrógeno entre bases complementarias. En los sitios donde no existe apareamiento de bases se forman bucles, concretamente tres.	Monocatenario; aunque en algunas regiones, las bases nitrogenadas se hallan apareadas y, por tanto, en esas zonas tiene una estructura de doble cadena.	Monocatenario de largas cadenas de nucleótidos.
Composición	Ribonucleótidos de adenina, guanina, citosina y uracilo.	Ribonucleótidos de adenina, guanina, citosina y uracilo. También lleva un 10% de nucleótidos de bases nitrogenadas diferentes a las anteriores.	Ribonucleótidos de adenina, guanina, citosina y uracilo.	Ribonucleótidos de adenina, guanina, citosina y uracilo.
Localización	Núcleo y citoplasma.	Citoplasma.	Ribosomas.	Núcleo.
Función	Copia la información genética del ADN (transcripción) y la lleva hasta los ribosomas, donde se realiza la síntesis de las proteínas.	Transporta aminoácidos hasta los ribosomas, para que allí se unan y formen las proteínas.	Junto con proteínas básicas forma los ribosomas.	Se encuentra asociado a diferentes proteínas formando el nucléolo. Es el precursor del ARNr. El ARNn se fragmenta, y se obtienen cortas cadenas que forman el ARNr.

UN PASO MÁS

6.19. Investigadores de la Universidad de Chicago han demostrado que las personas, en particular las mujeres, son capaces de distinguir diferencias de olor entre dos hombres debidas a un único gen (secuencia de ADN). El olor corporal característico de cada individuo se debe, entre otras cosas, a sus genes HLA, que codifican ciertas proteínas de la membrana celular. En el estudio, se secuenciaron los genes HLA de un grupo de mujeres a las que se les había pedido que dieran su opinión sobre el olor de un grupo de hombres no relacionado con ellas, a los que también se les secuenciaron sus genes HLA. Las mujeres preferían el olor de hombres cuyos genes HLA son medianamente similares a los suyos, mientras que no les gustaba tanto el olor de hombres cuyos genes HLA son o muy similares o muy diferentes de los suyos.

- Define los términos subrayados en el texto. ¿Cómo crees tú que se compararon unos genes HLA con otros?
- Usando los esquemas, dibuja una molécula de ADN de doble cadena con la secuencia 5'-GTCA-3' y su complementaria.

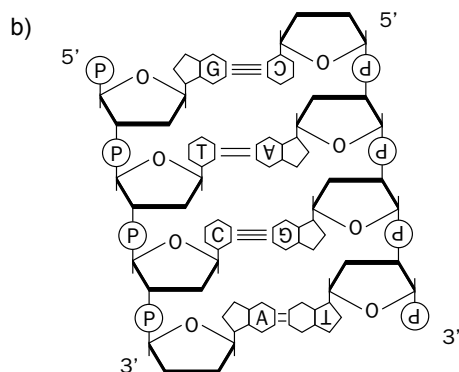


- Completa la tabla con los siguientes elementos químicos: H, C, O, P, S.

Compuestos	Elementos químicos que posee
Proteínas	C, H, O y S.
Glucosa	C, H y O
ARN	C, H, O y P.
ATP	C, H, O y P.
Sacarosa	C, H y O.
Enzimas	Son proteínas y, por tanto, todas llevan C, H, O y S.

a) Los términos subrayados son:

- **Secuencia de ADN:** cadena de ADN con un determinado orden de nucleótidos.
- **Codifican:** llevan un mensaje cifrado.
- **Proteínas:** macromoléculas orgánicas formadas por la unión de aminoácidos en un orden determinado.
- **Membrana celular:** estructura lipoproteica que separa el medio extracelular del medio intracelular.
- **Secuenciaron:** secuenciar es identificar el orden en el que se encuentran unidos los aminoácidos que forman una proteína, o también el orden en el que se encuentran unidos los nucleótidos que forman un polinucleótido. En este caso, secuenciaron quiere decir que identificaron el orden en el que están unidos los nucleótidos que forman los genes HLA.



6.20. El siguiente fragmento del artículo publicado por Watson y Crick en la revista *Nature* del día 25 de abril de 1953 explicando la estructura del ADN está obtenido de una página web en inglés, y traducido con un traductor automático. La traducción no se ha realizado correctamente, y tienes que encontrar dónde están los siete errores.

“Deseamos ofrecer aquí una estructura radicalmente distinta para el ácido desoxirribonucleico. Esta estructura tiene dos cadenas helicoidales enrolladas en torno a un eje distinto cada una de ellas. Hemos hecho las suposiciones químicas usuales, más específicamente, que cada cadena consiste en grupos fosfatodiéster uniendo residuos de β -D-ribofuranosa con enlaces $5' \rightarrow 3'$. Ambas cadenas siguen una hélice levógira y corren en la misma dirección. En cada una de las cadenas las bases están situadas hacia el exterior y los fosfatos hacia el interior. Los azúcares se disponen perfectamente perpendiculares a la base adjunta. Cada pareja de nucleótidos está separada por una distancia de 0,34 nm. Hemos asumido un ángulo de 36 grados entre residuos adyacentes en la misma cadena, para que la estructura se repita después de 12 pares de nucleótidos sobre cada cadena, esto es, después de 3,4 nm.”

Los siete errores introducidos durante la traducción son:

- “Dos cadenas helicoidales enrolladas en torno a un eje distinto cada una de ellas”. Es falso, porque las dos cadenas se encuentran enrolladas alrededor de un mismo eje.
- “Uniendo residuos de β -D-ribofuranosa”. Es falso, ya que se trata de residuos de β -D-desoxirribofuranosa.
- “Hélice levógira”. Es falso, la hélice es dextrógira.
- “En la misma dirección”. Es falso, ya que corren en direcciones opuestas.
- “Hacia el interior”. Falso, es hacia el exterior.
- “Hacia el exterior”. Falso, es hacia el interior.
- “12 pares de nucleótidos”. Falso, son 10 los pares de nucleótidos.

6.21. En un laboratorio de biología molecular se ha obtenido una secuencia de bases de un fragmento de un ácido nucleico de doble hélice, y ha resultado ser la siguiente:

-5'-GCAAGGUUCCAUGGC-3'
-3'-CGUCCAAGGUACCG-5'

- a) ¿Se trata de ADN o ARN? Razona la respuesta.
 - b) En el supuesto caso de que se trata de ARN, explica cómo es posible que presente estructura de doble hélice, y si entre estas bases nitrogenadas se podrían encontrar las pertenecientes al anticodón.
-
- a) Se trata de la secuencia de bases de un ARN, ya que tiene uracilo y no timina.
 - b) Tiene estructura de doble hélice porque las dos cadenas, total o parcialmente, son complementarias y quedan unidas por medio de enlaces de hidrógeno entre bases nitrogenadas complementarias, que en este caso son A-U y G-C. Las bases nitrogenadas pertenecientes al anticodón no pueden encontrarse entre las representadas, ya que el anticodón es una secuencia de tres bases nitrogenadas existentes en el ARNt en un lugar del mismo donde no hay complementariedad de bases; concretamente, se encuentran localizadas en el bucle que se forma en el brazo A.

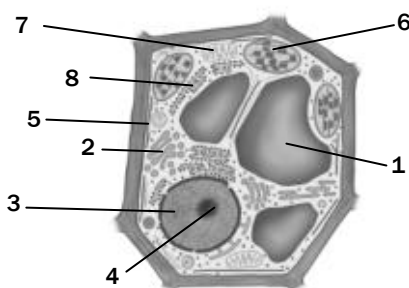
ACTIVIDADES PAU RESUELTAS

7.1. Expón los principios fundamentales de la teoría celular.

Explica brevemente la hipótesis más aceptada por la comunidad científica acerca del origen evolutivo de la célula eucariótica.

Actividad resuelta en el libro del alumno.

7.2. La figura representa un dibujo esquemático de una célula.



- ¿Es una célula animal o vegetal? ¿Procariótica o eucariótica? Justifica las respuestas.
- Indica cuáles son las estructuras numeradas del 1 al 8.

Actividad resuelta en el libro del alumno.

7.3. Con relación a los cromosomas metafásicos.

- Define qué son los telómeros, e indica cuántos tendría un cromosoma metacéntrico en la metafase mitótica.
- Explica qué se entiende por centrómero y por cinetocoro.
- ¿Cuántos brazos y cuántas cromátidas tendría un cromosoma metacéntrico? ¿Y uno telocéntrico?
- Realiza una representación gráfica de una pareja de cromosomas metacéntricos y otra de telocéntricos en metafase mitótica, y señala la presencia de una constricción secundaria en la pareja de metacéntricos.

Actividad resuelta en el libro del alumno.

ACTIVIDADES

7.4. Describe brevemente (máx. 25 palabras) una de las teorías, citando su autor, que explican la formación de moléculas orgánicas sencillas constituyentes de las primeras células en la Tierra primitiva.

Síntesis prebiótica de Oparin-Haldane. Las moléculas orgánicas podrían haberse formado a partir de moléculas inorgánicas presentes en la atmósfera, que reaccionaron entre sí gracias a la radiación solar.

7.5. En relación con la evolución celular.

- Cita el primer tipo celular que aparece en la evolución, y a qué otro grupo celular dio lugar.
- Explica la teoría endosimbiótica (Lynn Margulis, 1970).
- Cita dos orgánulos celulares procedentes de endosimbiosis.

- a) El primer tipo celular se conoce actualmente con el nombre de **LUCA** (*Last Universal Cellular Ancestor*), pero hasta hace relativamente poco tiempo se le denominaba como **progenote** o **protobionte**. Dio origen por evolución, primero a las células procarióticas y luego a las eucarióticas.
- b) **Teoría endosimbiótica.** Explica el origen de las células eucarióticas a partir de una primitiva célula eucariótica, que en un momento determinado engulliría a otras células u organismos procarióticos, estableciéndose entre ambos una simbiosis. Las células procarióticas serían las precursoras de los **peroxisomas** (con capacidad para eliminar sustancias tóxicas), de las **mitocondrias** (que procederían de bacterias aerobias) y de los **cloroplastos** (que serían antiguas bacterias fotosintéticas o cianobacterias). De hecho, mitocondrias y cloroplastos son similares a las bacterias en tamaño y, como ellas, se reproducen por división. Pero lo más importante es que tanto mitocondrias como cloroplastos tienen su propio ADN, que codifica la síntesis de algunos de sus componentes. Los ribosomas de mitocondrias y cloroplastos son también semejantes a los procarióticos.
- La adquisición de estos dos tipos particulares de bacterias –precursoras de las mitocondrias y los cloroplastos– tuvo una significación fundamental, ya que la célula eucariótica adquirió la **capacidad de una respiración aerobia** coincidente con la **capacidad fotosintética** (esta última, exclusiva de las células vegetales). Asimismo, la célula primitiva le proporcionaba a las procarióticas simbiosis un entorno seguro y alimento para su supervivencia.
- Según esta teoría, parte de los genes del ADN mitocondrial y de los cloroplastos pasarían a incorporarse a los genes del ADN de la célula huésped. Se trataría, pues, de una endosimbiosis altamente ventajosa para los organismos implicados, ya que todos ellos habrían adquirido particularidades metabólicas que no poseían por sí mismos separadamente y, en consecuencia, sería seleccionada en el transcurso de la evolución.
- c) Los orgánulos celulares procedentes de la endosimbiosis serían las mitocondrias y los cloroplastos.

7.6. Expón cuatro principios fundamentales de la teoría celular. Indica cinco diferencias entre las células procarióticas y las eucarióticas.

Los cuatro principios fundamentales de la teoría celular son:

- Todos los organismos se encuentran formados por una o más células.
- La célula es la unidad anatómica y fisiológica de los seres vivos.
- Toda célula procede por división de otra ya existente.
- El material hereditario que contiene las características genéticas de una célula pasa de la célula madre a la hija.

Algunas de las diferencias entre las células procarióticas y eucarióticas son:

- Las células procarióticas carecen de verdadero núcleo, y su ADN es circular.
- Las células procarióticas tienen mesosomas, las eucarióticas no.
- Las células procarióticas carecen de muchos orgánulos citoplasmáticos que sí tienen las eucarióticas, como mitocondrias, aparato de Golgi o retículo endoplásmico.
- Las células procarióticas no poseen citoesqueleto; por eso, carecen de movilidad intracelular.
- Todos los organismos procariotas tienen pared celular, lo que no ocurre en todas las células eucarióticas, solo en las vegetales.
- En general, las células procarióticas son más pequeñas que las eucarióticas. Así, por ejemplo, el tamaño de una bacteria es similar al que puedan tener las mitocondrias o los cloroplastos.

7.7. Enumera las diferencias más significativas entre la célula animal y la vegetal.

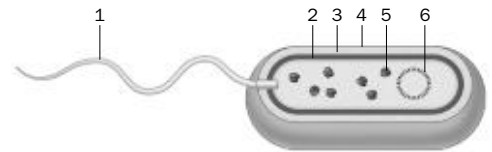
Las células vegetales poseen orgánulos y estructuras que son exclusivos, como la pared celular y los cloroplastos, pero carecen de centrosoma que sí tienen las células animales. Respecto a la nutrición, todas las células animales son heterótrofas; esto no ocurre con las vegetales, que, por lo general, son autótrofas. En general, el tamaño de las células vegetales es mayor que el de las animales.

7.8. Copia la tabla adjunta, correspondiente a dos tipos de organización celular. Contesta con un Sí o No de acuerdo con lo que corresponda en cada casilla.

	Procariótica	Eucariótica
Membrana plasmática	Sí	Sí
Citoesqueleto	No	Sí
Retículo endoplásmico	No	Sí
Lisosomas	No	Sí
Mitocondrias	No	Sí
Cloroplastos	No	Sí
Membrana nuclear	No	Sí
ADN	Sí	Sí
Nucléolos	No	Sí
Ribosomas	Sí	Sí

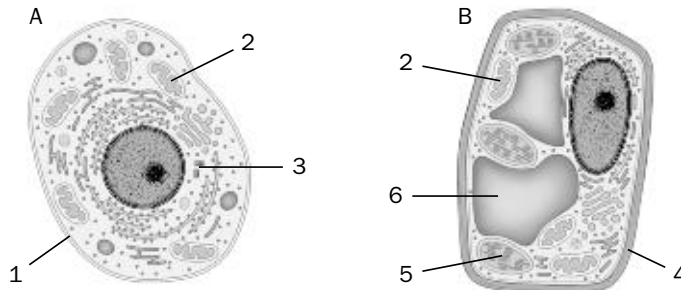
7.9. *Brucella* es una de las bacterias que se ha considerado como posible arma biológica, y una de las que recientemente se ha secuenciado su genoma completo.

- ¿A qué tipo de organización celular pertenecen las bacterias?
- Identifica las diferentes partes numeradas del dibujo.
- ¿Cuál es la principal función del n.º 5 y el 6?



- Pertenece a la organización procariota.
1. Flagelo; 2. Membrana plasmática; 3. Pared celular; 4. Cápsula; 5. Ribosomas; 6. Cromosoma bacteriano.
- Los ribosomas (5) intervienen en la síntesis de proteínas, y el nucleóide (6) lleva la información hereditaria.

7.10. La célula es la unidad anatómica y funcional de los seres vivos.



- Identifica y nombra los orgánulos numerados.
 - ¿A qué tipo de célula corresponde cada dibujo?
 - Indica qué orgánulo es exclusivo de cada tipo celular.
- A1. Membrana plasmática; A2. Mitocondria; A3. Centríolo; B2. Mitocondria; B4. Pared celular; B5. Cloroplasto; B6. Vacuola.
 - La célula señalada con A es una célula animal, ya que tiene centríolo; la B es una célula vegetal, ya que posee cloroplastos.
 - Los centríolos son exclusivos de las células animales, y los cloroplastos lo son de las vegetales.

7.11. Con respecto a los niveles de organización celular.

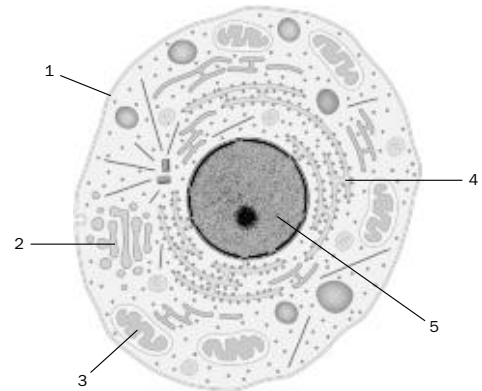
- a) Define célula procariota. Indica tres características fundamentales de la célula citada.
- b) Cita un ejemplo de célula procariota, y dibuja un esquema rotulado de la misma.

- a) Las células procarióticas son células de organización sencilla fueron las primeras células que habitaron nuestro planeta, cuyo material hereditario se encuentra disperso en el citoplasma sin estar rodeado de membrana alguna. Las tres características fundamentales de una célula procariota son: carece de verdadero núcleo, la membrana plasmática presenta unos repliegues o mesosomas, y el citoplasma está prácticamente desprovisto de orgánulos a excepción de los ribosomas.
- b) Un ejemplo de célula procariota lo tenemos en las **bacterias**.



7.12. En relación con la imagen inferior, responde a las siguientes cuestiones.

- a) Indica si se trata de una célula animal o vegetal.
- b) Nombra tres criterios en los que te basas para contestar el apartado anterior. ¿Qué señala cada número?
- c) Nombra una función de cada una de las estructuras señaladas con los números 2 y 3. Indica la composición química y dos funciones de la estructura señalada con el número 1.



- a) Se trata de una célula animal.
- b) Tiene un núcleo diferenciado, centrosoma y carece de pared celular. 1. Membrana plasmática; 2. Aparato de Golgi; 3. Mitocondria; 4. Retículo endoplásmico rugoso (RER); 5. Nucléolo.
- c) La función principal del aparato de Golgi (n.º 2) es la de transportar y concentrar proteínas, así como la glucosilación de lípidos y proteínas; además de las anteriores funciones, interviene en los procesos de secreción celular. En el interior de las mitocondrias (n.º 3) se desarrollan los procesos del metabolismo oxidativo para liberar la energía química contenida en la materia orgánica y formar moléculas de ATP. La membrana plasmática (n.º 1) está formada por lípidos (fosfolípidos, glucolípidos y colesterol), proteínas y glucoproteínas. Entre las funciones realizadas por la membrana plasmática, destaca su permeabilidad selectiva, que sirve para regular el paso de diferentes moléculas a través de ella, y permite la transducción de señales como respuesta a estímulos externos.

7.13. ¿Están los ribosomas presentes en todo tipo de células? Razona la respuesta.

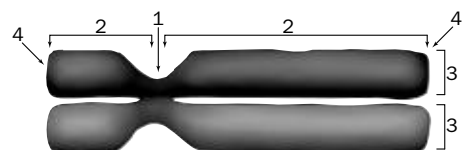
Sí, ya que son imprescindibles para la síntesis de proteínas, necesarias para construir las estructuras celulares y como enzimas.

7.14. Las células vegetales tienen cloroplastos y mitocondrias. Teniendo en cuenta que los cloroplastos generan energía, ¿para qué necesitan las mitocondrias? Razona la respuesta.

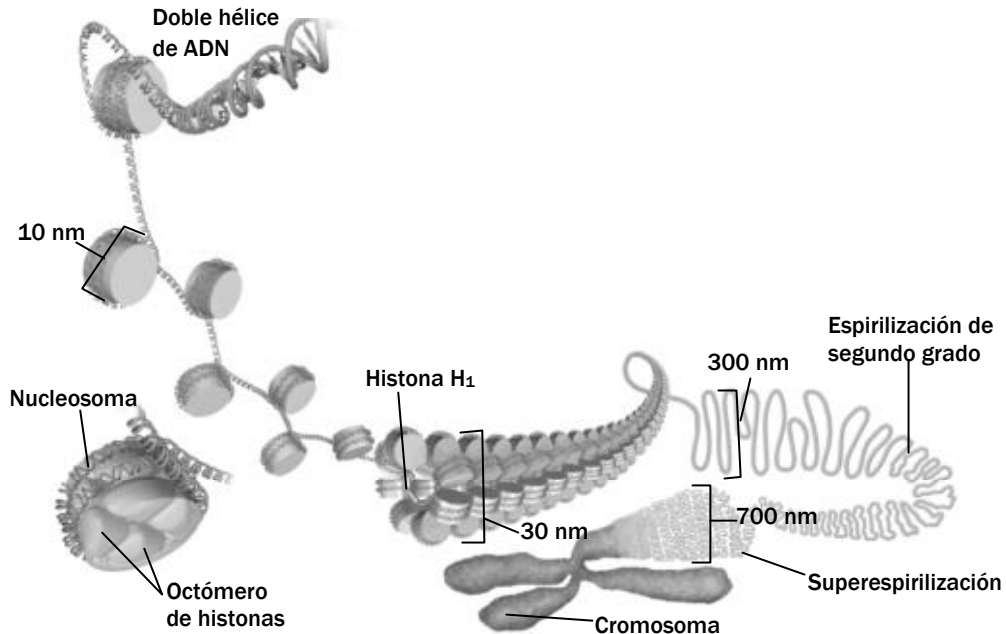
No todas las células vegetales son autótrofas, como las que forman las raíces, que son heterótrofas y necesitan de las mitocondrias para liberar la energía química contenida en la materia orgánica. En los cloroplastos se sintetiza la glucosa que, posteriormente, será utilizada en los procesos anabólicos conducentes a la síntesis de almidón y en los procesos catabólicos, que se realizan en las mitocondrias para liberar la energía química en ella contenida.

7.15. El esquema representa un cromosoma eucariótico en metafase mitótica.

- a) ¿Qué denominación reciben los elementos indicados por los números 1 a 4? ¿Qué se entiende por cariotipo? ¿Qué se entiende por cromosomas homólogos?
- b) Dibuja un esquema de la estructura básica de la cromatina, indicando los elementos que la componen.



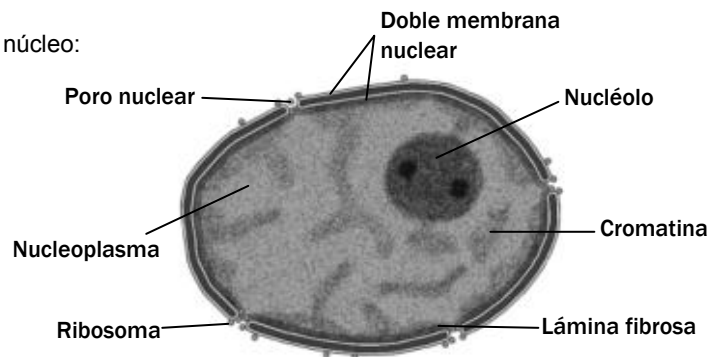
- a) 1. Centrómero o constricción primaria; 2. Brazos cromosómicos; 3. Cromátidas; 4. Telómeros. El **cariotipo** es el conjunto de cromosomas presentes en una célula. Los cromosomas homólogos son una pareja de cromosomas que llevan la misma información genética para los mismos caracteres; uno es heredado del padre y el otro lo es de la madre.
- b) Estructura de la cromatina:



7.16. En el núcleo de una célula eucariótica, además del ADN, encontramos una gran cantidad de proteínas con funciones muy importantes, entre ellas las histonas.

- a) Esquematiza la estructura de un núcleo (un dibujo debidamente interpretado es válido).
- b) Describe qué función cumplen las histonas.
- c) ¿Puedes citar tres proteínas que puedan encontrarse en el núcleo y que no sean histonas? Cita su función.

- a) Estructura del núcleo:



- b) Las **histonas** son proteínas muy básicas que, en las células eucarióticas, se asocian con el ADN para formar la cromatina, que es una estructura empaquetada y compacta que representa el genoma de las células eucarióticas, luego la función primordial de las histonas es la de empaquetar el ADN.
- c) Las siguientes proteínas se encuentran en el núcleo y no son histonas: la **ADN polimerasa**, encargada de la replicación del ADN; la **ARN polimerasa**, que lleva a cabo la formación del ARN o transcripción; y la **ADN ligasa**, que es la que une entre sí los distintos nucleótidos que forman el ADN.

7.17 Explica qué son los nucleosomas y cuál es el papel que desempeñan.

Los nucleosomas son estructuras localizadas en el núcleo, tienen forma de cuentas de collar, y están formadas por una doble hebra de ADN enrollada alrededor de un núcleo o platisoma, formado por un octámero de histonas. Los nucleosomas representan el primer nivel de organización de la cromatina, y hacen que esta forme una estructura empaquetada y compacta.

7.18. Describe el cromosoma metafásico: estructura, forma, número y tamaño.

El **cromosoma metafásico** está constituido por dos **cromátidas** paralelas entre sí, resultado de la duplicación del material genético, y separadas —excepto en el ámbito del **centrómero**— por donde permanecen unidas. En cada cromosoma se identifican las siguientes estructuras:

- El **centrómero** o **constricción primaria**. Divide al cromosoma en dos brazos, que pueden ser del mismo o de diferente tamaño; ocupa una posición variable, pero fija para cada uno de ellos a lo largo del cromosoma. Los centrómeros contienen heterocromatina constitutiva, es decir, cromatina compactada y genéticamente inactiva en todas las células. A ambos lados del centrómero, y sobre cada una de las dos cromátidas, se localiza una estructura de naturaleza proteica denominada **cinetocoro**, que constituye los puntos desde los cuales polimerizan los microtúbulos que intervienen en la separación de los cromosomas durante la anafase de la mitosis y de la meiosis. Por cada centrómero, aparecen dos cinetocoros.
- Las **constricciones secundarias** u organizadores nucleolares son zonas más estrechas identificables en los brazos, relacionadas con la formación del nucléolo al final de cada mitosis.
- Los **telómeros**. Son estructuras protectoras, situadas en cada uno de los extremos del cromosoma eucariótico, que evitan que se pierda información de los extremos en cada ciclo de replicación. En el ser humano, los telómeros contienen la secuencia TTAGGG repetida miles de veces. Los telómeros desempeñan importantes funciones: son esenciales para la duplicación del cromosoma, protegen a los cromosomas contra las nucleasas (enzimas que digieren el ADN), evitan que los extremos de los cromosomas se fusionen entre sí, y facilitan la interacción entre los extremos y la envoltura nuclear. En ocasiones, a uno de los extremos se le une un fragmento de ADN denominado **satélite**.

En función de la posición que ocupe el centrómero se distinguen cuatro tipos de cromosomas:

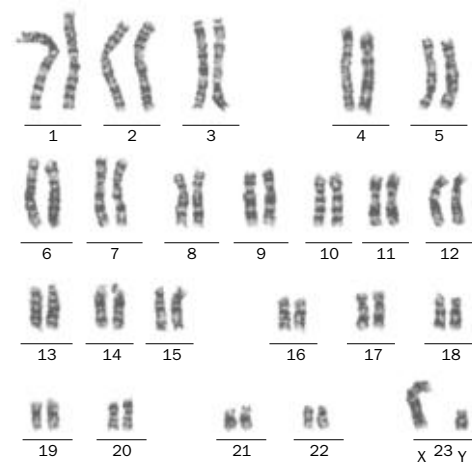
- **Metacéntricos**. El centrómero ocupa una posición medial. Los dos brazos son de igual o similar longitud. Cuando se separan las cromátidas durante la anafase, adquieren forma de V.
- **Submetacéntricos**. El centrómero ocupa una posición submedial. Uno de los brazos tiene un tamaño ligeramente superior. Al separarse las cromátidas en la anafase, adquieren forma de L.
- **Acrocéntricos**. El centrómero ocupa una posición subterminal. Uno de los dos brazos es muy largo, mientras que el otro es muy corto.
- **Telocéntricos**. El centrómero ocupa uno de los extremos del cromosoma. Esto da lugar a un cromosoma que posee un único brazo.

El **número de cromosomas** diferentes (n) de una determinada célula es una constante para todas las que pertenecen a un mismo organismo. La mayoría de los organismos, tanto animales como vegetales, son diploides ($2n$), es decir, tienen en sus células dos juegos de cromosomas, uno heredado del padre y otro heredado de la madre. Los cromosomas forman parejas de homólogos que contienen información genética para los mismos caracteres. En estos organismos, sus células reproductoras o gametos, tanto el óvulo como el espermatozoide, solo presentan un juego de cromosomas. Son, por tanto, células **haploides** (n). También existen organismos en los que todas sus células son haploides; por ejemplo, algunas algas y la fase gametofítica de los helechos y musgos. Además, existen organismos que tienen en sus células más de dos juegos de cromosomas. A los que tienen tres se les denomina **triploides** ($3n$); a los que tienen cuatro, **tetraploides** ($4n$); y a los que tienen más, **poliploides**.

- El número de cromosomas no guarda relación alguna con el nivel evolutivo alcanzado por la especie; la especie humana cuenta con 46 cromosomas, mientras que algunos protocistas llegan a tener más de 300.
- El **tamaño** de los cromosomas es variable para una misma estirpe celular, ya que depende del momento del ciclo celular en el que se encuentre la célula; durante la interfase son largos filamentos, y durante la metafase alcanzan el máximo grado de contracción y, por tanto, son más pequeños. Si se estudia el tamaño de los cromosomas durante la metafase, se observa que depende de la estirpe celular de que se trate; así, en las monocotiledóneas, los anfibios y los ortópteros son más largos que en las dicotiledóneas y que en la mayoría de los animales.

7.19. El cariotipo es característico de cada especie, como se representa en la imagen adjunta, y se realiza para identificar ciertas anomalías.

- ¿Qué estructuras celulares están representadas en la figura?
- ¿A qué especie puede pertenecer?
- ¿El cariotipo de la figura corresponde a una especie haploide o diploide?
- ¿Cuántas moléculas de ADN hay en este momento del ciclo celular?

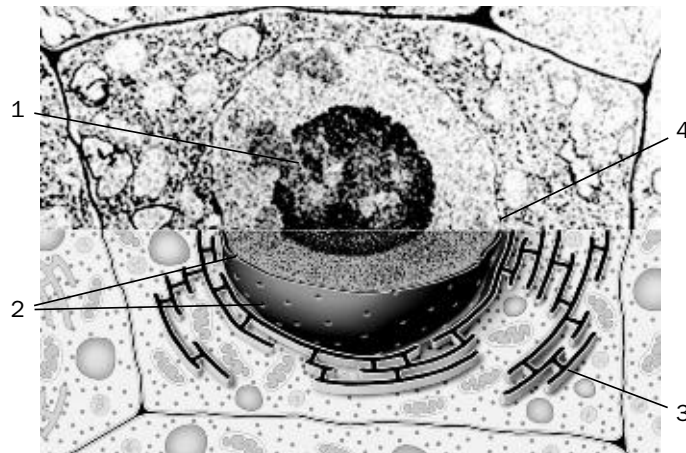


- a) Las estructuras celulares que se encuentran representadas en la figura son **cromosomas metafásicos**.
- b) El número de cromosomas es de 46. Puede pertenecer a la **especie humana** –concretamente, a un varón–, ya que la pareja número 23 está formada por los cromosomas sexuales X e Y.
- c) Es una especie diploide dotada de 23 parejas de cromosomas homólogos; por tanto, su número diploide es de 2×23 .
- d) Cada una de las cromátidas que forma un cromosoma es una molécula de ADN; como hay 46 cromosomas, habrá 92 moléculas de ADN.

7.20. El núcleo es una estructura celular exclusiva de un tipo de células.

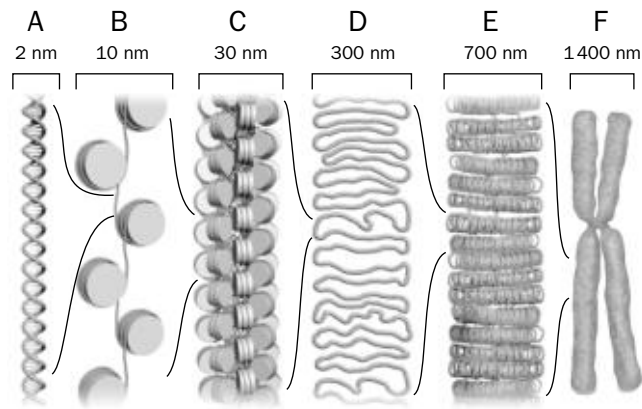
- a) ¿Cómo se llaman las células que tienen núcleo?
 - b) Explica de qué está formada la envuelta nuclear.
 - c) En el interior del núcleo podemos distinguir el nucléolo y la cromatina. ¿Qué función tienen estos dos componentes nucleares?
- a) Las células que tienen núcleo se llaman nucleadas, y salvo que a lo largo de su proceso de diferenciación lo pierdan, como es el caso de los glóbulos rojos, todas las células eucarióticas son células nucleadas.
 - b) La naturaleza química de la envuelta nuclear es la misma que la de la membrana plasmática; está formada por lípidos, proteínas y glúcidos.
 - c) El nucléolo es el lugar donde se sintetiza el ARNr y se procesan y empaquetan las subunidades ribosomales que, posteriormente, son exportadas al citosol. La fibra de cromatina, formada por ADN y proteínas histónicas, representa el material genético que durante la división celular se empaqueta y compacta para formar los cromosomas.

7.21. En la imagen inferior se muestra una microfotografía y un esquema de la misma zona de una célula.



- a) ¿Qué dos orgánulos puedes distinguir?
 - b) Identifica las partes numeradas.
 - c) ¿Se establece alguna relación entre ambos orgánulos?
 - d) ¿Tienen envoltura doble o simple?
- a) Se distinguen claramente el núcleo y el retículo endoplásmico rugoso.
 - b) 1. Nucléolo; 2. Poros nucleares; 3. Retículo endoplásmico rugoso; 4. Membrana nuclear.
 - c) Sí. La membrana nuclear suele estar unida a la del retículo endoplásmico liso o rugoso.
 - d) El núcleo tiene una doble envoltura formada por la membrana nuclear externa y la membrana nuclear interna, separadas por un espacio perinuclear o intermembranoso, mientras que el retículo endoplásmico rugoso tiene una envoltura sencilla.

7.22. En relación con la figura, contesta.



- a) ¿Qué representa el conjunto de las figuras?
- b) ¿Qué representan las figuras indicadas con las letras A, B y F?
- c) ¿Cuál o cuáles de esas estructuras se pueden observar al microscopio óptico, y cuándo se observan? ¿Cuál es la finalidad de que la estructura representada en A acabe dando lugar a la estructura representada en F?
- a) El conjunto de las figuras representa el proceso de espiralización y empaquetamiento de la cromatina.
- b) La figura A representa la doble hélice de ADN; la B, la fibra de 10 nanómetros constituida por una serie de nucleosomas que, formando un collar de cuentas, se mantienen unidos por una fibrilla de ADN llamada ADN espaciador; y la F representa un cromosoma metafásico.
- c) Con el microscopio óptico es posible observar la estructura F durante la metafase mitótica. La finalidad de que la estructura representada con la letra A acabe dando lugar a la representada por la letra F es el empaquetamiento del ADN para facilitar su reparto a las células hijas.

UN PASO MÁS

7.23. Una de las características diferenciales entre las células vegetales y las animales es la presencia en las vegetales de cloroplastos; pero ¿este hecho diferenciador se puede generalizar a todas las células vegetales?

No se puede generalizar a todas las células vegetales, ya que, por ejemplo, en las células que forman los tejidos de la raíz no se han formado cloroplastos debido a la ausencia de luz, que es necesaria para la formación de los cloroplastos a partir de los proplastos.

7.24. El genoma de una célula eucariótica es una molécula lineal que tiene una longitud miles de veces mayor que el diámetro de su núcleo. ¿Los datos expresados en la siguiente tabla son compatibles con el tamaño del núcleo celular? Razona la respuesta.

ADN de	Longitud
Un cromosoma	3 a 4 cm
Una célula	2 metros
Todas las células del cuerpo humano	25 000 millones de km

El tamaño del núcleo celular oscila entre 5 y 25 μm ; por esta razón, los datos expresados en la tabla, en principio, no son compatibles con el diámetro del núcleo. Sin embargo, es en el interior del núcleo donde se encuentran los cromosomas, hecho que es posible porque no se encuentran completamente desespiralizados (forman la fibra de 30 nm); cada uno de ellos está formado por una larga fibra de cromatina que, como expone la tabla, puede medir de 3 a 4 cm. Durante la mitosis, esta fibra de cromatina se espiraliza y condensa para formar los cromosomas.

- 7.25. Aunque lo normal es que las células posean un único núcleo, existen células que tienen dos y más núcleos. Explica cómo llega una célula a tener más de un núcleo, y nombra los tipos de células plurinucleadas que existen.**

Suele haber un núcleo por célula, pero existen algunas excepciones. Existen células, como los paramecios (protozoos ciliados), que de manera constante presentan dos núcleos: un macronúcleo y un micronúcleo. En los hepatocitos también es normal la situación binucleada, mientras que los osteoblastos y las células musculares estriadas esqueléticas son plurinucleadas.

La condición plurinucleada de algunas células puede originarse mediante dos mecanismos:

- División sucesiva de un primitivo núcleo sin que ocurra la consiguiente división celular, dando origen a una célula denominada **plasmodio**.
- Fusión de varias células uninucleadas, denominándose **sincitio** a la célula resultante.

- 7.26. Una sustancia tóxica actúa sobre las células eucarióticas destruyendo todos sus nucléolos. En esta situación, las células pueden vivir durante un tiempo, pero finalmente mueren. Da una explicación razonada a este hecho.**

La función del nucléolo es la siguiente: es el lugar donde se realiza la síntesis del ARNr y el procesado y empaquetamiento de subunidades ribosomales que, posteriormente, son exportadas al citosol.

Dada la función que tiene el nucléolo –que es la síntesis del ARNr–, si resultase destruido, la célula moriría, ya que sin ARNr no hay ribosomas y no se pueden sintetizar proteínas. Una vez que todos los ribosomas formados hayan cumplido su ciclo vital, al no formarse nuevos ribosomas, no se podrán sintetizar las proteínas; ello conllevaría la desaparición de la célula, ya que no se podrían reemplazar las estructuras que de forma natural degeneran en toda célula.

- 7.27. La cantidad de poros nucleares es muy variable. Así, por ejemplo, en la membrana nuclear de los eritrocitos de las aves es de 2-4 poros/ μm^2 , y en la de un ovocito es de 60 poros/ μm^2 . ¿De qué depende la mayor o menor cantidad de poros en la membrana nuclear?**

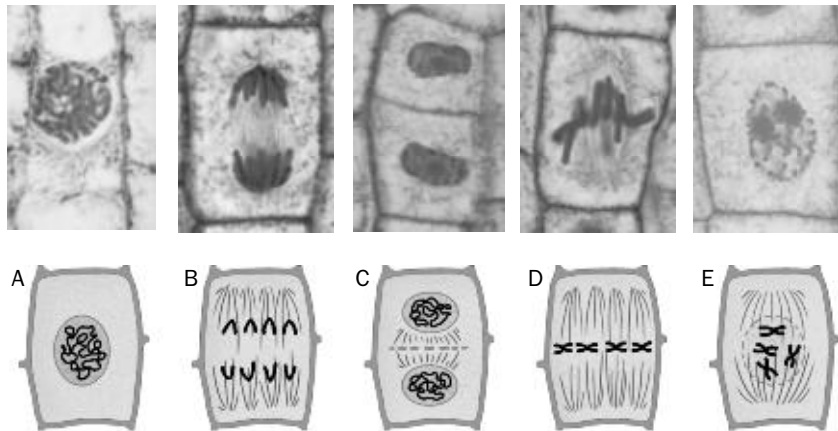
La cantidad de poros nucleares es muy variable. En los núcleos de eritrocitos de aves es de 2-4 poros/ μm^2 , y en la membrana nuclear de un ovocito puede haber hasta 60 poros/ μm^2 . En general, las células que tienen mayor actividad transcripcional (hepatocitos, neuronas y fibras musculares) contienen un elevado número de poros, mientras que las de menor actividad poseen menos. Una célula de mamífero contiene, de media, unos 3000 poros nucleares.

8

Reproducción celular

ACTIVIDADES PAU RESUELTAS

8.1. Las células del esquema, pertenecientes a un tejido, están llevando a cabo un proceso celular. Las imágenes junto a su correspondiente dibujo no están en orden secuencial al proceso.

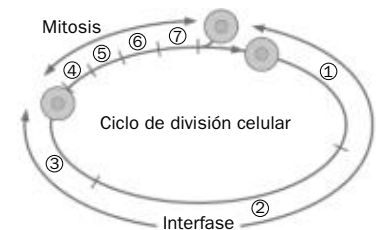


- ¿De qué proceso se trata?
- Di el nombre de las distintas fases que identifiques en el esquema.
- Si la célula madre o inicial es $2n = 24$, ¿cuál será la dotación en las células hijas?
- ¿Este proceso podría ocurrir en células de dotación $n = 12$?

Actividad resuelta en el libro del alumno.

8.2. La figura representa el ciclo de división celular en eucariontes.

- Indica la correspondencia entre los números del esquema y las diferentes etapas o periodos de la mitosis o la interfase.
- Indica, mediante un esquema, en qué consiste la etapa número 6.
- ¿En qué período se produce la replicación del ADN? Indica, mediante un esquema, qué se entiende por replicación semi-conservativa del ADN.



Actividad resuelta en el libro del alumno.

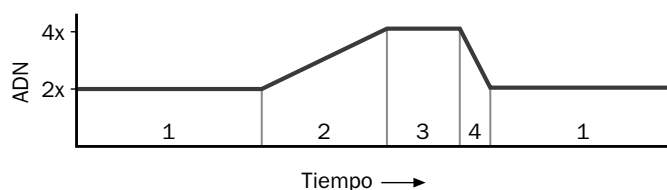
8.3. Referente a la replicación:

- Explica cuál es la finalidad de la replicación del ADN, e indica en qué etapa del ciclo celular tiene lugar.
- Cita el nombre de la enzima principal en la síntesis de ADN en procarióticas, y señala en qué dirección sintetiza las nuevas cadenas.
- Indica cómo se denomina el lugar donde se inicia la replicación, y qué quiere decir que la replicación del ADN es bidireccional.

Actividad resuelta en el libro del alumno.

ACTIVIDADES

- 8.4. En un cultivo de células humanas que se encuentran en período de división celular, se analiza la cantidad de ADN en las muestras de esas células tomadas a distintos tiempos. El resultado se expresa en la gráfica.



¿Cuál es la razón de la variación observada en la cantidad de ADN por célula? Razona la respuesta refiriéndote a cada una de las fases del ciclo.

La gráfica representa los cambios ocurridos en el ADN a lo largo del tiempo que dura el ciclo celular, que se divide en dos etapas distintas: la interfase y la fase M (mitosis y citocinesis). La interfase es una etapa de gran actividad metabólica en la que la célula se prepara para la división celular y está dividida en las siguientes fases: fase G₁, fase S y fase G₂.

Las fases en las que se divide el ciclo celular están representadas en la gráfica de la siguiente manera:

- La etapa n.º 1 representa la fase G₁, durante la cual se sintetizan los compuestos necesarios (proteínas, lípidos, glúcidos, etc.) para que la célula aumente de tamaño y, al mismo tiempo, incrementa el número de sus orgánulos citoplasmáticos, como ribosomas, mitocondrias, etc.
- La etapa n.º 2 representa la fase S, durante la que se produce la replicación del ADN y se sintetizan las nuevas histonas. Es por esta razón por la que la etapa comienza con un contenido 2x de ADN y termina con uno de 4x, es decir, el doble.
- La etapa n.º 3 representa la fase G₂, que con una duración más corta que las anteriores se caracteriza porque la célula aumenta ligeramente de tamaño, se transcriben y traducen genes que codifican las proteínas necesarias para que la célula se divida y se duplican los centriolos.
- La etapa n.º 4, durante la que se reduce a la mitad la cantidad de ADN, representa la mitosis, etapa del ciclo celular caracterizada por una reducción a la mitad en la cantidad de ADN, consecuencia de la formación de las dos células hijas. La cantidad de ADN pasa de 4x a 2x.

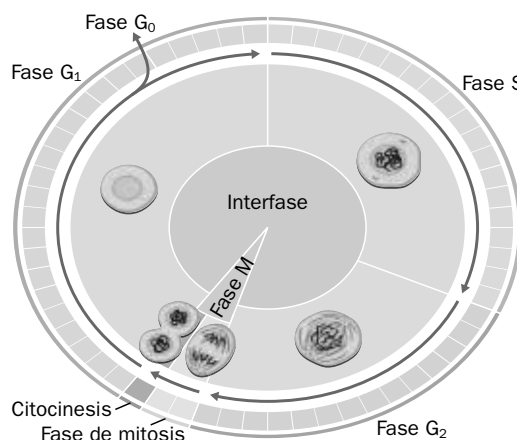
- 8.5. Haz un esquema del ciclo celular y define sus fases.

- Explica la diferencia entre la mitosis y la primera división meiótica.
- Concepto de citocinesis. Diferencias en este proceso en células animales y vegetales.

En las células eucarióticas, el ciclo celular se divide en dos fases: la **interfase**, y la **fase M**.

La interfase es el período de tiempo que transcurre entre dos mitosis sucesivas, y ocupa la mayor parte del ciclo celular.

Hay una gran actividad metabólica; la célula aumenta de tamaño, y duplica su material genético preparándose para la división celular. Se distinguen tres períodos:



- **Fase G₁.** Su nombre viene del inglés *gap*, intervalo. En ella se sintetizan los compuestos necesarios (proteínas, lípidos, glúcidos, etc.) para que la célula aumente de tamaño y, al mismo tiempo, incrementa el número de sus orgánulos citoplasmáticos, como ribosomas, mitocondrias, etc. Comienza cuando termina la fase M, y se prolonga hasta que se inicia la replicación del ADN. Su duración es muy variable, dependiendo del tipo celular. En las células que no entran nunca en mitosis, esta fase es permanente y recibe el nombre de G₀. Se dice, entonces, que la célula se encuentra en estado de reposo o **quiescencia**. Se da en células que han sufrido un proceso importante de diferenciación, como las neuronas o las fibras musculares estriadas.
 - **Fase S** (S de síntesis). Se produce la **replicación del ADN** y se sintetizan las nuevas histonas. En los mamíferos, esta fase se prolonga durante unas siete horas. Como resultado de la replicación, cada cromosoma está formado por dos cromátidas unidas por el centrómero.
 - **Fase G₂.** Tiene una duración muy corta (alrededor de tres horas en los mamíferos), y en ella, la célula puede aumentar ligeramente de tamaño. Se transcriben y traducen genes que codifican las proteínas –como, por ejemplo, la tubulina– necesarias para que la célula se divida, y se duplican los **centríolos**. Esta fase finaliza en el momento en que se inicia la condensación de los cromosomas para comenzar la mitosis.
 - **Fase M.** Tras la replicación del ADN se produce la división celular o fase M. La división celular, tanto en las células animales como en las vegetales, consta de dos procesos: la **mitosis**, en la que se produce la división del núcleo; y la **citocinesis**, que consiste en la división del citoplasma. El objeto de la división celular es producir dos células hijas con idéntico material genético.
- a) Durante la mitosis, se reparte de manera equitativa el material hereditario entre las dos células hijas; este material, previamente, se ha duplicado durante la fase S de la interfase. Consta de cuatro etapas: profase, metafase, anafase y telofase. Al inicio de la profase, cada uno de los cromosomas está formado por dos cromátidas, que durante la anafase se separan y cada una de ellas emigra hacia un polo opuesto.
- Al igual que ocurre en la mitosis, la primera división meiótica consta de cuatro etapas: profase I, metafase I, anafase I y telofase I. Los cromosomas, en virtud de su duplicación durante la fase S de la interfase premeiótica, están formados por dos cromátidas que durante la profase I intercambian fragmentos cromosómicos, hecho que no ocurre durante la mitosis. El otro hecho diferencial con la mitosis es que durante la anafase se produce el apareamiento de cromosomas homólogos, el intercambio de fragmentos cromosómicos y, además, no se separan cromátidas, sino que lo hacen cromosomas homólogos.
- b) La división celular no termina con la mitosis; con ella se ha repartido la dotación genética de la célula, pero aún es necesario que el citoplasma se reparta entre las dos células hijas y que los orgánulos citoplasmáticos lo hagan también de manera lo más equitativa posible. Este proceso se denomina citocinesis, y ocurre de modo diferente en las células animales y vegetales.
- En las células animales se produce un estrangulamiento que divide en dos a la célula madre. A la altura de la placa ecuatorial aparece un anillo contráctil formado por filamentos de actina y miosina. Este anillo se va estrechando, y origina un surco de segmentación que cada vez se hace más estrecho, hasta que se produce el estrangulamiento total y la separación de las dos células hijas.
- En las células vegetales no existe estrangulamiento del citoplasma. A la altura de la placa ecuatorial se forma un tabique de separación entre las dos células hijas, denominado fragmoplasto. Se forma por fusión de las vesículas del aparato de Golgi –que contienen los componentes que originan la pared celular– y los restos de los microtúbulos que formaban el huso acromático. El fragmoplasto no se cierra completamente, sino que se halla perforado por finos puentes citoplasmáticos o plasmodesmos que aseguran la comunicación entre las dos células hijas.

8.6. Con referencia al ciclo celular en células somáticas.

- a) **Explica qué es la interfase y qué sucede en cada una de las etapas en las que se subdivide.**
- b) **Define los siguientes términos: (1) centrómero, (2) cromátidas hermanas, (3) bivalente y (4) telómeros.**
- a) **Interfase.** Es el período de tiempo que transcurre entre dos mitosis sucesivas, y ocupa la mayor parte del ciclo celular. Durante la interfase hay una gran actividad metabólica, la célula aumenta de tamaño y duplica su material genético preparándose para la división celular. Se distinguen tres periodos:
- **Fase G₁.** Su nombre viene del inglés *gap*, intervalo. En ella se sintetizan los compuestos necesarios (proteínas, lípidos, glúcidos, etc.) para que la célula aumente de tamaño, y, al mismo tiempo, incrementa el número de sus orgánulos citoplasmáticos, como ribosomas, mitocondrias, etc. Comienza cuando termina la fase M, y se prolonga hasta que se inicia la replicación del ADN. Su duración es muy variable, dependiendo del tipo celular. En las células que no entran nunca en mitosis, esta fase es permanente y recibe el nombre de G₀. Se dice, entonces, que la célula se encuentra en estado de reposo o **quiescencia**. Se da en células que han sufrido un proceso importante de diferenciación, como las neuronas o las fibras musculares estriadas.

- **Fase S** (S de síntesis). Se produce la **replicación del ADN** y se sintetizan las nuevas histonas. En los mamíferos, esta fase se prolonga unas siete horas. Como resultado de la replicación, cada cromosoma está formado por dos cromátidas unidas por el centrómero.
- **Fase G₂**. Tiene una duración muy corta (alrededor de tres horas en los mamíferos), y en ella, la célula puede aumentar ligeramente de tamaño. Se transcriben y traducen genes que codifican las proteínas –como, por ejemplo, la tubulina– necesarias para que la célula se divida, y se duplican los **centríolos**. Esta fase finaliza en el momento en que se inicia la condensación de los cromosomas para comenzar la mitosis.

- b) **Centrómero**. Se denomina también constricción primaria. Divide al cromosoma en dos brazos, que pueden ser del mismo o de distinto tamaño. En el caso de tratarse de un cromosoma metafásico, el centrómero es el punto de unión entre las dos cromátidas de las que está formado el cromosoma.

Cromátidas hermanas. Un cromosoma metafásico está formado por dos cromátidas paralelas entre sí, resultado de la duplicación del material genético. A estas dos cromátidas se las denomina hermanas, y están unidas por medio del centrómero.

Bivalente. Se conoce con el nombre de tétrada o cromosoma bivalente a una estructura cromosómica constituida por cuatro cromátidas, que se forma durante la profase I de la primera división meiótica, resultado del apareamiento gen a gen entre dos cromosomas homólogos.

Telómeros. Son zonas diferenciales que forman una caperuza en cada uno de los extremos del cromosoma, y que impiden que los cromosomas se agreguen entre sí. Llevan heterocromatina.

8.7. Con referencia al ciclo de división celular.

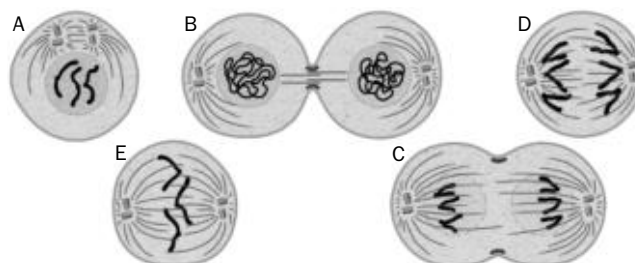
- a) Supón que el valor C es la cantidad de ADN por genoma haploide. Utilizando dicho valor, expresa la variación que sufre el contenido de ADN en todas y en cada una de las fases del ciclo celular de una célula somática de un organismo diploide.
- b) Copia y completa la siguiente tabla, indicando en la columna de la derecha a qué corresponden los conceptos de la columna de la izquierda.

Los cromosomas que son similares en dimensiones, forma y contenido genético se llaman...	Homólogos
La desaparición del nucléolo tiene lugar durante...	La profase
Durante la citocinesis vegetal, la constitución de la pared en las células hijas tiene lugar gracias a la formación de un tabique llamado...	Fragmoplasto
La síntesis de ADN en un meiocito tiene lugar durante...	La interfase premeiótica

- a) En las células eucarióticas, el ciclo celular se divide en dos fases: la **interfase**, en la que la célula crece y sintetiza diversas sustancias; y la **fase M**, en la que ocurren la mitosis y la citocinesis. La interfase está dividida en las siguientes fases: G₁, S y G₂. En la G₁, la cantidad de ADN es 2C; en la S, esta cantidad se duplica, ya que es la fase en la que se produce la replicación del ADN; por tanto, la cantidad de ADN pasa de C a 4 x C, y en la fase G₂ es de 4 x C. Durante la mitosis, la cantidad de ADN se reduce a la mitad y tiene un valor de 2C.
- b) Apartado resuelto en la misma tabla.

8.8. Cita las principales diferencias entre mitosis y meiosis.

Identifica cada una de las fases del proceso representado en las imágenes y ordénalas temporalmente.



Explica con detalle las fases indicadas con las letras c y d.

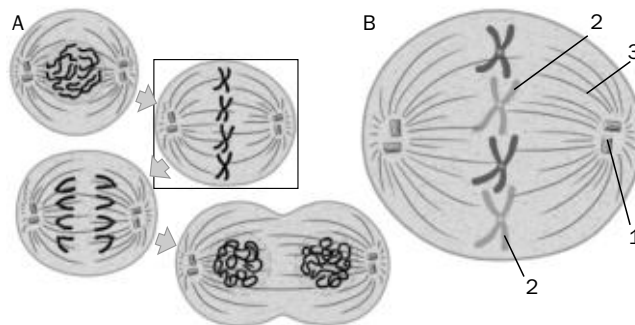
La **mitosis** es un proceso que en los organismos pluricelulares tiene lugar en las células somáticas, y tiene por objeto repartir de manera equitativa el material hereditario que se ha duplicado en la interfase, en la fase S, entre las dos células hijas que se van a producir, que serán genéticamente idénticas entre sí e idénticas a la célula madre, mientras que la meiosis tiene como finalidad producir células hijas haploides, es decir, con la mitad del contenido de ADN; en los animales que se reproducen sexualmente, estas células haploides son los gametos, que no solamente llevan la mitad de la información genética, sino que son diferentes entre sí y de la célula progenitora, ya que durante la meiosis se ha producido el intercambio de material hereditario entre las cromátidas de los cromosomas homólogos, es decir, la recombinación génica.

La mitosis es un único proceso de división, mientras que la **meiosis** consta de dos divisiones sucesivas, meiosis I y meiosis II. Antes de comenzar, tanto en la mitosis como en la meiosis hay una interfase en la que se produce la duplicación de los cromosomas, hecho que no ocurre entre la meiosis I y la meiosis II, que a pesar de existir una corta interfase, no hay duplicación del material hereditario.

Se trata de una mitosis. a. Profase; b. Citocinesis; c. Telofase; d. Anafase y e. Metafase. El orden en que transcurren es el siguiente: a, e, d, c y b.

El dibujo C es la telofase: los nucléolos reaparecen, y los cromosomas se condensan. La membrana nuclear reaparece alrededor de cada grupo de cromosomas a partir del R.E. El dibujo D equivale a la anafase: en esta fase, las cromátidas inician un movimiento de separación hacia polos opuestos, arrastradas por los microtúbulos cinetocóricos. Los microtúbulos polares se alargan, y separan cada vez más los dos polos del huso acromático. Finaliza cuando los cromosomas llegan a los polos.

8.9. En los dibujos siguientes se muestran esquemas de un proceso celular.

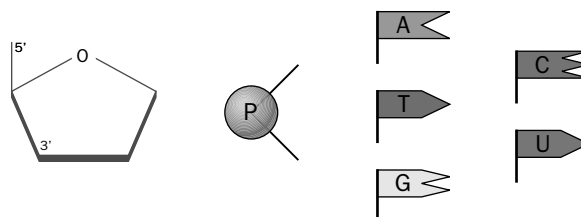


- ¿Qué proceso celular se representa en la figura A?
- ¿En qué fase se encuentra la célula de la figura B?
- Sustituye los números de la figura B por los nombres correspondientes.
- Explica si se trata de una célula animal o vegetal.

- En la figura A está representada una mitosis.
- La célula de la figura B es una célula en metafase mitótica.
- B1. Centríolos; B2. Cromosomas metafásicos; B3. Fibras del huso acromático.
- Se trata de una célula animal, ya que tiene centriolos, orgánulo que no tienen las células vegetales.

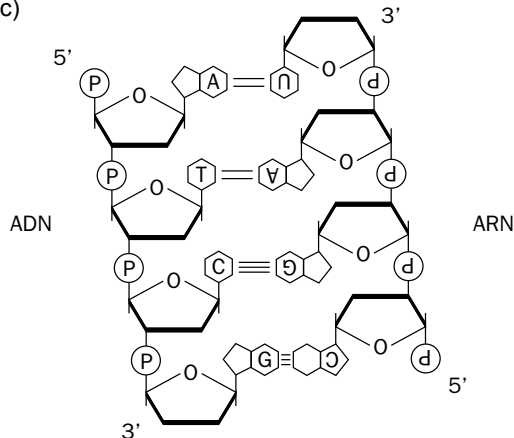
8.10. La replicación del ADN es un proceso importante para las células.

- ¿Cuál es la finalidad de la replicación? ¿En qué fase del ciclo celular se produce? ¿Por qué es tan importante que la replicación se produzca de forma fiel?
- Usando los símbolos adjuntos, dibuja una molécula de ADN en la que una cadena tenga la secuencia 5'-ATCG-3'.



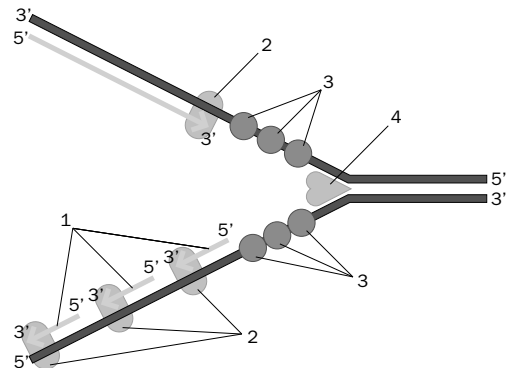
- Dibuja ahora una molécula de ARN con secuencia complementaria a la del apartado b).

- a) La finalidad de la replicación es duplicar el ADN antes de una división celular. Se produce durante la interfase; concretamente, en la fase S. Es importante que se produzca de forma fiel, para que el material hereditario se reparta de manera equitativa entre las células hijas y para que llegue hasta ellas sin haber sufrido alteraciones, como son las mutaciones.
- b) y c)



8.11. El esquema corresponde a una horquilla para la síntesis de un tipo de ácido nucleico.

- a) ¿Qué tipo de ácido nucleico es?
- b) Identifica cada número con los siguientes elementos: **helicasa**, **fragmentos de Okazaki**, **ADN polimerasa**, **proteína SSB** (proteína de unión a cadena sencilla).
- c) ¿Cuál es la función de los elementos marcados como 2, 3 y 4?
- d) Explica cuál es la razón por la que la síntesis es continua en una de las cadenas y discontinua en la otra.

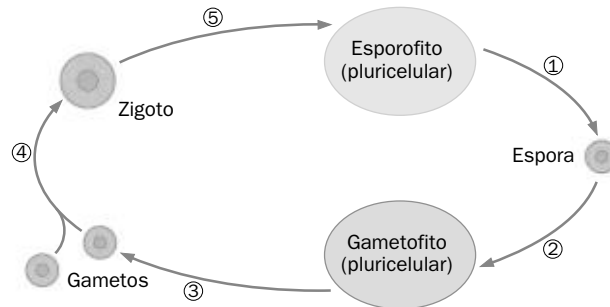


- a) Se trata de una molécula de ADN, ya que está formada por dos cadenas de nucleótidos unidas mediante enlaces de hidrógeno.
- b) Helicasa: 4; Fragmentos de Okazaki: 1; ADN polimerasa III: 2; Proteína SSB: 3.
- c) La función de la ADN polimerasa III (2) es recorrer la hebra que se va a duplicar en sentido $3' \rightarrow 5'$; además, va uniendo los nuevos nucleótidos en el extremo $3'$ hasta formar la hebra replicada. Las proteínas SSB (3) son proteínas de unión a la cadena sencilla que impiden que la hebra de ADN se vuelva a enrollar, y dejan libre la parte de la hebra que lleva las bases, de manera que estas sean accesibles para otras moléculas. La helicasa (4) rompe los enlaces de hidrógeno entre las bases nitrogenadas de las dos cadenas complementarias, provocando que se abra como una cremallera.
- d) El mecanismo de elongación es, básicamente, el mismo para las dos hebras de ADN. La ADN polimerasa III recorre las hebras molde en sentido $3' \rightarrow 5'$, y va uniendo los nuevos nucleótidos en el extremo $3'$ hasta que se forman las hebras replicadas; luego, la nueva hebra que se va formando crece en la dirección $5' \rightarrow 3'$. Sin embargo, como las dos cadenas del ADN son **antiparalelas** (se orientan en direcciones opuestas una de otra), el desarrollo de la elongación presenta ligeras variaciones según la hebra de que se trate. En una de las dos hebras, la síntesis se produce de manera continua, mientras que en la otra lo hace de manera discontinua.

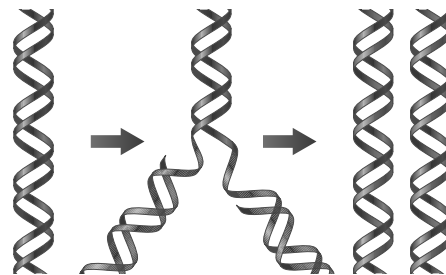
Cuando se forma la **burbuja de replicación**, la ADN polimerasa III solo puede unir nucleótidos en uno de los dos sentidos (dado que las dos hebras son antiparalelas). La síntesis de una de las nuevas hebras se realiza sin interrupciones, es decir, de manera continua en sentido $5' \rightarrow 3'$, y se requiere un solo cebador. Esta hebra sintetizada de manera continua es la **conductora o líder**.

El mecanismo de síntesis de la otra hebra, llamada **hebra retardada** porque su síntesis se retrasa ligeramente en relación con la de la conductora, fue descubierto en 1973 por R. Okazaki. Consiste en una síntesis discontinua de pequeños fragmentos de ADN de unos 1000 a 2000 nucleótidos (**fragmentos de Okazaki**). Cada uno de los fragmentos requiere, cada ciertos intervalos, un cebador de ARN sintetizado por la primasa. La ADN polimerasa I va eliminando el cebador y rellenando los huecos con nucleótidos de ADN. Finalmente, la **ADN ligasa** suelda todos los fragmentos obtenidos.

- 8.12. La figura es un esquema muy simplificado del ciclo biológico de una planta con flores. Estas plantas tienen dos tipos de gametofito, masculino y femenino. Supón que la planta es la judía, en la que las células del esporofito tienen 22 cromosomas.

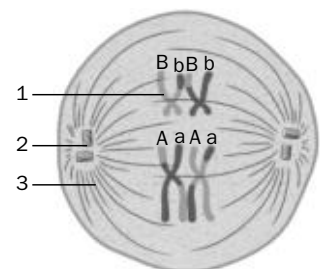


- ¿Cuántos cromosomas hay en las otras fases del ciclo indicadas en el esquema?
 - ¿Con qué fase del ciclo se corresponde el polen? ¿Y la semilla? ¿Qué número del esquema señala la meiosis? ¿Con qué número se corresponde la fecundación?
 - Indica, mediante un esquema, qué se entiende por replicación semiconservativa del ADN.
- El **esporofito** tiene una dotación cromosómica $2n$, que, en el caso de la planta del enunciado, será de 2×11 . Las **esporas** se producen tras una meiosis en la que se reduce a la mitad el número de cromosomas, por tanto, su dotación cromosómica será de n (11 cromosomas). A partir de la espora se desarrolla el **gametofito** que es haploide y, por tanto, con una dotación cromosómica n (11 cromosomas). Los **gametos** formados por el gametofito son haploides (11 cromosomas), y tras la fecundación se forma el **cigoto** con $2n$ cromosomas, es decir, 22 cromosomas.
 - Los **granos de polen** se corresponden con la fase haploide, mientras que la **semilla** lo hace con la fase diploide. La meiosis se corresponde con el número 1: el esporofito tiene una dotación cromosómica $2n$, y tras una **meiosis** esporogénica da origen a las esporas con dotación cromosómica n . La **fecundación** se corresponde con el número 4. Los gametos formados por el gametofito se unen para originar el cigoto, con una dotación cromosómica $2n$.
 - La replicación semiconservativa es el modelo de replicación propuesto por Watson y Crick. Cada doble hélice conserva una hélice de las dos originales, y sintetiza una nueva.

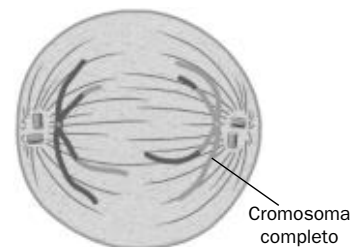


- 8.13. La figura representa una célula cuyo número de cromosomas es $2n = 4$. Las letras A, a, B, b representan alelos de los genes situados en dichos cromosomas.

- ¿A qué tipo de división celular pertenece la figura? ¿Qué etapa representa?
- Nombra los componentes celulares señalados con números. Comenta los sucesos que acontecen en esta etapa.
- Dibuja la etapa siguiente de este proceso. Indica el resultado final de esta división en cuanto al número de células resultantes y su contenido genético para los alelos de los dos genes.



- La figura en cuestión pertenece a una meiosis, ya que en la placa ecuatorial se observan las tétradas o cromosomas bivalentes. Representa la metafase I.
1. Cromosomas. Concretamente, una tétrada formada por cuatro cromátidas unidas por los quiasmas; 2. Centríolo; 3. Huso acromático.
- La etapa siguiente sería la anafase I. El número de células resultantes de esta división meiótica es de cuatro, y su contenido genético será de 2 cromosomas (uno de cada una de las parejas de homólogos).



8.14. ¿Qué relación existe entre la replicación del ADN, la herencia biológica y la meiosis? Razona la respuesta.

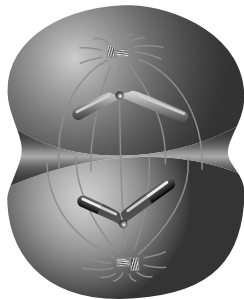
En los organismos que se reproducen sexualmente, la **meiosis**, o división reduccional, es un proceso esencial. A partir de un meiocito (con un contenido cromosómico $2n$) se obtienen cuatro células reproductoras que son haploides, es decir, con la mitad de los cromosomas que tenía el meiocito. Para que esto ocurra, antes de la meiosis se produce la **replicación del ADN**, hecho que ocurre durante la interfase premeiótica. El destino de las células haploides —que son los gametos— es fecundarse y dar origen a una célula huevo o cigoto con $2n$ cromosomas. La división por mitosis del cigoto garantiza que todas las células del individuo pluricelular lleven la misma **herencia biológica**, y sean genéticamente idénticas.

8.15. En relación con el proceso meiótico de un organismo $2n = 6$.

- a) **¿Cuándo se produce la formación de bivalentes? Explica brevemente en qué consiste.**
- b) **Haz un esquema de la anafase II.**
- c) **Explica el significado biológico de la meiosis.**

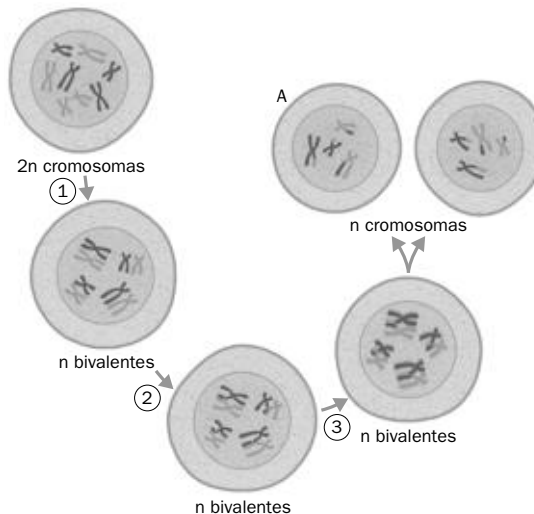
- a) La formación de bivalentes se produce durante la **profase I**; concretamente, durante la fase de **cigoteno**. Durante la profase I, los cromosomas se **condensan** hasta hacerse visibles, y cada uno de ellos está formado por dos cromátidas estrechamente unidas. Los cromosomas homólogos se aparean hasta quedar completamente alineados, formados por una estructura denominada **tétrada** o **cromosoma bivalente**. Se produce el **sobrecruzamiento** o intercambio de material cromatídico entre las cromátidas de los cromosomas homólogos, que tiene como consecuencia el intercambio de genes o **recombinación génica**. Al final de la profase I desaparecen el nucléolo y la membrana nuclear, se forma el huso acromático y comienzan a formarse las fibras cinetocóricas.

b)



- c) El significado biológico de la meiosis es doble; por una parte, se reduce a la mitad el número de cromosomas —proceso esencial en los organismos que se reproducen sexualmente—, ya que de lo contrario, en cada fecundación se duplicaría el número de cromosomas. Por otra parte, gracias a la recombinación génica ocurrida durante la profase I, se crea variabilidad genética, con lo que los descendientes son distintos entre sí y distintos a los progenitores. Esta variabilidad genética es el motor de la evolución.

8.16. El esquema representa, de forma muy simplificada, varios aspectos importantes del comportamiento cromosómico en la primera división meiótica en un organismo con $2n = 8$ cromosomas.



- Identifica y describe brevemente (unas 10 palabras) los tres procesos numerados 1, 2 y 3.
 - Supón que los dos juegos cromosómicos que aparecen en la figura son muy diferentes genéticamente (contienen diferentes alelos para muchos genes). ¿Cuántos gametos diferentes podrían formarse a partir de células resultado de la primera división meiótica como la que se indica en el esquema (A)?
 - Indica una diferencia entre machos y hembras de vertebrados en la primera división meiótica.
- 1..Cigoteno.** Se emparejan los cromosomas homólogos, y se origina una tétrada o cromosoma bivalente.
 - 2. Paquiteno.** Recombinación génica por el sobrecruzamiento entre las cromátidas de los homólogos.
 - 3. Metafase I.** Las tétradas unidas por los quiasmas se disponen en la placa ecuatorial. Los centrómeros de cada par de homólogos se disponen en lados opuestos de la placa.
- A partir de cada una de las células resultado de la meiosis I se obtendrán dos células genéticamente distintas y haploides.
 - En la espermatogénesis, a partir de un espermatocito de primer orden tras la meiosis se forman cuatro espermátidas, que se diferencian hasta constituir espermatozoides; en la ovogénesis, a partir de un oocito de primer orden se obtiene un óvulo y dos o tres corpúsculos polares.

UN PASO MÁS

8.17. En un artículo científico se lee:

“A partir de la *Vinca major* (hierba doncella) se obtienen una serie de medicamentos conocidos en su conjunto como alcaloides de la *vinca*. Entre ellos está la vinblastina, medicamento perteneciente al grupo de los llamados antineoplásicos, y utilizado para tratar algunos tipos de cáncer. La vinblastina interfiere el ensamblaje de los microtúbulos que forman parte del huso mitótico.”

- Justifica por qué la vinblastina se utiliza para tratar distintos tipos de cáncer.
 - ¿La vinblastina afectaría también a las células que no son tumorales? Razona tu respuesta.
- La vinblastina interfiere el ensamblaje de los microtúbulos que forman el huso mitótico. Si no se puede formar el huso mitótico, no se puede completar la mitosis y, por tanto, la célula cancerosa no se divide y no prolifera.
 - La respuesta es sí. La vinblastina interfiere la formación del huso mitótico en cualquier célula y, por tanto, afectaría a las no tumorales.

8.18. Durante el curso escolar es frecuente que se den casos de contagio de parásitos capilares, los piojos (*Pediculus humanus*). Actualmente, se ha constatado que cuesta más eliminar los piojos con productos pediculicidas (antipiojos) que hace años.

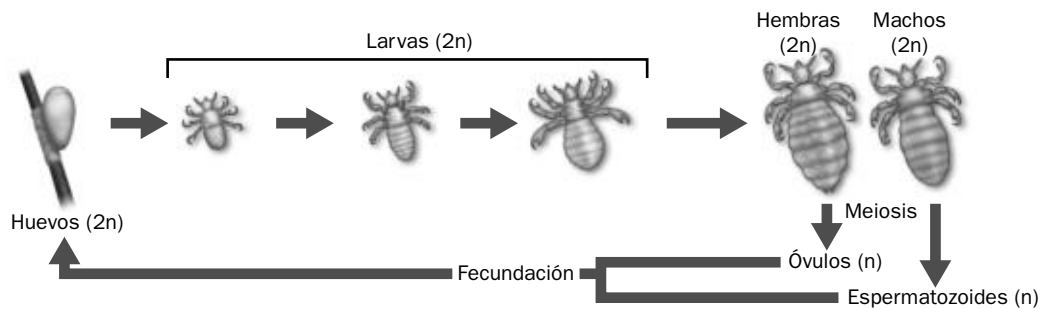
- a) Explica a qué puede ser debida la resistencia que muestran los piojos a los productos antipiojos.

El piojo es un insecto parásito que tiene un ciclo biológico que dura entre 3 y 4 semanas. Los adultos pueden ser machos o hembras que producen espermatozoides u óvulos respectivamente, y los huevos tardan aproximadamente una semana en originar larvas, que pasarán por diferentes estadios hasta llegar a ser adultos.

- b) Realiza un esquema del ciclo biológico del *Pediculus humanus* en el que consten los términos subrayados, e indica cuándo ocurren la meiosis, la fecundación y las diferentes fases haploides y diploides del ciclo.

- a) Algunos piojos presentan una resistencia natural a los productos pediculicidas. El uso frecuente de estos productos provoca que la mayoría de los piojos mueran, pero sobreviven aquellos que muestran una resistencia natural, que lenta y paulatinamente van siendo mayoritarios en la población. La selección natural favorece a los que son resistentes a los productos pediculicidas.

- b) El esquema del ciclo biológico del piojo es el siguiente:



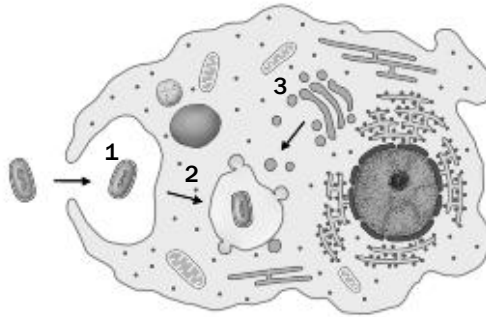
La meiosis ocurre en el momento de la formación de las células reproductoras, los gametos. La fase haploide se limita únicamente a las células reproductoras, mientras que la fase diploide va desde la formación de la célula huevo hasta que se llega a la etapa de adulto.

9

La membrana plasmática y otros orgánulos membranosos

ACTIVIDADES PAU RESUELTAS

9.1. El esquema representa el mecanismo de defensa de una célula frente a las bacterias.



Responde razonadamente a las siguientes cuestiones.

- Cita tres orgánulos celulares que participen activamente en este proceso.
- ¿Qué aspectos específicos de este proceso representan los números indicados?
- ¿Cómo se denomina la ingestión celular de grandes partículas, como por ejemplo una bacteria?

Actividad resuelta en el libro del alumno.

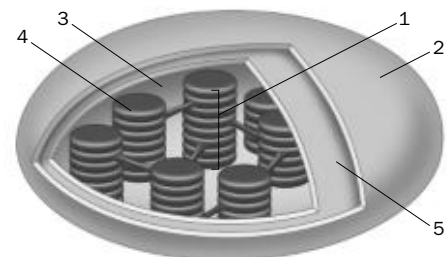
9.2. En relación con el paso de sustancias a través de la membrana citoplasmática, diferenciar.

- Difusión simple, de difusión facilitada.
- Transporte activo, de transporte pasivo.
- Endocitosis, de exocitosis.

Actividad resuelta en el libro del alumno.

9.3. La figura corresponde a un orgánulo celular.

- ¿De qué orgánulo se trata?
- Identifica cada una de sus partes numeradas.
- ¿Dónde se encuentran situadas las ATP-sintetasas (ATPasa)?



Actividad resuelta en el libro del alumno.

ACTIVIDADES

9.4. Existen sustancias proteicas que se sintetizan en la célula, y posteriormente son segregadas al exterior.

- Cita, por orden de actuación, las estructuras y orgánulos citoplásmicos que intervienen en este proceso.
- En su paso a través del complejo de Golgi, ¿por qué cara del complejo entran estas moléculas y por cuál salen?
- ¿Con qué denominación se conoce el proceso más habitual de excreción de sustancias al exterior y qué estructuras celulares intervienen en él?

- Núcleo, membrana nuclear, ribosoma, retículo endoplásmico rugoso, aparato de Golgi, vesículas de secreción y membrana plasmática.
- Entran por la **cara proximal** o cara cis, y salen por la **cara distal** o cara trans.
- Se llama **secreción celular**, y se hace por exocitosis. Las estructuras celulares que intervienen en este proceso son: vesículas secretoras procedentes del aparato de Golgi y membrana plasmática. Las vesículas desprendidas del aparato de Golgi, que contienen las sustancias para segregar, se dirigen hacia la membrana plasmática con la que se fusionan, se abren y liberan al exterior su contenido.

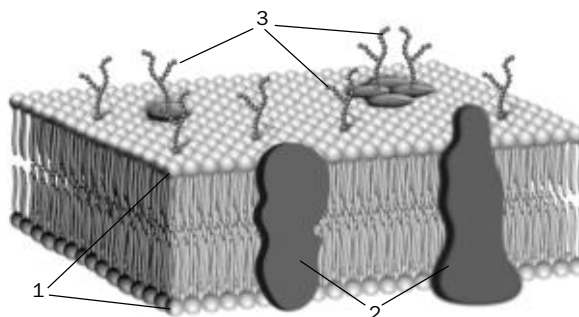
9.5. ¿Todas las células presentan en su interior un sistema de membranas? Razona la respuesta. ¿Mediante qué vías evolutivas se ha pasado desde células sin sistema de endomembranas a células dotadas de él?

No, solo lo tienen las células eucarióticas, ya que las procarióticas poseen un único compartimento rodeado por la membrana plasmática.

La aparición de un sistema de endomembranas pudo haberse realizado de alguna de estas dos maneras:

- **A partir de invaginaciones de la membrana celular**, que habrían dado lugar a la membrana nuclear, el retículo endoplásmico, el aparato de Golgi, los endosomas y los lisosomas. De esta forma se podría explicar la compleja red de comunicaciones que existe entre los componentes de este entramado de endomembranas con los demás orgánulos y el exterior celular.
- **A partir de relaciones de simbiosis entre las primitivas células eucarióticas y bacterias** que fueron ingeridas (endocitadas) por estas. Esta teoría explicaría el hecho de que tanto las mitocondrias como los cloroplastos tengan doble membrana, además de un genoma propio capaz de sintetizar algunas de sus proteínas. Esta especial simbiosis es la base que sirvió a Lynn Margulis para enunciar la teoría endosimbionte sobre el origen de las células eucarióticas.

9.6. La figura representa esquemáticamente un fragmento de membrana plasmática.



- Indica las características moleculares de los elementos señalados por los números 1 a 3.
- Indica una posible función de los elementos señalados con el número 3 y dos posibles funciones de los elementos señalados con el número 2.
- Las células poseen numerosas membranas internas que constituyen una parte importante de sus orgánulos. La composición y propiedades de esas membranas no es la misma en todos los casos. Indica dos ejemplos de estas diferencias.

- a) **Doble capa de lípidos** (fosfolípidos, glucolípidos y colesterol); todos ellos con carácter anfipático que se distribuyen en la membrana de manera asimétrica y heterogénea, existiendo zonas más o menos fluidas según el tipo de lípido.

Proteínas transmembranales o intrínsecas.

Oligosacáridos unidos covalentemente a los dominios extracelulares de las proteínas y de los lípidos, formando glucoproteínas y glucolípidos, que en su conjunto forman el **glucocálix**.

- b) El elemento número 3 es el glucocálix, que tiene las siguientes funciones:
- Protege la superficie de las células de posibles lesiones.
 - Se relaciona con las moléculas de la matriz extracelular.
 - Confiere viscosidad a las superficies celulares, permitiendo el deslizamiento de células en movimiento, como por ejemplo, las sanguíneas.
 - Presenta propiedades inmunitarias, dado que los glúcidos constituyentes del glucocálix de los eritrocitos representan los antígenos característicos de los grupos sanguíneos.
 - Interviene en los fenómenos de reconocimiento celular, particularmente importantes durante el desarrollo embrionario.
 - Contribuye al reconocimiento y fijación de determinadas sustancias que la célula incorporará mediante fagocitosis o pinocitosis.

El número 2 se corresponde con **proteínas transmembranales** o **intrínsecas**. Dos de las funciones específicas de estas proteínas son:

- Intervenir en el proceso de **transducción de señales**. En la membrana plasmática existen receptores de membrana, generalmente de naturaleza proteica, que reconocen de manera específica a una determinada molécula-mensaje llamada primer mensajero. Cuando el receptor se une al primer mensajero, se induce en el propio receptor un cambio de conformación molecular que produce un efecto fisiológico en la célula.
 - **Función transportadora**. Las proteínas transportadoras o “**carriers**” intervienen en los mecanismos de transporte de sustancias a través de la membrana. Se unen a la molécula que se va a transportar, y sufren un cambio de conformación que les permite atravesar la membrana.
- c) Las diferencias entre la membrana plasmática y la membrana de los orgánulos membranosos son:
- Todas las membranas internas carecen de glucocálix.
 - En las mitocondrias, la membrana mitocondrial externa es **especialmente permeable** gracias a la presencia de las porinas, que permiten el paso de moléculas de gran tamaño. La interna a penas tiene colesterol, y es mucho más rica en proteínas; cerca del 80%, entre las cuales tiene especial importancia la **ATP-sintetasa**, que interviene en la síntesis de ATP.

9.7. Las células están delimitadas por la membrana plasmática.

- a) ¿Qué tipos de lípidos están presentes en las membranas celulares?
- b) ¿Qué diferencia hay entre proteína integral y periférica?
- c) ¿Qué significa el término de modelo mosaico fluido?
- d) Cita 3 orgánulos delimitados por membrana.
- a) Fosfolípidos, glucolípidos y colesterol.
- b) Las **proteínas integrales**, también llamadas transmembranosas, representan entre el 50 y el 70% de las totales de la membrana. Se hallan inmersas en las bicapas lipídicas, y pueden atravesar totalmente la membrana y sobresalir a ambos lados de la misma, mientras que las **periféricas** o extrínsecas no atraviesan la bicapa lipídica y están situadas tanto en el exterior como en el interior. Se unen a los lípidos mediante enlaces covalentes, o a las proteínas integrales mediante enlaces de hidrógeno.
- c) Se entiende por **modelo mosaico fluido** a un modelo que trata de explicar la estructura de las membranas biológicas. Este modelo, que es el más aceptado actualmente, fue propuesto por Singer y Nicholson en 1972, y presenta las siguientes características:
- Considera a la membrana como un mosaico fluido en el que la bicapa lipídica es la red cementante y las proteínas están embebidas en ella, interaccionando unas con otras y, a su vez, con los lípidos. Tanto las proteínas como los lípidos pueden desplazarse lateralmente.
 - Los lípidos y las proteínas integrales se hallan dispuestos en mosaico.
 - Las membranas son estructuras asimétricas en cuanto a la distribución de todos sus componentes químicos: lípidos, proteínas y glúcidos.
- d) Tres orgánulos delimitados por membrana son: retículo endoplásmico, aparato de Golgi y lisosomas.

- 9.8. La membrana plasmática no es una estructura estática, ya que los lípidos que la componen tienen posibilidad de moverse dentro de ella, lo que le proporciona una cierta fluidez o viscosidad.

Explica detalladamente los movimientos que pueden realizar los lípidos y la importancia que el colesterol tiene para la funcionalidad de la membrana plasmática.

Los movimientos que pueden realizar los lípidos dentro de la membrana plasmática son de tres tipos:

- **De rotación.** Supone el giro de la molécula lipídica en torno a su eje mayor. Es muy frecuente, y es el responsable, en gran medida, de los otros dos movimientos.
- **De difusión lateral.** Las moléculas lipídicas pueden difundirse libremente de manera lateral dentro de la bicapa. Es el movimiento más frecuente.
- **Flip-flop.** Es el movimiento de la molécula lipídica de una monocapa a la otra, gracias a unas enzimas llamadas flipasas. Es el movimiento menos frecuente, por ser muy desfavorable energéticamente.
- La fluidez es una de las características más importantes de las membranas, ya que condiciona la permeabilidad y el transporte a través de ella, la adhesión celular y la función inmunitaria. La fluidez depende de factores como la temperatura (la fluidez aumenta al incrementarse la temperatura), la naturaleza de los lípidos (la presencia de lípidos insaturados y de cadena corta favorece el aumento de la fluidez) y la **presencia de colesterol** (endurece las membranas, reduciendo su fluidez y permeabilidad).

- 9.9. Explica el transporte activo y el transporte pasivo en membranas biológicas.

Transporte activo y transporte pasivo son dos de los mecanismos de transporte de sustancia de baja masa molecular a través de las membranas biológicas.

El transporte pasivo se efectúa **a favor de gradiente** y, por tanto, **sin consumo de energía**. Existen dos mecanismos:

- **Difusión simple.** Gracias a este mecanismo, atraviesan la membrana **sustancias solubles** en ella, como O_2 , CO_2 , etanol, urea, etc., deslizándose entre los fosfolípidos. Se trata de moléculas sin carga o con carga neta cero. Determinadas proteínas de la membrana, llamadas **proteínas canal**, forman “canales acuosos” a través de la bicapa lipídica, que permiten el paso de sustancias con carga eléctrica, incluyendo pequeños iones a favor del gradiente de concentración.
- **Difusión facilitada.** Se transportan **moléculas polares**, como glúcidos, nucleótidos, aminoácidos, etc. Siempre se produce a favor de gradiente, que en el caso de los iones es un gradiente electroquímico. Este transporte se lleva a cabo a través de las llamadas **proteínas transportadoras** o “**carriers**”, que se unen a la molécula que se va a transportar, y sufren cambios conformacionales que permiten la transferencia de la molécula de un lado a otro de la membrana.

El transporte activo se realiza **en contra de gradiente** –ya sea de concentración, de presión osmótica, o bien eléctrico–, e implica un **consumo de energía**. Solo pueden realizarlo algunos tipos de proteínas especializadas, también denominadas **bombas**, como sería la de sodio-potasio.

- La bomba de sodio-potasio es uno de los mecanismos más importantes de este tipo de transporte. La mayoría de las células animales tienen en su medio interno una elevada concentración de iones K^+ , mientras que la de Na^+ es superior en el medio extracelular.
- Las diferencias de concentración se deben a la actividad de la bomba de sodio-potasio, que bombea de manera simultánea tres iones Na^+ hacia el exterior y dos iones K^+ hacia el interior, en contra del gradiente de concentración; para ello, se necesita consumir la energía liberada en la hidrólisis del ATP. La bomba de sodio-potasio también tiene actividad enzimática ATPasa.
- Desde el punto de vista estructural, la bomba de sodio-potasio está constituida por un tetrámero que consta de dos subunidades: una subunidad grande, llamada α , que se encarga del transporte, y una subunidad más pequeña, β , que mantiene la bomba unida a la membrana. Esta segunda es una glucoproteína.
- La bomba es responsable del mantenimiento del **potencial de membrana**, que es la diferencia de carga eléctrica entre los dos lados de la membrana, es decir, entre la matriz extracelular y el citoplasma. El exterior de la membrana es positivo, frente al interior, que es negativo. También regula el volumen celular e interviene en otros sistemas de transporte, debido a que en algunas células es capaz de transportar glucosa y aminoácidos desde el exterior al interior.

9.10. La membrana plasmática sufre ciertas diferenciaciones para permitir la asociación y las relaciones entre células de un mismo tejido. Explica al menos tres de ellas.

Atendiendo a su estructura y función, existen tres diferenciaciones membranales que permiten la asociación y las relaciones entre células de un mismo tejido: uniones **comunicantes**, uniones **estrechas** y uniones **adherentes** o **desmosomas**.

Uniones comunicantes. En ellas existe un pequeño espacio intercelular de apenas 30 nm, con lo que las membranas celulares no llegan a contactar y permiten el paso de pequeñas moléculas entre dos células adyacentes. Se pueden distinguir dos tipos:

- **Sinapsis químicas**, que se realizan entre dos neuronas separadas por un espacio o hendidura sináptica, en el que la neurona presináptica libera, mediante exocitosis, la señal química o neurotransmisor contenido en las vesículas sinápticas. Esta señal se difunde a través de la hendidura sináptica hasta llegar a la membrana de la otra neurona, denominada postsináptica.
- **Uniones en hendidura** o de tipo **gap** (en inglés, hendidura). Este tipo de unión deja entre las dos membranas plasmáticas una hendidura lo suficientemente ancha como para permitir el paso entre ellas de moléculas relativamente grandes. La unión se realiza mediante **conexones**, que son estructuras cilíndricas transmembranales formadas por la asociación de seis moléculas de una proteína (conexina). Estos conexones tienen un diámetro de 6 nm, y dejan en su centro un canal acuoso de 2 nm.

Además de unir dos células contiguas, los conexones ponen en comunicación ambos citoplasmas, pudiendo pasar a través de ellos iones y pequeñas moléculas hidrosolubles; de este modo, se establece una cooperación metabólica. Por este motivo, a estas uniones se las denomina **comunicantes**. Este tipo de unión es frecuente en las células musculares lisas que constituyen el miometrio del útero, las cuales aumentan a medida que avanza la gestación.

Uniones estrechas. Son regiones especializadas de la membrana que impiden el paso de cualquier molécula entre las células, ya que el contacto que se establece entre las membranas de células adyacentes obtura completamente el espacio intercelular. También se denominan herméticas o íntimas. Suelen ser uniones de tipo zónula, y se encuentran en las células endoteliales de los vasos sanguíneos, en los enterocitos y en los hepatocitos que delimitan el canalículo biliar.

Las membranas de las células adyacentes se mantienen juntas gracias a la unión, a modo de cremallera, entre proteínas transmembrana de una célula y otra. Las proteínas implicadas son la cadherina, la cingulina y las denominadas ZO (de *zona occludens*), que, a su vez, interactúan con los microfilamentos de actina de los respectivos citoesqueletos.

Sin embargo, se ha demostrado que las células del sistema inmunológico pueden atravesar estas uniones y penetrar en los tejidos inflamados, ya que son capaces de enviar una señal específica que abre esta unión, permitiéndoles el paso.

Uniones adherentes o **desmosomas**. Mediante estas uniones, las células se mantienen unidas mecánicamente, haciendo que el conjunto funcione como una unidad estructural. Se localizan preferentemente en aquellos tejidos que se encuentran sometidos a fuertes tensiones mecánicas, como el músculo cardíaco, el cuello del útero o el epitelio cutáneo.

Las membranas de las células vecinas se acercan, pero no se fusionan; así, queda un espacio intercelular de 25 a 40 nm ocupado por material poco denso, que, en ocasiones, puede presentar una línea central osmíofila equidistante entre ambas células. Las uniones adherentes presentan una estructura general que implica:

- **La existencia de una proteína transmembrana** que, en el caso de las uniones célula-célula es de tipo cadherina, y en el caso de las uniones célula-matriz es de tipo integrina.
- **Unas proteínas de unión que medien el vínculo** entre las proteínas transmembrana y el citoesqueleto (microfilamentos o filamentos intermedios).

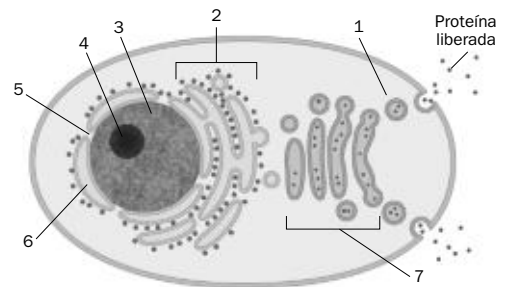
Existen tres tipos de desmosomas: en banda o zónulas adherentes, hemidesmosomas y desmosomas puntiformes.

- 9.11. Señala las diferencias y semejanzas entre el retículo endoplasmático liso y el retículo endoplasmático rugoso, en cuanto a estructura, función y localización.

Diferencias y semejanzas entre el retículo endoplasmático liso y rugoso		
	Retículo endoplasmático liso (REL)	Retículo endoplasmático rugoso (RER)
Estructura	Es una red tubular, constituida por finos túbulos o canalículos interconectados, y cuyas membranas continúan en las del RER, pero sin llevar ribosomas adheridos.	Porque lleva ribosomas adheridos a la cara citosólica de sus membranas. Está constituido por sacos aplanados o cisternas de 40 a 50 nm de espesor y vesículas de tamaño muy variable, desde 25 a 500 nm de diámetro. Su lumen está ocupado, en general, por un material poco denso; aunque en ocasiones, puede presentar inclusiones densas o cristales.
Función	Síntesis de lípidos. La biosíntesis de lípidos se realiza en las membranas del REL. Contracción muscular. La liberación del calcio acumulado en el interior del retículo sarcoplásmico es indispensable para los procesos de contracción muscular. Detoxificación. Consiste en la eliminación de todas aquellas sustancias que puedan resultar nocivas para el organismo. Liberación de glucosa a partir de los gránulos de glucógeno presentes en los hepatocitos. Las reservas de glucógeno hepático se encuentran contenidas en forma de pequeños gránulos adheridos a las membranas del REL.	Síntesis y almacenamiento de proteínas. Al mismo tiempo que se sintetizan las proteínas, y mediante un complejo mecanismo, pueden quedarse en la membrana como proteínas transmembrana o pasar al lumen intermembranoso para ser exportadas a otros destinos, incluido el exterior celular. Glucosilación de las proteínas. La mayoría de las proteínas sintetizadas y almacenadas en el RER, antes de ser transportadas a otros orgánulos citoplásmicos (aparato de Golgi, lisosomas), a la membrana plasmática o al exterior de la célula, deben ser glucosiladas para convertirse en glucoproteínas.
Localización	El término endoplásmico significa dentro del citoplasma; por tanto, se halla localizado en el citoplasma. Es una continuación del RER.	El término endoplásmico significa dentro del citoplasma; por tanto, se halla localizado en el citoplasma, formando una red alrededor del núcleo.

- 9.12. El esquema representa una célula eucariótica que está sintetizando y liberando una proteína.

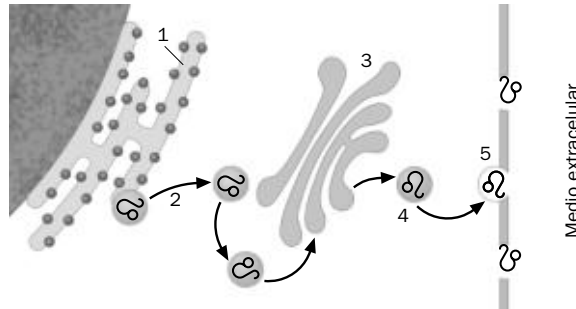
- Identifica las estructuras indicadas por los números 1 a 7.
- Explica muy brevemente en qué consisten las siguientes actividades: fosforilación oxidativa, traducción, transporte activo y exocitosis. Para cada una de estas actividades, indica una estructura u orgánulo eucariótico en donde pueden producirse.



- Las estructuras numeradas del 1 al 7 son las siguientes: 1. Vesícula de secreción; 2. Retículo endoplásmico rugoso; 3. Núcleo (jugo nuclear); 4. Nucléolo; 5. Poro nuclear; 6. Membrana nuclear; y 7. Aparato de Golgi.
- Las actividades nombradas consisten en:
 - Fosforilación oxidativa.** Se denomina así al proceso de síntesis de ATP que ocurre durante la respiración celular en las mitocondrias; concretamente, en la **membrana mitocondrial interna**. Una parte de la energía liberada durante la respiración celular se utiliza para fabricar ATP a partir de ADP.
 - Traducción.** Proceso de síntesis de proteínas que tiene lugar en los **ribosomas**. Los ribosomas leen la información contenida en la secuencia de bases nitrogenadas de un ARNm, empezando por el extremo 5'. El ARNm lleva información para la síntesis de una proteína, de tal manera que cada triplete de bases o codones que forman el ARNm codifica un aminoácido, que es transportado hasta el ribosoma por un ARNt específico para cada uno de ellos. El ribosoma se desplaza sobre el ARNm, y los aminoácidos se van uniendo unos a otros siguiendo el orden marcado por la secuencia de bases del ARNm.

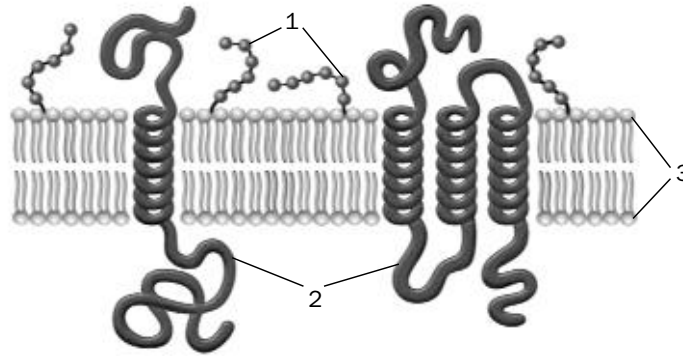
- **Transporte activo.** Es una modalidad de transporte de moléculas de baja masa molecular a través de la **membrana plasmática**. Se realiza en contra de gradiente –ya sea de concentración, de presión osmótica, o bien eléctrico–, e implica un consumo de energía. Solo pueden realizarlo algunos tipos de proteínas especializadas, también denominadas bombas, como sería la de sodio-potasio.
- **Exocitosis.** Es una modalidad de transporte de moléculas de elevada masa molecular a través de la membrana plasmática. Las macromoléculas contenidas en vesículas citoplásmicas son transportadas desde el interior celular hasta la membrana plasmática, para ser vertidas al medio extracelular. Este vertido requiere que la membrana de la vesícula y la membrana plasmática se fusionen, generando un poro a través del cual se puede liberar el contenido de la vesícula citoplasmática.

9.13. En la figura se representa el proceso de síntesis y excreción (secreción) de una proteína extracelular. Simbolizada por ϕ .



- Explica qué ocurre en cada paso señalado con números en el dibujo, indicando los orgánulos que intervienen en cada uno de ellos.
 - ¿Cómo se denomina el orgánulo señalado con el número 3? ¿Cuál es su función?
- En cada uno de los pasos señalados ocurre lo siguiente:
 - **Síntesis de proteínas.** Las proteínas se sintetizan en los ribosomas que se hallan adheridos a la membrana del retículo endoplásmico rugoso (RER), algunas de ellas se quedan como proteínas transmembrana, y otras pasan al lumen intermembranoso para ser exportadas a otros destinos.
 - **Exportación de proteínas.** Las proteínas exportadas por el RER van englobadas en vesículas que se unen a la región cis de los dictiosomas.
 - **Concentración de proteínas.** En el aparato de Golgi, las proteínas secretadas se desplazan de una cisterna a otra gracias a vacuolas condensantes que se originan en los bordes dilatados de las cisternas. Progresivamente, la concentración de proteínas va aumentando conforme van pasando a través de los sáculos intermedios, hasta llegar a los situados en la cara trans del dictiosoma.
 - **Desprendimiento de vesículas.** Las vesículas secretoras desprendidas del aparato de Golgi se encuentran cargadas de proteínas cuyo destino es la excreción.
 - **Excreción (secreción).** La vesícula de secreción se fusiona con la membrana plasmática para descargar en el exterior su contenido. La superficie interna de la membrana de la vesícula se convierte en la superficie externa de la membrana plasmática, mientras que la superficie externa de la membrana de la vesícula secretora formará parte de la superficie interna de la membrana plasmática. Mediante este mecanismo de **exocitosis**, las células son capaces de eliminar sustancias sintetizadas por la célula, por ejemplo, las proteínas, o sustancias de desecho.
 - Aparato de Golgi; en él se desarrollan las siguientes funciones:
 - **Mecanismo de transporte golgiano.** Las proteínas son exportadas por el RER, englobadas en vesículas que se unen a la región cis del dictiosoma. Aquí, las proteínas sufren una fosforilación, si llegan sin fosforilar. Las proteínas secretadas se desplazan de una cisterna a otra gracias a vacuolas condensantes que se originan en los bordes dilatados de las cisternas. Progresivamente, la concentración de proteínas va aumentando conforme van pasando a través de los sáculos intermedios, hasta llegar a los situados en la cara trans del dictiosoma.
 - **Glucosilación de lípidos y proteínas.** El aparato de Golgi es el orgánulo celular en el que se produce el ensamblaje de oligosacáridos a lípidos y proteínas para formar glucolípidos y glucoproteínas respectivamente. También se sintetizan los glucosaminoglucanos observados en la matriz extracelular de las células animales, así como las pectinas y la hemicelulosa presentes en las paredes de las células vegetales.
 - **Formación del tabique telofásico en células vegetales.** El tabique telofásico que determina la división del citoplasma de la célula vegetal en división se produce por la asociación en el plano ecuatorial de vesículas derivadas del aparato de Golgi.
 - **Formación del acrosoma en el espermatozoide.** El acrosoma deriva del aparato de Golgi, y es una estructura apical cargada de enzimas hidrolíticas que sirven para digerir los componentes de las cubiertas del ovocito en el proceso de fecundación.

9.14. La figura esquematiza un fragmento de membrana plasmática. Responde a las siguientes cuestiones:



- Indica las características moleculares de los elementos señalados con números.
- Indica dos posibles funciones de los elementos señalados con el número 2.
- Indica, muy brevemente, qué son los plasmodesmos y los desmosomas.

1. Glucocálix. Está formado por oligosacáridos unidos a las glucoproteínas y los glucolípidos de la membrana. Se encuentran dirigidos hacia el medio extracelular. 2. Proteínas transmembrana. 3. Bicapa lipídica de fosfolípidos.
1. Intervienen en el proceso de **transducción de señales**. En la membrana plasmática existen receptores de membrana, generalmente de naturaleza proteica, que reconocen de manera específica a una determinada molécula-mensaje llamada primer mensajero. Cuando el receptor se une al primer mensajero, se induce en el propio receptor un cambio de conformación molecular que produce un efecto fisiológico en la célula.
2. **Función transportadora**. Existen proteínas en la membrana que intervienen en los mecanismos de transporte de sustancias a través de la propia membrana. Son las proteínas **transportadoras** o “**carriers**”, que se unen a la molécula que se va a transportar y sufren un cambio de conformación. Este hecho les permite atravesar la membrana de un lado a otro con la molécula incorporada.
- Plasmodesmos**. Son puentes de intercomunicación entre células vegetales vecinas. En estas zonas de la pared celular no existe lámina media. Se originan en el fragmoplasto o tabique de separación que se forma entre dos células hijas tras la telofase mitótica.
Desmosomas. Es un tipo de unión entre las membranas de células vecinas. Las membranas se acercan pero no se fusionan, quedando un espacio intercelular de 25 a 40 nm ocupado por material poco denso. Mediante los desmosomas, las células se mantienen unidas mecánicamente, haciendo que el conjunto funcione como una unidad estructural. Se localizan preferentemente en aquellos tejidos que se encuentran sometidos a fuertes tensiones mecánicas, como el músculo cardíaco, el cuello del útero o el epitelio cutáneo.

9.15. La mayoría de las células tienen un retículo endoplásmico liso escaso, pero es abundante en algunos tipos concretos.

Indica de qué tipos de células se trata y por qué en ellas es más abundante que en el resto.

Es muy abundante en:

- **Células musculares estriadas**, en las que constituye el llamado **retículo sarcoplásmico**, muy importante en la liberación del Ca^{2+} que participa en la contracción muscular.
- **Células intersticiales** ováricas de Leydig, del testículo y células de la corteza suprarrenal, secretoras de hormonas esteroideas.
- **Hepatocitos**, donde interviene en la producción de partículas lipoproteicas para su exportación.

9.16. ¿Cuál es el origen de las vesículas del aparato de Golgi? ¿Qué función tiene esta estructura en la célula? ¿Puedes citar algún destino de las vesículas que se originan en el aparato de Golgi? Haz un esquema sencillo de la estructura del aparato de Golgi.

Las vesículas del aparato de Golgi se originan **a partir de los sacos aplanados** o cisternas que constituyen los dictiosomas. En la cara trans de los sacos aplanados se produce un abultamiento en los bordes, que va haciéndose de mayor tamaño hasta que se desprende por estrangulamiento, dando origen a una vesícula de secreción.

Las cuatro funciones más importantes del aparato de Golgi son el transporte y la concentración de proteínas, la glucosilación de lípidos y de proteínas, la formación del tabique telofásico en células vegetales y la formación del acrosoma.

- **Mecanismo de transporte golgiano.** Las proteínas son exportadas por el RER, englobadas en vesículas que se unen a la región cis del dictiosoma. Aquí, las proteínas sufren una fosforilación, si llegan sin fosforilar. Las proteínas secretadas se desplazan de una cisterna a otra gracias a vacuolas condensantes que se originan en los bordes dilatados de las cisternas. Progresivamente, la concentración de proteínas va aumentando conforme van pasando a través de los sáculos intermedios, hasta llegar a los situados en la cara trans del dictiosoma.
- **Glucosilación de lípidos y proteínas.** El aparato de Golgi es el orgánulo celular en el que se produce el ensamblaje de oligosacáridos a lípidos y proteínas para formar glucolípidos y glucoproteínas respectivamente. También se sintetizan los glucosaminoglucanos observados en la matriz extracelular de las células animales, así como las pectinas y la hemicelulosa presentes en las paredes de las células vegetales.
- **Formación del tabique telofásico en células vegetales.** El tabique telofásico que determina la división del citoplasma de la célula vegetal en división se produce por la asociación en el plano ecuatorial de vesículas derivadas del aparato de Golgi.
- **Formación del acrosoma en el espermatozoide.** El acrosoma deriva del aparato de Golgi, y es una estructura apical cargada de enzimas hidrolíticas que sirven para digerir los componentes de las cubiertas del ovocito en el proceso de fecundación.

Las vesículas que se desprenden del aparato de Golgi pueden tener varios destinos:

- **Quedar dentro de la célula**, si en su interior hay enzimas digestivas; entonces, se llaman lisosomas primarios.
- Si en su interior contienen sustancias que han de ser secretadas al exterior, su destino es **unirse a la membrana plasmática** y liberar su contenido mediante exocitosis.
- Si se trata de una célula vegetal, puede formar el **tabique telofásico** o **fragmoplasto** que se forma tras la mitosis.

9.17. Referente a los lisosomas, indica brevemente.

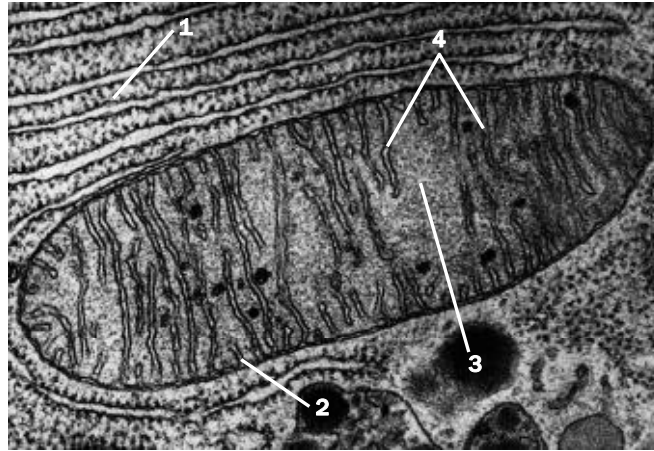
- Cuál es su origen, composición y función.**
- Diferencia lisosoma primario y lisosoma secundario.**

- Los **lisosomas** se originan de las cisternas del aparato de Golgi. Son unos orgánulos rodeados de membrana; por tanto, con la misma composición química que ella, que contienen enzimas digestivas.

Una de las principales funciones de los lisosomas es la **digestión** de material tomado del exterior por endocitosis. Las vesículas endocíticas que captan el material externo se desprenden de la membrana y forman **fagosomas**. Estos se fusionan con vesículas golgianas de transporte cargadas de hidrolasas ácidas, transformándose en **lisosomas secundarios**. Además de la digestión efectuada por endocitosis, los lisosomas digieren también material procedente de otras rutas:

- **Fagocitosis.** Las células especializadas en la fagocitosis –como los macrófagos, que se encargan de eliminar bacterias, restos celulares o incluso células envejecidas– forman grandes **vacuolas fagocíticas** o **fagosomas**. Los lisosomas se fusionan con ellos formando fagolisosomas o **lisosomas secundarios**, que presentan formas y tamaños muy variados.
 - **Autofagia.** Además de renovar los orgánulos citoplasmáticos, los lisosomas intervienen en el desarrollo y la remodelación de los tejidos durante la diferenciación embrionaria. El primer eslabón en la autofagia, y suele afectar a las mitocondrias que se rodean de una membrana derivada del RE. La vesícula resultante o **autofagosoma** se une con un lisosoma, que realiza la digestión correspondiente.
- Los **lisosomas primarios** se forman a partir de las vesículas desprendidas del aparato de Golgi. Los secundarios se forman cuando un lisosoma primario se une a una vesícula endocítica.

9.18. Observa la imagen de microscopía electrónica y responde.



- ¿Qué dos orgánulos son fácilmente reconocibles en la imagen?
 - Cita dos funciones del señalado con el número 1.
 - ¿Qué estructuras están señaladas con los números 2, 3 y 4? Cita una función para cada una de ellas.
 - Cita 3 moléculas que puede encontrar en 3.
- Los orgánulos fácilmente observables son dos: el señalado con el número 1 es el retículo endoplásmico rugoso, y el señalado con el 2 es una mitocondria.
 - Las funciones del retículo endoplásmico rugoso son:
 - **Síntesis y almacenamiento de proteínas.** Las enzimas implicadas se sitúan de manera simétrica, siendo distintas las de la cara citosólica de las de la cara luminal. Las proteínas se sintetizan en los ribosomas que van adheridos a la membrana citosólica del RER. Al mismo tiempo que se sintetizan, y mediante un complejo mecanismo, pueden quedarse en la membrana como proteínas transmembrana o pasar al lumen intermembranoso para ser exportadas a otros destinos, incluido el exterior celular.
 - **Glucosilación de las proteínas.** La mayor parte de las proteínas sintetizadas y almacenadas en el RER, antes de ser transportadas a otros orgánulos citoplásmicos (aparato de Golgi, lisosomas), a la membrana plasmática o al exterior de la célula, deben ser glucosiladas para convertirse en glucoproteínas. Este proceso se realiza en el lumen del retículo, gracias a que los oligosacáridos pueden pasar del lado citosólico al luminal, debido al movimiento de flip-flop de un lípido transportador, el dolicol.
 - La estructura señalada con el número 2 es la membrana mitocondrial, la número 3 es la matriz mitocondrial y la número 4 son las crestas mitocondriales.
 - En la estructura señalada con el número 2 (membrana mitocondrial), como en toda membrana, se realiza un transporte; concretamente, se transportan sustancias desde el citoplasma hacia el interior de la mitocondria donde se van a oxidar.
 - En la estructura con el número 3 (matriz mitocondrial) se lleva a cabo el ciclo de Krebs y la β -oxidación de los ácidos grasos.
 - En la estructura número 4 (crestas mitocondriales) se lleva a cabo la cadena respiratoria de transporte de electrones y la fosforilación oxidativa.
 - En la matriz mitocondrial (n.º 3) pueden encontrarse las siguientes moléculas: enzimas del ciclo de Krebs, enzimas de la β -oxidación de los ácidos grasos y la acetil-coenzima A.

9.19. El cloroplasto es un orgánulo convertidor de energía.

- Presenta, ¿simple o doble membrana?
 - ¿Puede sintetizar proteínas? ¿En qué tipo de organización celular se encuentra?
- Los cloroplastos presentan dos membranas, la membrana plasmática externa y la membrana plasmática interna.
 - En los cloroplastos sí se pueden sintetizar proteínas, ya que cuenta con todos los elementos necesarios para la transcripción y para la traducción: ADN, ARN, ribosomas y las enzimas necesarias para realizar estos procesos.
- Los cloroplastos se encuentran en todas las células vegetales.

9.20. ¿Son los cloroplastos los únicos plastos presentes en las células vegetales? Razona la respuesta; si es negativa explica de qué tipos de plastos se trata y su función.

Los cloroplastos son un tipo de cromoplastos y, por tanto, no son los únicos plastos presentes en las células vegetales. Existen plastos de diferentes tipos:

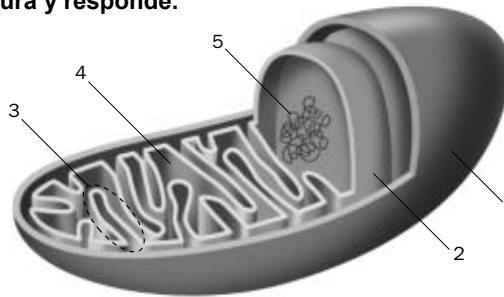
- **Leucoplastos.** Son plastos que carecen de pigmentos, y, en la mayoría de los casos, almacenan diversas sustancias, como almidón (amiloplastos), grasas (oleoplastos) y proteínas (proteoplastos). Se localizan en las células vegetales que forman los cotiledones, los esbozos foliares del tallo y ciertas zonas de la raíz.
- **Cromoplastos.** Son plastos que llevan en su interior un pigmento que les da color. Así, por ejemplo, los que contienen clorofila son de color verde y se llaman **cloroplastos**, mientras que los que tienen ficoeritrina son de color rojo y se denominan **rodoplastos**.

9.21. ¿Es la fotosíntesis la única función que tienen los cloroplastos? Razona la respuesta; si realizan más funciones, explícalas.

Además de la fotosíntesis en los cloroplastos, se realizan las siguientes funciones:

- **Biosíntesis de ácidos grasos.** Utilizando los glúcidos, el NADPH y el ATP sintetizados.
- **Reducción de nitratos a nitritos.** Los nitritos se reducen a amoníaco, que es la fuente de nitrógeno para la síntesis de los aminoácidos y de los nucleótidos.

9.22. Las mitocondrias son los orgánulos celulares considerados como las fábricas de producción de energía. Mira la siguiente figura y responde.



a) Indica las partes señaladas con números en la figura.

b) ¿Cuál es la función principal del número 3?

c) ¿Qué función se realiza en el número 4?

d) ¿Los procesos que se llevan a cabo en las mitocondrias son anabólicos o catabólicos?

a) 1. Membrana mitocondrial externa; 2. Membrana mitocondrial interna; 3. Cresta mitocondrial; 4. Matriz mitocondrial; y 5. ADN.

b) En la membrana de las **crestas mitocondriales** (3) ocurren algunas de las etapas esenciales de la respiración celular: la cadena respiratoria de transporte de electrones y la fosforilación oxidativa o síntesis de ATP.

c) En la **matriz mitocondrial** (4) tienen lugar la mayoría de las reacciones catabólicas propias de la respiración celular. Las funciones que realiza son las siguientes:

- **Transformación del piruvato en acetil-CoA.** Esta reacción está catalizada por un complejo enzimático denominado piruvato-deshidrogenasa.
- **Ciclo de Krebs.** Reacciones que se desarrollan a expensas de varios ácidos orgánicos que forman el denominado ciclo. El grupo acetilo se oxida completamente a CO_2 , y los electrones son captados por transportadores de electrones que se localizan en la membrana interna.
- **β -oxidación de los ácidos grasos.** Ruta catabólica propia de los lípidos, también denominada hélice de Lynen. En cada vuelta de espiral de esta hélice se forman cinco moléculas de ATP.
- **Síntesis proteica.** La matriz mitocondrial posee ADN y ribosomas. El ADN mitocondrial posee información para sintetizar muchas de las proteínas mitocondriales.
- **Concentración de sustancias,** tales como proteínas, lípidos, colorantes, hierro, plata, calcio, fosfatos y partículas semejantes a los virus.

d) Los procesos que se llevan a cabo en las mitocondrias son catabólicos, ya que son reacciones de oxidación de los compuestos orgánicos. Todas estas reacciones constituyen la respiración aerobia, proceso en el que se obtienen energía y productos de desecho obtenidos de la degradación de la materia orgánica, como sería el CO_2 y el H_2O .

9.23. Lee el siguiente extracto de una noticia y responde a las siguientes preguntas:

“Ötzi, el hombre de los hielos de hace 5000 años que apareció momificado en un glaciar alpino en 1991, pertenecía a un tipo genético (el haplogrupo K) muy común en los europeos actuales. Pero que no encaja en ninguno de los 115 subtipos de K existentes hoy. Su familia, en el sentido más amplio de este término, ha debido de extinguirse. La conclusión se desprende de la secuenciación (lectura, o descripción exacta) del genoma mitocondrial del hombre de los hielos. El resultado se basa en la comparación del ADN mitocondrial de Ötzi con el de muestras de europeos actuales pertenecientes a los 115 subtipos de K conocidos. Por todo lo que podemos decir, nadie puede alegar que sea descendiente de Ötzi, afirma Rollo. Pero quién sabe si en alguna solitaria aldea alpina puede acabar apareciendo alguno.”

EL PAÍS

- a) ¿El ADN mitocondrial forma parte del genoma nuclear?
- b) ¿Cuál crees que es la razón por la cual el ADN mitocondrial se parece más al ADN procariota que al ADN eucariota?
- c) ¿Cómo se hereda el ADN mitocondrial?
- d) La existencia del ADN mitocondrial, ¿sirve de apoyo a la teoría endosimbiótica? Razona la respuesta.
- a) No, el ADN mitocondrial no forma parte del genoma nuclear; es distinto, ya que es circular y no lleva asociadas histonas.
- b) Ambos tienen forma circular. Según la teoría endosimbiótica de Lynn Margulis, las mitocondrias fueron procariotas engullidos por la primitiva célula que dio origen a las células eucarióticas; y en lugar de ser degradada, permaneció en su interior en simbiosis, proporcionando a la célula hospedadora energía liberada en la respiración celular.
- c) En la especie humana, el ADN mitocondrial se hereda vía materna, puesto que en la fecundación del óvulo para dar origen al cigoto, la célula que aporta la mayoría de las mitocondrias es el óvulo y no el espermatozoide; esto es debido a que al interior del óvulo solo penetra la cabeza del espermatozoide, donde se encuentra el núcleo y apenas existen mitocondrias.
- d) La existencia del ADN mitocondrial es una de las evidencias que sirve de apoyo a la teoría endosimbiótica sobre el origen de la célula eucariótica, ya que el ADN mitocondrial y el ADN de los organismos procariotas tienen muchas semejanzas, como por ejemplo, ambos tienen una estructura circular y carecen de las histonas que lleva el ADN nuclear de las células eucarióticas.

UN PASO MÁS

9.24. Para llevar a cabo sus funciones, las células necesitan producción energética.

- a) Cita el orgánulo responsable de la producción energética en células animales. Dibuja un esquema en el que figure su estructura y sus componentes, y explica cómo se produce la génesis de este orgánulo.
- b) Cita otro orgánulo específico, responsable también de la producción energética en células vegetales. Dibuja un esquema en el que figure su estructura y sus componentes, y explica cómo se produce su génesis.
- a) El orgánulo responsable de la producción de energía en las células animales es la mitocondria. La génesis o formación de nuevas mitocondrias se realiza a partir de **mitocondrias preexistentes** que, después de haber aumentado de tamaño, se dividen por bipartición. Antes de dividirse, se produce la replicación de su ADN; luego, la mitocondria se divide por la mitad, dando lugar a dos mitocondrias más pequeñas que crecen hasta alcanzar el tamaño normal.
- b) Los cloroplastos son, junto a las mitocondrias, los responsables de la producción de energía en las células vegetales. Los nuevos cloroplastos pueden originarse de dos maneras distintas:
- Por división de cloroplastos funcionales preexistentes.
 - Por diferenciación de orgánulos precursores de pequeño tamaño que se multiplican por sí mismos por división y que se llaman **proplastos**.

- 9.25. Las células del páncreas tienen gran número de ribosomas, mientras que las células del corazón tienen gran número de mitocondrias.**

Da una explicación razonada a estos hechos.

Las **células pancreáticas** tienen numerosos ribosomas porque están especializadas en la síntesis de proteínas, como las que forman parte del jugo pancreático, tripsina, lipasa pancreática y quimotripsina. Además de estas enzimas, también sintetizan insulina y glucagón, dos hormonas de naturaleza proteica que regulan la cantidad de azúcar en sangre.

Las **células cardíacas** tienen numerosas mitocondrias, ya que son necesarias para producir la energía con la que sintetizar ATP, que luego se va a utilizar en su contracción y de esta manera hacer posible el movimiento del corazón.

- 9.26. La división celular termina con la citocinesis, que se desarrolla de manera distinta en las células animales que en las vegetales. Explica, con detalle, el proceso de citocinesis en aquel tipo de células en las que interviene el aparato de Golgi.**

Las células en cuya citocinesis interviene el aparato de Golgi son las células vegetales.

En las células vegetales no existe estrangulamiento del citoplasma. A la altura de la placa ecuatorial se forma un tabique de separación entre las dos células hijas, denominado **fragmoplasto**. Se forma por fusión de las vesículas del aparato de Golgi –que contienen los componentes que originan la pared celular– y los restos de los microtúbulos que formaban el huso acromático. El fragmoplasto no se cierra completamente, sino que se halla perforado por finos puentes citoplasmáticos o **plasmodesmos** que aseguran la comunicación entre las dos células hijas.

- 9.27. Las neuronas transmiten el impulso nervioso transportando iones cargados como el sodio o el potasio a través de la membrana plasmática. Sabiendo que la membrana es impermeable a moléculas con carga.**

- ¿Qué tipo de moléculas de la membrana se encargan de este proceso de transporte?**
- Explica la diferencia entre canal y molécula transportadora.**
- ¿Cómo se llama el transporte en contra de gradiente de concentración? ¿Qué se requiere para realizar el transporte en contra de gradiente?**

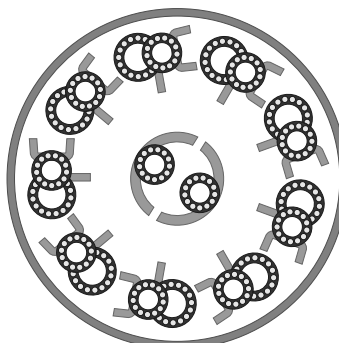
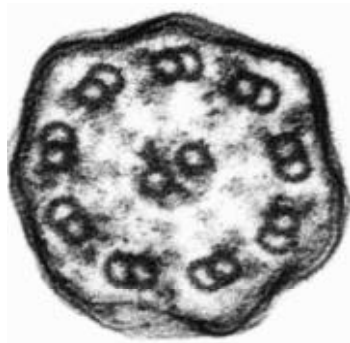
- Del proceso de transporte de iones cargados, como el sodio o el potasio, a través de la membrana celular se encargan **proteínas transportadoras**, como la bomba de sodio-potasio, que se hallan en la membrana plasmática.
- El canal está formado por dos proteínas transmembrana que dejan un pequeño hueco por donde pasan, a favor de gradiente electroquímico, iones y pequeñas moléculas con carga.
- Las moléculas transportadoras son proteínas integrales que se unen a la molécula que se va a transportar, como por ejemplo, glúcidos, nucleótidos, aminoácidos, etc., y sufren cambios conformacionales que permiten la transferencia de la molécula de un lado a otro de la membrana. El transporte de estas moléculas se realiza a favor de gradiente.

El transporte en contra de gradiente se llama **transporte activo**. Para realizar el transporte en contra de gradiente se requiere energía en forma de ATP.

Hialoplasma, citoesqueleto y estructuras no membranosas de la célula

ACTIVIDADES PAU RESUELTAS

- 10.1. La microfotografía y el dibujo corresponden a un corte transversal de la prolongación de una célula eucarionte.



- ¿De qué estructura se trata?
- ¿En qué función biológica está implicada?
- ¿Cuál es su naturaleza química?

Actividad resuelta en el libro del alumno.

- 10.2. Los ribosomas son orgánulos muy importantes en las células.

- ¿Cuál es la función de los ribosomas?
- ¿Dónde se localizan?
- ¿Qué es un polisoma?

Actividad resuelta en el libro del alumno.

- 10.3. La pared vegetal. Estructura y función.

Actividad resuelta en el libro del alumno.

ACTIVIDADES

- 10.4. ¿Existe alguna relación entre el estado físico del citosol y el movimiento ameboide? Razona la respuesta.

Sí, existe relación entre el estado físico del citosol y el movimiento ameboide. El citosol es un líquido acuoso que contiene entre un 70 y un 80% de agua. La variación que existe en el citosol, en cuanto a su contenido en agua, se debe a que puede presentar dos estados físicos con diferente consistencia: el **estado de gel**, que posee una consistencia viscosa, y el **estado de sol**, de consistencia fluida.

Los cambios de estado de sol a estado de gel y viceversa se producen según las necesidades metabólicas de la célula, y representan un papel muy importante en la locomoción celular y, particularmente, en el movimiento ameboide.

10.5. Define los principales procesos metabólicos que se producen en el citoplasma.

El medio intracelular está formado por una solución líquida denominada **hialoplasma** o **citosol** y unos orgánulos que pueden o no estar delimitados por membranas. El conjunto formado por el citosol y todos los orgánulos (a excepción del núcleo) recibe el nombre de **citoplasma**.

Por esta razón, todos los procesos metabólicos —excepto la replicación del ADN y la síntesis del ARN (que tienen lugar en el núcleo)— ocurren en el citoplasma, tanto en el citosol como en los orgánulos citoplasmáticos.

En los **orgánulos citoplasmáticos** tienen lugar la síntesis de proteínas (ribosomas), la síntesis de lípidos (retículo endoplásmico liso), la respiración celular (mitocondrias), la fotosíntesis (cloroplastos), la digestión celular (lisosomas) y otras reacciones metabólicas.

Todos estos procesos están complementados por una serie de reacciones metabólicas básicas, que suelen ser previas a las anteriores, más complejas. Estas reacciones se llevan a cabo en el citosol gracias a las proteínas citosólicas, un conjunto de enzimas fundamentales en el mantenimiento de la vida celular. Los procesos en los que intervienen son:

- **Glucogenogénesis:** reacciones de síntesis del glucógeno.
- **Glucogenolisis:** conjunto de procesos por los que se degrada el glucógeno.
- **Biosíntesis** de los aminoácidos y su activación para la síntesis de proteínas.
- **Modificaciones** que sufren las proteínas recién formadas.
- **Biosíntesis** de los ácidos grasos.
- Muchas de las reacciones en las que intervienen el **ATP** y el **ARNt**.

Para que todos estos procesos se realicen es imprescindible la comunicación entre el nucleoplasma y el citosol, que es posible gracias a los poros de la membrana nuclear.

10.6. Hialoplasma: ultraestructura, composición química y actividades fisiológicas. Microtúbulos y microfilamentos.

En las células eucarióticas, el citosol ocupa un volumen entre el 50 y el 80% del total de la célula. Al tratarse fundamentalmente de un líquido, se puede separar del resto de los componentes celulares por centrifugación diferencial de células aisladas y rotas. Tras esta centrifugación, en la parte superior de los tubos utilizados se obtiene una porción denominada sobrenadante o fracción soluble, que se corresponde con el citosol. **El citosol es un líquido acuoso** y, como tal, carece de estructura. Contiene entre un 70 y un 80% de agua, mientras que el resto de los componentes que están en solución son, en su mayoría, de naturaleza proteica (30%-20%); aunque también contiene iones y moléculas orgánicas de pequeño tamaño, como aminoácidos, glúcidos y ATP.

La variación que existe en el citosol, en cuanto a su contenido en agua, se debe a que puede presentar dos estados físicos con diferente consistencia: el estado de **gel**, que posee una consistencia viscosa, y el estado de **sol**, de consistencia fluida.

Los cambios de estado de sol a estado de gel y viceversa se producen según las necesidades metabólicas de la célula, y representan un papel muy importante en la locomoción celular y, particularmente, en el movimiento ameboide.

Actividades fisiológicas del hialoplasma. El citosol actúa como **regulador del pH intracelular**. Además, en este compartimento es donde se realizan la mayoría de las **reacciones metabólicas celulares**; aunque un gran número de ellas requiere también la participación de orgánulos citoplasmáticos específicos, como las mitocondrias, los plastos o los ribosomas.

Las proteínas citosólicas están representadas por un conjunto de enzimas fundamentales en el mantenimiento de la vida celular, debido a su intervención en diversos procesos metabólicos:

- **Glucogenogénesis**, en el que se producen las reacciones de síntesis del glucógeno.
- **Glucogenolisis**, que reúne los procesos de degradación del glucógeno.
- **Biosíntesis** de los aminoácidos y su activación para la síntesis de proteínas.
- **Modificaciones** que sufren las proteínas recién formadas.
- **Biosíntesis** de los ácidos grasos.
- Muchas de las reacciones en las que intervienen el **ATP** y el **ARNt**.

Para que todos estos procesos se realicen, es imprescindible la comunicación entre el nucleoplasma y el citosol, que es posible gracias a los poros de la membrana nuclear.

Los **microtúbulos** y los **microfilamentos** forman parte del citoesqueleto; pueden formar estructuras reticulares más o menos complejas, y con ello contribuir a la morfología celular, a la organización interna de los orgánulos citoplasmáticos y al movimiento celular.

Los microfilamentos se encuentran en las células eucarióticas, y son imprescindibles para el desarrollo de los **movimientos celulares**. Químicamente, están formados por una proteína, la **actina**, y son estructuras de unos 7 nm de diámetro con extremos de diferente polaridad, y que pueden polimerizarse y despolimerizarse con facilidad. Son formaciones cilíndricas, uniformes y rectilíneas, que se encuentran dispersas por el citoplasma o formando parte de **cilios, flagelos y centriolos**. Se trata de estructuras dinámicas, ya que se pueden formar o destruir según las necesidades fisiológicas de la célula. Intervienen en las siguientes funciones: contracción muscular, formación del esqueleto mecánico de las microvellosidades, cariocinesis celular y movimiento ameboide.

Los microtúbulos tienen longitud variable y un diámetro aproximado de 24 nm. Al seccionarlos transversalmente, aparecen formados por trece subunidades o protofilamentos, dejando una cavidad central. Entre las funciones de los microtúbulos, destacan por su importancia la formación del huso mitótico, el transporte intracelular de vesículas a través del citoplasma y el movimiento de la célula mediante la formación de pseudópodos; constituyen, además, el almacén de los cilios y de los flagelos.

10.7. En relación con el citoesqueleto, contesta brevemente.

- a) ¿Qué funciones cumplen los microfilamentos?
 - b) ¿Cuál la función de los microtúbulos?
 - c) Cita dos procesos celulares que, presumiblemente, se verían alterados si aplicásemos a una célula un tóxico que dañase al citoesqueleto.
-
- a) Los microfilamentos intervienen en las siguientes funciones: contracción muscular, formación del esqueleto mecánico de las microvellosidades, cariocinesis celular y movimiento ameboide.
 - b) Entre las funciones de los microtúbulos, destacan por su importancia: la formación del huso mitótico, el transporte intracelular de vesículas a través del citoplasma y el movimiento de la célula mediante la formación de pseudópodos; además, constituyen el almacén de los cilios y de los flagelos.
 - c) Si a una célula se le aplicase un tóxico que dañase el citoesqueleto, podrían verse afectadas estas dos funciones celulares: la movilidad y la cariocinesis. En ambos procesos intervienen estructuras que forman parte del citoesqueleto; los microtúbulos lo hacen en la **movilidad celular**, y los microfilamentos lo hacen en la **cariocinesis**.

10.8. En el citoesqueleto hay tres tipos de filamentos. En un momento del ciclo celular, a partir de ellos, se forma una estructura: el huso.

- a) Indica en qué tipo de células (eucarióticas o procarióticas) se puede encontrar el citoesqueleto.
 - b) ¿Por qué tipo de filamentos está constituido el huso?
 - c) ¿Cuál es la función del huso?
-
- a) El citoesqueleto es una estructura propia de las células eucarióticas.
 - b) El huso mitótico está constituido por microtúbulos.
 - c) La función del huso mitótico es la de repartir los cromosomas de forma equitativa a las células hijas durante la mitosis.

10.9. Explica la estructura de los microtúbulos, e indica tres componentes celulares en los que participan. Cita los otros dos componentes del citoesqueleto.

Estructura de los microtúbulos. Son formaciones cilíndricas, uniformes y rectilíneas, que se encuentran dispersas por el citoplasma o formando parte de cilios, flagelos y centriolos. Se trata de estructuras dinámicas, ya que se pueden formar o destruir según las necesidades fisiológicas de la célula.

Los microtúbulos tienen longitud variable y un diámetro aproximado de 24 nm. Al seccionarlos transversalmente, aparecen formados por trece subunidades o protofilamentos, dejando una cavidad central.

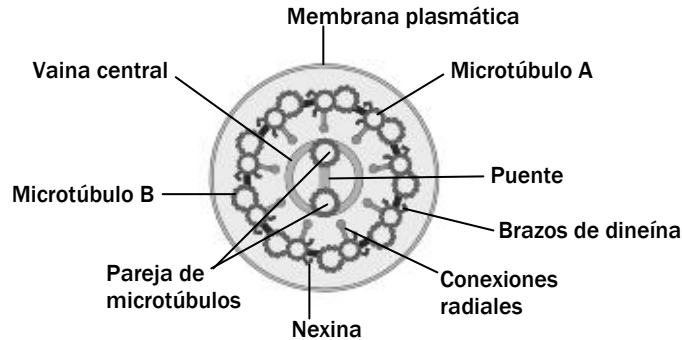
Químicamente, los microtúbulos están formados por una proteína llamada **tubulina**. Existen dos tipos de tubulinas: la α -tubulina y la β -tubulina. Las moléculas de α -tubulina y β -tubulina se asocian formando dímeros; a su vez, estos dímeros se unen para formar cada uno de los trece **protofilamentos** que, finalmente, constituyen el microtúbulo.

Los microtúbulos forman parte del huso mitótico, de los cilios y de los flagelos.

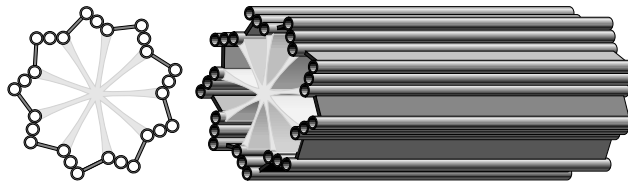
Además de los microtúbulos, los otros dos componentes del citoesqueleto son los **microfilamentos de actina** y los **filamentos intermedios**.

10.10. ¿Cuál es el papel de los centriolos? Haz un esquema del corte transversal de un cilio a la altura del axonema.

Los centriolos intervienen en la formación de los nuevos centriolos y de los corpúsculos basales de los cilios.



10.11. En el siguiente esquema se muestra una pareja de centriolos, estructura también conocida como diplosoma.



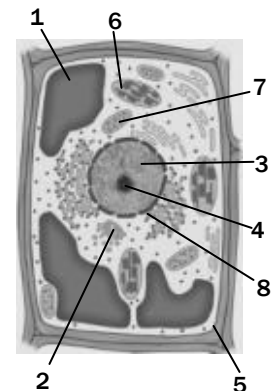
- ¿Qué tipo de células presentan esas estructuras?
 - ¿Qué papel representa en la división celular?
 - ¿Qué relación presentan estas estructuras con los cilios y flagelos?
 - La colchicina es una sustancia que despolimeriza los microtúbulos. ¿Qué consecuencias tendría para una célula en división la acción de la colchicina?
- La estructura mostrada en el esquema es propia de las **células animales**.
 - Los centriolos mostrados en el esquema son centros organizadores de los microtúbulos, y de ellos derivan los microtúbulos que forman el huso mitótico.
 - Los cilios y flagelos son estructuras formadas por microtúbulos que se derivan de los centriolos.
 - La acción de la colchicina detiene la **división celular**, ya que despolimeriza los microtúbulos y no puede formarse el huso mitótico.

10.12. La figura representa, esquemáticamente, una célula vegetal en la que se observan algunas estructuras y orgánulos.

- Indica el nombre de las estructuras numeradas.
- Estructura del centriolo.
- Las células de las plantas superiores no tienen centriolos ni cilios o flagelos. *Chlamydomonas* es un alga unicelular que sí tiene flagelos. ¿Esperarías que también tuviera centriolos? Razona tu respuesta.

- Las estructuras numeradas en el dibujo son las siguientes:

- Vacuolas.
- Complejo de Golgi.
- Cromatina.
- Núcleo.
- Pared celular.
- Cloroplasto.
- Mitocondria.
- Retículo endoplásmico rugoso.



- b) Cada centriolo es una estructura cilíndrica de 0,2 μm de diámetro, cuyas paredes están formadas por nueve grupos de tres microtúbulos o tripletes que forman la denominada estructura 9 + 0.

Los tres microtúbulos que constituyen cada triplete están estrechamente asociados los unos a los otros, y ligeramente desplazados con respecto a la generatriz del cilindro. Se denominan **microtúbulo A** (el más interno y más próximo al eje del cilindro), **microtúbulo C** (el más externo) y **microtúbulo B** (situado entre los anteriores). Los tripletes que se encuentran adyacentes están unidos entre sí mediante una proteína, la nexina.

El microtúbulo A es completo; sin embargo, los microtúbulos B y C están formados por tan solo diez protofilamentos. Cada uno de estos microtúbulos comparte tres protofilamentos con el anterior, el A o el B, respectivamente.

En el centriolo se distinguen un extremo proximal cercano al núcleo celular, y un extremo distal dirigido hacia la periferia. En el interior de la región proximal del centriolo se observa con el microscopio electrónico un material denso opaco, del que salen unas fibrillas radiales dirigidas hacia la cara interna de los microtúbulos A. Esta estructura proporciona una imagen, conocida como “**rueda de carro**”.

El centriolo forma parte del centrosoma, estructura no membranosa presente en todas las células animales susceptibles de dividirse. El centrosoma consta de un cuerpo central formado por dos centriolos, rodeados por un material pericentriolar denso y amorfo. En la actualidad, al conjunto de estos dos componentes se le llama **centro organizador de microtúbulos** (COMT).

Los centriolos intervienen en la formación de los nuevos centriolos y de los corpúsculos basales de los cilios y de los flagelos.

- c) Teniendo en cuenta que *Chlamydomonas* es un alga unicelular flagelada, es de esperar que posea centriolos, ya que estos constituyen los corpúsculos basales de cilios y flagelos. Así pues, tiene dos flagelos, cada uno con su respectivo corpúsculo basal. Al iniciarse la mitosis, los flagelos son reabsorbidos y sus corpúsculos basales migran a una aposición cercana al núcleo, donde organizan el huso mitótico. Después de la mitosis, los centriolos se convierten de nuevo en corpúsculos basales, y los flagelos reaparecen.

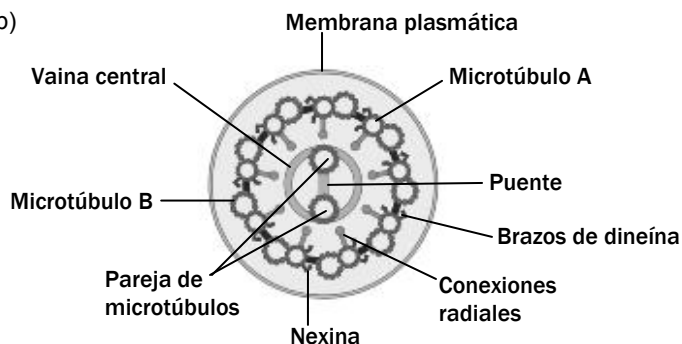
10.13. Respecto a los cilios.

a) Cita sus diferentes zonas estructurales.

b) Dibuja un esquema rotulado de un corte transversal de su tallo, indicando sus elementos.

- a) Desde un punto de vista estructural, los cilios están formados por las siguientes zonas: tallo o axonema, zona de transición, corpúsculo basal y raíces ciliares.

b)



10.14. Relaciona los términos cilios, flagelos y centriolos. ¿En qué función biológica están implicados?

Los **centriolos** intervienen en la formación de los corpúsculos basales de **cilios** y de **flagelos**. Los cilios y flagelos son expansiones citoplasmáticas filiformes móviles localizadas en la superficie libre de algunas células. Los cilios son más cortos y muy numerosos, mientras que los flagelos son largos y escasos; generalmente, solo existe uno.

Su función está relacionada con el **movimiento**, ya que permiten que una célula se pueda desplazar activamente a través de un medio líquido, como es el caso de algunos protozoos o de los espermatozoides. También pueden provocar que sean el líquido o las partículas extracelulares situadas sobre la superficie ciliar las que se muevan. Es lo que ocurre en las células que recubren las trompas de Falopio y en las células epiteliales ciliadas, tanto de la tráquea como de los bronquios.

Las tres estructuras están formadas por microtúbulos lábiles, que son **polímeros de tubulina** que pueden polimerizar cuando son necesarios, y disgregarse cuando ya no hacen falta.

Los centríolos están formados por nueve triplete unidos entre sí mediante una proteína, la nexina, formando un cilindro. No existen túbulos centrales, por lo que se denomina estructura 9 + 0. La estructura interna del centríolo varía de la zona proximal a la distal. En el interior de la **región proximal** se observa con el microscopio electrónico un material denso opaco, del que salen unas fibrillas radiales dirigidas hacia la cara interna de los túbulos A. Esta estructura proporciona una imagen, conocida como **rueda de carro**.

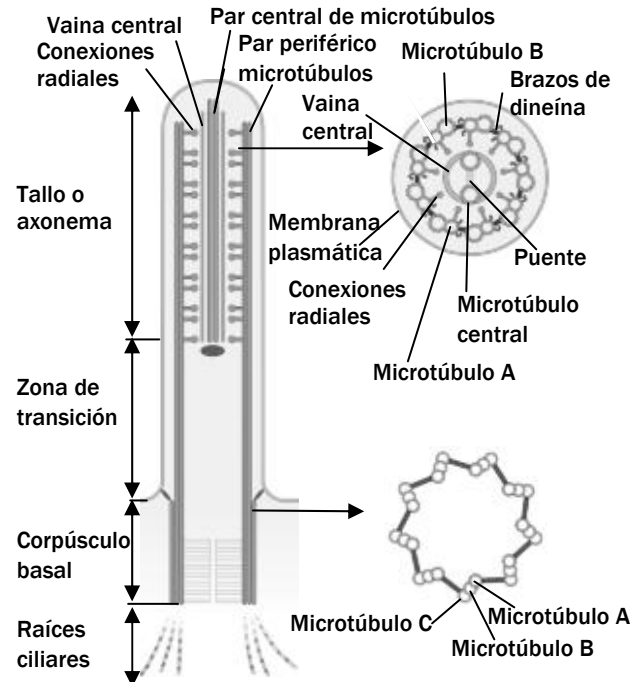
Los cilios y flagelos poseen ambos la misma estructura. Puesto que son polimerizaciones a partir de los centríolos, se distinguen varias zonas en ellos. El **corpúsculo basal** es la zona de enraizamiento de cilios y flagelos, y, por tanto, es la misma estructura que los centríolos, esto es, 9 + 0 en rueda de carro. Por encima se encuentra la **zona de transición**, en la que aparece la **placa basal**, que conecta cilios y flagelos con la membrana plasmática. Por fin, el **tallo o axonema**, en el que aparecen un par de túbulos centrales, formando una estructura del tipo 9 + 2.

10.15. ¿Qué tipo de estructura celular se representa en la imagen? ¿A partir de qué otra estructura celular se forma? Completa los datos que faltan, y explica las funciones que tiene esta estructura.

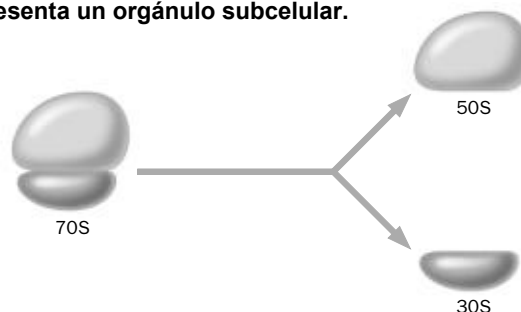
La estructura celular representada en la imagen es un **cilio**. Los cilios, al igual que los flagelos, se forman a partir de los centríolos.

Los datos se muestran completos en la figura que aparece al lado de la del propio enunciado.

La función de los cilios y flagelos está **relacionada con el movimiento**, ya que permiten que una célula se pueda desplazar activamente a través de un medio líquido, como en el caso de algunos protozoos o de los espermatozoides. También pueden provocar que sea el líquido o las partículas extracelulares situadas sobre la superficie ciliar las que se muevan; esto es lo que ocurre en las células que recubren las trompas de Falopio y en las células epiteliales ciliadas, tanto de la tráquea como de los bronquios.



10.16. El siguiente esquema representa un orgánulo subcelular.



- ¿Qué orgánulo es el que aparece en la figura? ¿Qué función desempeña en la célula?
- ¿Dónde se localiza dentro de la célula? ¿Cuáles son los constituyentes básicos de esta estructura?
- Razona si la siguiente afirmación es verdadera o falsa: "el orgánulo subcelular de la imagen está dotado de una membrana análoga a la plasmática".

a) El orgánulo que aparece en la figura es un **ribosoma**; concretamente, son ribosomas de células procarióticas, ya que tienen un coeficiente de sedimentación de 70 S. Para ser ribosomas de células eucarióticas, su coeficiente de sedimentación tendría que ser de 80 S. Es en los ribosomas donde se realiza la **síntesis de proteínas**.

b) En las células procarióticas, se localizan **libres en el hialoplasma** y en la matriz de las **mitocondrias** (mitorribosomas) y de los **cloroplastos** (plastirribosomas).

Los ribosomas son partículas compactas, formadas en partes iguales por **ARNr** y **proteínas**, es decir, son **ribonucleoproteínas**.

c) La afirmación es falsa, ya que los ribosomas son orgánulos no membranosos.

10.17 Explica la relación entre el organizador nucleolar, el nucléolo, los ribosomas y la síntesis proteica.

La **síntesis de proteínas** es un proceso que se realiza en los **ribosomas**, que se encuentran localizados en diferentes lugares del citoplasma celular. Los ribosomas, constituidos por ARNr y proteínas, se forman en el **nucléolo**, estructura localizada en el interior del núcleo. Es en el nucléolo donde se realiza la síntesis del ARNr y el procesamiento y empaquetamiento de subunidades ribosomales que posteriormente son exportadas al citosol, saliendo del núcleo a través de los poros nucleolares. La información necesaria para que se forme el nucléolo se halla en el llamado **organizador nucleolar**, una porción del cromosoma situada en la constricción secundaria donde se localiza la cromatina que lleva información para la síntesis del ARN nucleolar.

10.18. Los ribosomas desempeñan un papel crucial con una gran repercusión en toda la maquinaria celular.

Copia la tabla adjunta y selecciona solo lo que corresponda de cada casilla.

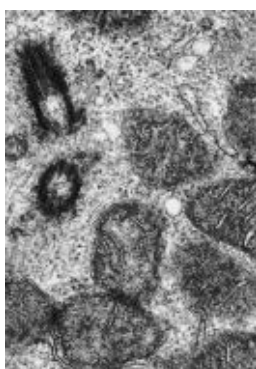
RIBOSOMAS						
Membrana plasmática	Componentes		Localización		Organización Celular	Función Síntesis
			Libres en	Adheridos al		
Carece / Presenta	ARN / ATP	Proteínas / Lípidos	Nucleoplasma / Citoplasma	Retículo endoplásmico / Aparato Golgi	Procariótica / Acelular	Proteica / Lipídica

La tabla quedaría de la siguiente manera:

RIBOSOMAS						
Membrana plasmática	Componentes		Localización		Organización celular	Función Síntesis
			Libres en	Adheridos al		
Carece	ARN	Proteínas	Citoplasma	Retículo endoplásmico	Acelular	Proteica

10.19. Identifica los orgánulos de las fotografías A y B. Haz un esquema de estos orgánulos, e indica la estructura de cada uno de ellos.

Estos orgánulos tienen ADN y ribosomas. ¿Qué significado tiene este hecho?



La figura de la izquierda representa una **mitocondria**, mientras que la de la derecha representa un **cloroplasto**.

Estructura de una mitocondria. Al microscopio electrónico, las mitocondrias se observan formadas por dos membranas que delimitan dos cámaras:

- **Membrana mitocondrial externa.** Limita por completo a la mitocondria. Su estructura es la misma que la del resto de las membranas celulares: una doble capa lipídica y proteínas asociadas. Contiene un 40% de lípidos, siendo el colesterol más abundante que en la membrana interna, y un 60% de proteínas. Entre las proteínas, hay enzimas implicadas en el metabolismo de los lípidos y proteínas integrales, denominadas porinas, que forman en la membrana grandes canales no selectivos. Gracias a las porinas, la membrana externa es especialmente permeable y permite que ciertas moléculas de gran tamaño pasen libremente hacia la cámara externa.

- **Membrana mitocondrial interna.** Presenta unos repliegues hacia la cámara interna denominados crestas mitocondriales, que suelen disponerse transversalmente al eje mitocondrial, pero que también se observan dispuestas longitudinalmente. Contiene un 20% de lípidos, siendo rica en un fosfolípido poco común, la cardiolipina (difosfatidilglicerol), y apenas se encuentra colesterol. El contenido proteico es del 80%. Se han descrito más de 50 proteínas en esta membrana; la mayoría, hidrófobas. Entre ellas se encuentran: ATP-sintetasa, proteínas de la cadena respiratoria, enzimas de la β -oxidación de los ácidos grasos, enzimas de la fosforilación oxidativa y transferasas.
- **Partículas elementales F.** Se encuentran sobre la cara externa de las crestas, orientadas hacia la matriz y separadas entre sí unos 10 nm. Son complejos de ATP-sintetasa, y constan de una cabeza esférica o complejo F_1 , que es una proteína globular constituida por tres subunidades (α , β y γ), un pedúnculo o factor F_0 , constituido por tres o cuatro polinucleótidos, y una base hidrófila embutida en la membrana. Todo este complejo se encuentra también en la membrana de los tilacoides de los cloroplastos y en la membrana plasmática de las bacterias.
- **Cámara interna o matriz mitocondrial.** Material semifluido con consistencia de gel, debido a la presencia de una elevada concentración de proteínas hidrosolubles (500 mg/mL). Además de un 50% de agua, la matriz mitocondrial contiene:
 - Moléculas de ADN mitocondrial, que en la mayoría de las células de los mamíferos es circular, bicatenario y diferente del ADN nuclear.
 - Moléculas de ARN: ARN ribosomal formando los mitorribosomas, distintas del resto de los ribosomas celulares; ARNm y ARNt necesarios para la síntesis de proteínas.
 - Enzimas necesarias para la replicación, transcripción y traducción del ADN mitocondrial.
 - Enzimas implicadas en el ciclo de Krebs y en la β -oxidación de los ácidos grasos.
 - Iones de calcio, fosfato y ribonucleoproteínas.
- **Cámara externa o espacio intermembrana.** Situada entre las membranas externa e interna, contiene enzimas que utilizan el ATP para fosforilar el AMP, adenilato quinasa, u otros nucleótidos como la nucleótido difosfoquinasa.

Estructura de un cloroplasto. Al microscopio óptico pueden ser observados, en fresco y sin teñir, y aparecen generalmente como unos **orgánulos discoidales** en los que, ocasionalmente, se distinguen en su interior unos cuerpos densos o **grana**. Se encuentran localizados en el citoplasma. No tienen un lugar fijo, aunque frecuentemente se encuentran entre la pared vacuolar y la membrana plasmática. Están sometidos a movimientos de ciclosis debido a las corrientes citoplásmicas, pero también pueden presentar movimientos activos de tipo ameboide o contráctil relacionados con la iluminación.

Su **morfología** es diversa. En los vegetales superiores suelen ser ovoides o lenticulares, pero en algunas algas tienen formas diferentes; por ejemplo, *Spirogyra* posee uno o dos cloroplastos en forma de hélice, mientras que *Chlamydomonas* posee uno solo en forma de copa. En cuanto a su número, lo normal es que sea de 20 a 40 por célula parenquimática clorofílica, siendo un caso extremo el de las células de la hoja del *Ricinus*, con cerca de 400 000 cloroplastos por milímetro cuadrado de superficie.

El **tamaño** varía ampliamente de unas especies a otras, pero, por término medio, suelen medir de 2 a 6 μm de diámetro y de 5 a 10 μm de longitud. En las plantas de umbría, los cloroplastos son de mayor tamaño.

Las mitocondrias y los cloroplastos son estructuras membranosas que tienen ADN y ribosomas, lo cual implica la posibilidad de poder sintetizar sus propias proteínas, diferentes a las del resto de la célula. Aun con esta posibilidad, la mayor parte de sus proteínas son sintetizadas en el citoplasma celular.

10.20. Describe la estructura de los ribosomas eucarióticos. Indica su composición química, lugar en el que se forman, su función y localización celular. Nombra dos orgánulos celulares que contengan ribosomas en su interior.

En 1959, Slater y Hall demostraron que el ribosoma estaba formado por dos subunidades, y en 1970, Leake elaboró un modelo tridimensional, según el cual cada ribosoma consta de dos subunidades desiguales –una grande y otra pequeña– separadas por una hendidura transversal, perpendicular al eje mayor del ribosoma. Cada una de las subunidades se caracteriza por tener un coeficiente de sedimentación distinto. Los ribosomas de las células eucarióticas miden 32 nm de longitud y 22 nm de anchura, y tienen un coeficiente de sedimentación de 80 S.

Los ribosomas son partículas compactas, formadas en partes iguales por **ARNr** y **proteínas**, es decir, son **ribonucleoproteínas** y se forman en el **nucléolo**. Intervienen en la síntesis de proteínas uniendo los aminoácidos en un orden predeterminado. Las proteínas sintetizadas por los ribosomas que se encuentran libres en el citoplasma permanecen en el citosol. Las que son sintetizadas por los ribosomas adheridos a la membrana del retículo endoplásmico pasan a la luz del retículo, para incorporarse a otros orgánulos intracelulares o ser secretadas al exterior celular.

Se localizan:

- **Libres en el citoplasma**, ya sea aislados o unidos entre sí formando polisomas o polirribosomas; en este último caso, la unión se realiza mediante un filamento de ARNm de 10 Å de diámetro.
- **Adheridos a la cara externa** de la membrana del retículo endoplásmico rugoso o a la cara citoplásmica de la membrana nuclear externa.
- **Libres en la matriz de las mitocondrias** (mitorribosomas) y de los cloroplastos (plastirribosomas), con características semejantes a los ribosomas de las células procarióticas.

Los dos orgánulos celulares que tienen en su interior ribosomas son las mitocondrias y los cloroplastos.

10.21. Explica cuáles son las diferencias entre vacuolas e inclusiones.

La principal diferencia entre vacuolas e inclusiones es que las primeras son **orgánulos membranosos** y las segundas son sustancias químicas localizadas en el citoplasma.

- Las **vacuolas** son orgánulos celulares a modo de cisternas membranosas, más características y abundantes en las células vegetales, pero no exclusivas de ellas. Constan de una membrana que las delimita del resto del citoplasma y que recibe el nombre de membrana tonoplásmica o tonoplasto. En el interior se encuentra el llamado jugo vacuolar amorfo, cuyo principal componente es el agua.
- Las **inclusiones** son sustancias inertes de naturaleza hidrófoba, que pueden localizarse en el citoplasma. Muchas de ellas, particularmente las cristalizadas, se observan con el microscopio óptico. Se encuentran en todas las células eucarióticas, tanto en las vegetales como en las animales, siendo las inclusiones más comunes las de almidón y las de glucógeno.

10.22. ¿Qué son las inclusiones citoplasmáticas? Nombra los distintos tipos de inclusiones citoplasmáticas, y describe las características de las más comunes; tanto de las que se localizan en las células animales como de las que lo hacen en las células vegetales.

Las **inclusiones citoplasmáticas** son sustancias inertes de naturaleza hidrófoba que pueden localizarse en el citoplasma. Muchas de ellas, particularmente las cristalizadas, se observan con el microscopio óptico.

Los tipos de inclusiones citoplasmáticas son: **inclusiones cristalinas e inclusiones hidrófobas**.

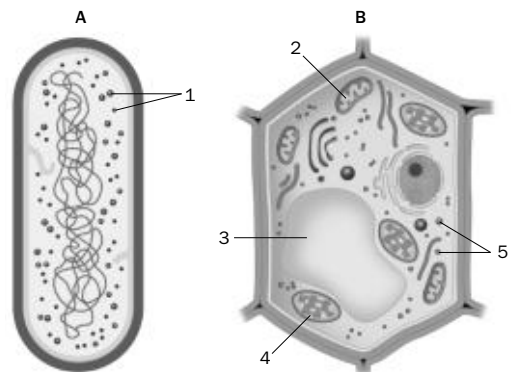
Se encuentran en todas las células eucarióticas, tanto en las vegetales como en las animales, siendo las inclusiones más comunes las de almidón y las de glucógeno.

En las células vegetales, las más abundantes son las de **almidón**, que son inclusiones hidrófobas localizadas en el seno de grandes vacuolas o dispersas por el citoplasma. Entre los ejemplos más representativos se encuentran los granos de almidón, muy abundantes en las células parenquimáticas de reserva; las gotas de grasa, en las células de las semillas de las oleaginosas; los aceites esenciales, mezclas de componentes terpénicos localizados en las células del pericarpio de frutos como la naranja, el limón, la mandarina, etc.; y el látex, que es una sustancia compleja característica del árbol del caucho, *Hevea brasiliensis*, de la que deriva el caucho natural.

En las células animales, las más abundantes son las de **glucógeno**. Se localizan, fundamentalmente, en las células hepáticas y en las musculares. Las células animales utilizan el glucógeno acumulado en el hígado como principal fuente de glucosa, pero ello no impide que también pueda ser usado el acumulado en las inclusiones citoplasmáticas; este glucógeno es consumido durante la contracción muscular. La síntesis de glucógeno a partir de la glucosa y su degradación son procesos metabólicos en los que intervienen diversas enzimas, que se encuentran unidas a la superficie de los gránulos de glucógeno.

10.23. El dibujo representa dos tipos de células.

- ¿Qué diferencias estructurales existen entre una célula procariótica y una eucariótica? ¿Dónde encuadrarías las diferencias del dibujo?
- ¿Qué es la pared celular? ¿La posee alguna de estas células?



a) **Diferencias estructurales** entre una célula procariótica y una eucariótica:

- Las células procarióticas carecen de verdadero núcleo, y su ADN es circular.
- Las células procarióticas tienen mesosomas, y las eucarióticas no.
- Las células procarióticas carecen de muchos orgánulos citoplasmáticos que sí tienen las eucarióticas, como mitocondrias, aparato de Golgi o retículo endoplásmico.
- Las células procarióticas no poseen citoesqueleto, y, por eso, carecen de movilidad intracelular.
- Todos los organismos procariotas tienen pared celular, lo que no ocurre en todas las células eucarióticas, sino solo en las vegetales.
- En general, las células procarióticas son más pequeñas que las eucarióticas. Así, por ejemplo, el tamaño de una bacteria es similar al que puedan tener las mitocondrias o los cloroplastos.

La célula A es una **célula procariótica**, mientras que la B es una **célula eucariótica**; concretamente, una célula vegetal.

- b) La pared celular es una cubierta externa situada sobre la membrana plasmática, que actúa como exoesqueleto; es gruesa y rígida, y se localiza tanto en las células procarióticas como en las vegetales, pero no así en los animales.

10.24. Compara la membrana plasmática con la pared celular.

La **membrana plasmática** representa el límite entre el medio extracelular y el intracelular. Está presente en todas las células procarióticas y eucarióticas.

La **pared celular** es una cubierta externa que actúa como exoesqueleto; es gruesa y rígida, y la desarrollan las células vegetales sobre la membrana plasmática, así como las bacterias, aunque su composición es diferente.

La membrana plasmática y la pared celular presentan diferencias en su composición química y su función biológica. Las diferencias estructurales entre ambas son consecuencia de las dos anteriores.

La membrana plasmática está compuesta de **fosfolípidos** y **esteroides**, formando bicapas lipídicas. Estos lípidos se distribuyen en la membrana de una manera asimétrica y heterogénea, existiendo zonas más o menos fluidas según el tipo de lípidos. También contiene **proteínas**, que confieren a la membrana sus funciones específicas y son características de cada especie. Además, poseen **oligosacáridos** unidos covalentemente a los dominios extracelulares de las proteínas y de los lípidos, formando glicoproteínas y glucolípidos. Su distribución es asimétrica, y solo se localizan en la cara externa de la membrana plasmática.

La **pared celular** de todas las células eucarióticas vegetales está formada principalmente por polisacáridos. En los hongos, el polisacárido es la **quitina**, y en la mayoría de las algas y plantas superiores es la celulosa. La **celulosa** es un polímero lineal de glucosa que se asocia en paralelo con otros, formando microfibrillas de gran longitud. Estas microfibrillas se encuentran en la pared celular embutidas en una matriz de naturaleza proteica con otros dos polisacáridos, la **hemicelulosa** y la **pectina**. La pared celular de las bacterias está compuesta por polisacáridos y péptidos; concretamente, por la **mureína**, un peptidoglucano que es un heteropolisacárido formado por dos derivados de azúcares y un tetrapéptido.

Las principales funciones de la membrana plasmática son:

- Actúa como una **barrera semipermeable**, permitiendo el paso, mediante mecanismos diversos, de determinadas sustancias a favor o en contra de gradiente de concentración, osmótico o eléctrico.
- Desempeña un papel importante en la **transducción de señales** o **respuesta** de la célula a estímulos externos, gracias a ciertas moléculas denominadas receptores de membrana. Estas moléculas, de naturaleza generalmente proteica, reconocen de forma específica a una determinada molécula-mensaje o ligando. Las células dotadas con receptores de membrana reciben el nombre de células diana.

Las principales funciones de la pared celular son:

- Constituye un **exoesqueleto** que protege a la célula, le da **forma** y le confiere **resistencia**, pero sin impedir con ello su crecimiento.
- Impide que la célula se rompa, ya que interviene activamente en el mantenimiento de la presión osmótica intracelular.

10.25. ¿Qué es la matriz extracelular? Nombra los componentes que la integran, y explica detalladamente la función realizada por las proteínas fibrosas.

La **matriz extracelular** es una estructura que se localiza en las células exteriores de la membrana plasmática. Está constituida por compuestos segregados localmente por las propias células, y son proteínas fibrosas, proteoglicanos y glicoproteínas estructurales.

La matriz extracelular desempeña funciones muy importantes, como serían:

- **Mantener unidas entre sí las células** que forman los tejidos, a los que también confiere elasticidad y resistencia ante los esfuerzos mecánicos, ya sean de tracción o de compresión. Incluso interviene en la organización tridimensional de los tejidos y órganos que aparecen durante el desarrollo embrionario.
- Sirve como “**vía de comunicación**”, ya que es una estructura que proporciona una continuidad entre tejidos de distinta naturaleza, lo que permite la difusión de innumerables sustancias, así como la migración de algunos tipos de células. Se ha comprobado también que participa en el crecimiento y diferenciación celulares.

Las **proteínas fibrosas**, dada la estructura que tienen, confieren a la célula no solo resistencia frente a los esfuerzos mecánicos, sino también una cierta elasticidad.

- **El colágeno.** Es una familia de proteínas muy resistentes a los esfuerzos mecánicos, que dan a la matriz extracelular una gran consistencia, constituyendo su componente principal. El colágeno está formado por monómeros de tres cadenas polipeptídicas denominadas cadenas α , enrolladas sobre sí mismas en forma de triple hélice. Estos tripletes constituyen el tropocolágeno. Los monómeros de tropocolágeno se organizan en forma de escalera, formando microfibrillas, que a su vez se organizan en fibras de mayor calibre para constituir las fibras de colágeno.
- **La elastina.** Proteína muy hidrófoba que suele acompañar al colágeno, pero que es mayoritaria en determinadas estructuras, tales como los ligamentos, las paredes de los vasos sanguíneos o el tejido pulmonar. Debido a su estructura, cuando se la somete a esfuerzos mecánicos varía su longitud, por lo que proporciona elasticidad a la matriz.

UN PASO MÁS

- 10.26.** “En 1978, Georgi Markow, famoso defensor de los derechos humanos, fue asesinado en una calle de Londres por agentes de la policía política búlgara mediante un pinchazo en la pierna con la punta de un paraguas. La muerte se produjo rápidamente sin que se pudiese hacer nada por salvar su vida. La investigación forense demostró que la muerte había sido causada por una cantidad mínima de ricina en el extremo del paraguas. Esta potente toxina había sido aislada casi un siglo antes de las semillas de ricino (*Ricinus communis*) y caracterizada químicamente como una proteína. Hoy sabemos que se trata de una proteína inactivadora de los ribosomas.”

Investigación y Ciencia, diciembre de 1996

Teniendo en cuenta la función que desempeñan los ribosomas en las células de nuestro organismo, ¿podrías sugerir alguna posible explicación del efecto tóxico que produce la ricina en los humanos?

Los ribosomas intervienen en la síntesis de proteínas uniendo los aminoácidos en un orden predeterminado. Las proteínas sintetizadas por los ribosomas que se encuentran libres en el citoplasma permanecen en el citosol; las que son sintetizadas por los ribosomas adheridos a la membrana del RE pasan a la luz del retículo, para incorporarse a otros orgánulos, o ser secretadas al exterior celular.

La ricina, al ser una molécula proteica inhibidora de los ribosomas, actúa como un inhibidor de la traducción proteica. El efecto inhibidor de esta molécula consiste en bloquear alguna de las distintas etapas que configuran la traducción proteica, por ejemplo, bloqueando la unión de la subunidad ribosómica mayor al complejo de iniciación o bloqueando alguno de los centros de unión del ribosoma (centro A y centro P) para moléculas de ARNt, lo que impide la formación de los polipéptidos.

La ausencia de proteínas es incompatible con la vida, ya que son básicas en las funciones metabólicas, siendo su función enzimática vital para llevar a cabo las reacciones metabólicas.

- 10.27.** Indica los componentes, y describe la organización y funciones de la pared celular en las células vegetales. Explica las diferencias existentes entre la pared de la célula bacteriana y la de la célula vegetal.

La **pared celular** es una cubierta externa que actúa como exoesqueleto; es gruesa y rígida, y la desarrollan las células de bacterias, vegetales, algas y hongos sobre la membrana plasmática.

La **composición química** de la pared celular de las células vegetales es muy variada, pero, en general, la pared celular de todas las células eucarióticas está formada principalmente por **polisacáridos**. En las plantas superiores está formada por la **celulosa**. La celulosa es un polímero lineal de glucosa constituido por miles de monómeros que forman cadenas largas y fuertes que se asocian en paralelo formando microfibrillas de gran longitud. Estas microfibrillas se encuentran en la pared celular embutidas en una matriz de naturaleza proteica con otros dos polisacáridos, la hemicelulosa y la pectina.

Estructura de la pared celular de las células vegetales. La pared celular de las células vegetales recién formadas está constituida por dos capas: la **lámina media** y la **pared primaria**. Generalmente, cuando la célula madura y finaliza el crecimiento, produce una tercera capa llamada pared secundaria, situada entre la membrana plasmática y la pared primaria.

- **Lámina media.** Se localiza entre las láminas primarias de células vecinas, excepto en los lugares donde se encuentran los plasmodesmos, que son puentes de intercomunicación celular. Está compuesta fundamentalmente por pectina, y puede impregnarse con lignina cuando las células del xilema –tejido conductor de la savia bruta– mueren.
- **Pared primaria.** Es propia de las células en crecimiento. Es delgada y flexible, y permite que la célula se expanda y crezca. Sus principales componentes son la celulosa, la hemicelulosa y la pectina.
- **Pared secundaria.** Cuando cesa el crecimiento de la célula, se diferencia una tercera capa –la pared secundaria– más gruesa y rígida que la primaria, y formada por un número variable de estratos. Químicamente, está constituida por pequeñas cantidades de pectina y por abundante celulosa que forma microfibrillas regularmente ordenadas en cada estrato, pero con una orientación diferente en cada uno, teniendo el conjunto una orientación helicoidal. Muchas paredes secundarias contienen lignina, que es la responsable de la dureza de la madera. Se localiza, , en las células de los tejidos especializados en el sostenimiento mecánico de la planta –esclerénquima– y en los conductores como el xilema.

En las **bacterias**, la pared celular es rígida, compuesta por **mureína**. La rigidez que presenta la pared celular se debe, fundamentalmente, a la presencia de una capa de peptidoglucano o mureína, un heteropolisacárido formado por dos derivados de azúcares (N-acetilglucosamina y ácido N-acetilmurámico) y un tetrapéptido.

10.28. Las células del páncreas tienen gran número de ribosomas, mientras que las células del corazón tienen gran número de mitocondrias. Da una explicación razonada a estos hechos.

Una de las funciones del páncreas es sintetizar dos hormonas de naturaleza proteica, la insulina y el glucagón, hormonas que regulan la cantidad de azúcar en la sangre. Dado que son proteínas, es necesario que las células del páncreas contengan una gran cantidad de ribosomas, que son los orgánulos celulares donde se sintetizan las proteínas.

El corazón es un músculo que de manera continua está contrayéndose para bombear la sangre al organismo. La energía necesaria para la contracción del músculo se obtiene de la degradación de la materia orgánica en las mitocondrias, de ahí que el corazón tenga un gran número de ellas.

10.29. Las mitocondrias y los cloroplastos tienen ribosomas.

a) ¿Qué proceso puede pensarse que tendrá lugar en estos orgánulos? Razona la respuesta.

b) Cita qué otras moléculas buscarías en ellos para apoyar tu afirmación.

a) Si las mitocondrias y los cloroplastos tienen ribosomas, se puede pensar que en ellos se sintetizan proteínas. De hecho, mitocondrias y cloroplastos, además de tener ribosomas, tienen su propio ADN distinto del ADN nuclear, lo que les permite sintetizar algunas de sus proteínas; aunque la mayoría de ellas se sintetizan en los ribosomas del citoplasma.

b) Para apoyar la anterior afirmación, buscaría ADN, ya que la molécula que lleva la información necesaria para que se sintetice una proteína es este ácido nucleico.

10.30. En la siguiente tabla, relaciona cada orgánulo con su función.

Orgánulo	Función
1. Lisosomas	a. Motilidad
2. Retículo endoplásmico liso	b. Fotosíntesis
3. Cilios	c. Digestión intracelular
4. Cloroplastos	d. Síntesis de lípidos

1. c; 2. d; 3. a; 4. b.

10.31. Los ribosomas de una célula infectada por un virus son capaces de sintetizar las proteínas de la cubierta del virus (capsómeros). ¿Por qué? Razona la respuesta.

Las proteínas de la cubierta de un virus, los llamados capsómeros, son de **naturaleza proteica** y son sintetizados por la célula infectada por el virus, ya que el ácido nucleico que posee el virus es inyectado en el interior de la célula, desde donde dirige su actividad en orden a sintetizar las proteínas necesarias para formar nuevos virus.

ACTIVIDADES PAU RESUELTAS

11.1. Enzimas.

- a) Define este concepto y explica su importancia en el metabolismo.
- b) Formula una reacción y cita el tipo de enzima que actúa en ella.
- c) Explica cómo afectan el pH y la temperatura a la actividad enzimática.

Actividad resuelta en el libro del alumno.

11.2. Vitaminas.

- a) Concepto.
- b) Indica los nombres de las vitaminas liposolubles e hidrosolubles.
- c) Elige tres de ellas para describir la función que desempeñan, los efectos que produce su deficiencia, así como los alimentos en los que se encuentran.

Actividad resuelta en el libro del alumno.

11.3. ¿Qué doble finalidad tiene el metabolismo en los seres vivos? Razona la respuesta y pon un ejemplo de cada una de ambas facetas.

Actividad resuelta en el libro del alumno.

ACTIVIDADES

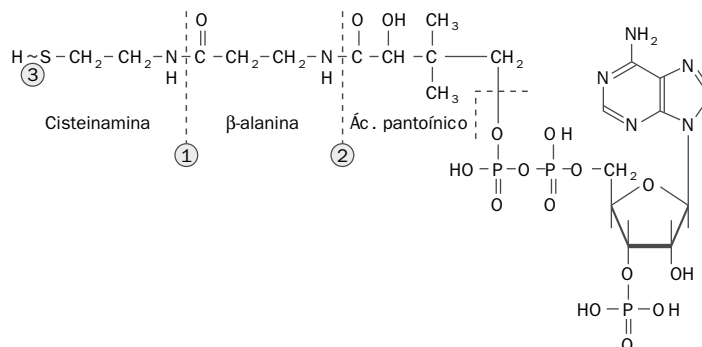
11.4. En relación con la catálisis enzimática, ¿qué función cumplen las enzimas en el metabolismo celular?

Un proceso de catálisis consiste en disminuir la energía de activación necesaria para que una reacción se inicie y pueda continuar por sí sola. En el caso de las enzimas, que son catalizadores biológicos, se añaden varias características. Al ser, en su gran mayoría, moléculas proteicas, necesitan una temperatura y un pH adecuados para su actuación. Además, como actúan uniéndose transitoriamente a la molécula del sustrato, tienen una especificidad frente a cada sustrato y para cada reacción. Con todo esto, se comprende que la función que cumplen en el metabolismo celular es la de hacerlo posible, ya que las transformaciones bioquímicas que en él suceden no ocurrirían ni a la velocidad ni en el orden en que deben suceder para que la célula mantenga su equilibrio vital.

11.5. Dentro del tema “energía y ser vivo”, desarrolla los siguientes epígrafes.

- a) Describe las formas de energía utilizables por el ser vivo.
 - b) Explica dos procesos energéticos diferentes de un ser vivo.
- a) Para los procesos vitales en general, la forma de energía aprovechable es la energía **química** contenida en los enlaces covalentes de las moléculas. Al transformarse estas, mediante procesos de óxido-reducción (procesos redox), se libera energía química que se almacenará en otros enlaces (ATP) para liberarse de nuevo cuando sea necesario. Lo que sucede es que, sin salir del ámbito de lo viviente, hay una excepción de este principio, gracias a la cual existe la biosfera tal como hoy la conocemos: es el caso de la fotosíntesis, en la cual la energía de la **luz** es captada por organismos vivos que la transforman inmediatamente en energía química.
- b) Un proceso en que el ser vivo produce energía: la **fabricación de almidón** de reserva por las plantas a partir de la energía de la luz transformada en energía química. Otro proceso: la **degradación oxidativa** de principios inmediatos, cuya energía liberada se almacena, en parte, en moléculas de ATP.

- 11.6. Se te presenta con detalle la molécula de la coenzima A, señalando cada uno de sus componentes. Sabes bien que el enlace químico que predomina en las biomoléculas es el enlace covalente. Tienes que decir qué ha sucedido en la formación de los enlaces 1 y 2, y qué importancia tiene el enlace 3.

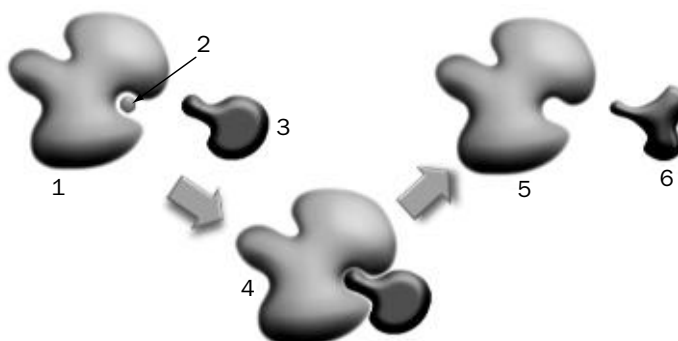


Los enlaces 1 y 2 son el resultado de la unión entre el OH del carboxilo (en un caso, del ácido pantoínico; en otro, del aminoácido β-alanina) y un hidrógeno del grupo amino, desprendiéndose una molécula de agua. Podríamos decir que, en ambos casos, se trata de una unión amida. El enlace 3, propio del grupo mercapto o sulfhidrilo de la cisteinamina, es un enlace rico en energía. Este será el que le permita a la CoA unirse como acompañante a otras moléculas para que puedan ingresar en rutas metabólicas, concretamente, a los ácidos grasos para su degradación oxidativa.

- 11.7. Desarrolla el tema: “Concepto de equilibrio en un sistema dinámico. Aplicación al ser vivo a nivel celular”.

Equilibrio significa que las variables consideradas en un sistema (parte de la realidad que consideramos) no cambian a lo largo del tiempo. En el caso de la célula viva, más que decir “no cambian”, hay que afirmar: “se mantienen dentro de un **intervalo de tolerancia**”, de modo que si alguno de los valores de esas variables está fuera de ese intervalo, diremos que el sistema no está en equilibrio. La dificultad que tiene este paradigma al ser aplicado a la célula viva es que todo sistema en equilibrio **no realiza trabajo**, lo cual contradice la propia realidad de la vida. La solución está en que la célula es un sistema **abierto** que continuamente intercambia materia y energía con el medio. Es precisamente ese trasiego energético constante lo que se mantiene en equilibrio y, a la vez, realiza el trabajo celular. Por eso, el equilibrio de la célula viva es un **equilibrio dinámico de flujos**.

- 11.8. Utilizando los números del dibujo propuesto, describe lo que representa cada uno explicando la función de las enzimas.



El esquema representa los pasos de la reacción enzimática, en la cual la molécula proteica de la enzima (1) se une transitoriamente con la molécula de sustrato (3) en un punto o región concreta de la enzima que es su “centro activo” (2), formándose así el complejo “enzima-sustrato” (4). Una vez que el sustrato se ha transformado en producto (6), se separa de la enzima (5), que puede volver a iniciar el proceso con otra molécula de sustrato. Este proceso se esquematiza con la conocida expresión:



11.9. Las enzimas son los biocatalizadores orgánicos empleados por las células en todas las actividades metabólicas que realizan.

- a) Describe la estructura básica de una enzima.
- b) ¿Qué significado tiene que la actividad enzimática es específica?
- c) ¿Qué partes de la enzima están directamente implicadas en la catálisis enzimática?
- d) ¿Crees que es importante la estructura terciaria de la enzima para su función? Razona las respuestas.

- a) Las enzimas son catalizadores biológicos que actúan en la célula donde son sintetizadas. Una enzima es una proteína que cataliza específicamente una reacción bioquímica, uniéndose a la molécula o metabolito que se va a transformar, y que recibe el nombre de sustrato. La región de la enzima donde se acomoda el sustrato es el centro activo.

Algunas enzimas no son proteínas exclusivamente, sino que están asociadas a otro tipo de moléculas, de naturaleza no proteica, de las que depende su actividad. Estas asociaciones se denominan **holoenzimas**; las moléculas con las que se asocian, **cofactores**; y la parte proteica de la enzima, **apoenzima**. Los cofactores pueden tener diversa naturaleza, y ser cationes metálicos o moléculas orgánicas complejas. Estas moléculas se denominan coenzimas cuando se unen débilmente al apoenzima, y grupos prostéticos cuando se unen al apoenzima mediante enlaces covalentes.

- b) Una de las características más importantes de la actividad de las enzimas es la especificidad de las mismas en la reacción que catalizan. Esta propiedad se debe a que la conformación tridimensional del centro activo de la enzima es tal, que resulta complementaria a la molécula de sustrato a la que se une.

La complementariedad en la unión de la enzima al sustrato para formar el complejo intermediario se ha equiparado con la existente entre una llave y su cerradura, por lo que se dice que la unión sigue el modelo llave-cerradura.

Sin embargo, esta unión no es rígida, es decir, la unión del propio sustrato induce un cierto cambio conformacional en el sitio activo de la enzima, que provoca el perfecto y definitivo acoplamiento entre esta y el sustrato. Este modelo de acoplamiento se denomina modelo de acoplamiento inducido.

- c) La región de la enzima donde se acomoda el sustrato es el centro activo. La unión entre enzima y sustrato implica un reconocimiento estérico, es decir, relacionado con la forma y el volumen del propio sustrato al que se une específicamente. Por ello, la variedad de enzimas es incalculable, pues son específicas para cada sustrato y para cada reacción bioquímica.
- d) El centro activo de la enzima está constituido por un conjunto de aminoácidos que pueden estar alejados en la estructura primaria de la proteína, pero se aproximan a medida que esta se pliega y adquiere la conformación globular o estructura terciaria. Las enzimas son muy sensibles a las variaciones de temperatura y pH que afectan a la estructura terciaria de la fracción proteica de la enzima, e incluso provocan su desnaturalización, desapareciendo el centro activo y, en consecuencia, la capacidad de combinación con el sustrato.

11.10. Enzimas.

- a) Define los siguientes conceptos relacionados con las reacciones enzimáticas.
 - Catálisis.
 - Energía de activación.
 - Centro activo.
- b) En una reacción química en la que la sustancia A se transforma en la sustancia B, se liberan 10 kilocalorías por mol de sustrato. ¿Cuánta energía se liberaría si la reacción estuviese catalizada por una enzima? Razona la respuesta.

- a) La **catálisis** es la acción que ejerce un catalizador en una reacción química. En las reacciones enzimáticas, el biocatalizador es la enzima, y posee las siguientes características:

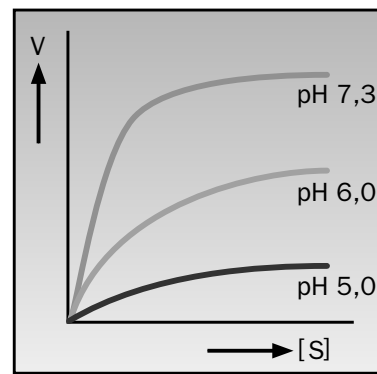
- Disminuye la energía de activación.
- No cambia el signo ni la cuantía de la variación de energía libre.
- No modifica el equilibrio de la reacción.
- Al finalizar la reacción, quedan libres, inalterables, y pueden funcionar otras veces.

La **energía de activación** es la que requieren los reactivos para que la reacción química pueda iniciarse. Las enzimas, al disminuir la energía de activación del proceso en el que intervienen, aceleran las reacciones bioquímicas. El **centro activo** de la enzima es la región donde se acomoda el sustrato. Está constituido por un conjunto de aminoácidos que pueden estar alejados en la estructura primaria de la proteína, pero se aproximan a medida que esta se pliega y adquiere la conformación globular o estructura terciaria.

- b) La energía liberada en la reacción catalizada por una enzima sería la misma, es decir, 10 kcal/mol. Las enzimas no cambian el signo ni la cuantía de la variación de la energía libre, solo aceleran procesos espontáneos; no pueden hacer que los procesos sean termodinámicamente más favorables.

11.11. En un ensayo en el que se determinaba la actividad de una enzima E, a distintos pH y frente a un mismo sustrato, se ha obtenido el resultado que muestra la gráfica. Razona el comportamiento de la enzima en este ensayo.

La gráfica muestra la variación de la velocidad de reacción a diferentes valores de pH. La velocidad máxima alcanzada a pH 7,3 es superior a la alcanzada a pH 6,0, y esta, a su vez, supera a la alcanzada a pH 5,0. La variación de pH provoca un cambio en las cargas eléctricas superficiales de la enzima, alterándose su estructura terciaria y, por tanto, su actividad biológica. Cada enzima actúa a un pH óptimo en el que la conformación de la proteína permite la acomodación del sustrato en una región denominada centro activo. La unión entre enzima y sustrato implica un reconocimiento estérico, es decir, relacionado con la forma y el volumen del propio sustrato al que se une específicamente.



11.12. ¿Qué factores fisicoquímicos del medio pueden modificar la actividad de la enzima? ¿Por qué razón consideras que dichos factores modifican la actividad enzimática? Razona la respuesta.

Cada enzima posee una temperatura y un pH óptimos para actuar, de manera que su actividad disminuirá sensiblemente o incluso desaparecerá cuando los valores de ambas variables se alejen de los valores óptimos. Las **variaciones de temperatura** inducen cambios conformacionales en la estructura terciaria o cuaternaria de las enzimas, alterando sus centros activos y, por tanto, su actividad biológica. Igualmente, las **variaciones de pH** del medio provocan un cambio en las cargas eléctricas superficiales de las enzimas, alterándose su estructura terciaria y, por tanto, su actividad.

La actividad de una enzima puede modularse a través de diferentes mecanismos capaces de inhibir o activar la propia enzima. Las reacciones enzimáticas están reguladas, entre otros factores, por moléculas o componentes celulares que pueden inhibirlas de manera reversible o irreversible.

- **Inhibidores reversibles.** Se unen de forma temporal a la enzima, y se denominan inhibidores competitivos, ya que tienen una conformación espacial similar a la del sustrato, y compiten con este por su unión al centro activo de la enzima.
- **Inhibidores irreversibles o venenos.** Son inhibidores que se unen de forma irreversible al centro activo de la enzima y suprimen por completo la actividad de la misma.

Existen enzimas **alostéricas** que son reguladas por el sustrato y el producto de la reacción. El alosterismo supone un importante mecanismo de regulación de la reacción enzimática; en general, los sustratos de las enzimas suelen comportarse como ligandos activadores, de forma que la unión de una molécula de sustrato favorece la unión de más moléculas de sustrato; los productos de la reacción, sin embargo, suelen comportarse como ligandos inhibidores, inhibiendo la unión de moléculas de sustrato a la enzima y, por tanto, impidiendo la reacción enzimática.

11.13. ¿Crees que una enzima que une una molécula de glicina con una de valina unirá la glicina con la serina? Razona la respuesta.

No. Una de las características más importantes de la actividad de las enzimas es la especificidad de las mismas en la reacción que catalizan. Esta propiedad se debe a que la conformación tridimensional del centro activo de la enzima es tal, que resulta complementaria a la molécula de sustrato a la que se une.

La complementariedad en la unión de la enzima al sustrato para formar el complejo intermediario se ha equiparado con la existente entre una llave y una cerradura. Sin embargo, esta unión no es rígida, es decir, la unión del propio sustrato induce un cierto cambio conformacional en el sitio activo de la enzima, que provoca finalmente el perfecto y definitivo acoplamiento entre esta y el sustrato. Este modelo de acoplamiento se denomina modelo de acoplamiento inducido.

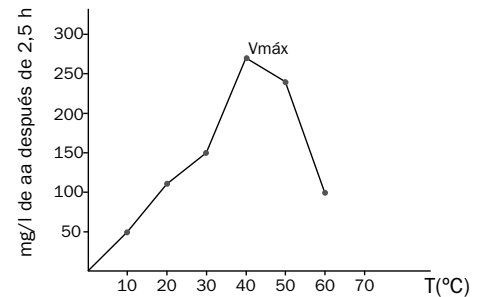
11.14. En un experimento, una proteína se descompuso en sus aminoácidos. El curso de la reacción fue observado midiendo la acumulación de aminoácidos a diferentes temperaturas, obteniéndose los siguientes resultados:

- a) ¿Por qué es probable que la reacción esté catalizada por una proteasa (una enzima)?
b) Explica la diferencia en la velocidad de la reacción según la temperatura empleada.

T (°C)	10	20	30	40	50	60
Mg/L de aminoácidos después de 2,5 h	50	110	150	270	240	100

- a) Es probable que la reacción esté catalizada por una enzima porque la velocidad de reacción aumenta a medida que aumenta la temperatura; sin embargo, al superar los 40 °C comienza a disminuir por alteraciones en la estructura terciaria de la fracción proteica de la enzima. La descomposición de una proteína en sus aminoácidos implica la hidrólisis de los enlaces peptídicos. El nombre de una enzima se forma, en muchos casos, añadiendo el sufijo -asa a la raíz del nombre del sustrato sobre el que actúan. Teniendo en cuenta la nomenclatura de las enzimas, una proteasa es una enzima que actúa sobre proteínas hidrolizando sus enlaces peptídicos y descomponiéndola en sus aminoácidos.
- b) En la siguiente gráfica se observa que la velocidad de reacción es máxima a 40 °C (temperatura óptima), que es ligeramente inferior en un intervalo próximo a este valor de temperatura (temperaturas favorables), y que disminuye notablemente cuando nos alejamos del valor óptimo de temperatura (temperaturas desfavorables).

Cada enzima posee una temperatura y un pH óptimos para actuar, de manera que su actividad disminuirá sensiblemente o incluso desaparecerá cuando los valores de ambas variables se alejen de los valores óptimos. Las variaciones de temperatura inducen cambios conformacionales en la estructura terciaria o cuaternaria de las enzimas, incluso provocan su desnaturalización, alterando sus centros activos y, por tanto, su actividad biológica.



11.15. Enumera tres propiedades de las enzimas que permitan considerarlas como catalizadores. Explica qué es la regulación alostérica.

Las enzimas son consideradas catalizadores porque presentan las siguientes propiedades:

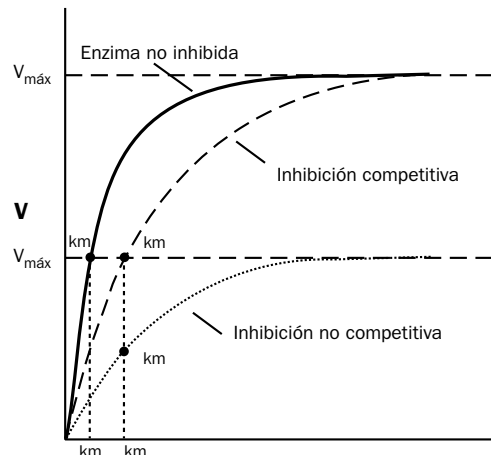
- Disminuyen la energía de activación del proceso en el que intervienen, es decir, aceleran las reacciones bioquímicas.
- No cambian el signo ni la cuantía de la variación de la energía libre, solo aceleran procesos espontáneos.
- No pueden hacer que los procesos sean termodinámicamente más favorables.
- No modifican el equilibrio de una reacción, sino que aceleran la llegada al mismo.
- Al finalizar la reacción quedan libres, sin alterarse, y pueden funcionar otras veces.

La **regulación alostérica** es un importante mecanismo de regulación de la reacción enzimática. Existen diversas moléculas, denominadas ligandos o efectores, capaces de unirse específicamente a la enzima provocando en ella un cambio conformacional. Este cambio origina la transformación entre la forma inactiva de la enzima y la forma funcionalmente activa de la misma, o viceversa. Ambas conformaciones de la enzima son diferentes y estables. Estos ligandos se unen a la enzima en los denominados centros **reguladores**, que son diferentes al centro activo.

En general, los sustratos de las enzimas suelen comportarse como ligandos activadores, de forma que la unión de una molécula de sustrato favorece la unión de más moléculas de sustrato; los productos de la reacción, sin embargo, suelen comportarse como ligandos inhibidores, inhibiendo la unión de moléculas de sustrato a la enzima y, por tanto, impidiendo la reacción enzimática.

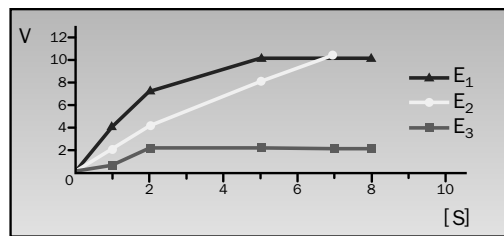
- 11.16. Indica de qué forma modifica la inhibición enzimática reversible la $V_{\max}$ y la K_M de una enzima. Representa el fenómeno mediante una gráfica en la que figure la velocidad de reacción frente a la concentración de sustrato.

Los **inhibidores reversibles** se unen de forma temporal a la enzima. Se denominan **inhibidores competitivos** cuando tienen una conformación espacial similar a la del sustrato, y compiten con este por su unión al centro activo de la enzima. Su efecto puede desaparecer a medida que aumenta la concentración de sustrato. Otros inhibidores reversibles son **no competitivos**, uniéndose a la enzima o al complejo ES en un lugar distinto al centro activo. En este caso, el aumento de la concentración de sustrato no invierte el efecto inhibidor.



La inhibición enzimática reversible aumenta la K_M de la enzima. La K_M o constante de Michaelis es un parámetro muy utilizado en cinética enzimática, que expresa la concentración de sustrato a la que la velocidad de reacción es la mitad de la velocidad máxima, y cuyo valor hace referencia a la afinidad de la enzima por su sustrato. Un valor pequeño de la K_M indica una unión muy estrecha entre la enzima y el sustrato, ya que la mitad de la velocidad máxima se alcanza cuando las concentraciones de sustrato son bajas. En presencia de un inhibidor, es necesario aumentar la concentración de sustrato para alcanzar la misma velocidad, lo que implica que aumente el valor de la K_M . La velocidad máxima en una inhibición enzimática reversible será inferior en el caso de que el inhibidor sea no competitivo, y permanecerá invariable si el inhibidor es competitivo. El efecto que tienen los inhibidores sobre la K_M se puede ver en la gráfica. El inhibidor competitivo aumenta la K_M sin afectar a la $V_{\max}$. En cambio, el inhibidor no competitivo reduce la $V_{\max}$ y aumenta la K_M .

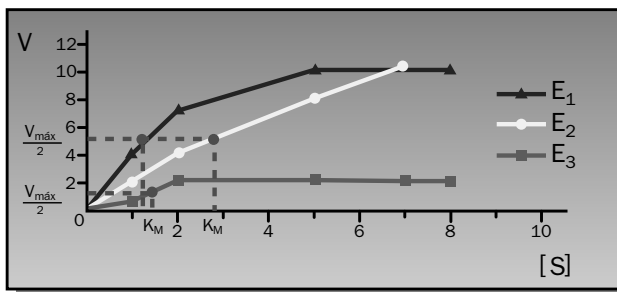
- 11.17. En un ensayo de actividad enzimática, un sustrato S es transformado por tres enzimas diferentes (E_1 , E_2 y E_3) en un mismo producto P. Utilizando estas enzimas (E_1 , E_2 y E_3) en reacciones separadas y el sustrato común, se ha obtenido la siguiente gráfica. Indica en cada caso el valor de $V_{\max}$ y de K_M respectivamente; indica, además, en orden decreciente, qué enzimas tienen más afinidad por el sustrato. Razona la respuesta.



Los valores aproximados de $V_{\max}$ y K_M en las diferentes enzimas son los siguientes:

Enzima	$V_{\max}$	K_M
E_1	10	1,3
E_2	10	2,8
E_3	2	1,5

La enzima E_2 es la que menor afinidad tiene por el sustrato; la enzima E_3 presenta una afinidad intermedia; y la enzima E_1 es la que tiene una mayor afinidad por el sustrato. La K_M o constante de Michaelis es un parámetro muy utilizado en cinética enzimática, que expresa la concentración de sustrato a la que la velocidad de reacción es la mitad de la velocidad máxima, y cuyo valor hace referencia a la afinidad de la enzima por su sustrato. Un valor pequeño de la K_M indica una unión muy estrecha entre la enzima y el sustrato, ya que la mitad de la velocidad máxima se alcanza cuando las concentraciones de sustrato son bajas.



11.18. ¿Qué papel representan las vitaminas y los oligoelementos en los seres vivos? Pon un ejemplo de ambos, indicando su respectiva función biológica.

Las **vitaminas** y los **oligoelementos** son cofactores enzimáticos. Algunas enzimas no son proteínas exclusivamente, sino que están asociadas con otro tipo de moléculas que tienen naturaleza no proteica y de las cuales depende su actividad. Estas asociaciones o enzimas conjugadas se denominan holoenzimas; las moléculas con las que se asocian, cofactores; y la parte proteica de la enzima, apoenzima.

Los cofactores pueden ser de naturaleza inorgánica, como los oligoelementos; o de naturaleza orgánica, como las vitaminas. En este último caso, se denominan coenzimas.

Los oligoelementos se encuentran en la materia viva en cantidades muy pequeñas –no superan el 0,1%– en forma de cationes metálicos; se unen a la apoenzima o regulan su activación. Por ejemplo, el Zn^{2+} es un cofactor de las carboxipeptidasas, enzimas que catalizan la hidrólisis de enlaces peptídicos.

Las vitaminas son biomoléculas de muy variada complejidad, indispensables en la dieta porque no pueden ser sintetizadas por los animales. Muchas de las vitaminas conocidas son precursores de coenzimas y de moléculas activas en el metabolismo. Por ejemplo, la vitamina B2 o riboflavina constituye las coenzimas FAD y FMN que intervienen en la transferencia de H^+ (e^-) en la respiración celular.

11.19. Vitaminas y coenzimas.

- a) Define vitamina y coenzima. ¿Cuál es la relación que existe entre ambas?
- b) Cita dos coenzimas de óxido-reducción.
- c) Cita dos vitaminas liposolubles e indica su función.

- a) Las **vitaminas** son biomoléculas de muy variada complejidad, indispensables en la dieta porque no pueden ser sintetizadas por los animales. Muchas de las vitaminas conocidas son precursores de coenzimas y de moléculas activas en el metabolismo. Las vitaminas hidrosolubles actúan como coenzimas o precursores de coenzimas en reacciones de transferencia de grupos químicos o de H^+ (e^-) en la respiración celular.
- b) Los **coenzimas** son cofactores enzimáticos de naturaleza orgánica. Algunas enzimas no son proteínas exclusivamente, sino que están asociadas a otro tipo de moléculas de naturaleza no proteica de las que depende su actividad. Estas asociaciones se denominan holoenzimas; las moléculas con las que se asocian, cofactores; y la parte proteica de la enzima, apoenzima. Los cofactores pueden tener diversa naturaleza, y ser cationes metálicos o moléculas orgánicas complejas. Estas moléculas se denominan coenzimas cuando se unen débilmente al apoenzima, y grupos prostéticos cuando se unen al apoenzima mediante enlaces covalentes.
- c) Son coenzimas de óxido-reducción el **NAD** (dinucleótido de nicotinamida y adenina) y el **NADP** (fosfato del dinucleótido de nicotinamida y adenina). Se pueden encontrar en forma oxidada (NAD^+ , NADP^+) o reducida (NADH , NADPH).
- d) Las vitaminas liposolubles son:
 - **Vitamina A**, retinol o axeroftol. Interviene en el ciclo visual, crecimiento, protección y mantenimiento del tejido epitelial.
 - **Vitamina D** o calciferol. Interviene en el metabolismo del Ca^{2+} , esencial en el crecimiento y mantenimiento de huesos.

11.20. ¿Por qué se dice que el metabolismo está basado principalmente en la oxidación-reducción?

El NAD^+ , el NADP^+ , el FAD, el FMN, la coenzima Q (ubiquinona) y los citocromos son nucleótidos que posibilitan la oxidación o la reducción de los metabolitos según en qué ruta se encuentren. Tienen una elevada complejidad estructural, y la particularidad de poder existir en dos estados de oxidación bastante próximos, por lo que constituyen verdaderos pares redox. Desde el punto de vista funcional, suelen ser coenzimas asociadas a la parte proteica de las enzimas que intervienen en el metabolismo y actúan como transportadores de electrones.

Las reacciones metabólicas son reacciones de oxidación-reducción. Se puede decir que el catabolismo, en conjunto, es un proceso de oxidación en el que se liberan electrones, mientras que el anabolismo es un proceso de reducción en el que se captan electrones. Cuando se produce una deshidrogenación, el hidrógeno que se transfiere debe considerarse como protones más electrones ($2\text{H} = 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$). Estos electrones son transportados enzimáticamente desde las reacciones catabólicas de oxidación hasta las anabólicas de reducción. En los procesos catabólicos, las moléculas se oxidan y pierden hidrógenos que son captados por estas coenzimas, que permanecen reducidas. En los procesos anabólicos, las coenzimas ceden H^+ (e^-) a otros compuestos que se reducen, volviendo a quedar en forma oxidada.

11.21. Observa la siguiente reacción:



- a) **Determina si es una reacción perteneciente al anabolismo o catabolismo celular, e indica en qué se basa tu deducción.**
- b) **Indica los tipos de procesos metabólicos que se podrían realizar con esta energía.**
- a) La reacción expresa el catabolismo de una molécula de glucosa ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$). En este proceso se desprende energía libre gracias a la consecución de sucesivos estados de mayor oxidación. El número de estados intermedios no puede ser infinito, por lo que también debe existir un aceptor último de electrones que no pertenezca al sistema (O_2).
- b) La energía obtenida en los procesos catabólicos se podría emplear para realizar distintas funciones biológicas que requieran un aporte energético, como el movimiento, el transporte activo o la síntesis de moléculas orgánicas. En una ruta anabólica, la célula necesita hidrolizar moléculas de ATP para utilizar su energía en la síntesis de biomoléculas complejas.

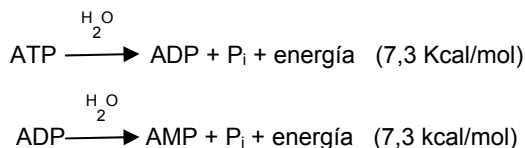
11.22. Define anabolismo; cita un proceso anabólico que tenga lugar en una célula animal, y otro en una vegetal. ¿Qué papel representan respectivamente el ATP y el NADPH en procesos anabólicos? Razona la respuesta.

El **anabolismo** es el metabolismo de síntesis de moléculas. En los procesos anabólicos, que son fuertemente endergónicos, la energía no puede proceder en último término del propio ser vivo, que es el sistema, sino que la fuente de energía procede del medio.

La **gluconeogénesis** es un proceso anabólico en el que tiene lugar la síntesis de glucosa a partir de precursores más sencillos. La síntesis de glucosa en los organismos heterótrofos no es posible a partir de moléculas inorgánicas, ni tampoco utilizando el acetilo. No obstante, a través de la ruta gluconeogénica – que tiene lugar, preferentemente, en el hígado y, en parte, en el riñón – es posible sintetizar glucosa a partir de ácido láctico, de aminoácidos o de algún metabolito del ciclo de Krebs.

La **fotosíntesis** es un proceso anabólico que se realiza en las células vegetales que tienen cloroplastos. Esta ruta metabólica permite que las células capten la energía luminosa del sol y la transformen en energía química, que posteriormente aprovechan en la síntesis de principios inmediatos.

El **ATP** (adenosín trifosfato) es una molécula de gran importancia biológica, no solo como coenzima, sino también por la energía bioquímica que es capaz de almacenar en sus dos enlaces éster entre grupos fosfato. En los procesos anabólicos, estos enlaces se rompen mediante hidrólisis, liberando cada uno 7,3 kcal/mol:



La hidrólisis del ATP es un proceso espontáneo, lo que permite acoplar esta reacción exergónica a procesos o reacciones endergónicas, es decir, que necesitan un aporte energético. El acoplamiento de reacciones tiene lugar a través de enzimas que hacen posible la reacción global.

El **NADPH** (fosfato del dinucleótido de nicotinamida y adenina) es la forma reducida de una coenzima de oxidación-reducción. En muchas reacciones bioquímicas sucede que los electrones van ligados a protones en forma de hidrógeno. Cuando se produce una deshidrogenación, el hidrógeno que se transfiere debe considerarse como protones más electrones ($2 \text{H} = 2 \text{H}^+ + 2 \text{e}^-$). Estos electrones son transportados enzimáticamente desde las reacciones catabólicas de oxidación hasta las anabólicas de reducción. En los procesos anabólicos, esta coenzima cede H^+ (e^-) a otros compuestos, que se reducen quedando en forma oxidada NADP^+ .

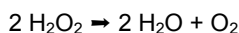
UN PASO MÁS

11.23. Como sabes, el “turnover” o número de recambio es el número de moléculas de sustrato que una molécula de enzima es capaz de transformar en una unidad de tiempo (minuto o segundo). La ruptura de la molécula de agua oxigenada viene catalizada por la catalasa, que es una liasa, con un “turnover” estimado en 4×10^7 .

Responde razonadamente a las siguientes preguntas.

- a) ¿Cuántas moléculas de agua se precisarán para romper cada molécula de agua oxigenada?
- b) Una vez que esa reacción alcance el equilibrio, ¿cuál será su posición: la misma que si no hubiera habido enzima, o más desviado a la derecha, es decir, a favor de la ruptura de la molécula de agua oxigenada?
- c) La energía libre de esa reacción catalizada. ¿En qué diferirá de la energía libre estándar de la no catalizada?

Lo primero, se debe escribir la reacción a que se alude en el enunciado, catalizada por la catalasa:



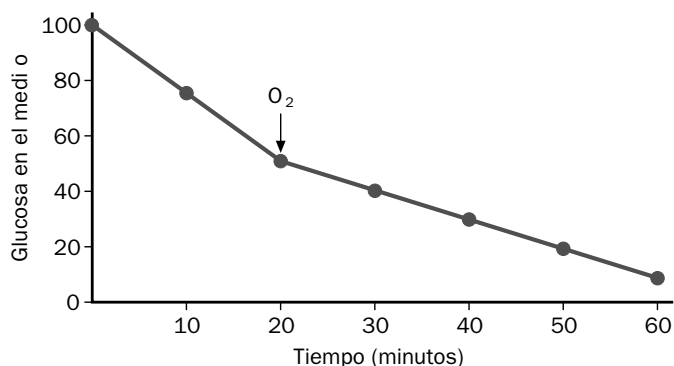
- a) La acción de la catalasa no precisa de moléculas de agua “auxiliares” para romper la de agua oxigenada. Esto es una característica que diferencia las liasas de las hidrolasas. Por tanto, la respuesta es: “ninguna molécula”.
- b) y c) La acción de las enzimas consiste en disminuir la energía de activación de una reacción; con lo cual, esta se acelera. Pero las enzimas no modifican ni la posición del equilibrio ni la energía libre desprendida. Por tanto, ambas respuestas son: no cambiará la posición del equilibrio, y se desprenderá la misma energía libre que si la reacción no hubiera sido catalizada.

Para responder correctamente a esta cuestión era innecesario el dato del “turnover” de la catalasa. Este “distractor” sirve para que el alumno agudice su capacidad de seleccionar los datos que necesita para resolver el problema.

11.24. Para hablar del estado de una persona hospitalizada cuyo estado de salud es grave, se suele decir como buena noticia que “mantiene sus constantes vitales”. Sin embargo, sabemos que todo ser vivo es un sistema abierto con un dinamismo que varía según el momento metabólico. Así pues, la expresión “constantes vitales” ¿no resulta contradictoria?

El ser vivo es un sistema abierto en equilibrio dinámico de flujos. Esta situación le permite realizar el “trabajo de vivir”. Son muchas las variables fisicoquímicas del sistema viviente. En el caso humano, por ejemplo: temperatura corporal, tensión arterial, pH del plasma sanguíneo y de otros líquidos orgánicos, concentración de sales y de glucosa en sangre, ritmo cardíaco, etc. En realidad, el valor de cada una de estas variables varía a lo largo del día, según el momento de mayor o menor actividad metabólica, pero esas fluctuaciones tienen que estar dentro de un **intervalo de tolerancia** para que podamos decir que el sistema está en equilibrio y gozamos de buena salud. Cuando una o más variables se salen de ese intervalo, sobreviene un estado patológico. Por consiguiente, la expresión “constantes vitales” es una simplificación que no corresponde a la realidad biológica del organismo, aunque se entiende lo que pretende decir.

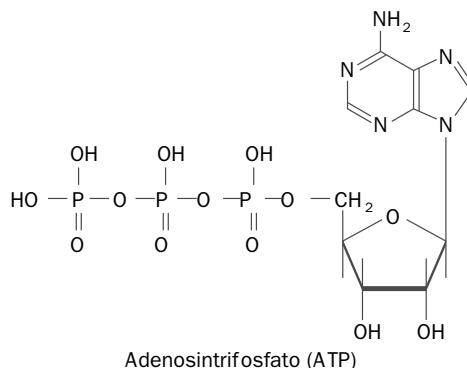
11.25. La gráfica representa la variación de glucosa en un cultivo celular en condiciones anaeróbicas, y en el que en un momento dado se añade O_2 al medio.



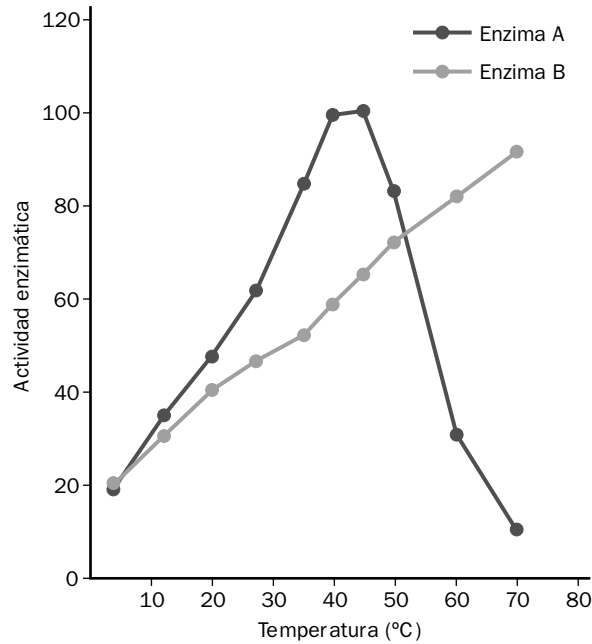
- Antes de añadir oxígeno, ¿podrías decir cuál es el proceso metabólico responsable de la disminución de glucosa en el medio?
 - ¿Qué proceso metabólico se inicia cuando se añade oxígeno al medio?
 - Indica los compartimentos celulares donde se desarrollan los procesos aludidos.
 - Describe el orgánulo que participa en el consumo de oxígeno en la célula.
 - Describe el proceso metabólico que utilizan las células para obtener energía en ausencia de O_2 .
- Antes de añadir oxígeno, el proceso que hace disminuir la glucosa es la fermentación. Como en el enunciado no se especifica de qué cultivo se trata, no sabemos si será alcohólica o láctica la fermentación que ocurra, pues tampoco se dice si se desprende o no CO_2 . Por molécula de glucosa degradada se obtendrán 2 ATP.
 - Cuando se añade oxígeno, se inicia la respiración celular que degrada el producto de la glucólisis (ácido pirúvico) hasta CO_2 y H_2O , obteniéndose 36 ATP por molécula de glucosa.
 - La glucólisis (desde glucosa a pirúvico y hasta el producto de la fermentación que sea) ocurre en el citosol o hialoplasma de la célula fuera de la mitocondria. La respiración celular es mitocondrial y consta del ciclo de Krebs, que ocurre en la matriz mitocondrial, y de las cadenas respiratorias, que transcurren en las crestas.
 - Por todo lo dicho, queda claro que el orgánulo que asimila el oxígeno añadido es la mitocondria.
 - El proceso aquí aludido es la fermentación. Consiste en que el ácido pirúvico obtenido en la glucólisis se reduce, y así se reoxida la molécula de NADH extramitocondrial, que se había reducido al oxidarse el gliceraldehído-3-fosfato a ácido 1,3-bisfosfoglicérico. El producto de la fermentación varía según los tipos celulares y, por tanto, según la clase de enzimas que lo hacen posible. Las más importantes son la fermentación etílica o alcohólica, en la que se produce etanol y se desprende CO_2 , que es propia de las levaduras del pan, de la cerveza y del vino; y la fermentación láctica, que produce ácido láctico en la fibra muscular estriada cuando dispone de poco oxígeno molecular, y en numerosas bacterias.

11.26. Sabemos que hay nucleótidos que funcionan como “despensas” de energía para la célula viva, y aquí tienes la molécula de uno de ellos. Explica qué sucede cuando libera energía y cuando la almacena. ¿Crees que hay disipación de energía en estos procesos?

La molécula aquí representada de adenosintrifosfato (ATP) es la típica que sirve como almacén de energía en la célula viva. Los enlaces entre el 1.º y 2.º fosfato, y entre el 2.º y 3.º son enlaces ricos en energía, y por eso se representan con el signo “~” en lugar del trazo recto habitual. Si se rompe uno de ellos, se liberan 7,3 kcal/mol, y por eso debemos decir que cuando se formó, se almacenaron esas mismas calorías. Ahora bien, como en los procesos energéticos reales siempre se disipa (se desaprovecha) una cierta cantidad de energía para conseguir formar uno de esos enlaces entre fosfatos, no bastan 7,3 kcal sino que se necesitan bastantes más. Esto hace que el rendimiento de los procesos energéticos, tanto en la célula viva como en las máquinas fabricadas por el hombre, no pueda ser del 100%.



11.27. En relación con la gráfica adjunta, responde las siguientes cuestiones.



- a) ¿Qué representa la gráfica? Describe el comportamiento de ambas enzimas.
- b) La enzima A cataliza la transformación del sustrato X en el producto Y. La enzima B cataliza la transformación de X en el producto Z. Indica cuál de los dos productos se formará en mayor cantidad a 40 °C de temperatura. Razona la respuesta.
- a) La gráfica representa la variación de la actividad enzimática de dos enzimas diferentes en función de la temperatura. Aumentar la actividad enzimática significa que se transforman más moléculas de sustrato en la unidad de tiempo. La enzima A tiene su temperatura óptima de actuación entre 40 y 50 °C. La enzima B es termófila, pues va aumentando su actividad con la temperatura, teniendo su máximo a los 70 °C. A una temperatura todavía mayor es de esperar que se desnaturalizaría la parte proteica de la enzima.
- b) Dado que el sustrato que transforman ambas enzimas es el mismo y que no se nos proporcionan más datos, hemos de suponer que existe cantidad suficiente de sustrato para que, al ser transformado simultáneamente en los productos Y y Z, no disminuya significativamente su concentración, de modo que esto repercutiese en una menor eficacia de la actividad de las enzimas. Es decir, podemos considerar que existe una cantidad "infinita" de sustrato. Con este supuesto, a los 40 °C se formará mayor cantidad de producto Y que de Z porque la actividad de la enzima A es mayor que la de la enzima B. A 70 °C y por la misma razón ocurrirá lo contrario, pero con una diferencia mucho mayor entre la cantidad formada de ambos productos.

12

Catabolismo aeróbico y anaeróbico

ACTIVIDADES PAU RESUELTAS

- 12.1. En la degradación aerobia de la glucosa hay tres etapas en las que se libera energía: glucólisis, ciclo de Krebs y cadena respiratoria.
- Sin necesidad de fórmulas, explica brevemente las etapas de la glucólisis.
 - Resume el balance energético de cada una de las tres etapas mencionadas inicialmente, y el balance energético final del proceso respiratorio.

Actividad resuelta en el libro del alumno.

- 12.2. En algunos organismos, el ácido pirúvico procedente de la glucólisis sigue una ruta metabólica denominada fermentación, mediante la cual obtienen energía.
- Señala las diferencias fundamentales entre fermentación y respiración celular.
 - ¿Qué microorganismos pueden realizar fermentaciones?
 - Menciona algún producto industrial que se obtenga por fermentación y que te resulte familiar (porque se consuma en tu casa, por ejemplo).

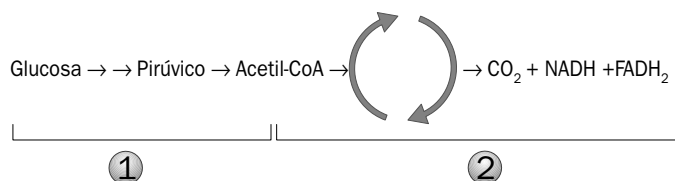
Actividad resuelta en el libro del alumno.

- 12.3. Indica el papel que representan en el metabolismo las siguientes moléculas: NADH, citocromo c, acetil-CoA, ADP.

Actividad resuelta en el libro del alumno.

ACTIVIDADES

- 12.4. El esquema mostrado representa el resumen de dos importantes rutas metabólicas. Responde razonadamente a las siguientes preguntas.



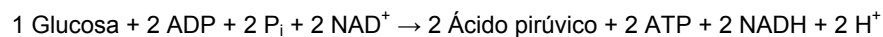
- ¿Qué nombre reciben las rutas metabólicas 1 y 2?
 - ¿En qué lugar de la célula se desarrolla la ruta 1 y en qué lugar la ruta 2?
 - ¿Es necesario algún proceso adicional para obtener toda la energía, biológicamente utilizable, que contiene la molécula de glucosa?
 - En ciertas circunstancias, algunas células solo llevan a cabo la ruta número 1. Da una explicación a este hecho.
- a) La **ruta 1** es la glucólisis o ruta de Embden-Meyerhof, en la que una molécula de glucosa (seis átomos de carbono) se transforma en dos moléculas de ácido pirúvico (tres átomos de carbono cada una). El ácido pirúvico formado en la glucólisis sufre una oxidación, liberándose una molécula de CO₂ y formándose un grupo acetilo que se une momentáneamente a un compuesto denominado coenzima A. De esta forma se origina el acetil-CoA, que marca la conexión entre la glucólisis y el ciclo de Krebs.
- La **ruta 2** es el ciclo de Krebs. Cada vuelta del ciclo consume un grupo acetilo, liberando dos moléculas de CO₂, tres de NADH y una de FADH₂.
- b) La glucólisis ocurre en el citosol; el ciclo de Krebs tiene lugar en la matriz de la mitocondria.

- c) Sí, ya que la mayor parte de la energía se encuentra en los electrones que fueron aceptados por el NAD^+ y el FAD. Estos electrones procedentes de la glucólisis, la oxidación del ácido pirúvico y el ciclo de Krebs se encuentran aún en un nivel energético alto, siendo conducidos a través de una cadena de transporte electrónico o cadena respiratoria formada por aceptores, cada uno de los cuales es capaz de aceptar electrones a un nivel energético ligeramente inferior al precedente. Cuando los electrones se mueven a través de la cadena transportadora, van saltando a niveles energéticos inferiores y, paralelamente, se va liberando energía. Esta energía se emplea para fabricar ATP a partir de ADP, en un proceso denominado fosforilación oxidativa. El oxígeno es imprescindible en este proceso, ya que es el aceptor final de los electrones combinado con dos protones forma agua, que sale de la mitocondria y de la célula.
- d) Algunas células solo llevan a cabo la ruta número 1, cuando el catabolismo ocurre en condiciones anaerobias, es decir, cuando el último aceptor de los hidrógenos (o de los electrones) no es el oxígeno, sino una molécula orgánica sencilla. Las rutas de degradación de la glucosa, en ese caso, se denominan fermentaciones. En un mismo organismo pluricelular pueden darse tanto rutas aerobias como anaerobias, según las condiciones ambientales de sus células. Este es el caso de la fibra muscular estriada de los vertebrados: en condiciones anaerobias producen ácido láctico, y de ese modo regeneran el NAD^+ . Pero es en el mundo de los microorganismos (levaduras y bacterias) donde encontramos una enorme variedad de rutas fermentativas de muy diversa índole.

12.5. Enumera y comenta los objetivos de las diferentes fases de la respiración celular sin tener que describir detalladamente cada una.

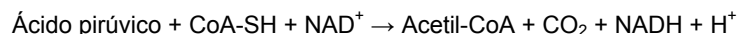
La glucólisis o ruta de Embden-Meyerhof es una ruta catabólica; ocurre en el citosol sin necesidad de oxígeno, y convierte una molécula de glucosa (seis átomos de carbono) en dos de ácido pirúvico (tres átomos de carbono). Es la ruta central del catabolismo de la glucosa en animales, plantas y microorganismos, y se considera la ruta más antigua utilizada por los seres vivos para obtener energía.

El balance energético de la glucólisis es idéntico para cualquier monosacárido, y es el siguiente:



La respiración celular aerobia tiene lugar en condiciones aeróbicas, que es un proceso catabólico completo que tiene como finalidad la obtención de energía, y se da en la mayoría de las células. El ácido pirúvico formado durante la glucólisis se oxida completamente a CO_2 y H_2O en presencia de oxígeno. Este proceso de respiración se desarrolla en dos etapas sucesivas: el ciclo de Krebs y la cadena respiratoria, que está asociada a la fosforilación oxidativa.

Etapla inicial: **oxidación del ácido pirúvico**. El ácido pirúvico, formado en la glucólisis en el citosol, pasa a la matriz mitocondrial atravesando las membranas mitocondriales externa e interna. Antes de comenzar el ciclo de Krebs, el ácido pirúvico sufre una oxidación, liberándose una molécula de CO_2 y formándose un grupo acetilo. Cada grupo acetilo se une momentáneamente a un compuesto denominado coenzima A, originando el acetil-CoA.



Ciclo de Krebs. Se caracteriza por una serie de reacciones que se desarrollan en la matriz mitocondrial a expensas de una serie de ácidos orgánicos que forman el denominado ciclo. Por cada molécula de acetil-CoA que entra en el ciclo, se obtiene 2 CO_2 , 3 $\text{NADH} + 3 \text{ H}^+$, 1 FADH_2 y 1 GTP, que se transformará en ATP. La reoxidación de las coenzimas tiene lugar en la siguiente fase, obteniéndose ATP.

Cadena de transporte electrónico. Consta de una serie de aceptores, cada uno de los cuales es capaz de aceptar electrones a un nivel energético ligeramente inferior al precedente. A esta cadena de transporte electrónico se incorporan las coenzimas reducidas (NADH y FADH_2) de las fases anteriores, siendo conducidos los electrones hasta un aceptor final, que en la mayoría de las células es el oxígeno, que, al reducirse, origina agua.

Fosforilación oxidativa. Es la producción de ATP en la mitocondria gracias a la energía liberada durante el proceso de transporte electrónico. Por cada dos electrones que pasan desde la coenzima NADH al oxígeno se forman tres moléculas de ATP a partir de ADP y P_i . Sin embargo, por cada dos electrones que pasan del FADH_2 y entran en la cadena en un nivel energético menor, se forman dos moléculas de ATP.

- 12.6. Explica la frase siguiente: “En una célula eucariótica animal se pueden producir simultáneamente la fermentación y la respiración oxidativa. En ausencia de oxígeno, la fermentación es el único proceso que la célula puede utilizar para obtener energía”.**

Una de las características de las células eucarióticas es la compartimentación celular. Esta compartimentación consiste en la existencia de diferentes orgánulos y estructuras membranosas, que encierran distintos tipos de moléculas y enzimas en ambientes químicos con diferentes comportamientos. Este hecho permite que dichas células puedan llevar a cabo, simultáneamente, multitud de procesos metabólicos diferentes. Puesto que la fermentación es una vía metabólica que se lleva a cabo en el citosol – en tanto que la respiración oxidativa se lleva a cabo en las mitocondrias –, es posible que la célula lleve a cabo estos dos procesos diferentes al mismo tiempo.

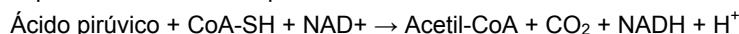
La **respiración oxidativa** es el proceso de degradación total de la glucosa para producir el máximo rendimiento energético (36 ATP). Este es el proceso que llevan a cabo las células de los organismos aerobios, ya que necesita de la presencia de oxígeno. La fermentación, en cambio, es un recurso de los organismos anaerobios y de las células en las que escasea el oxígeno, para conseguir energía a partir de la degradación parcial de la glucosa. La vía metabólica anaerobia por excelencia es la **glucólisis**, que consiste en una degradación parcial de la glucosa; por esta vía, tan solo se obtienen 2 ATP. Esta cantidad de energía es suficiente para algunos microorganismos y para algunas células de los organismos eucariontes (recordemos que las células de los organismos superiores están especializadas, y solo realizan unas funciones concretas dentro del organismo).

En algunas ocasiones –como ocurre en las células del músculo estriado en situaciones de mayor esfuerzo–, el aporte de oxígeno a la célula es insuficiente, y el ácido pirúvico no puede ser oxidado a acetil-CoA. Sin embargo, la glucólisis, al ser anaerobia, sigue produciendo ácido pirúvico y 2 ATP por cada molécula de glucosa; en esta situación, se ponen en marcha las fermentaciones. El objetivo de estas vías metabólicas no es producir energía, ya que el ATP se produce durante la glucólisis, sino regenerar el NAD^+ utilizado en la glucólisis para que esta pueda continuar. Esto se debe a que el NAD^+ , como todas las coenzimas, se encuentra en el organismo en cantidades limitadas, por lo que es utilizado una y otra vez, oxidándose y reduciéndose alternativamente. Si todo el NAD^+ disponible se transformara en NADH, la glucólisis no podría continuar. En ausencia de oxígeno, la glucólisis es la única vía posible de producción energética y, por tanto, son las fermentaciones las que permiten que el proceso no se detenga.

12.7. Responde.

- a) **Cita un proceso metabólico que conduce a la formación de acetil-CoA.**
 b) **De la degradación del radical acetilo la célula obtiene energía. Explica el proceso de forma esquematizada.**

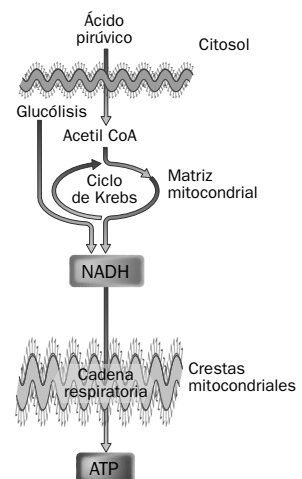
- a) El producto final de la glucólisis es el ácido pirúvico, una molécula de tres átomos de carbono. La degradación parcial de una molécula de glucosa (glucólisis) da lugar a la formación de dos moléculas de ácido pirúvico. En ausencia de oxígeno, este ácido se transforma en otras moléculas orgánicas. Sin embargo, en presencia de oxígeno se produce la degradación u oxidación del ácido pirúvico, en un proceso conocido como descarboxilación oxidativa, transformándose en acetil-CoA. Esta transformación es la primera fase de la respiración celular:



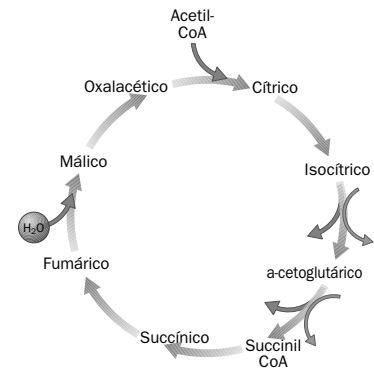
- b) La siguiente fase de la respiración celular aerobia es el ciclo de Krebs. Este se caracteriza por una serie de reacciones que se desarrollan a expensas de una serie de ácidos orgánicos que forman el denominado ciclo. Por cada molécula de acetil-CoA que entra en el ciclo, se obtienen 2 CO_2 , 3 $\text{NADH} + 3 \text{H}^+$, 1 FADH_2 y 1 GTP, que se transformará en ATP. El acetil-CoA es, en este caso, la molécula encargada de proporcionar átomos de carbono al ciclo.

Las reacciones que se producen en el ciclo liberan protones y electrones, que son aceptados por las coenzimas. Estas coenzimas reducidas (NADH , FADH_2) ceden sus protones y electrones a la cadena respiratoria, reoxidándose así para poder ser utilizados nuevamente. La cadena de transporte electrónico consta de una serie de enzimas oxidorreductasas, que recogen los electrones de las coenzimas reducidas (NADH y FADH_2) de las fases anteriores y los van pasando de una a otra hasta un aceptor final de electrones, el oxígeno molecular; este, al reducirse, origina agua.

Durante el transporte electrónico se producen saltos energéticos que liberan la energía suficiente para poder sintetizar ATP. Se denomina fosforilación oxidativa a la producción de ATP en la mitocondria, gracias a la energía liberada durante el proceso de transporte electrónico. El ATP es sintetizado gracias a la acción de la enzima ATP-sintetasa, que está ligada a la membrana interna de la mitocondria. Por cada dos electrones que pasan desde la coenzima NADH al oxígeno, se forman tres moléculas de ATP a partir de ADP y P_i . Sin embargo, por cada dos electrones que pasan del FADH_2 y entran en la cadena en un nivel energético menor, se forman dos moléculas de ATP.



12.8. La siguiente figura representa una ruta central del metabolismo.



- ¿De qué ruta se trata?
- ¿Dónde tiene lugar?
- ¿Qué productos se originan?
- En la cadena respiratoria, ¿qué tipo de gradiente genera el flujo de electrones y cuál es su finalidad?
- ¿Qué son las enzimas? Explica brevemente la regulación por retroinhibición (*feedback* o retroalimentación).
- ¿De qué tipo de regulación se trata?

- Se trata del ciclo de Krebs. Por el tipo de moléculas que participan, se denomina también ciclo de los ácidos tricarboxílicos o, simplemente, ciclo del ácido cítrico.
- En la matriz mitocondrial, siempre y cuando haya suficiente oxígeno. Consiste en una cadena cíclica de reacciones, en cada una de las cuales interviene una enzima específica.
- Cada vuelta del ciclo consume un grupo acetilo y regenera un ácido oxalacético que puede iniciar otro nuevo ciclo. Por cada molécula de acetil CoA que entra en el ciclo, se generan dos moléculas de CO₂, una de GTP, tres de NADH y una de FADH₂.
- En la cadena respiratoria, los electrones son conducidos a través de una serie de aceptores, cada uno de los cuales es capaz de aceptar electrones a un nivel energético ligeramente inferior al precedente. Cuando los electrones se mueven a través de la cadena transportadora, van saltando a niveles energéticos inferiores y, paralelamente, se va liberando energía. Esta energía se emplea para fabricar ATP a partir de ADP, en un proceso denominado fosforilación oxidativa.

El mecanismo de la fosforilación oxidativa depende de la generación de un gradiente de protones a través de la membrana mitocondrial interna. Los componentes de la cadena transportadora de electrones se encuentran ordenados en la membrana, formando tres complejos diferenciados. Estos complejos son, además, auténticas bombas de protones. Cuando los electrones van pasando de un nivel energético a otro inferior, los complejos proteicos emplean la energía que se libera para bombear los protones desde la matriz mitocondrial al espacio intermembrana. Como la membrana mitocondrial interna es impermeable a los protones, el bombeo de estos consigue que se establezca un gradiente electroquímico entre la matriz y el espacio intermembrana, capaz de generar una fuerza protomotriz de unos 230 mV; esta fuerza proporciona energía aprovechable para hacer funcionar cualquier proceso que esté acoplado a un canal por el que puedan circular los protones a favor de gradiente hacia la matriz.

Las partículas F forman esos canales por los que pueden fluir los electrones. Cada partícula F es un complejo enzimático ATP-sintetasa, con una porción F₀ anclada en la membrana de la cresta y otra F₁ que sobresale hacia la matriz.

Cuando el flujo de protones pasa a través de esta compleja estructura hacia la matriz, se produce una rotación en la partícula F, y la síntesis del ATP cataliza en el lado de la matriz mitocondrial a partir de ADP y fosfato. Por cada tres protones que fluyen a través del complejo ATP-sintetasa se forma una molécula de ATP. Como el flujo de protones es impulsado por el gradiente electroquímico, este proceso tiene carácter quimiosmótico.

- Las enzimas son, generalmente, proteínas que catalizan de forma específica determinadas reacciones bioquímicas, uniéndose a la molécula o metabolito que se va a transformar, la cual recibe el nombre de sustrato. Existen, además, otras enzimas de naturaleza ribonucleoproteica, denominadas ribozimas.

La región de la enzima donde se acomoda el sustrato es el centro activo. La unión entre enzima y sustrato implica un reconocimiento estérico, es decir, relacionado con la forma y el volumen del propio sustrato al que se une específicamente. Las enzimas se comportan como cualquier otro catalizador en cuanto a que:

- **Disminuyen la energía de activación** del proceso en el que intervienen, es decir, aceleran las reacciones bioquímicas.
- **No cambian el signo ni la cuantía de la variación de la energía libre**, solo aceleran procesos espontáneos. No pueden hacer que los procesos sean termodinámicamente más favorables.
- **No modifican el equilibrio** de una reacción, sino que aceleran su llegada.
- **Al finalizar la reacción, quedan libres** sin alterarse como cualquier otro catalizador, y pueden funcionar otras veces.

- f) Existen diversas moléculas, denominadas ligandos o efectores, capaces de unirse específicamente a la enzima provocando en ella un cambio conformacional. Este cambio origina la transformación entre la forma inactiva de la enzima y la forma funcionalmente activa de la misma, o viceversa. Ambas conformaciones de la enzima son diferentes y estables. Estos ligandos se unen a la enzima en los denominados centros reguladores, que son diferentes al centro activo.

En la regulación por retroinhibición (*feedback* o retroalimentación), los productos de la reacción se comportan como ligandos inhibidores, inhibiendo la unión de moléculas de sustrato a la enzima y, por tanto, impidiendo la reacción enzimática. Estas enzimas, que son reguladas por el producto de la reacción, se denominan alostéricas. El alosterismo supone un importante mecanismo de regulación de la reacción enzimática.

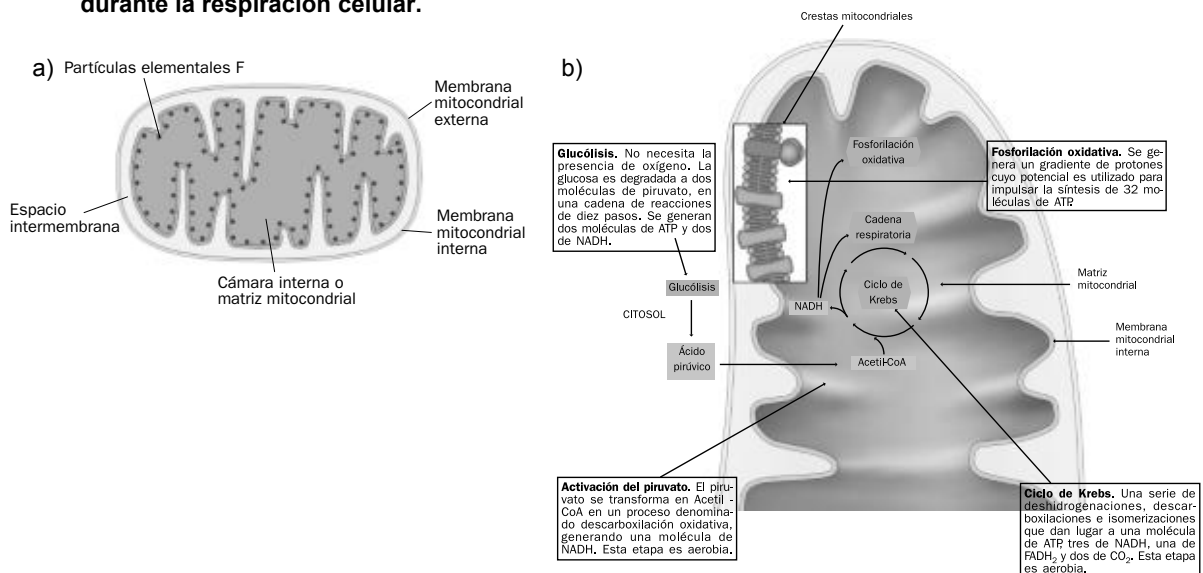
12.9. Diferencia entre: fosforilación a nivel de sustrato y fosforilación oxidativa. Explicarlo sin la ayuda de dibujos.

La **fosforilación a nivel de sustrato** consiste en que un metabolito (molécula que va a ser transformada en una ruta metabólica) queda unido covalentemente a un ácido fosfórico, generalmente por esterificación y con gasto de un ATP que pasa a ADP.

La **fosforilación oxidativa** es el nombre que se da a la formación de moléculas de ATP en la matriz mitocondrial a partir de ADP y fosfato inorgánico, gracias al complejo enzimático ATP sintetasa (partículas F_0F_1 ancladas en la membrana interna mitocondrial), que resultan activadas por el flujo de protones hacia la matriz a través de ellas, como consecuencia del gradiente electroquímico que se ha producido entre el espacio intermembrana y la matriz mitocondrial, gracias al bombeo de protones que previamente han realizado varias de las enzimas que intervienen en la cadena respiratoria localizada en las crestas mitocondriales. Por tanto, en la fosforilación oxidativa se almacena gran cantidad de energía (7,3 kcal por cada ATP formado).

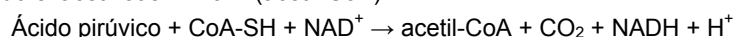
12.10. Mitochondrias.

- Dibuja el esquema de una mitocondria, poniendo nombre a sus partes.
- Haz un esquema con las principales etapas de la degradación de la glucosa en una célula.
- Explica las principales etapas de la degradación del ácido pirúvico –en presencia de oxígeno– durante la respiración celular.



- c) Cuando la degradación u oxidación del ácido pirúvico obtenido vía glucólisis se realiza en condiciones aeróbicas, tiene lugar la respiración celular.

La primera fase de la respiración celular es la oxidación del ácido pirúvico, que pasa del citoplasma celular a la matriz mitocondrial atravesando las membranas mitocondriales externa e interna. Se libera una molécula de CO_2 , formándose un grupo acetilo y una molécula de NADH a partir de la reducción de una molécula de NAD^+ . Cada grupo acetilo se une momentáneamente a un compuesto denominado CoA-SH, originando el acetil coenzima A (acetil-CoA).

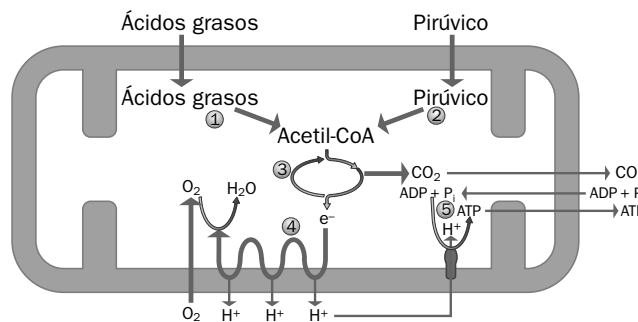


La siguiente fase de la respiración celular aerobia es el **ciclo de Krebs**, que ocurre en la matriz mitocondrial. Este se caracteriza por una serie de reacciones que se desarrollan a expensas de una serie de ácidos orgánicos que forman el denominado ciclo. Por cada molécula de acetil-CoA que entra en el ciclo, se obtiene: 2 CO_2 , $3 \text{ NADH} + 3 \text{ H}^+$, 1 FADH_2 y 1 GTP , que se transformará en ATP.

La **reoxidación de las coenzimas** tiene lugar al ceder estas sus electrones y protones a la cadena respiratoria, obteniéndose ATP. La cadena de transporte electrónico consta de una serie de enzimas oxidoreductasas situadas en las crestas mitocondriales, que recogen los electrones de las coenzimas reducidas (NADH y FADH_2) de las fases anteriores y los van pasando de una a otra hasta un aceptor final de electrones, el oxígeno molecular, que al reducirse origina agua.

Durante el **transporte electrónico** se producen saltos energéticos que liberan la energía suficiente para poder sintetizar ATP. Se denomina **fosforilación oxidativa** a la producción de ATP en la mitocondria, gracias a la energía liberada durante el proceso de transporte electrónico. El ATP es sintetizado gracias a la acción de la enzima ATP-sintetasa, que está ligada a la membrana interna de la mitocondria. Por cada dos electrones que pasan desde la coenzima NADH al oxígeno, se forman tres moléculas de ATP a partir de ADP y P_i . Sin embargo, por cada dos electrones que pasan del FADH_2 y entran en la cadena en un nivel energético menor, se forman dos moléculas de ATP.

12.11. Observa el siguiente esquema de un orgánulo celular y responde a las siguientes preguntas.



- ¿De qué orgánulo, que se encuentra en el citoplasma de las células, se trata?
- ¿Qué procesos representan los señalados como 1, 2, 3, 4, 5? Explícalos brevemente.
- ¿Cuál es el origen del ácido pirúvico?

a) Una mitocondria, orgánulo citoplasmático, presente permanentemente en las células eucarióticas, cuya función es fundamentalmente energética al intervenir en la respiración celular aerobia.

1. **β -oxidación de los ácidos grasos.** En primer lugar, los ácidos grasos provenientes de la hidrólisis de los triacilglicéridos son activados, uniéndoseles la coenzima A (CoA) para formar el acil-CoA. A continuación, el acil-CoA penetra en la mitocondria, donde es degradado por el proceso de β -oxidación de los ácidos grasos. Esta ruta, denominada también **hélice de Lynen**, consiste en la eliminación de forma secuencial de unidades de dos átomos de carbono, formándose acetil-CoA y quedando el resto del ácido graso activado, pero con dos carbonos menos. El **acetil-CoA** se incorpora directamente al ciclo de Krebs, mientras que el resto de acil-CoA –acortado en dos carbonos– experimenta un nuevo ciclo de oxidación. Por tanto, la β -oxidación consigue que de un ácido graso saturado se liberen, dentro de la mitocondria, tantas unidades de acetil-CoA como permita su número par de átomos de carbono.

2. **Transformación del ácido pirúvico en acetil-CoA.** Se trata de una descarboxilación oxidativa. Es una reacción catalizada por un complejo multienzimático, denominado piruvato deshidrogenasa. En esta reacción se forma una molécula de NADH a partir de la reducción de una molécula de NAD^+ , liberándose una molécula de CO_2 y formándose un grupo acetilo. Cada grupo acetilo se une momentáneamente a la coenzima A, originando el acetil-CoA. La aparición de este compuesto marca la conexión entre la glucólisis y el ciclo de Krebs.

3. **Ciclo de Krebs.** Consiste en una cadena cíclica de reacciones, en cada una de las cuales interviene una enzima específica. En cada vuelta del ciclo se generan dos moléculas de CO_2 , una de GTP que se transformará en ATP, tres de NADH y una de FADH_2 .

4. **Cadena de transporte electrónico.** Los electrones aceptados por el NAD^+ y el FAD se encuentran en un nivel energético alto. Durante el transporte electrónico, los electrones son conducidos a través de la cadena formada por aceptores, cada uno de los cuales es capaz de aceptar electrones a un nivel energético ligeramente inferior al precedente, hasta un aceptor final de electrones, el oxígeno molecular, que, al reducirse, origina agua. Los componentes de la cadena transportadora de electrones forman tres complejos diferenciados. Cuando los electrones van pasando de un nivel energético a otro inferior, los complejos proteicos emplean la energía que se libera para bombear los protones desde la matriz mitocondrial al espacio intermembrana.

5. Fosforilación oxidativa. Es la producción de ATP en la mitocondria, gracias a la energía liberada durante el proceso de transporte electrónico. El ATP es sintetizado gracias a la acción de la enzima ATP-sintetasa, que está ligada a la membrana interna de la mitocondria. Según la hipótesis quimiosmótica –la única comprobada experimentalmente y aceptada en la actualidad–, durante el transporte electrónico se produce un bombeo de protones desde la matriz mitocondrial al espacio intermembrana. La disipación posterior de este gradiente quimiosmótico creado a través de la ATP-sintetasa proporcionará la energía suficiente para la producción de ATP. Por lo tanto, según esta teoría, la fosforilación oxidativa depende de la generación de un gradiente de protones a través de la membrana mitocondrial interna. Por cada dos electrones que pasan desde la coenzima NADH al oxígeno, se forman tres moléculas de ATP a partir de ADP y P_i . Por cada dos electrones que pasan del $FADH_2$ y entran en la cadena en un nivel energético menor, se forman dos moléculas de ATP.

- b) El piruvato es producto de la degradación parcial de una molécula de glucosa. La glucólisis o ruta de Embden-Meyerhof-Parnas es una ruta catabólica y oxidativa que convierte una molécula de glucosa (seis átomos de carbono) en dos de ácido pirúvico (tres átomos de carbono cada una). Es la ruta central del catabolismo de la glucosa en animales, plantas y microorganismos, y se considera la ruta más antigua utilizada por los seres vivos para obtener energía. Es la primera fase de la respiración celular, en organismos aeróbicos y anaeróbicos. Tiene lugar en el hialoplasma celular, y consta de dos fases:

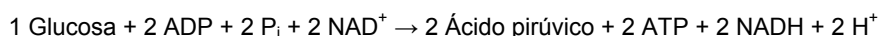
- Fase preparativa: $\text{Glucosa} + 2 \text{ ATP} \rightarrow 2 \text{ Gliceraldehído-3-fosfato}$.
- Fase oxidativa: $2 \text{ Gliceraldehído-3-fosfato} \rightarrow 2 \text{ Ácido pirúvico} + 4 \text{ ATP} + 2 \text{ NADH}$.

12.12. Indica, según su orden de actuación, las rutas metabólicas que intervienen en el siguiente proceso, señalando qué finalidad tiene cada una de ellas en el metabolismo de los seres vivos:

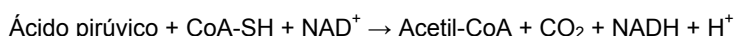


El proceso representa la oxidación completa, en presencia de oxígeno, de una molécula de glucosa a CO_2 y H_2O . El rendimiento medio total de una molécula de glucosa es de 36 moléculas de ATP.

La primera etapa del proceso es la glucólisis; una ruta catabólica y oxidativa que transcurre en el citosol y convierte una molécula de glucosa (seis átomos de carbono) en dos de ácido pirúvico (tres átomos de carbono cada una).



Si la degradación u oxidación del ácido pirúvico obtenido vía glucólisis se realiza en condiciones aeróbicas, tiene lugar la respiración celular. La transformación del ácido pirúvico en acetil-CoA es la primera fase de la respiración celular, y se realiza en la matriz mitocondrial.



La siguiente fase de la respiración celular aerobia es el ciclo de Krebs. Este se caracteriza por una serie de reacciones que se desarrollan a expensas de una serie de ácidos orgánicos que forman el denominado ciclo. Por cada molécula de acetil-CoA que entra en el ciclo se obtienen dos moléculas de CO_2 , tres de $\text{NADH} + \text{H}^+$, una molécula de FADH_2 y una molécula de GTP, que se transformará en ATP.

La reoxidación de las coenzimas tiene lugar al ceder estas sus electrones y protones a la cadena respiratoria, obteniéndose ATP. La cadena de transporte electrónico consta de una serie de enzimas oxidorreductasas, que recogen los electrones de las coenzimas reducidas (NADH y FADH_2) de las fases anteriores y los van pasando de una a otra hasta un aceptor final de electrones –el oxígeno molecular–, que, al reducirse, origina agua.

Durante el transporte electrónico se producen saltos energéticos que liberan energía suficiente para poder sintetizar ATP. Se denomina fosforilación oxidativa a la producción de ATP en la mitocondria, gracias a la energía liberada durante el proceso de transporte electrónico.

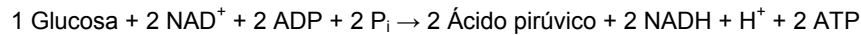
El ATP es sintetizado gracias a la acción de la enzima ATP-sintetasa, que está ligada a la membrana interna de la mitocondria. Por cada dos electrones que pasan desde la coenzima NADH al oxígeno se forman tres moléculas de ATP a partir de ADP y P_i . Sin embargo, por cada dos electrones que cede el FADH_2 se forman dos moléculas de ATP, ya que dichos electrones entran en la cadena transportadora en un nivel energético menor.

12.13. Describe la respiración celular y explica brevemente su significado biológico.

¿Cuáles son las diferencias entre esta ruta metabólica y la glucólisis en condiciones anaerobias?

La **respiración celular** comprende el metabolismo de degradación oxidativa de moléculas orgánicas, y su finalidad es la obtención de la energía necesaria para que la célula realice sus funciones vitales.

La glucólisis o ruta de Embden-Meyerhof es una ruta catabólica y oxidativa que convierte una molécula de glucosa (seis átomos de carbono) en dos de ácido pirúvico (tres átomos de carbono). Es la ruta central del catabolismo de la glucosa en animales, plantas y microorganismos, y se considera la ruta más antigua utilizada por los seres vivos para obtener energía. El balance energético de la glucólisis es idéntico para cualquier monosacárido, y es el siguiente:

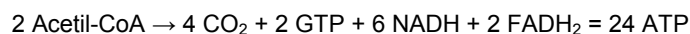
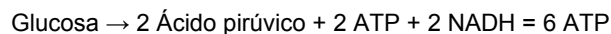


La degradación u oxidación del ácido pirúvico continúa. Esta es distinta según las condiciones en las que se realice, dándose dos rutas metabólicas distintas. Si las condiciones son aeróbicas, tiene lugar la respiración celular; mientras que si son anaeróbicas, se produce la fermentación.

Vía aerobia. En condiciones aeróbicas, tiene lugar la respiración celular aerobia, que es un proceso catabólico completo que tiene como finalidad la obtención de energía, y se da en la mayoría de las células. La glucosa es oxidada a materia inorgánica, siendo los productos finales CO_2 , H_2O y ATP.

- **Ciclo de Krebs.** Reacciones que se desarrollan a expensas de una serie de ácidos orgánicos que forman el denominado ciclo. Por cada molécula de acetil-CoA que entra en el ciclo se obtienen dos moléculas de CO_2 , tres de $\text{NADH} + 3 \text{ H}^+$, una de FADH_2 y una de GTP, que se transformará en ATP. La reoxidación de las coenzimas tiene lugar en la siguiente fase, obteniéndose ATP.
- **Cadena de transporte electrónico.** Consta de una serie de enzimas oxidorreductasas, que recogen los electrones de las coenzimas reducidas (NADH y FADH_2) de las fases anteriores y los van pasando de una a otra hasta un aceptor final de electrones. En la mayoría de las células, este aceptor final es el oxígeno, que al reducirse origina agua.
- **Fosforilación oxidativa.** Es la producción de ATP en la mitocondria gracias a la energía liberada durante el proceso de transporte electrónico. Por cada coenzima NADH , se pueden obtener tres moléculas de ATP; pero en el caso del FADH_2 , sólo dos.

Para obtener el balance energético de la oxidación de una molécula de glucosa mediante un proceso respiratorio aerobio debemos tener en cuenta todas las fases:



Con lo que tenemos un total de 36 ATP/mol de glucosa.

En la respiración celular, la materia orgánica es degradada completamente a materia inorgánica y, por tanto, el balance energético del proceso es elevado.

Vía anaerobia. En condiciones anaeróbicas, el piruvato sigue la vía metabólica de las fermentaciones. Estas son procesos catabólicos en los que el aceptor final de electrones no es el oxígeno, sino una molécula orgánica que, al reducirse, se transforma en otra molécula orgánica. Son procesos catabólicos parciales, ya que los productos finales aún contienen enlaces de energía en sus moléculas.

Las dos fermentaciones más comunes son la alcohólica y la láctica, que se distinguen por la naturaleza de sus productos finales: alcohol etílico y ácido láctico, respectivamente.

Para obtener el balance energético de la oxidación de la glucosa por fermentación, hay que tener en cuenta que las coenzimas reducidas obtenidas en la glucólisis no ceden sus electrones a una cadena cuyo aceptor final es el oxígeno, sino que los ceden directamente a un compuesto orgánico que se reduce, y es el producto característico de cada fermentación (láctica, alcohólica, etc.). La degradación de la glucosa no es completa, y el producto final sigue siendo materia orgánica, siendo el balance energético mucho más bajo que mediante respiración. Es de 2 ATP/mol de glucosa, correspondiendo estas moléculas de ATP a las obtenidas en la glucólisis.

12.14. La respiración de las células musculares se lleva a cabo por dos vías metabólicas.

- a) **Explica cuáles son las dos, y las características que tiene cada una.**
- b) **Sitúa en la estructura celular los diferentes procesos respiratorios.**

- a) y b) La respiración de las células musculares comienza con la glucólisis, ruta catabólica que ocurre en el citosol sin necesidad de oxígeno, que es una secuencia de reacciones en las que una molécula de glucosa (seis átomos de carbono) se transforma en dos moléculas de ácido pirúvico (tres átomos de carbono cada una).

En condiciones aerobias, las moléculas de NADH obtenidas en la glucólisis ceden sus electrones a la cadena de transporte electrónico que los conducirá hasta el oxígeno (O_2), produciéndose agua y regenerándose NAD^+ , que se reutilizará en la glucólisis. En estas condiciones, el ácido pirúvico entra en la mitocondria y se transforma en grupos acetilo, que formarán el acetil coenzima A (acetil-CoA), que ingresará en la respiración celular.

En condiciones anaerobias, el NADH se oxida a NAD^+ mediante la reducción del ácido pirúvico, originando ácido láctico. Esta etapa hace posible que se produzca energía de forma anaeróbica, denominándose fermentación láctica, y ocurre en el citosol.

12.15. Responde.

- a) **Escribe la ecuación global de la respiración celular.**
- b) **Enuncia –comenzando por el proceso de glucólisis– las tres fases en que se divide.**
- c) **Define la glucólisis e indica si es un proceso aerobio o anaerobio.**
- d) **Indica dónde se realiza cada una de las tres etapas de la respiración celular.**

- a) La ecuación global de la respiración celular es:



- b) El proceso se divide en tres fases: la glucólisis, el ciclo de Krebs y la cadena respiratoria.
- c) La **glucólisis** o ruta de Embden-Meyerhof es una ruta catabólica y oxidativa que convierte una molécula de glucosa (seis átomos de carbono) en dos de ácido pirúvico (tres átomos de carbono). Es la ruta central del catabolismo de la glucosa en animales, plantas y microorganismos, y se considera la ruta más antigua utilizada por los seres vivos para obtener energía. Este proceso ocurre sin necesidad de oxígeno; por tanto, es anaerobio.
- d) La **glucólisis** se verifica en el **citosol**.

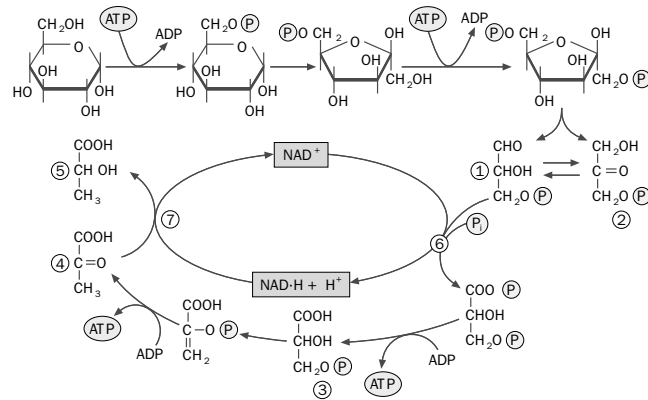
El **ciclo de Krebs** transcurre en la **matriz mitocondrial**. El ácido pirúvico obtenido en la glucólisis pasa a la matriz mitocondrial atravesando las membranas mitocondriales externa e interna, sufriendo una oxidación y transformándose en acetil-CoA. La aparición de este compuesto marca la conexión entre la glucólisis y el ciclo de Krebs.

La **cadena respiratoria** se lleva a cabo en las **crestas mitocondriales**, ya que las enzimas implicadas en este proceso se localizan en la membrana interna de la mitocondria. Los electrones captados en los procesos anteriores se mueven a través de la cadena transportadora, saltando a niveles energéticos inferiores, y paralelamente se va liberando energía. Esta energía se emplea para fabricar ATP a partir de ADP, en un proceso denominado fosforilación oxidativa.

12.16. Explica dos diferencias (que no estén basadas en las diferentes moléculas que intervienen) entre el proceso de la glucólisis en condiciones aerobias y la oxidación completa de los ácidos grasos.

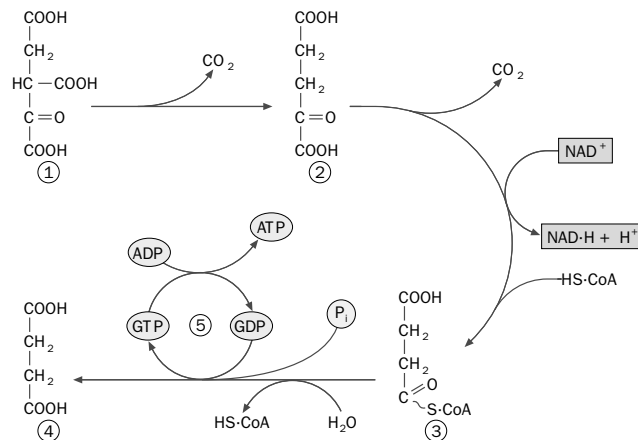
- En la glucólisis, las moléculas están activadas por fosforilación (quien inicia el proceso es la glucosa-6-fosfato), y en la β -oxidación están activadas por la Coenzima A (quien inicia el proceso es el acil-S-CoA).
- En la glucólisis, en condiciones aerobias, la degradación hasta ácido pirúvico (que es la glucólisis propiamente dicha) ocurre fuera de la mitocondria, y la β -oxidación transcurre en la matriz mitocondrial.

12.17. De esta ruta metabólica, responde a lo siguiente.



- ¿Cuál es el nombre de los metabolitos 1, 2, 3, 4 y 5?
 - ¿De qué ruta metabólica se trata?
 - ¿En qué tipo celular y en qué lugar de la célula ocurre?
 - ¿Qué sucede en el paso 7?
 - ¿Cuál es el balance energético de esta ruta?
1. Gliceraldehído 3-fosfato; 2. Dihidroxiacetona fosfato; 3. Ácido 3-fosfoglicérico; 4. Ácido pirúvico; 5. Ácido láctico.
 - La ruta es la glucólisis en condiciones anaerobias seguida de fermentación láctica.
 - Podría ocurrir en la célula muscular estriada en condiciones de insuficiente oxigenación. En cualquier caso, sucede toda ella fuera de la mitocondria, en el citosol o hialoplasma.
 - En el paso 7 ocurre la reducción del pirúvico a láctico, lo cual permite la reoxidación del NAD⁺ que se había reducido por la oxidación del gliceraldehído 3-fosfato. Este paso es de capital importancia porque, si no se diera en estas condiciones, se bloquearía la glucólisis porque todo el NADH quedaría reducido. Recordemos que, como no hay oxígeno molecular suficiente, no puede “utilizarse” la mitocondria para reoxidar nucleótidos.
 - El balance energético de esta ruta es de 2 ATP por cada molécula de glucosa, ya que por cada una de ellas se obtienen dos de gliceraldehído y, por tanto, dos de ácido láctico. Como se han gastado dos ATP (de glucosa a fructosa 1,6 bisfosfato) y se producen 2 ATP dos veces, el balance es 2 ATP.

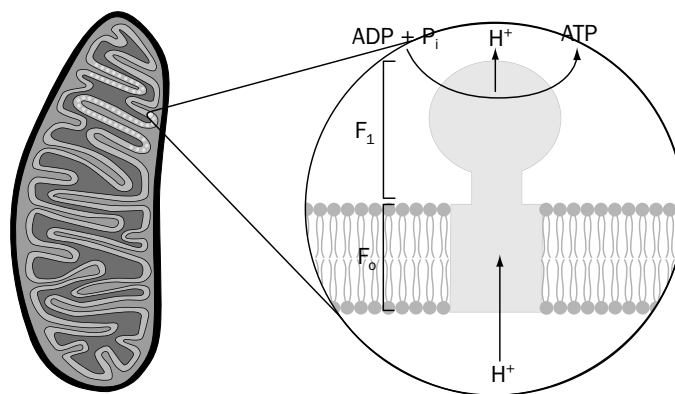
12.18. Sobre el diagrama adjunto se te plantean varias preguntas.



- Nombre de los metabolitos 1, 2, 3 y 4.
- ¿A qué ruta metabólica corresponde el proceso? ¿Dónde ocurre?
- ¿Qué balance energético se espera de este fragmento? (Especifica en qué condiciones)
- Explica lo que sucede en el paso 5.
- ¿Qué sucede en el paso del metabolito 1 al 2? ¿Y del 2 al 3?

1. Ácido oxalsuccínico; 2. Ácido α -cetoglutarico; 3. Succinil-S-Coenzima A; 4. Ácido succínico.
- Es un fragmento del ciclo de Krebs o ciclo de los ácidos tricarboxílicos; una de las dos rutas metabólicas que constituyen la respiración celular o respiración mitocondrial. Ocurre en la matriz mitocondrial.
- De este único fragmento se obtiene 1 ATP, pero en las condiciones aerobias en que debe estar la mitocondria para que se realice la respiración celular; el $\text{NAD}\cdot\text{H}+\text{H}^+$ será reoxidado en la cadena respiratoria, y ese proceso rendirá 3 ATP mediante la fosforilación oxidativa. Por tanto, podemos decir que el balance total de este fragmento es de 4 ATP.
- En el paso 5 se almacena parte de la energía desprendida al liberarse la molécula de HS-CoA en el nucleótido guanosintrifosfato, que incorpora una molécula de fosfato inorgánico (P_i), e inmediatamente se la transfiere a un ADP, obteniéndose así el ATP que hemos mencionado en el apartado anterior.
- En los pasos del 1 al 2 y del 2 al 3 ocurren las dos descarboxilaciones posibles en el ciclo de Krebs, ya que ha ingresado en él una molécula de dos átomos de carbono: el acetilo unido a la coenzima A. La segunda descarboxilación es fuertemente energética, pues se reduce un NAD^+ y se incorpora transitoriamente la coenzima A al proceso.

12.19. Observa el esquema y explica lo que representa, relacionándolo con el proceso global que ocurre en la cresta mitocondrial.

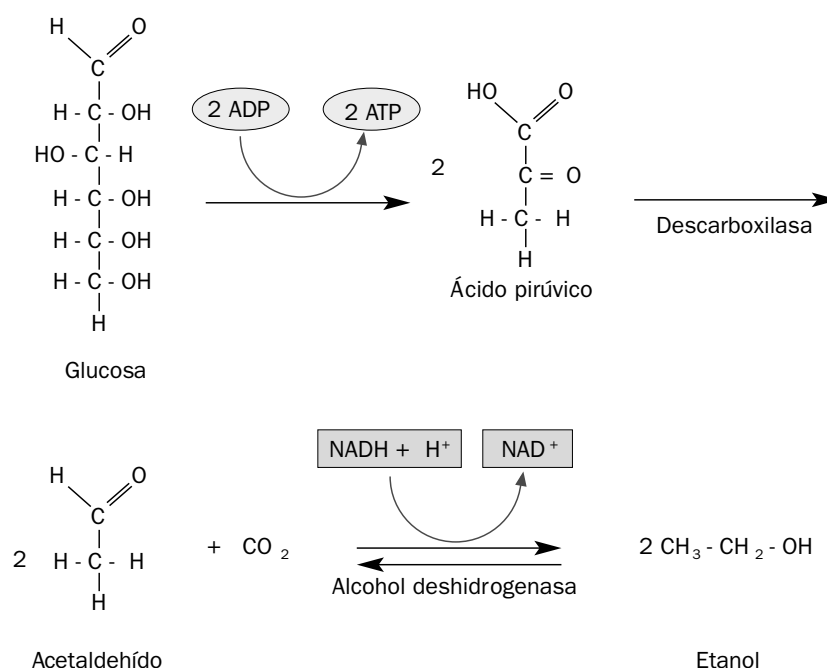


El esquema representa la sección de una mitocondria en la que se distingue la matriz, la membrana interna y la externa.

Las bolitas blancas que están junto a la membrana interna en el lado de la matriz son las partículas F_0F_1 del complejo enzimático ATP sintetasa anclado en la membrana interna mitocondrial, que aparece dibujado con detalle en el lado derecho del esquema.

Centrándonos en el dibujo de la derecha, vemos que en la parte inferior se indica el flujo de protones hacia la matriz a través de la ATP sintetasa. Este flujo viene motivado por el gradiente electroquímico que se ha producido entre el espacio intermembrana (parte inferior del dibujo) y la matriz mitocondrial (parte superior), gracias al bombeo de protones que previamente han realizado varias de las enzimas que intervienen en la cadena respiratoria. Al pasar los protones por la enzima, esta se activa, y, en el lado de la matriz, cataliza la fosforilación del ADP con el fosfato inorgánico allí presente. De este modo, por cada enlace fosfato se almacenan 7,3 kcal. Este proceso es lo que se conoce con el nombre de **fosforilación oxidativa**.

12.20. Observa la secuencia de las reacciones expresadas en el esquema, y responde a las siguientes preguntas.



- ¿De qué proceso se trata?
- ¿En qué circunstancias tiene lugar?
- Describe el proceso y comenta la secuencia de reacciones.
- ¿Puedes establecer alguna comparación de la energía obtenida en este caso con la que se obtendría en otras formas de catabolizar la glucosa?
- Cita procesos industriales en que estas transformaciones ocurran.

El esquema, presentado en el examen original de la PAU en dos líneas (lo cual puede desconcertar al alumno), es el proceso de la fermentación alcohólica, o etílica, de la glucólisis en condiciones anaerobias.

Otra dificultad estriba en que la glucosa aparece en su forma abierta (proyección de Fischer), en lugar de la habitual fórmula en perspectiva de Haworth. Los 2 ATP indicados no se producen a la vez, sino en dos pasos diferentes de la ruta que aquí no se explicitan. Las dos moléculas de ácido pirúvico corresponden a una molécula de glucosa. Los átomos destacados en rojo, en el carboxilo del pirúvico, están anunciando el CO_2 que se va a desprender en el paso siguiente al formarse el acetaldehído. La reoxidación del NAD, gracias a la reducción del acetaldehído a etanol, es fundamental para que siga transcurriendo la glucólisis, ya que, si todo el NAD estuviera reducido, se bloquearía el proceso. Hay que puntualizar que todo esto ocurre fuera de la mitocondria. Por tanto, las respuestas escuetas serían:

- Se trata de la fermentación alcohólica.
- Tiene lugar en el citoplasma de células, como las levaduras, fuera de la mitocondria y en condiciones anaerobias.
- La glucosa, a través de varios pasos, rinde dos moléculas de ácido pirúvico y se almacena energía en 2 ATP. El pirúvico se reduce a acetaldehído con desprendimiento de CO_2 (el dióxido de carbono de los lagares), y el acetaldehído se reduce a etanol, reoxidándose así el NAD que se había reducido previamente, lo cual permite que continúe degradándose la glucosa.
- De este modo se obtienen 2 ATP por molécula de glucosa, mientras que en condiciones aerobias el pirúvico entraría en la mitocondria y se oxidaría hasta CO_2 y H_2O , lográndose un balance de 36 ATP por molécula de glucosa.
- Estas transformaciones ocurren en procesos industriales como la fabricación del pan, del vino y de la cerveza.

UN PASO MÁS

12.21. La cerveza es un producto industrial procedente de la cebada. Las semillas de cebada se humedecen para que germinen, de forma que al iniciarse la germinación sus propias enzimas hidrolíticas rompen los polisacáridos de reserva (almidón fundamentalmente) en monosacáridos. Tras detener este proceso por calor, se obtiene la malta. Esta se somete a la acción de levaduras, que inicialmente se multiplican utilizando los azúcares del medio como fuente de carbono y de energía. Cuando se consume el oxígeno presente, las levaduras inician el proceso que conduce a la producción de la cerveza.

- a) **¿Qué monosacárido se originará como resultado de la hidrólisis del almidón? ¿Qué tipos de enlaces deberán romper las enzimas hidrolíticas de las que se habla?**
 - b) **¿Cuáles serán los productos finales de la utilización de los azúcares por las levaduras, una vez consumido el oxígeno?**
 - c) **Compare la eficacia, desde el punto de vista energético, de la etapa en que las levaduras tienen oxígeno disponible y la etapa en la que ya se ha consumido.**
- a) El monosacárido originado será la glucosa, porque tanto la amilosa como la amilopectina (polisacáridos integrantes del almidón) son polímeros de la α -glucosa. Los enlaces que deberán romperse por las hidrolasas serán enlaces covalentes; y ambos, O-glicosídicos: el enlace α 1 $\rightarrow$ 4 de la maltosa (integrante de la amilosa y de la amilopectina) y el α 1 $\rightarrow$ 6 de la isomaltosa (integrante de la amilopectina).
 - b) Una vez consumido el oxígeno, las levaduras realizarán la fermentación etílica, reduciendo el ácido pirúvico a acetaldehído con desprendimiento de CO_2 que sale al ambiente, reduciendo el acetaldehído a etanol.
 - c) Mientras las levaduras tienen oxígeno disponible, pueden beneficiarse de la glucólisis en condiciones aerobias; por tanto, el ácido pirúvico entrará en la mitocondria y, transformado en acetilo y activado por la coenzima A, será oxidado completamente en el ciclo de Krebs y en las cadenas respiratorias a él asociadas, con un balance energético de 36 ATP por molécula de glucosa. Cuando hayan consumido el oxígeno, sucederá lo ya explicado en el apartado b), y el balance energético será el propio de la glucólisis en sentido estricto: 2 ATP por molécula de glucosa.

12.22. En una tertulia de televisión, discutían sobre dos lamentables accidentes. En el primero, unas personas habían muerto por haber entrado en el lagar de una bodega donde estaba fermentando el mosto. En el otro, unos jóvenes se habían intoxicado en un refugio de montaña por dormir con las ventanas cerradas junto a las brasas de una chimenea. Los invitados al programa decían que los dos accidentes tenían la misma causa. Tú, ¿qué opinas?

En el local cerrado del lagar se está produciendo la fermentación etílica con abundante desprendimiento de CO_2 . Llega un momento en que su concentración es tan alta que no hay suficiente presión parcial de oxígeno para que lo capten los pulmones en cantidad necesaria, y por eso las personas se asfixiaron.

En el refugio de montaña, en las brasas se produce una combustión incompleta, la cual desprende CO (monóxido de carbono) que, en el grupo hemo de la hemoglobina, ocupa de forma estable el lugar "reservado" para el oxígeno molecular y con mayor afinidad que este. Por tanto, aunque en la habitación hubiera suficiente oxígeno, no lo podrían asimilar porque el CO había ocupado su sitio.

Aunque el lamentable resultado sea el mismo, el proceso en cada caso ha sido diferente.

13 Anabolismo

ACTIVIDADES PAU RESUELTAS

13.1. La fotosíntesis es un proceso vital para los seres vivos. El descubrimiento de las reacciones químicas implicadas en este proceso ha supuesto largos años de investigaciones.

- a) Productos resultantes de la fase luminosa.
- b) Productos resultantes de la fase oscura.
- c) Localización celular concreta de cada parte del proceso.

Actividad resuelta en el libro del alumno.

13.2. La quimiosíntesis. Importancia biológica de este proceso.

Actividad resuelta en el libro del alumno.

13.3. Explica brevemente los factores que influyen en la velocidad de la fotosíntesis.

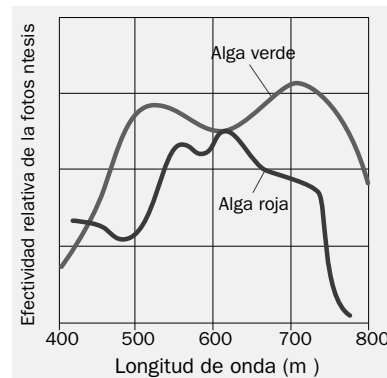
Actividad resuelta en el libro del alumno.

ACTIVIDADES

13.4. En esta gráfica se representa el espectro de efectividad relativa de la fotosíntesis de dos organismos: un alga verde y un alga roja.

Responde razonadamente.

- a) Las dos algas, cuando son expuestas a la misma fuente de luz, ¿absorben las mismas longitudes de onda luminosa con el mismo grado de efectividad?
- b) ¿Cuál es la única longitud de onda de la luz que produce aproximadamente igual eficacia en la fotosíntesis, 500 nm, 620 nm, 700 nm?



- a) En la gráfica se observa que las dos algas no absorben las mismas longitudes de onda cuando son expuestas a la misma fuente de luz.

Las **algas verdes** presentan dos máximos de absorción, a 500 nm y 700 nm; longitudes de onda que corresponden a los colores rojo y azul. Presentan un mínimo a 620 nm, que corresponde al verde, lo que explica su coloración característica.

Las **algas rojas** presentan un máximo de absorción a los 620 nm y un mínimo a los 500 nm, razón por la que presentan color rojo.

La luz que incide sobre las algas se compone de una gran variedad de longitudes de onda, por lo que la presencia de pigmentos con diferentes propiedades de absorción garantiza que un mayor porcentaje de fotones pueda estimular la fotosíntesis. Las algas poseen diferentes pigmentos en la unidad fotosintética o fotosistema, siendo la clorofila a, en ambos casos, la molécula del centro de reacción. El resto de los pigmentos constituyen el complejo antena del fotosistema; en las algas verdes, son clorofila b y carotenoides, y en las algas rojas, ficobilinas y ficoeritrina.

- b) En las longitudes de onda que producen aproximadamente igual eficacia en la fotosíntesis, las gráficas de efectividad relativa de ambas algas se cruzan. Este hecho se produce a los 420 nm y 620 nm. De las tres posibilidades que plantea la pregunta, la única longitud de onda es 620 nm.

13.5. La fotosíntesis.

- a) **Cita los productos finales de la fase luminosa y para qué se utilizarán posteriormente.**
 b) **Indica la diferencia entre la fotofosforilación cíclica y la fotofosforilación acíclica.**

- a) La fotosíntesis es un proceso de nutrición autótrofa o de síntesis de materia orgánica a partir de moléculas inorgánicas, utilizando energía luminosa. La ecuación global de este proceso anabólico es la siguiente:



Esta energía se almacena y, posteriormente, se aprovecha en la síntesis de principios inmediatos complejos. Consta de dos fases: fase luminosa o fotoquímica (conjunto de reacciones dependientes de la luz), y fase oscura o biosintética (conjunto de reacciones independientes de la luz).

En las membranas tilacoidales de los vegetales superiores se localizan las moléculas de clorofila agrupadas en dos tipos de unidades fotosintéticas o fotosistemas:

- **Fotosistema I (PS I).** Se localiza en las membranas de los tilacoides no apilados en contacto con el estroma. El centro de reacción de este fotosistema contiene dos moléculas de clorofila a o pigmento P_{700} , puesto que tienen su punto de máxima absorción a una longitud de onda de 700 nm.
- **Fotosistema II (PS II).** Se localiza en los grana. Su centro de reacción contiene dos moléculas de clorofila a, denominadas pigmento P_{680} , que tienen su máxima absorción a una longitud de onda de 680 nm.

Los dos fotosistemas son excitados simultáneamente por la luz, liberando electrones a un aceptor primario de electrones. La transferencia de electrones deja los pigmentos de los centros de reacción oxidados, debiendo atraer otros electrones para recuperar el estado inicial.

El PS II emite electrones a través de una cadena transportadora de electrones hacia el PS I. En el proceso de fotólisis, los electrones arrancados del PS II se sustituyen por electrones liberados al escindir la molécula de agua en protones y oxígeno.

El PS I emite electrones a través de otra cadena transportadora hacia el NADP^+ para formar NADPH.

El ATP y el NADPH representan la ganancia neta de las reacciones dependientes de luz. Para fabricar una molécula de NADPH es necesario que actúen ambos fotosistemas. La energía almacenada en los enlaces del NADPH y ATP se utiliza en la fase oscura para reducir el carbono y sintetizar diversos compuestos orgánicos, como monosacáridos, aminoácidos, ácidos grasos, etc.

- b) En presencia de luz se produce un flujo continuo de electrones: agua-PS II-PS I- NADP^+ . El movimiento de electrones se utiliza en la síntesis de ATP; proceso denominado fotofosforilación no cíclica. El mecanismo de síntesis de ATP requiere la existencia, en la cara estromática, de la membrana tilacoidal de un complejo enzimático ATP-sintetasa. El bombeo de protones al interior del tilacoide genera un gradiente electroquímico que crea la fuerza protomotriz necesaria para la síntesis de ATP en el estroma. Existe la posibilidad de un transporte cíclico de los electrones, en el que solo interviene el PS I. En este caso, no se reduce el NADP^+ , sino que los electrones vuelven al citocromo b_6f de la primera cadena de transporte, que cede los electrones a la plastocianina, dador de electrones del fotosistema I, reduciendo así el P_{700} . En este recorrido se sigue sintetizando ATP sin que se produzca fotólisis del agua. Este tipo de fotofosforilación cíclica se produce cuando hay un exceso de concentración de NADPH o es necesario un mayor aporte de ATP.

13.6. Las plantas y la fotosíntesis.

- a) **¿Cuál es el principal objetivo de la fase luminosa de la fotosíntesis?**
 b) **Las plantas obtienen energía en los cloroplastos. ¿Qué utilidad pueden tener, entonces, las mitocondrias?**

El reino vegetal constituye el principal grupo de seres autótrofos. Sus características fisiológicas solo les permiten absorber determinadas sustancias muy sencillas para su nutrición. A partir de estas, deberán fabricar todas las moléculas orgánicas que componen su estructura, y que necesitan para el mantenimiento de sus funciones vitales.

- a) La fotosíntesis es un proceso previo de las plantas y otros organismos autótrofos, que les permite obtener las moléculas orgánicas necesarias para llevar a cabo todas sus funciones vitales. La energía obtenida en la fase lumínica de la fotosíntesis se utiliza en su totalidad para la síntesis de moléculas orgánicas (glúcidos, aminoácidos y ácidos grasos), que serán necesarias para la nutrición de la célula. Sin embargo, el resto de las reacciones propias del metabolismo también precisarán de energía. Esta energía adicional se obtiene por las vías metabólicas convencionales de los organismos eucariotas, esto es, la respiración celular, que se lleva a cabo en las mitocondrias.

- b) Las mitocondrias son orgánulos citoplasmáticos, presentes de forma permanente en las células eucarióticas, cuya función es fundamentalmente energética, al intervenir en la respiración celular aerobia. En las mitocondrias, se llevan a cabo las reacciones del ciclo de Krebs, cadena respiratoria, oxidación de ácidos grasos y, en general, las reacciones propias de los procesos catabólicos. La respiración celular aerobia es un proceso catabólico a través del cual los combustibles orgánicos van a ser oxidados totalmente, obteniéndose como productos finales de esta degradación H_2O , CO_2 y energía.

13.7. En la fotosíntesis.

- a) **Explica los fenómenos más importantes que tienen lugar en la fase lumínica.**
b) **Haz un esquema de las etapas de la fase oscura.**

- a) La fase lumínica únicamente se produce en presencia de luz, y se verifica en las membranas de los tilacoides, donde se localizan las moléculas de clorofila formando los fotosistemas. En ella, los pigmentos fotosintéticos absorben energía luminosa, y la convierten en energía química mediante la síntesis de ATP y NADPH.

En general, las reacciones luminosas se desarrollan de la siguiente manera:

1. **Absorción o captación de la luz solar.** Es llevada a cabo por los **pigmentos fotosintéticos**. Estos son las clorofilas y los carotenoides. Estos pigmentos, junto a proteínas específicas, se encuentran agrupados formando los llamados **fotosistemas**, que aparecen ubicados en las membranas tilacoidales de los cloroplastos. Todos los pigmentos del fotosistema son capaces de absorber luz, pero solo uno es capaz de convertir la energía luminosa en eléctrica: es el denominado **centro de reacción**, que está formado por una molécula de clorofila a y una proteína específica. El resto de los pigmentos forman la antena del fotosistema, y su función es transformar la energía del fotón en energía que es capaz de absorber el centro de reacción.

Si un fotón choca con un electrón de un átomo perteneciente a una molécula de pigmento fotosintético, este electrón capta la energía del fotón y salta a órbitas más alejadas del núcleo, pudiendo llegar a perderse dejando ionizado el átomo. La molécula que contiene este átomo resulta asimismo oxidada, y busca con avidez electrones, que le son proporcionados por el agua mediante la fotólisis de esta molécula. Por tanto, la absorción de la luz por el centro de reacción hace que la clorofila existente en este libere un electrón, que viajará a lo largo de una cadena de transporte de electrones hasta alcanzar el $NADP^+$. Entonces, el centro de reacción queda ionizado, por lo que se necesita un electrón que será aportado por el H_2O .

2. **Transporte o flujo electrónico fotosintético.** Los electrones arrancados del centro de reacción, cargados con la energía del fotón, son transportados por un conjunto de proteínas transportadoras, situadas en la membrana tilacoidal, hasta la coenzima $NADP^+$, que se reduce a NADPH.

Fotosistema I (PS I). Capaz de absorber luz de $\lambda < 700$ nm. Su centro de reacción se denomina P_{700} porque su máximo de absorción se encuentra a 700 nm.

Fotosistema II (PS II). Capaz de absorber luz de $\lambda < 680$ nm. Su centro de reacción se denomina P_{680} porque su máximo de absorción se encuentra a 680 nm.

Existen dos tipos de transportes electrónicos fotosintéticos:

El **esquema en Z** de la fotosíntesis o **transporte no cíclico**. Intervienen los dos fotosistemas. Los electrones fluyen desde el agua al PS II gracias a la acción de la deshidrogenasa del H_2O , que descompone el agua originando O_2 , H^+ (que pasan al espacio intratilacoidal, generando un gradiente) y electrones. Estos electrones, procedentes del H_2O , son transferidos hacia el PS I a través de la feofitina, plastoquinona A, plastoquinona B, complejo citocromo b-f y plastocianina. Por último, ocurre la transferencia desde el PS I al $NADP^+$ a través de la ferredoxina.

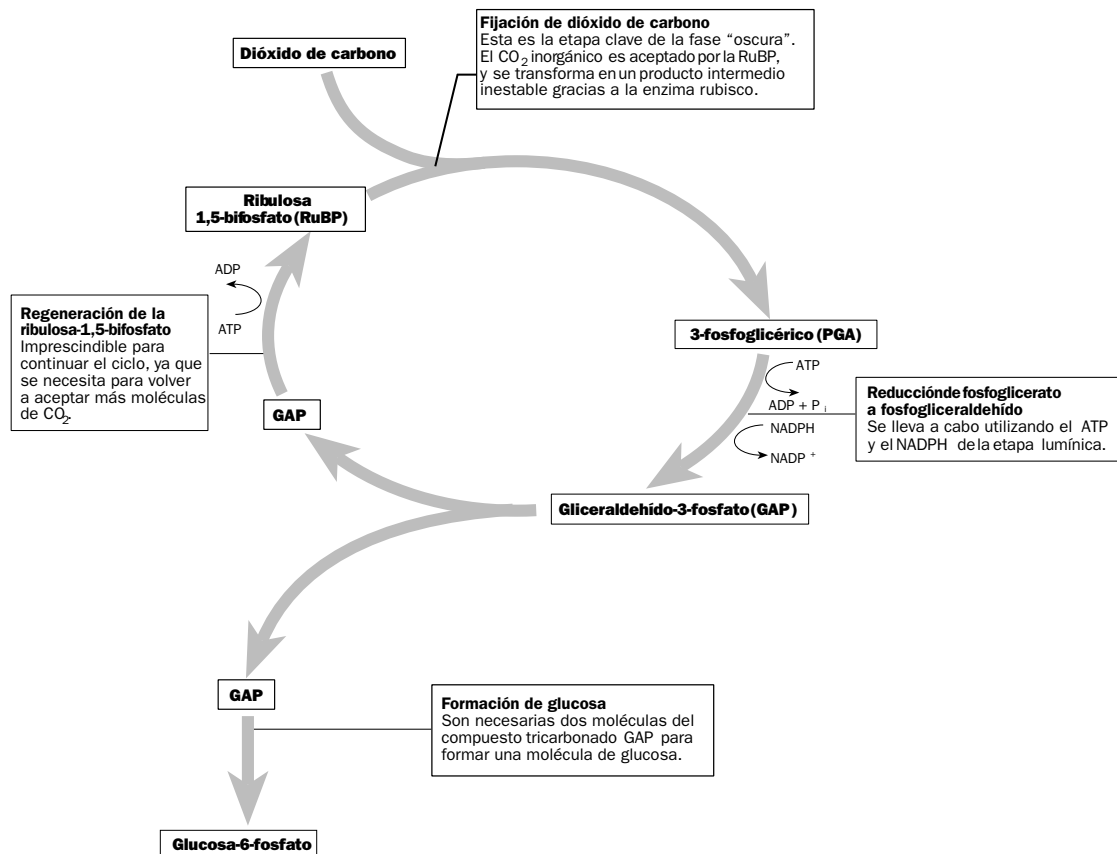
Transporte cíclico de electrones. En este tipo solamente participa el PS I. La ferredoxina cede los electrones al complejo citocromo b-f, éste a la plastocianina y ésta al PS I de nuevo. No se produce NADPH ni O_2 . Únicamente ocurre la translocación de H^+ desde el estroma al espacio intratilacoidal por el complejo citocromo b-f. Este gradiente generará ATP.

3. **Fotofosforilación.** Es la formación de ATP debida a la luz. Para que tenga lugar la fase oscura de la fotosíntesis, se necesita NADPH y ATP. Según la "hipótesis quimiosmótica" de Mitchell, la energía liberada en el transporte de electrones se utiliza para bombear protones en contra de un gradiente, desde el estroma al espacio intratilacoidal. Estos protones regresan al estroma a favor de gradiente a través del complejo enzimático denominado ATP-asa, que utilizará la energía liberada en el transporte para fosforilar el ADP y transformarlo en ATP.

- b) La **fase oscura** se produce en el estroma del cloroplasto. El ATP y el NADPH, obtenidos en la fase luminosa, proporcionan en esta segunda fase la energía y el poder reductor que requieren los compuestos inorgánicos para ser transformados en orgánicos. Así pues, aunque las reacciones de la fase oscura se pueden realizar en la oscuridad, dependen de los productos obtenidos en presencia de luz. Las reacciones de la fase oscura de la fotosíntesis se inician en el estroma del cloroplasto y continúan en el hialoplasma de la célula fotosintética, gracias a una serie de reacciones cíclicas que reciben el nombre de **ciclo de Calvin**.

- El CO_2 se fija a un glúcido de cinco átomos de carbono (ribulosa-1,5-bisfosfato), escindiéndose inmediatamente en dos moléculas de ácido 3-fosfoglicérico o PGA. En esta etapa interviene la enzima rubisco (ribulosa bisfosfato-carboxilasa).
- El PGA es fosforilado por el ATP y reducido por el NADPH, transformándose en gliceraldehído-3-fosfato (GAP). El ATP y el NADPH proceden de la fase luminosa.

Por cada tres moléculas de CO_2 fijadas se obtienen seis GAP. Cinco de ellas se convierten en tres moléculas de ribulosa-1,5-bisfosfato, que pueden de nuevo actuar como aceptores de tres moléculas de CO_2 . La otra molécula de GAP puede alternativamente pasar al citoplasma e ingresar en el ciclo de Krebs para suministrar energía metabólica, pero también puede permanecer en el cloroplasto y servir para la síntesis de otros glúcidos, grasas, aminoácidos y bases nitrogenadas.



13.8. Sobre la ultraestructura y composición del cloroplasto.

- a) Dos rasgos que este orgánulo, exclusivo de células vegetales eucarióticas, tiene en común con el núcleo eucariota.
- b) Una característica que comparte el cloroplasto con el resto del citoplasma.
- c) ¿Cuál es el significado evolutivo que sugieren estas semejanzas?
- a) Los rasgos que tienen en común los cloroplastos con el núcleo eucariota son que ambos poseen una doble membrana lipídica, ADN, ARN y ribosomas.
- b) Tanto el cloroplasto como el citoplasma poseen ribosomas y ARN capaces de sintetizar proteínas.
- c) El significado evolutivo que sugieren estas semejanzas lo plasmó Lynn Margulis, en 1967, en su teoría endosimbionte; según esta teoría, las células eucarióticas se originaron a partir de una célula eucariótica primitiva que en su momento englobaría a otras células u organismos procarióticos, estableciéndose entre ambos una relación endosimbiótica.

13.9. ¿Se puede asimilar el dióxido de carbono en ausencia de luz? Razona la respuesta.

La fotosíntesis es un proceso anabólico que permite que las células capten la energía luminosa del sol y la transformen en energía química. Esta energía se almacena y, posteriormente, la aprovechan en la síntesis de principios inmediatos. Este proceso se realiza en las células que tienen cloroplastos, y consta de dos fases: la lumínica, que tiene lugar en las membranas tilacoidales; y la oscura, que ocurre en el estroma.

La asimilación del anhídrido carbónico se realiza en la fase oscura de la fotosíntesis, es decir, un conjunto de reacciones químicas independientes de la luz. Sin embargo, en el proceso de reducción del carbono, que se verifica en una ruta cíclica denominada ciclo de Calvin, es imprescindible la presencia de energía que suministra el ATP, y de electrones que suministra el NADPH. Estas moléculas, el ATP y el NADPH, se forman solo en presencia de luz, siendo los productos finales de la fase lumínica de la fotosíntesis.

Por tanto, se puede afirmar que el dióxido de carbono se asimila en ausencia de luz, siempre y cuando haya moléculas de ATP y NADPH disponibles.

13.10. ¿Qué papel representan el ATP y el NADPH en la fotosíntesis? ¿En qué etapa de la misma se sintetizan y consumen respectivamente?

La fotosíntesis consta de dos fases: fase luminosa o fotoquímica (conjunto de reacciones dependientes de la luz) y fase oscura o biosintética (conjunto de reacciones independientes de la luz).

En la fase lumínica de la fotosíntesis, la energía de la luz se convierte en energía eléctrica (flujo de electrones), y esta se convierte en energía química, que se almacena en los enlaces del NADPH y ATP. En la fase oscura o de biosíntesis, esta energía se utiliza para reducir el carbono y sintetizar glúcidos.

En las membranas tilacoidales de los vegetales superiores se localizan las moléculas de clorofila agrupadas en dos tipos de unidades fotosintéticas o fotosistemas: el fotosistema I (PS I) y el fotosistema II (PS II). Los dos fotosistemas son excitados simultáneamente por la luz, liberando electrones a un aceptor primario de electrones. La transferencia de electrones deja los pigmentos de los centros de reacción oxidados, debiendo atraer otros electrones para recuperar el estado inicial.

El PS II emite electrones a través de una cadena transportadora de electrones hacia el PS I. Los saltos energéticos que producen los electrones a lo largo de esta cadena transportadora son los que desprenden la energía necesaria para la fosforilación del ADP y, por tanto, la síntesis de ATP.

El PS I también emite electrones a través de otra cadena transportadora. Los electrones emitidos por el PS I son los que se utilizan para reducir el NADP^+ , con el fin de dar NADPH.

El ATP y el NADPH representan la ganancia neta de las reacciones dependientes de la luz. La energía almacenada en los enlaces del NADPH y ATP se utiliza en la fase oscura para reducir el carbono y sintetizar diversos compuestos orgánicos, como monosacáridos, aminoácidos, ácidos grasos, etc.

13.11. Algunas bacterias obtienen energía por quimiosíntesis.

- a) **Concepto de quimiosíntesis.**
- b) **Cita las fases de la quimiosíntesis.**
- c) **Pon un ejemplo de una bacteria que participe en el ciclo del nitrógeno, y explica su importancia en los ciclos biogeoquímicos.**

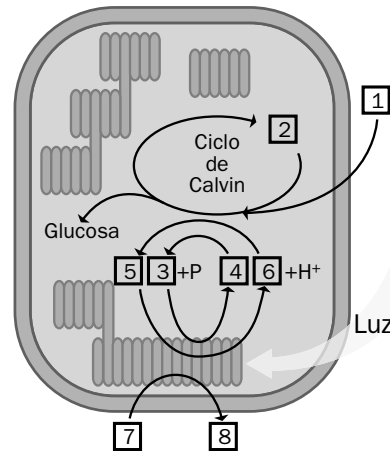
- a) La **quimiosíntesis** es la forma de nutrición autótrofa que no depende de la energía de la luz, sino de la energía química que se desprende de una oxidación que realiza el propio organismo, tomando como sustrato moléculas inorgánicas sencillas, como amoníaco, nitritos, sulfuros, ión ferroso, hidrógeno, etc. Este tipo de nutrición se encuentra exclusivamente en bacterias, los organismos que mayor diversidad presentan en cuanto al modo de aprovechar los recursos ambientales.

- 1. Oxidación de los compuestos inorgánicos. Se produce ATP por fosforilación oxidativa, y los electrones arrancados a las moléculas se utilizan para reducir una coenzima, que generalmente es la NAD^+ , que pasa a NADH.
- 2. Formación de compuestos orgánicos. La energía (ATP) y el poder reductor (NADH) obtenidos en la fase anterior son utilizados para reducir las moléculas inorgánicas. Esta segunda fase es similar a la fase oscura de la fotosíntesis.

- b) Algunos microorganismos desempeñan un papel muy importante en el ciclo del nitrógeno (bioelemento esencial en la materia orgánica como constituyente de las proteínas). El nitrógeno es mucho más abundante en la atmósfera que el CO_2 . Sin embargo, solo unas pocas bacterias son capaces de fijarlo en forma orgánica; parte de estos organismos son simbióticos con plantas superiores. Una vez incorporado a la materia orgánica, el nitrógeno sufre distintas transformaciones hasta que sale de nuevo a los almacenes inorgánicos a través de la excreción y la muerte. Los productos de estos procesos no se presentan como nitrógeno molecular, sino como compuestos más complejos que son degradados hasta NH_3 .

- c) Las bacterias nitrificantes, ampliamente distribuidas en suelos y aguas, oxidan el amoníaco a nitratos en dos etapas: primeramente, *Nitrosomonas* oxida amoníaco (NH_3) a nitrito (NO_2^-), y posteriormente, *Nitrobacter* prosigue la oxidación hasta nitrato (NO_3^-). Contribuyen a que los suelos sean ricos en nitrato, compuesto inorgánico de nitrógeno que las plantas pueden asimilar por las raíces para sintetizar sus propios aminoácidos. De estas bacterias depende, en gran parte, que se cierre el ciclo del nitrógeno en la naturaleza.

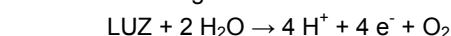
13.12. En esta figura se indican esquemáticamente las actividades más importantes de un cloroplasto.



- Identifica los elementos de la figura, representados por los números 1 a 8.
- Indica, mediante un esquema, qué nombre reciben las distintas estructuras del cloroplasto.
- ¿En cuál de esas estructuras tiene lugar el proceso por el que se forman los elementos 4 y 6 de la figura?
- ¿Dónde se produce el ciclo de Calvin?
- Explica brevemente en qué consiste el ciclo de Calvin de la fotosíntesis.

- a) Los elementos representados en la figura son los siguientes:

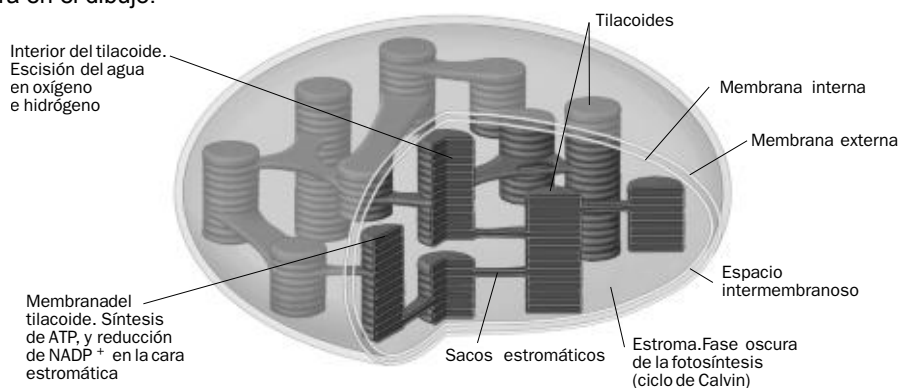
- CO_2 .** Esta molécula es utilizada para la síntesis de azúcares y otros compuestos orgánicos de las plantas. El CO_2 atmosférico es la fuente de carbono utilizada por las plantas para obtener átomos de carbono para la síntesis de moléculas orgánicas carbonadas.
- Ribulosa 1,5-bisfosfato.** La ruta de reducción biosintética del CO_2 es de carácter cíclico, y fue descubierta por Calvin en los años cincuenta. Utilizando la técnica de marcaje con isótopos radiactivos, se descubrió que el CO_2 se incorpora en primer lugar a una molécula de cinco átomos de carbono, que es la ribulosa 1,5-bisfosfato.
- ADP** (adenosín-5'-difosfato). En reacciones endergónicas, procede de la hidrólisis del ATP. En este caso, el ATP obtenido en la fase luminosa es hidrolizado en la fase oscura de la fotosíntesis.
- ATP** (adenosín-5'-trifosfato). Esta molécula es sintetizada gracias a la acción de la enzima ATP-sintetasa, que está ligada a la membrana de los tilacoides del cloroplasto. Según la hipótesis quimiosmótica de Mitchell, la energía liberada en el transporte de electrones se utiliza para bombear protones en contra de un gradiente, desde el estroma al espacio intratilacoidal. Estos protones regresan al estroma a favor de gradiente a través del complejo enzimático denominado ATP-asa, que utilizará la energía liberada en el transporte para fosforilar el ADP y transformarlo en ATP. La síntesis de ATP por este mecanismo recibe el nombre de fotofosforilación.
- NADP^+ .** Coenzima oxidada capaz de aceptar los electrones procedentes de la fotólisis del agua, actuando así de aceptor intermediario de los mismos.
- NADPH .** Coenzima reducida, obtenida en la fase luminosa, que constituye el poder reductor necesario para la reducción de la materia inorgánica a orgánica durante la fase oscura de la fotosíntesis.
- H_2O .** La fotólisis del agua consiste en lo siguiente:



La fase luminosa de la fotosíntesis consiste en la transferencia de electrones desde el agua al NADP^+ en contra de un gradiente de potencial electroquímico, por lo que necesita un aporte energético, que procede de la luz.

- O_2 .** Procede de la fotólisis del agua, y es liberado como producto de desecho de la fotosíntesis por las plantas a la atmósfera.

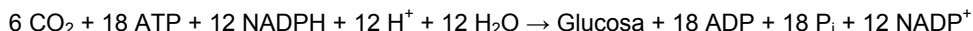
- b) Los cloroplastos son los orgánulos encargados de realizar la fotosíntesis, y presentan la estructura que se muestra en el dibujo.



- c) El ciclo de Calvin es la ruta metabólica mayoritaria por la que los organismos fotosintéticos fijan el CO_2 . Es el paso principal en la fase oscura de la fotosíntesis. Se puede dividir en tres fases:

- 1. Fase carboxilativa.** En esta fase, el CO_2 se incorpora a una molécula de cinco átomos de carbono, la ribulosa-1,5-bisfosfato, para producir dos moléculas de 3-fosfoglicerato en una reacción catalizada por la enzima ribulosa-1,5-bisfosfato-carboxilasa-oxigenasa (rubisco), que es la enzima más abundante del planeta.
- 2. Fase reductora.** En esta fase, se reduce el CO_2 incorporado en forma de grupo carboxilo al 3-fosfoglicerato, utilizando para ello el ATP y el NADPH producidos en la fase luminosa. El producto final son dos moléculas de gliceraldehído-3-fosfato.
- 3. Fase regenerativa.** En esta fase, parte del gliceraldehído-3-fosfato obtenido en la fase reductiva será convertido, posteriormente, en glucosa-6-fosfato, y parte se utilizará para regenerar la ribulosa-1,5-bisfosfato, que quedará disponible para fijar más moléculas de CO_2 . Son necesarias dos vueltas de ciclo para formar un mol de glucosa, utilizando tres moléculas de CO_2 en cada vuelta.

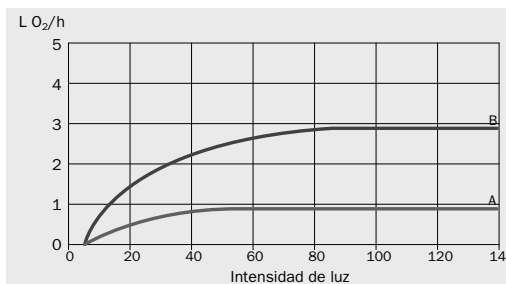
El balance del ciclo de Calvin es:



- 13.13. El gráfico representa los resultados obtenidos en la velocidad de la fotosíntesis (medida en μL de O_2/h) frente a la intensidad de luz (medida en unidades arbitrarias), en un ensayo realizado para conocer los efectos de los niveles de CO_2 sobre dicha velocidad en una planta anual.

La temperatura a la cual se realizaron los experimentos fue siempre de 20°C . La curva A representa al grupo de plantas que creció en una atmósfera de $0,01\%$ de CO_2 , y la curva B al grupo de plantas que creció a $0,04\%$ de CO_2 . Explica, razonando la respuesta, cuál podría ser el factor limitante en las plantas A.

- a) Hasta las 50 unidades de intensidad luminosa.
b) A partir de las 50 unidades de intensidad luminosa.



- a) Siguiendo la curva A se observa que al aumentar la intensidad de luz, aumenta la velocidad de fotosíntesis hasta alcanzar su valor máximo en condiciones de 50 unidades de intensidad luminosa. En la fase lumínica de la fotosíntesis, la energía de la luz se convierte en energía eléctrica (flujo de electrones), y esta se convierte en energía química que se almacena en los enlaces del ATP y NADPH. Los electrones excitados desde el PS II son repuestos a partir de la fotólisis del agua, siendo este fenómeno el causante del desprendimiento de oxígeno molecular por parte de los vegetales. Esto significa que a mayor intensidad luminosa, mayor es la eficacia de los fotosistemas para ser excitados y desprender electrones, lo que repercute en la eficacia de los fotosistemas para generar ATP y NADPH. Así pues, independientemente de la concentración de CO_2 en el ambiente, y para un valor constante del mismo, el factor limitante en estas plantas, hasta una intensidad luminosa de 50 unidades, es la intensidad luminosa.

- b) A partir de las 50 unidades de intensidad luminosa se observa en la gráfica que la velocidad de la fotosíntesis permanece invariable. Aunque una mayor intensidad luminosa podría generar mayor cantidad de moléculas de ATP y NADPH, estas no podrían ser utilizadas en la fase oscura, ya que la concentración de CO_2 que se puede fijar es limitada, con un valor de asimilación máximo y específico para cada organismo. El factor limitante a partir de las 50 unidades de intensidad luminosa es, por tanto, la concentración de CO_2 ambiental.

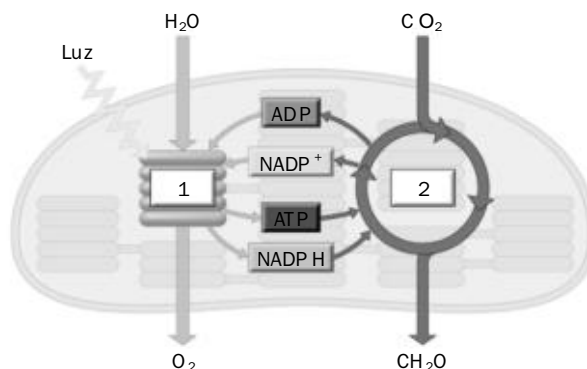
13.14. Un día, oyes hablar de cuatro especies bacterianas con las características siguientes.

- a) *Clostridium tetani*, anaerobia estricta.
- b) *Mycobacterium tuberculosis*, aerobia estricta.
- c) *Streptococcus lactis*, anaerobia aerotolerante.
- d) *Escherichia coli*, aerobia facultativa.

Te piden que expliques qué significan estos modos de vida, y que comentes lo que sepas a propósito de estas especies de bacterias.

- a) *Clostridium tetani* es el causante del tétanos, que puede causar la muerte y por eso, en casos de riesgo, se aplica la vacuna antitetánica. Los organismos anaerobios estrictos son los que mueren en presencia de oxígeno. De ahí la utilidad de desinfectar una herida con agua oxigenada, porque en presencia de la enzima catalasa, desprende mucho oxígeno molecular, que resulta tóxico para agentes patógenos como el mencionado.
- b) *Mycobacterium tuberculosis* es el causante de la tuberculosis. Al ser un organismo aerobio estricto, concluimos que solo puede vivir en presencia de oxígeno molecular.
- c) *Streptococcus lactis* es una de las bacterias utilizadas en la fabricación del queso. Aunque su metabolismo sea anaerobio, no muere en presencia de oxígeno, lo cual le proporciona mayor posibilidad de supervivencia en diversos ambientes (ventaja ecológica).
- d) *Escherichia coli* es la bacteria intestinal que tanto se ha utilizado en investigación genética. La expresión "aerobia facultativa" significa que si dispone de oxígeno molecular, lo utiliza, pero puede vivir en su ausencia.

13.15. Observa atentamente este esquema y contesta a las cuestiones planteadas.



- a) ¿Qué proceso representa el esquema? ¿En qué orgánulo se desarrolla? ¿En qué tipo de células?
 - b) ¿Qué estructura es la señalada con el n.º 1? ¿Qué ocurre de forma global? ¿Qué papel tiene la luz?
 - c) ¿Qué proceso es el señalado con el n.º 2? ¿Qué ocurre de forma global? ¿En qué sitio del orgánulo tiene lugar?
 - d) ¿Puedes escribir una reacción que refleje lo que sucede en conjunto?
- a) El esquema representa el proceso de la fotosíntesis, que se desarrolla en los cloroplastos de células vegetales.
 - b) Con el n.º 1 se indican los tilacoides apilados (granum), donde se encuentra la clorofila y demás pigmentos que absorben la luz. Lo que ocurre de forma global es que, mediante la energía lumínica y los electrones cedidos por la molécula de agua –que se rompe por acción enzimática específica–, se desprende oxígeno molecular que pasa a la atmósfera, se reduce un nucleótido de elevado potencial de reducción (el NADP^+), y se almacena energía en moléculas de ATP (fotofosforilación). Todo esto constituye la fase luminosa de la fotosíntesis. La luz proporciona la energía para excitar los electrones, de modo que reduzcan aceptores de elevado potencial de reducción y, finalmente, al NADP^+ .

- c) El proceso 2 indica el ciclo de Calvin o fase oscura de la fotosíntesis, en la cual se asimila el CO_2 de la atmósfera, que se incorpora a una molécula preexistente (ribulosa 1,5 bisfosfato); mediante la reoxidación del NADPH reducido en la fase lumínica y la energía del ATP obtenido en la fotofosforilación, se sintetizan glúcidos (CH_2O). Este proceso ocurre en el estroma del cloroplasto.
- d) La reacción global de la fotosíntesis podemos expresarla así:

$$6 \text{CO}_2 + 12 \text{NADPH} + 12 \text{H}^+ + 18 \text{ATP} \rightarrow 1 \text{Hexosa} + 12 \text{NADP}^+ + 18 \text{ADP} + 18 \text{P}_i$$

13.16. Hay quienes dicen que las bacterias nitrificantes son ventajosas para los suelos de cultivo.

- a) ¿A qué se refieren con “bacterias nitrificantes”? Razona tu respuesta.
 b) ¿Qué opinas sobre su carácter ventajoso para las tierras de cultivo?

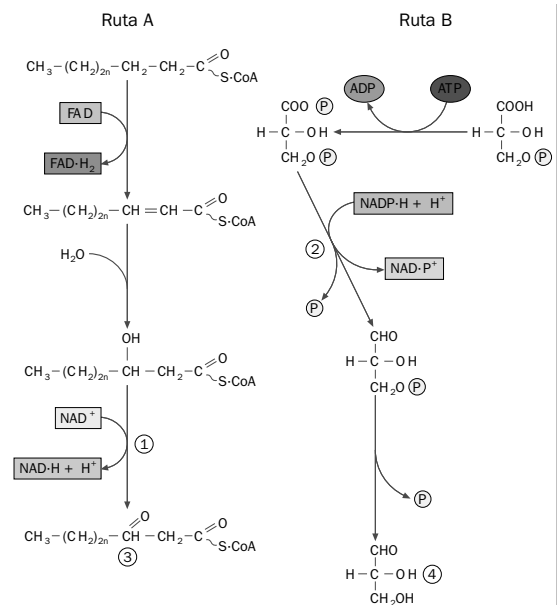
- a) En ese nombre se incluyen las bacterias autótrofas quimiosintéticas de los géneros (entre otros) *Nitrosomonas* y *Nitrobacter*.
 Ambas utilizan la energía de la oxidación del nitrógeno como energía primaria en su forma de nutrirse. Es decir, esa energía desprendida en la oxidación equivale a la energía de la luz para los vegetales con clorofila.
- b) *Nitrosomonas* oxida el amoníaco a nitrito, y *Nitrobacter* hace lo propio, oxidando el nitrito a nitrato. La asociación de ambas es ventajosa por varias razones. Lo que es el producto de la primera, la segunda lo utiliza como sustrato. Esto cobra mayor importancia si tenemos en cuenta que una excesiva concentración de nitritos resulta tóxica. Además, el nitrato que produce la segunda es asimilable por las raíces de las plantas como fuente de nitrógeno para construir aminoácidos.

13.17. Las siguientes figuras corresponden a fragmentos de dos rutas metabólicas.

- a) ¿A qué proceso metabólico pertenece cada una? ¿En qué tipos de célula ocurre y en qué lugar de la misma?
 b) Compara lo que sucede en el paso 1 y en el 2.
 c) ¿Qué son y qué destino tienen los metabolitos 3 y 4.

- a) La ruta A pertenece a la β -oxidación de los ácidos grasos, que ocurre en la matriz mitocondrial de cualquier célula eucariótica. La ruta B es un fragmento del ciclo de Calvin o fase oscura de la fotosíntesis, que ocurre en el estroma de los cloroplastos de células vegetales.
- b) En el paso (1) se reduce un NAD^+ al oxidarse el carbono β del ácido que se está degradando; ese $\text{NADH} + \text{H}^+$ se reoxidará en la cadena respiratoria de las crestas mitocondriales. En el paso (2) con el NADPH, que se oxida a NADP^+ y así permite que el ácido 1,3 bisfosfoglicérico se reduzca a gliceraldehído-3-fosfato, que se utilizará para la síntesis de otros glúcidos.

- c) El metabolito (3) tiene como destino escindirse en dos moléculas: una será el acetil~CoA, que ingresará en el ciclo de Krebs; otra, un ácido graso (activado por la Coenzima A), dos átomos de carbono más corto que el anterior, y que seguirá siendo oxidado en su carbono β . Al final, todo el ácido habrá quedado “troceado” en moléculas de acetil~CoA, que se oxidarán hasta CO_2 y H_2O en la respiración mitocondrial. El metabolito (4) irá a síntesis de otros glúcidos (almidón) y restantes principios inmediatos de la célula vegetal. En resumen, la ruta A es catabólica, y la B, anabólica.



UN PASO MÁS

- 13.18. Acudes a una persona amiga tuya que ya está en la universidad para que te resuelva dudas sobre el metabolismo de la glucosa. Queriéndote simplificar el tema, te dice que solo los vegetales autótrofos pueden sintetizarla, y que nosotros necesitamos tomarla en la dieta. Con los conocimientos que posees, ¿qué opinas de su respuesta?**

Esa es la opinión de mucha gente, pero tú sabes que no es correcta. Nosotros no podemos sintetizar la glucosa a partir de CO_2 y de H_2O , como hacen las plantas verdes. Pero sí que podemos hacerlo a partir de moléculas orgánicas sencillas como el ácido láctico, en el proceso llamado gluconeogénesis, y que acontece en el hígado. Ahora bien, la cantidad de glucosa que podemos sintetizar de ese modo resultaría insuficiente para nuestras necesidades nutricionales, por lo que sí debemos ingerirla en la dieta. Sobre todo, si tenemos en cuenta que el láctico que se utiliza en la gluconeogénesis puede proceder de la glucólisis en condiciones anaerobias, que ocurre en el tejido muscular cuando este no dispone de suficiente oxígeno. Por lo que sí que podemos sintetizar glucosa, pero este proceso es más un modo de reciclar el ácido láctico que un suministro de glucosa para nuestra nutrición.

- 13.19. En un supuesto diario local lees lo siguiente:**

“En las bacterias, encontramos los procesos más diversos para la obtención de energía. Recordemos también que, en las cianobacterias, el heterociste es una célula especial que también tiene clorofila pero solo dispone del fotosistema I.”

¿Qué comentarías sobre este fragmentado?

Es cierto que no hay un grupo viviente que utilice los recursos ambientales de modos tan diversos como las bacterias. Son el único reino de seres vivos (Móneras) que tiene representantes en los cuatro tipos de nutrición de los organismos, tanto autótrofos (fotolitótrofos y quimiolitótrofos) como heterótrofos (quimioorganótrofos y fotoorganótrofos). Las células de las cianobacterias se disponen en filamentos. Esa célula diferente de las demás, el heterociste, está intercalada a intervalos, o bien en un extremo del filamento. El hecho de que solo disponga del fotosistema I (P_{700}) hace pensar que no utilizará los electrones del agua; por tanto, al realizar la fase lumínica de la fotosíntesis, no desprenderá oxígeno. Pero no hay información de las restantes células de cianobacterias, que son la mayoría, con lo que no podemos sacar conclusiones definitivas.

- 13.20. Haz una comparación del balance de la gluconeogénesis con la glucólisis en condiciones anaerobias seguida de la fermentación láctica, y saca alguna conclusión energética. Puedes orientarte con los esquemas de ambas rutas que encontrarás en el libro.**

Para que la comparación sea válida, debe ser igual el número de moléculas en ambas rutas tanto al comienzo como al final. Como de una glucosa se obtienen dos de pirúvico y, de este, dos de láctico en la fermentación, tendremos que considerar la gluconeogénesis a partir, también, de dos moléculas de láctico para obtener una de glucosa. Así, resulta que por cada glucosa degradada hasta láctico, el balance es que se obtienen 2 ATP, mientras que de dos moléculas de láctico que se transforman en una de glucosa se consumen 4 ATP y 2 GTP, es decir, seis enlaces ricos en energía. Así, al construir una molécula de glucosa a través de esta ruta se gasta tres veces más energía que la obtenida al degradarla.

- 13.21. Se suele comentar que en la distribución vertical de las algas marinas se encuentran primero las algas verdes (clorofíceas), luego las pardas (feofíceas) y, finalmente, las algas rojas (rodofíceas), que serían las más profundas.**

Aunque esto no pueda tomarse como un hecho rígido e invariable, ¿qué explicación o qué fundamento encuentras para este comentario?

El agua del mar absorbe selectivamente las diferentes longitudes de onda de la luz. Las primeras en absorberse son las de onda corta, las más energéticas (colores rojo, naranja y amarillo), que no penetran más de cinco metros. A continuación, se absorben las de onda larga (colores azul y violeta). Por último, y debido a la turbidez del agua, se absorben las de onda intermedia, correspondientes al color verde.

Las **algas verdes** absorben todas las longitudes de onda, siendo las más eficientes a poca profundidad.

Las **algas pardas**, gracias a la **fucoxantina**, pueden absorber la luz azul, por lo que son las más eficientes a profundidades medias.

La **ficoeritrina** presente en las **algas rojas** les permite absorber la luz verde, que, debido a la turbidez normal del agua del mar, es la que más profundo llega.

- 13.22. Aplica tus conocimientos sobre la fotosíntesis a este caso hipotético.**

Imagina que conseguimos mantener cloroplastos enteros y en perfectas condiciones vitales, dispersos en una disolución acuosa adecuada y de la que se ha eliminado por completo el dióxido de carbono. Supongamos que los cloroplastos solo tienen en su interior abundantes moléculas de NADP⁺, de fosfato libre, de ADP y de todas las enzimas y transportadores electrónicos necesarios. Se te pide que respondas razonadamente a lo siguiente.

- a) **¿Qué ocurrirá si iluminamos adecuadamente los cloroplastos durante largo tiempo?**
 - b) **Si agregamos al cultivo algunos protozoos que no dañen en absoluto a los cloroplastos, ¿crees qué ocurrirá algo especial?**
 - c) **¿Se te ocurre alguna consideración ecológica a propósito de este experimento imaginario?**
- a) De las dos fases de la fotosíntesis, solo se realizaría la fase luminosa, ya que la fase oscura o ciclo de Calvin necesita obligatoriamente moléculas de CO₂.
 - b) Los protozoos son heterótrofos, por lo que, mediante la respiración celular, desprenderán moléculas de CO₂ que podrán ser utilizadas por los cloroplastos.
 - c) En cualquier ecosistema, por sencillo que sea, la actividad de los organismos autótrofos se complementa con la de los heterótrofos, manteniéndose así un equilibrio dinámico necesario para la vida. Otra consideración es que este supuesto caso podría dar origen a una simbiosis.

- 13.23. Como experimento ficticio para poner a prueba tu ingenio y creatividad, imagina que te piden algo que no es nada recomendable:**

Sin dejar de iluminar, regar y abonar una planta que está dentro de tu habitación, has de conseguir que se marchite o incluso muera. No puedes utilizar ningún tóxico y tampoco puedes tocar la planta.

¿Qué se te ocurre para conseguirlo?

Una posibilidad sería la siguiente: colocar la planta, de modo que la única fuente de luz que reciba pase a través de una cubeta de vidrio, estrecha y de caras paralelas, en la cual se haya puesto una disolución alcohólica, suficientemente concentrada, de los pigmentos de las hojas de otro ejemplar de la misma especie vegetal. Esos pigmentos absorberán las longitudes de onda que necesitaría recibir la planta. Si la absorción es completa, la planta estará "a oscuras" respecto a la luz que necesita para la fase lumínica, con lo cual, dejará de sintetizar ATP y, en cuanto oxide el NADPH+H⁺ que le quede, se bloqueará el ciclo de Calvin y dejará de fabricar glúcidos, con el consiguiente deterioro irreversible de su metabolismo.

14 Las leyes de la herencia

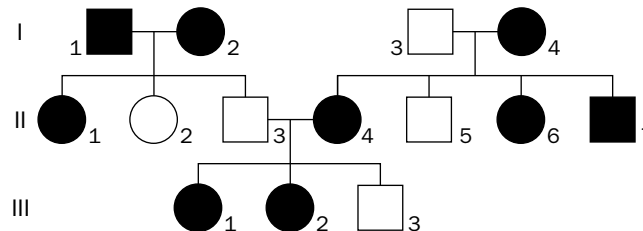
ACTIVIDADES PAU RESUELTAS

- 14.1. En los ratones, un alelo dominante determina el color negro del pelo, y un alelo recesivo determina el pelo blanco. Además, un alelo dominante determina la cola larga, mientras que otro recesivo determina la cola corta. Ambos genes se encuentran en autosomas. Se cruza un ratón dihíbrido con el pelo negro y cola larga con una hembra de pelo blanco y cola corta.

- ¿Cuáles son los genotipos y fenotipos que se obtienen en la F_1 ?
- ¿En qué proporción?

Actividad resuelta en el libro del alumno.

- 14.2. En la figura se indica la transmisión de un carácter en una familia (los hombres se representan con un cuadrado y las mujeres con un círculo). El carácter presenta las dos alternativas que se indican en blanco y en negro, y está determinado por un solo gen.



- Indica si el alelo que determina la alternativa representada en negro es dominante o recesivo. Razona la respuesta.
- Indica si el gen que determina ese carácter es autosómico o está ligado al sexo. Razona la respuesta.
- Indica los posibles genotipos de todos los individuos. Utiliza la letra A (mayúscula) para el alelo dominante y la letra a (minúscula) para el recesivo.

Actividad resuelta en el libro del alumno.

- 14.3. Se sabe que la hemofilia es una enfermedad genética recesiva ligada al cromosoma X, y que causa defectos en la coagulación de la sangre. La fibrosis quística, que causa secreciones anormales en glándulas exocrinas, es un carácter recesivo ligado a un autosoma. Un matrimonio fenotípicamente normal para ambos caracteres tiene varios hijos; de los cuales, un hijo varón resulta padecer ambas enfermedades.

- ¿Cuál sería la proporción esperada de hijos varones hemofílicos que no padezcan la fibrosis quística?
- ¿Podría ser alguna hija hemofílica? Razona la respuesta.

Actividad resuelta en el libro del alumno.

ACTIVIDADES

14.4. Define los siguientes conceptos.

- | | |
|------------------------|--------------------|
| a) Alelo | d) Fenotipo |
| b) Genotipo | e) Locus |
| c) Homocigótico | |

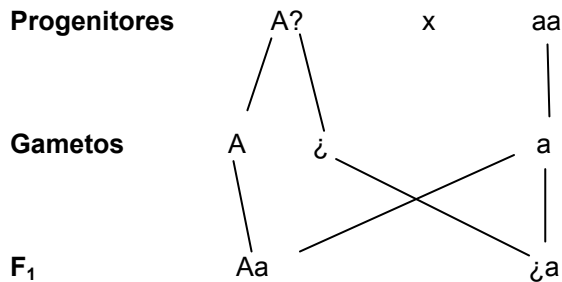
- a) **Alelo.** Cada una de las versiones alternativas de un gen que produce efectos fenotípicos característicos y diferentes.
- b) **Genotipo.** Combinación de alelos (AA, Aa, aa) que presenta un individuo para un determinado carácter. Por extensión, se define genotipo como el conjunto de genes que tiene un organismo y que permanece constante a lo largo de su existencia.
- c) **Homocigótico.** Que tiene dos alelos idénticos para un gen dado.
- d) **Fenotipo.** Rasgos físicos y psicológicos de un organismo, que están determinados por su constitución genética.
- e) **Locus.** Lugar concreto de un cromosoma donde se localiza un gen determinado.

14.5. Define qué es un cruzamiento prueba y realiza un esquema utilizando símbolos genéticos. Define herencia intermedia, y realiza un esquema usando símbolos genéticos. Utiliza para la realización de los esquemas los símbolos A y a.

Cruzamiento prueba. Los individuos que presentan el fenotipo dominante pueden ser homocigotos (AA) o híbridos (Aa). Para conocer cuál es su genotipo se cruzan con otro individuo de genotipo homocigoto recesivo (aa), lo que se denomina **retrocruzamiento**.

Si entre sus descendientes aparece alguno cuyo fenotipo coincida con el que presenta el progenitor homocigoto recesivo, se podrá deducir que el otro progenitor tiene una constitución genética Aa (híbrido); mientras que si fuese AA toda la descendencia, presentaría el fenotipo del alelo dominante A. Utilizando símbolos genéticos, el cruzamiento puede verse en el dibujo.

Si entre los descendientes apareciese alguno de fenotipo coincidente con el mostrado por el progenitor de genotipo aa, diríamos que el otro progenitor es híbrido para el carácter y de genotipo Aa; si no apareciese ninguno, podríamos decir que es homocigoto dominante y de genotipo AA.

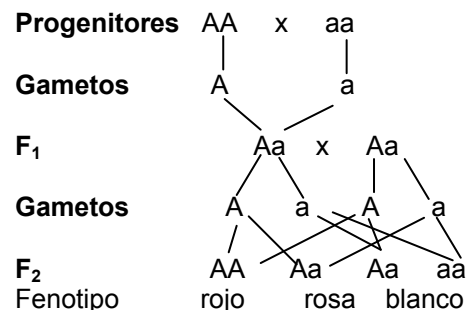


Herencia intermedia. Aparte de la herencia dominante (la estudiada por Mendel), en la que los híbridos muestran el fenotipo del alelo dominante, existen otros tipos de relaciones entre alelos que determinan distintas clases de herencia: la herencia intermedia y la **codominancia**.

Se entiende por herencia intermedia aquellos casos en los que los híbridos muestran fenotipos intermedios entre los de los progenitores, como, por ejemplo, en la boca de dragón; una planta en la que los descendientes de un cruzamiento entre plantas de flores rojas y plantas de flores blancas presentan flores rosas.

Como ejemplo de herencia intermedia, vamos a estudiar cómo se hereda el color de las flores de una planta determinada.

Color de las flores: rojo (R) = blanco (r). Posibles genotipos: RR (color rojo), Rr (color rosa) y rr (color blanco).

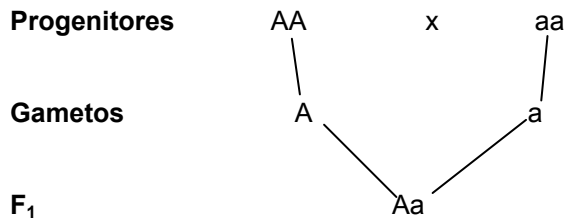


14.6. Mendel cruzó plantas de guisante altas y enanas. Todos los ejemplares de la primera generación F_1 fueron altos.

- a) ¿Pueden explicarse estos resultados en términos científicos?
 b) ¿Qué resultado piensas que se obtuvo cuando se autofecundaron los individuos de la F_1 ?

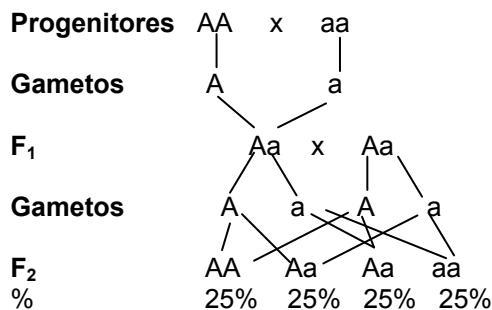
a) La explicación científica a los resultados obtenidos por Mendel es la siguiente: si los individuos pertenecientes a la generación F_1 son todos altos, es porque los progenitores genéticamente razas puras, es decir, homocigotos para el carácter altura, siendo dominante el carácter alto frente a enano, uno es homocigoto dominante (AA) y el otro homocigoto recesivo (aa). Expresándolo de manera esquemática, el cruzamiento realizado por Mendel sería el siguiente:

Altura del tallo: alto (A) > enano (a). Posibles genotipos: AA (tallo alto), Aa (tallo alto) y aa (tallo enano).



b) El resultado obtenido de autofecundar los individuos de la F_1 se deduce al realizar el cruzamiento, y es de un 75% de plantas altas y un 25% de plantas enanas.

De los porcentajes obtenidos en la F_2 se deduce que la proporción de plantas altas (AA, Aa) es del 75%, mientras que la de plantas enanas (aa) es del 25%.



14.7. Si se cruzan dos variedades de guisantes, una diheterocigótica para los caracteres amarillos y lisos (Aa Ll) con otra homocigótica recesiva para los caracteres verde y rugoso (aa ll), describe el fenotipo y el genotipo de dicho cruce, así como el porcentaje o la proporción de los distintos tipos de individuos que se pueden originar.

Color de la semilla: amarillo (A) > verde (a)

Textura de la semilla: lisa (L) > rugosa (l)

Realizamos el cruzamiento entre las siguientes plantas: AaLl x aall

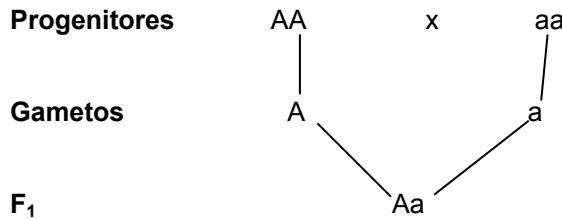
Gametos de AaLl	Gametos de aall	F_1	Fenotipos	Porcentaje
AL	al	AaLl	Amarillo, liso	25%
Al		Aa ll	Amarillo, rugoso	25%
aL		aaLl	Verde, liso	25%
al		aall	Verde, rugoso	25%

14.8. En el guisante, el tallo largo (planta alta) es dominante sobre el tallo corto (planta enana). Si una planta de guisante homocigótica para el carácter dominante se cruza con una planta enana.

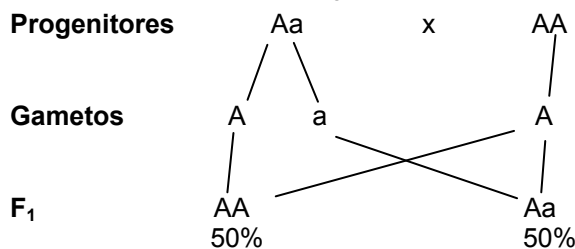
- Indica los genotipos y fenotipos de los progenitores y de la F_1 .
- Indica los genotipos, fenotipos y proporciones de la descendencia de una planta de la F_1 con el progenitor alto.
- Indica los genotipos, fenotipos y proporciones de la descendencia de una planta de la F_1 con el progenitor enano.
- Indica los genotipos, fenotipos y proporciones de la descendencia del cruzamiento de dos plantas heterocigóticas.

Tamaño de la planta: alta (A) > enana (a). Posibles genotipos: AA (alta), Aa (alta) y aa (enana).

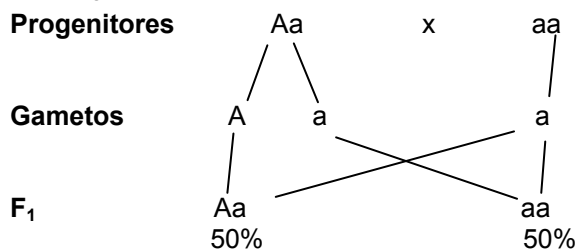
- De los resultados obtenidos en el anterior cruzamiento se deduce que los progenitores son razas puras; uno (AA) homocigoto dominante y de tallo alto, y otro (aa) homocigoto recesivo y de tallo enano, mientras que los individuos pertenecientes a la F_1 son todos híbridos (Aa) y de tallo alto.



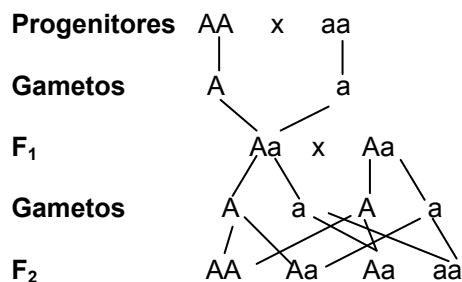
- La descendencia de un individuo de la F_1 con el progenitor alto (AA) será toda de tallo alto; el 50% será AA (homocigoto dominante), y el otro 50% será Aa (heterocigoto o híbrido). Estos resultados se deducen de la observación del siguiente cruzamiento:



- La mitad de la descendencia de un individuo de la F_1 con el progenitor enano (aa) será de tallo alto (Aa), mientras que la otra mitad será de tallo enano (aa). Estos resultados se deducen de la observación del siguiente cruzamiento:



- El cruzamiento entre dos plantas heterocigóticas (Aa) será:



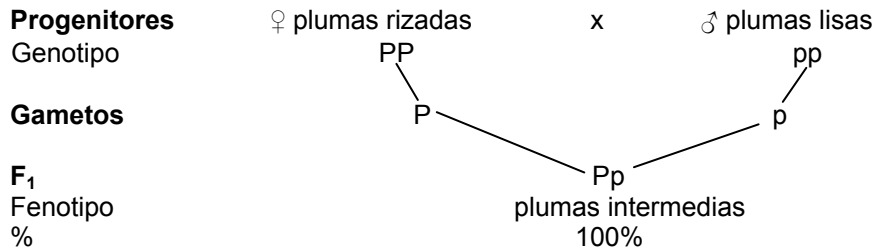
Proporciones genotípicas y fenotípicas del cruzamiento Aa x Aa			
Genotipos	%	Fenotipos	%
AA	25%	Tallo alto	75%
Aa	50%		
aa	25%	Tallo enano	25%

14.9. El genotipo (PP) determina en las gallinas la presencia de plumas rizadas, mientras que (pp) produce plumas lisas y (Pp) da lugar a un fenotipo intermedio. Del cruzamiento de una gallina con plumas rizadas y un gallo con plumas lisas.

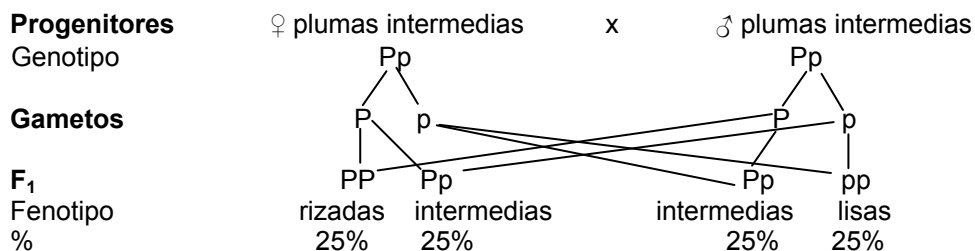
- ¿Qué proporción de su descendencia se espera de plumas intermedias?
- ¿Qué proporción de plumas intermedias se obtendrá del cruzamiento de gallo y gallina con plumas intermedias?
- ¿Por qué no pueden aplicarse las leyes de Mendel a organismos procariotas?

Tipo de plumas: plumas rizadas (P) = plumas lisas (p). Posibles genotipos: PP (plumas rizadas), Pp (plumas intermedias) y pp (plumas lisas).

- De los resultados obtenidos en el cruzamiento planteado por el problema se espera que el 100% de los descendientes sea de plumas intermedias.



- Un 25% será de plumas rizadas (PP), un 50% de plumas intermedias (Pp) y un 25% de plumas lisas (pp). Estos resultados se obtienen tras la realización del cruzamiento propuesto:



- Las leyes de Mendel no se pueden aplicar a los organismos procariotas ya que estos se reproducen asexualmente y todos ellos son genéticamente idénticos.

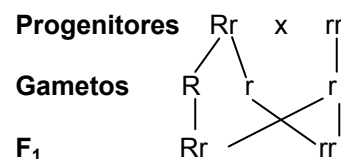
14.10. En la especie vegetal *Mirabilis jalapa* (Dondiego de noche), el color rojo (R) y el color blanco (r) de las flores no domina uno sobre el otro, sino que las plantas híbridas para los alelos que determinan estos dos colores son de un color intermedio rosado (Rr). Se cruza una planta de color rosado con una blanca, y otra rosada con una roja. Indica las segregaciones genotípicas y fenotípicas para cada caso.

Color de las flores: rojo (R) = blanco (r). Posibles genotipos: RR (rojo), Rr (rosa) y rr (blanco).

Cruzamiento entre una planta rosada (Rr) con una blanca (rr).

Segregaciones fenotípicas: 50% de plantas rosadas y 50% de plantas blancas.

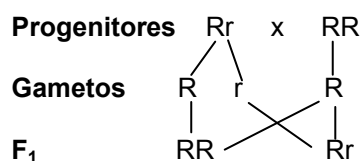
Segregaciones genotípicas: 50% de plantas híbridas (Rr) y 50% de plantas homocigotos recesivas (rr).



Cruzamiento entre una planta rosada (Rr) con una roja (RR).

Segregaciones fenotípicas: 50% de plantas rosadas y 50% de plantas rojas.

Segregaciones genotípicas: 50% de plantas híbridas (Rr) y 50% de plantas homocigotos dominantes (RR).



- 14.11. El color negro de la piel de una especie de ratón depende del alelo dominante (B), y el color blanco de su alelo recesivo (b). Si una hembra de color negro tiene descendientes de piel blanca, ¿cuál es el genotipo de la hembra? ¿Qué genotipos y fenotipos podría tener el macho que se cruzó con ella? Razona las respuestas.**

Color de la piel: negro (B) > blanco (b). Posibles genotipos: BB (negro), Bb (negro) y bb (blanco).

Para que una hembra de color negro, que es dominante sobre el blanco, tenga hijos de color blanco (bb), por fuerza tiene que ser heterocigota (Bb), mientras que el macho con la que se cruza tiene que tener alguno de estos dos genotipos: Bb o bb, ya que con cualquiera de ellos puede aportar el alelo b a su descendencia.

- 14.12. Supón que la especie *Lycopersicon esculentum* (tomate) posee un gen en el que el alelo dominante (A) le confiere resistencia a suelos salinos frente al alelo recesivo (a). En otro gen, el alelo dominante (B) es el responsable del color verde, y el alelo recesivo (b) del color blanco. Indica.**

- Los tipos de gametos que formará una planta diheterocigota y en qué proporciones.**
- El fenotipo y genotipo de la descendencia de un cruce entre un diheterocigoto y un homocigoto recesivo para ambos genes.**

Resistencia a suelos salinos: resistente (A) > sin resistencia (a). Posibles genotipos: AA (resistente), Aa (resistente) y aa (sin resistencia).

Color del tomate: verde (B) > blanco: b. Posibles genotipos: BB (verde), Bb (verde) y bb (blanco).

- El genotipo de un individuo diheterocigoto es AaBb, y los gametos que puede formar son de cuatro tipos diferentes, AB, Ab, aB, ab en una proporción del 25% cada uno de ellos.
- Realizamos el cruzamiento entre un diheterocigoto (AaBb) y un homocigoto recesivo para ambos caracteres (aabb).

Gametos AaBb	Gametos aabb	F ₁	Fenotipos	Porcentaje	Genotipos	Porcentaje
AB	ab	AaBb	Resistente, verde	25%	AaBb	25%
Ab		Aabb	Resistente, blanco	25%	Aabb	25%
aB		aaBb	Sin resistencia, verde	25%	aaBb	25%
ab		aabb	Sin resistencia, blanco	25%	aabb	25%

- 14.13. Según el sistema AB0 de los grupos sanguíneos, los individuos con sangre del tipo AB presentan antígenos de tipo A y de tipo B en sus eritrocitos, mientras que los individuos con sangre del tipo 0 presentan eritrocitos sin antígenos A ni B. ¿Por qué en el caso de una transfusión sanguínea, a los individuos con sangre del tipo AB se les considera receptores universales y a los del tipo 0 donantes universales? Razona la respuesta.**

- Las personas de grupo sanguíneo AB son receptores universales por la siguiente razón:
Las personas de grupo sanguíneo AB tienen en la membrana de sus eritrocitos los antígenos A y B, pero carecen de anticuerpos, anti A y anti B, contra esos antígenos. Al carecer de los anticuerpos anti A, pueden recibir sangre de las personas de grupo sanguíneo A, de las de grupo B por carecer de anti B, y de las de grupo 0, ya que estas no tienen en sus eritrocitos ni antígeno A ni antígeno B.
- Las personas de grupo 0 se consideran donantes universales por la siguiente razón:
Los eritrocitos de las personas de grupo 0 no tienen antígenos de tipo A y de tipo B. Al carecer de estos antígenos, cuando se trasfunde sangre de personas de grupo 0 a otras de cualquier grupo no se produce la reacción antígeno-anticuerpo.

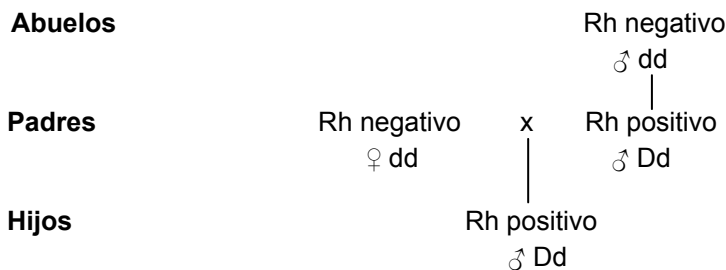
14.14. El factor sanguíneo Rh (antígeno Rh) es un carácter controlado por un gen con dos alelos (D) y (d). El alelo (D) es el responsable de la síntesis del antígeno Rh (Rh positivo), que se localiza en la membrana celular de los eritrocitos. Este alelo domina sobre el alelo (d), que no codifica el antígeno (Rh negativo). Una mujer Rh negativa y un hombre Rh positivo (el padre del cual era Rh negativo) tienen un primer hijo varón Rh positivo.

- a) Razona si la herencia de este gen es autosómica o ligada al sexo.
b) Indica las frecuencias fenotípicas y genotípicas esperadas en la descendencia de este cruzamiento.

- a) Planteamiento del problema. Factor Rh: positivo (D) > negativo (d). Posibles genotipos: DD (positivo), Dd (positivo) y dd (negativo).

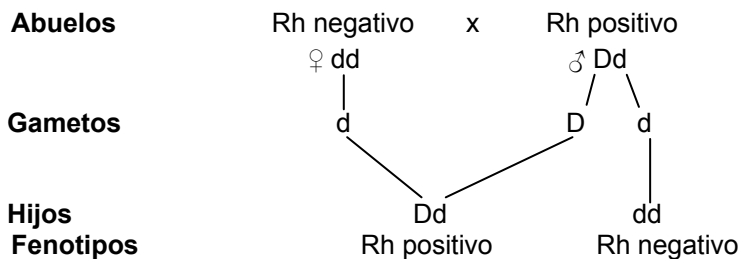
De los fenotipos de las personas implicadas en este cruzamiento es posible deducir los genotipos que poseen. El abuelo es dd, la madre es dd y el padre tiene que ser híbrido (Dd), ya que su padre es Rh negativo y de genotipo dd; por tanto, todos sus hijos heredan el alelo d.

La herencia del factor Rh es autosómica, ya que si fuese ligada al cromosoma X, todos los hijos varones de la mujer (X^dX^d) serían de genotipo X^dY y, por tanto, de fenotipo Rh negativo; hecho que no ocurre porque, al menos, ha tenido un hijo varón que tiene Rh positivo.



- b) Frecuencias fenotípicas y genotípicas del cruzamiento.

- Frecuencias fenotípicas: 50% de Rh positivos y 50% de Rh negativos.
- Frecuencias genotípicas: 50% de heterocigotos (Dd) y 50% de homocigotos recesivos (dd).



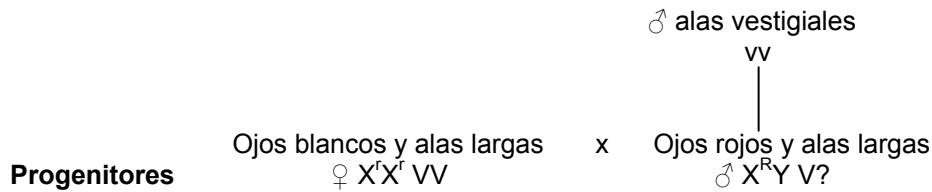
14.15. En la mosca *Drosophila*, las alas vestigiales (v) son recesivas respecto al carácter normal, alas largas (V), y el gen para este carácter es autosómico. En el mismo insecto, el color blanco de los ojos es producido por un gen recesivo situado en el cromosoma X, respecto del color rojo dominante. Una hembra, homocigótica para ambos caracteres, de ojos blancos y alas largas se cruza con un macho de ojos rojos y alas largas, descendiente de otro con alas cortas.

- Indica los genotipos de los progenitores del cruce.
- ¿Qué proporción de hembras serán heterocigóticas para los dos caracteres?

Tamaño de las alas. Determinado por un gen situado en un autosoma. Alas largas (V) > alas vestigiales (v). Posibles genotipos: VV (largas), Vv (largas) y vv (vestigiales).

Color de ojos. Determinado por un gen situado en el cromosoma X. Ojos de color rojo (R) > ojos de color blanco (r).

Posibles genotipos: RR (rojos), Rr (rojos) y rr (blancos).



- La hembra de ojos blancos y alas largas es X^rX^r VV, homocigota para los dos caracteres, homocigota recesiva para el color de los ojos y homocigota dominante para el carácter tamaño de las alas. El macho es de genotipo X^RY Vv. Como el carácter color de ojos va ligado al cromosoma X, el individuo es hemicigoto, y lleva en su cromosoma X el gen que determina el color rojo; mientras que para el carácter tamaño de las alas es heterocigoto, por ser descendiente de un macho con las alas cortas (vv).
- Para conocer la proporción de hembras que son heterocigotas para ambos caracteres (X^RX^r Vv), hay que realizar el cruzamiento.

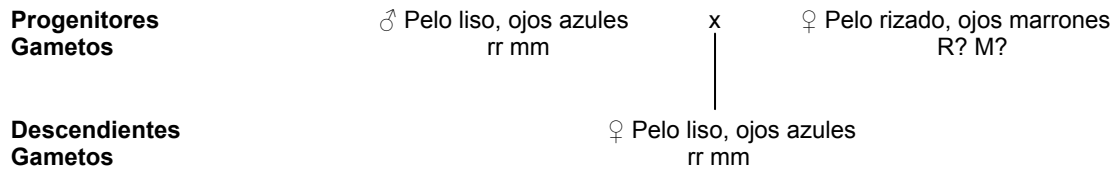


Gametos	X ^R V	X ^r V	YV	Yv
X ^r V	X ^R X ^r VV	X ^R X ^r Vv	X ^r Y VV	X ^r Y Vv
%	Hembra heterocigota de ojos rojos y homocigota dominante de alas largas. 25%	Hembra heterocigota de ojos rojos y heterocigota de alas largas. 25%	Macho de ojos blancos y alas largas. 25%	Macho de ojos blancos y alas largas. 25%

El 50% de las hembras serán heterocigotas (X^RX^r Vv) para ambos caracteres.

- 14.16. De un matrimonio formado por un varón de pelo liso y ojos azules, y una mujer de cabellos rizados y ojos marrones nace un hijo de pelo liso y ojos azules. ¿Qué genotipos tienen los padres y el hijo, sabiendo que los caracteres pelo liso y ojos azules son recesivos?**

Tipo de pelo: rizado (R) > liso (r). Posibles genotipos: RR (rizado), Rr (rizado) y rr (liso).
Color de los ojos: marrón (M) > azul (m). Posibles genotipos: MM (marrón), Mm (marrón) y mm (azul).

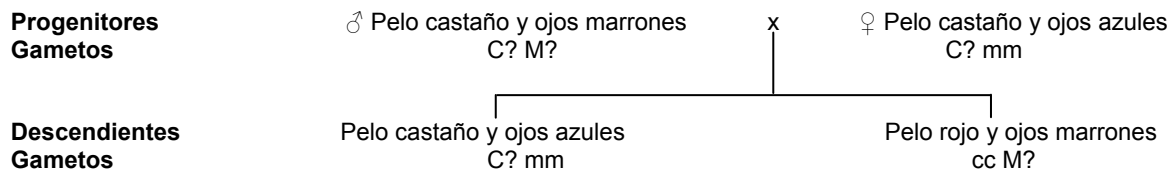


Para que el hijo sea homocigoto recesivo para ambos caracteres, los dos progenitores tienen que portar en su constitución genética los alelos que determinan el carácter recesivo. Del genotipo del hijo (rr mm) se deduce que la madre tienen que ser híbrida para ambos caracteres y, por tanto, de genotipo Rr Mm.

- Genotipo del padre: rr mm.
- Genotipo de la madre: Rr Mm.
- Genotipo del hijo: rr mm.

- 14.17. El color rojo del pelo es recesivo frente al color castaño, y el color azul de los ojos es también recesivo con respecto al color marrón. Un hombre de pelo castaño y ojos marrones, y una mujer de pelo castaño y ojos azules tuvieron dos hijos: uno de pelo castaño y ojos azules, y otro pelirrojo de ojos marrones. Indica el genotipo de los padres y de los hijos.**

Color de ojos: marrones (M) > azules (m). Posibles genotipos: MM (ojos marrones), Mm (ojos marrones) y mm (ojos azules).



Algunos de los genotipos no se conocen, pero se pueden deducir del que presentan los hijos o del que presentan los padres.

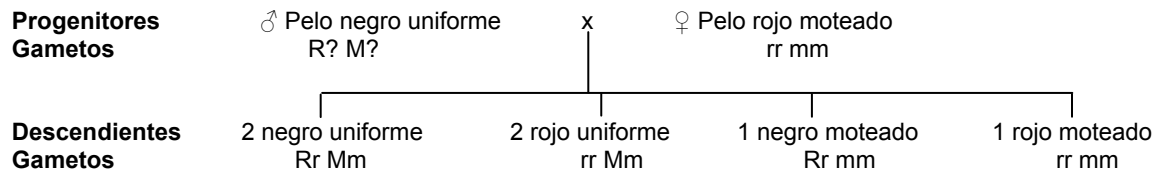
- El **genotipo del padre** es Cc Mm, ya que uno de sus hijos es pelirrojo (cc), y el otro es de ojos azules (mm); por tanto, tiene que ser híbrido para ambos caracteres.
- El **genotipo de la madre** es Cc mm, ya que uno de sus hijos es de pelo rojo, genotipo cc.
- El **genotipo del hijo** de fenotipo pelo castaño y ojos azules no se puede conocer con exactitud, podría ser CC mm o Cc mm, ya que ambos progenitores son híbridos (Cc) para el carácter color de pelo.
- El **genotipo del hijo** de fenotipo pelo rojo y ojos marrones es cc Mm, ya que la madre es homocigota recesiva (mm) para el carácter color de ojos.

- 14.18. El pelaje negro en los *Cocker spaniels* está gobernado por un alelo (R) dominante, y el color rojo por su alelo recesivo (r). El patrón uniforme del color está controlado por el alelo dominante (M), y el moteado está causado por el recesivo (m). Un macho de pelo negro y uniforme se aparea con una hembra de pelaje rojo moteado, y tienen una camada de seis cachorros: dos negro uniforme, dos rojo uniforme, uno negro moteado y uno rojo moteado.**

- Determina el genotipo de todos los perros.**
- Entre los cachorros, ¿cuántos son homocigóticos para los dos caracteres?**

Color de pelo: negro (R) > rojo (r). Posibles genotipos: RR (pelo negro), Rr (pelo negro) y rr (pelo rojo).
Patrón del pelaje: uniforme (M) > moteado (m). Posibles genotipos: MM (uniforme), Mm (uniforme) y mm (moteado).

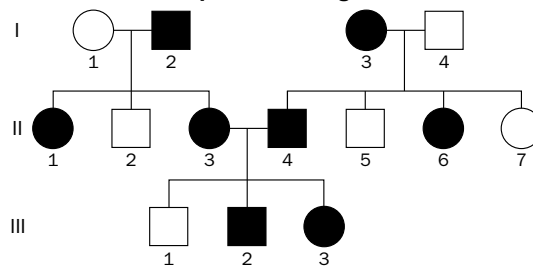
- a) El genotipo de todos los perros se puede conocer realizando el cruzamiento propuesto en el problema.



El único de los genotipos desconocidos en este cruzamiento es el del progenitor macho, que es deducible de los genotipos presentados por los cachorros; será de genotipo Rr Mm, ya que entre sus descendientes, los hay que manifiestan color de pelo rojo (rr) y patrón moteado (mm), lo que indica que el progenitor tiene que ser híbrido para ambos caracteres.

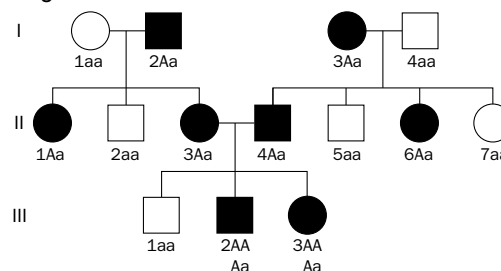
- b) Solo uno de los cachorros es homocigótico para ambos caracteres (rr mm); concretamente, es el que presenta fenotipo rojo moteado.

14.19. En la figura, se indica la transmisión de un carácter en una familia (los hombres se representan con un cuadrado y las mujeres con un círculo). El carácter presenta las dos alternativas que se indican en blanco y en negro, y está determinado por un solo gen.



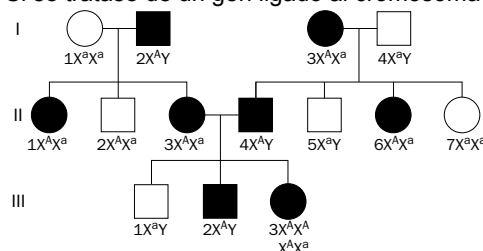
- a) Indica si el alelo que determina la alternativa representada en negro es dominante o recesivo. Razona la respuesta.
- b) Supón que el gen que determina ese carácter es autosómico. Indica los posibles genotipos de todos los individuos. Utiliza la letra A (mayúscula) para el alelo dominante y la letra a (minúscula) para el recesivo.
- c) Supón que el gen que determina ese carácter está ligado al sexo (situado en el segmento diferencial del cromosoma X). Indica los posibles genotipos de todos los individuos. Utiliza el símbolo X^A para el alelo dominante, y el símbolo X^a para el recesivo.

- a) El carácter representado en color negro es el dominante, ya que si fuese recesivo en la generación III, no aparecería un macho –concretamente, el III 1– sin el carácter estudiado. De ser dominante, todos los descendientes de la pareja II 3 y II 4 portarían el carácter estudiado, y se hubiesen representado en negro.
- b) Los posibles genotipos serían los siguientes.



Los genotipos de todos los integrantes del pedigrí están claros salvo los que tienen el III 2 y III 3, que podría ser AA o Aa, ya que sus dos progenitores son híbridos para el carácter.

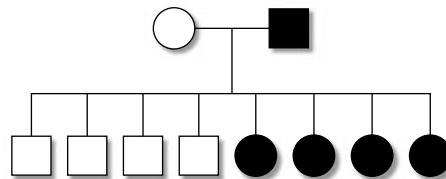
- c) Si se tratase de un gen ligado al cromosoma X, los posibles genotipos serían los siguientes.



Los genotipos de todos los integrantes del pedigrí están claros salvo el del III 3, que podría ser X^AX^A o X^AX^a , ya que la madre es híbrida para el carácter.

14.20. Un hombre que está afectado de una determinada enfermedad tiene descendencia con una mujer sana. De los ocho hijos que tienen, cuatro son chicos y cuatro son chicas. Todas las chicas padecen la misma enfermedad que el padre, pero ninguno de los chicos la padece.

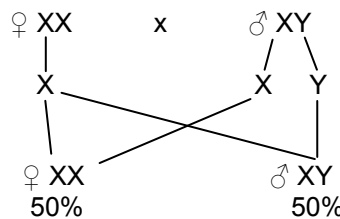
- A partir de esta información, representa el pedigrí (árbol genealógico) de esta familia. ¿Cuál es el patrón de herencia más probable de esta enfermedad? (dominante/recesivo; ligado al sexo/autosómico.) Razona la respuesta. (Usa círculos para representar las chicas, y cuadrados para los chicos. Señala los individuos afectados por la enfermedad rellenando el interior de la figura.)
 - Describe el mecanismo de determinación (herencia) del sexo en las personas. Elabora una tabla con las combinaciones posibles.
 - En una discusión familiar, una de las hijas de la familia dice: “es el óvulo el que determina el sexo”. Su hermano opina que el que determina el sexo es el espermatozoide que participa en la fecundación. Argumenta cuál de los dos tiene razón.
- a) El hecho de todas las chicas padezcan la enfermedad del padre nos indica que el gen que la determina está ligado al cromosoma X; por tanto, el pedigrí de esta familia con respecto a esa enfermedad es el siguiente.



El patrón de herencia más probable para esta enfermedad es el ligado al sexo; concretamente, al cromosoma X, que, además, es dominante, ya que ninguno de los varones lo presenta y sí todas las mujeres, luego el alelo normal es recesivo.

- En las personas, el sexo viene determinado por la presencia de los cromosomas sexuales X e Y. Las mujeres tienen dos cromosomas X, y los hombres un cromosoma X y otro Y.

Progenitores



Gametos

Descendientes

- El óvulo no determina el sexo. La determinación del sexo de una persona es consecuencia de que los espermatozoides llevan un cromosoma X o bien uno Y, mientras que los óvulos solo aportan cromosomas X. Según qué espermatozoide participe en la fecundación se obtendrá un cigoto, que tras su desarrollo dará origen a una persona de sexo femenino, XX o bien a una persona de sexo masculino, XY.

14.21. La ausencia de molares en la especie humana se debe a un gen dominante autosómico. Una pareja, ambos sin molares, tienen una hija con molares.

- Indica los genotipos de todos los miembros de esta familia.
- ¿Qué probabilidad hay de que tengan otro descendiente con molares?
- ¿Cuál es la proporción de heterocigóticos?

Molares: ausencia (A) > presencia (a). Posibles genotipos: AA (sin molares), Aa (sin molares) y aa (con molares).

- El hecho de que la hija posea molares implica que presenta un genotipo homocigoto recesivo (aa); por tanto, los alelos recesivos que determinan la presencia de los molares los ha recibido de sus progenitores, uno del padre y el otro de la madre. Este hecho nos sirve para determinar que los dos progenitores son de genotipo híbrido (Aa).

Progenitores
Gametos

♂ Sin molares
A?

x

♀ Sin molares
A?

Descendientes
Gametos

♀ Con molares
aa

- b) Para determinar la probabilidad de que esta pareja tenga otro descendiente con molares es necesario realizar el cruzamiento.

Progenitores
Genotipo

♂ Sin molares

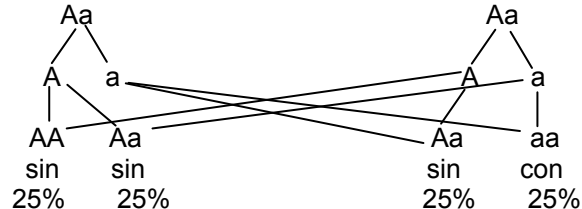
x

♀ Sin molares

Gametos

F₁

Fenotipo
%



Las probabilidades son independientes.

- c) La proporción de heterocigotos (Aa), observando el cruzamiento anterior, es del 50%.

UN PASO MÁS

14.22. En *Drosophila* (la mosca del vinagre), los genes que determinan el color del cuerpo y el tamaño de las alas están en el mismo cromosoma. Se considera una hembra heterocigótica para ambas características.

- a) ¿Qué tipo de gametos podría formar si hay recombinación? ¿Y si no hubiese recombinación?
b) Si se considerase una hembra homocigótica para ambos caracteres, ¿qué tipo de gametos podría formar si hay recombinación? ¿Y si no hubiese recombinación?

- a) **Color del cuerpo:** gris (b^+) > negro (b). Posibles genotipos: b^+b^+ (gris), b^+b (gris) y bb (negro).

Tamaño de las alas: normales (vg^+) > vestigiales (vg). Posibles genotipos: vg^+vg^+ (normales), vg^+vg (normales) y $vgvg$ (vestigiales).

Una hembra homocigótica para ambos caracteres tiene el siguiente genotipo: $b^+b^+ vg^+vg^+$. El enunciado dice que los genes que determinan estos caracteres están situados en el mismo cromosoma; son, por tanto, genes ligados y tienden a heredarse juntos.

- b) Si hubiese recombinación, los gametos producidos por esta hembra ($b^+b^+ vg^+vg^+$) serán los siguientes: b^+vg^+ , b^+vg , bvg^+ , bvg . Si no hubiese recombinación, los gametos producidos serían de dos tipos: b^+vg^+ y bvg .

Las hembras homocigotas para ambos caracteres pueden ser de genotipo dominante, $b^+b^+ vg^+vg^+$ o de genotipo recesivo, $bb vgvg$. En ambos casos, haya o no haya recombinación, todos los gametos producidos serán iguales. Si la hembra es homocigota dominante, los gametos serán del tipo b^+vg^+ , mientras que si es homocigota recesiva, lo serán del tipo bvg .

14.23. Se presentó ante los tribunales de justicia el siguiente caso: una familia X reclama que cierto bebé T, que les dieron en la maternidad, no les pertenece y que, en cambio, el bebé Z, que tiene la familia W, es el suyo. La familia W niega este hecho, y el tribunal ordena el examen de los grupos sanguíneos de los bebés y de los padres, con los siguientes resultados:

	Grupo sanguíneo		
	Madre	Padre	Bebé
Familia X / Bebé T	AB	O	A
Familia W / Bebé Z	A	O	O

Contesta razonadamente, qué familia tiene razón.

Para contestar razonadamente a qué familia pertenece cada uno de los dos bebés, hay que saber de qué grupo sanguíneo pueden ser los hijos de ambas parejas:

Los hijos de la familia X pueden ser de grupo sanguíneo A o de grupo sanguíneo B, pero nunca de grupo AB o de grupo O.

De aquí se deduce que el bebé Z, con grupo sanguíneo O, no puede pertenecer a la familia X, luego la familia que tiene razón en este litigio es la W.

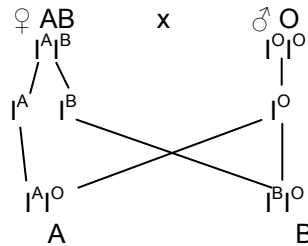
Progenitores

Genotipo

Gametos

Descendientes

Fenotipo



- 14.24. “Los españoles somos 3,5 cm más altos que hace 20 años”. Este es un dato fácilmente constatable, solo hay que observar la altura de los abuelos con respecto a la de sus nietos. A pesar de que la altura es un carácter sobre el que influyen muchos factores externos, es “normal” que los hijos de padres altos sean altos, mientras que los de padres bajos suelen ser bajos también. Sabemos que la altura de las personas varía dentro de un intervalo muy amplio, y que se puede representar gráficamente mediante una curva en forma de campana. Explica, de manera razonada y con fundamentos genéticos, esta observación sobre la altura que alcanzan las personas.

La altura de las personas es un carácter cuantitativo, entendiendo por tales aquellos entre los que no existe una clara diferencia, puesto que muestran una gradación de pequeñas desigualdades. Son caracteres controlados genéticamente, aunque sobre ellos actúan también factores condicionados por el ambiente, como el clima, la nutrición o las enfermedades.

La herencia de estos caracteres se denomina **herencia poligénica**, y está controlada por muchos genes situados en loci distintos, cuya acción es acumulativa. Se trata de caracteres cuantitativos, puesto que las pequeñas diferencias fenotípicas existentes entre los individuos son cuantificables. Cuando alguno de estos caracteres se mide en un elevado número de individuos, los valores obtenidos se pueden representar gráficamente. Se obtiene, entonces, una curva en forma de campana, llamada **distribución normal** o **de Gauss**, caracterizada porque el número de individuos con fenotipos extremos es pequeño, frente a los de fenotipos intermedios.

- 14.25. La fenilcetonuria (FCU) es una enfermedad hereditaria causada por un alelo recesivo. Si una mujer y un hombre, ambos portadores, tienen tres hijos, ¿cuál es la probabilidad de qué ocurra cada uno de los siguientes hechos?

- Todos los hijos tienen fenotipo normal.
- Uno o dos hijos tienen la enfermedad.
- Los tres tienen la enfermedad.
- Al menos un hijo tiene un fenotipo normal.

Para responder, hay que tener en cuenta que las probabilidades de todos los resultados posibles suman siempre 1.

Sano (F) > fenilcetonuria (f). Posibles genotipos: FF (persona sana), Ff (persona sana, pero portadora) y ff (persona con la enfermedad).

El 75% (3/4) de los hijos es sano, y un 25% (1/4) padecerá la enfermedad.

- $3/4 \times 3/4 \times 3/4 = 27/64$
- $1 - 27/64 = 37/64$
- $1/4 \times 1/4 \times 1/4 = 1/64$
- $1 - 1/64 = 63/64$

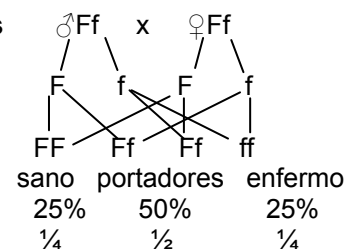
Progenitores

Gametos

F₁

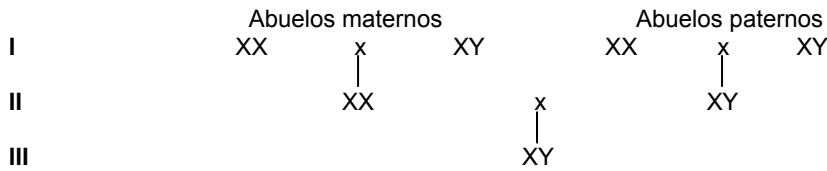
Fenotipo

%



14.26. La abuela materna le dice a su nieto: “el cromosoma X que tú tienes lo has heredado de mí, y el cromosoma Y lo has heredado de tu abuelo paterno”. El nieto le contesta que según lo que él sabe, los cromosomas X e Y los ha podido heredar de cualquiera de sus abuelos.

- ¿Quién de los dos tiene razón? Justifica tu respuesta.
- Supón que la primera de las dos afirmaciones de la abuela es correcta. ¿Sería exactamente el mismo cromosoma? Razona la respuesta.



- En los varones, el cromosoma Y se hereda siempre vía paterna, ya que es exclusivo de los hombres, mientras que el cromosoma X se hereda vía materna. Los cromosomas X de la madre de este chico proceden, uno de su padre y el otro de su madre; por tanto, el cromosoma X que hereda su hijo puede proceder del abuelo o de la abuela materna. Ninguno de los dos tiene razón en sus afirmaciones; ambos dicen una parte de verdad, pero otra que no lo es. La primera parte de la afirmación de la abuela es incorrecta, ya que ese cromosoma X lo puede heredar, indistintamente, de cualquiera de sus abuelos maternos, mientras que la segunda parte de la afirmación es correcta. La afirmación del nieto no es correcta del todo: el cromosoma X lo hereda vía materna y, por tanto, puede proceder de cualquiera de sus abuelos, pero siempre de los maternos, mientras que tiene razón en lo que se refiere al cromosoma Y, que procede de su abuelo paterno.
- No sería exactamente el mismo cromosoma, puesto que tanto en la abuela materna como en la madre, durante la meiosis se produce un intercambio de material genético entre la pareja de cromosomas X que los hace genéticamente distintos.

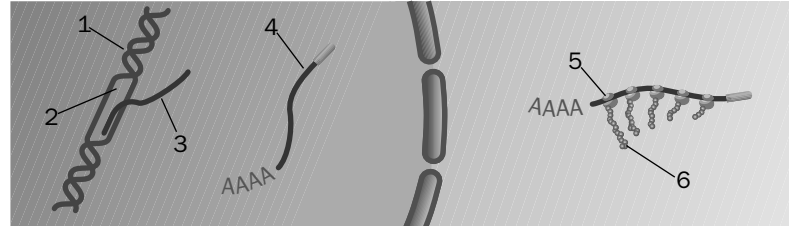
14.27. Señala cuáles de las siguientes afirmaciones son verdaderas o falsas, y justifica la respuesta.

- Las hijas de un hombre hemofílico padecerán la hemofilia.**
 - Existen rasgos fenotípicos cuya expresión está influida por el sexo.**
 - Tanto el genotipo como el fenotipo de una persona pueden cambiar con el tiempo.**
 - El retrocruzamiento se realiza siempre con individuos de genotipo homocigoto dominante.**
 - Los genes localizados en el mismo cromosoma se llaman ligados y se heredan siempre juntos.**
 - Los padres de un varón de grupo sanguíneo O son de grupo sanguíneo A.**
- Falso. Lo que es seguro es que serán portadoras de la enfermedad, ya que uno de sus cromosomas X lo heredan de su padre. Para que fuesen hemofílicas, el cromosoma X heredado de la madre debería llevar el gen que determina la hemofilia.
 - Cierto. Existen caracteres, como la calvicie en la especie humana y la presencia o ausencia de cuernos en algunas razas ovinas, que están determinados por genes situados en la parte homóloga de los cromosomas sexuales o en autosomas, y cuya manifestación depende del sexo.
 - Falso. Lo que puede cambiar es el fenotipo, pero no el genotipo. El fenotipo viene determinado por la acción conjunta del genotipo y del ambiente.
 - Falso. Es al revés; para que el retrocruzamiento tenga los efectos deseados, se tiene que hacer siempre con individuos homocigotos recesivos para que la recesividad de los alelos en cuestión no influya en los resultados del cruzamiento.
 - Falso. Es cierto que los genes que se hallan situados en el mismo cromosoma se llaman ligados, pero no es cierto que siempre se hereden juntos. Durante la meiosis se puede producir una recombinación que permita que se hereden por separado.
 - Falso. Los padres de un varón de grupo sanguíneo O –genotipo OO– no tienen porque ser de grupo sanguíneo O. Pueden ser ambos de grupo A, ambos de grupo B o uno del grupo A y otro del grupo B, pero siempre deben ser híbridos para el carácter, es decir, de genotipo AO o BO.

15 Del ADN a las proteínas

ACTIVIDADES PAU RESUELTAS

15.1. El esquema representa la transcripción, procesamiento y síntesis de polipéptidos en un eucarionte.



- Identifica los distintos elementos de la figura señalados por números.
- Indica dos diferencias entre los ARN mensajeros de eucariontes y procariontes.
- ¿Qué es un intrón?

Actividad resuelta en el libro del alumno.

15.2. Un fragmento de ADN presenta la siguiente secuencia de bases:

3'...AAGCAATGTGGGCGGAGACCACGT... 5'

Esta secuencia utilizada como molde, tras su expresión, corresponde a un fragmento de proteína con esta secuencia de aminoácidos:

...Phe-Val-Thr-Pro-Ala-Ser-Gly-Ala...

- ¿Cuál sería el fragmento correspondiente al ARNm?
- ¿Qué es un codón? ¿Por qué no podrían estar los aminoácidos codificados por dos bases?
- ¿Cuál será el codón de la prolina (Pro)? ¿Y el de la alanina? Explica a qué se debe.
- Esta secuencia tiene una determinada pauta de lectura, ¿cómo se habrá establecido?

Actividad resuelta en el libro del alumno.

15.3. Lee atentamente este texto:

“Las mitocondrias han mantenido muchos signos misteriosos de su anterior condición de organismos libres. Aunque se encuentran en el exterior del núcleo de la célula, poseen su propio aparato genético, incluyendo su propio ADN, ARN mensajero, ARN de transferencia. Como el ADN bacteriano, el suyo no está compactado en forma de cromosomas y no está recubierto por ninguna capa de histonas. Las mitocondrias contienen ribosomas que son muy semejantes a los ribosomas de las bacterias, y que son sensibles a los mismos tipos de antibióticos. Estos y otros indicios sugieren la explicación de que las mitocondrias fueron en un tiempo pasado bacterias que acabaron como simbiotas en el interior de células bacterianas mayores.”

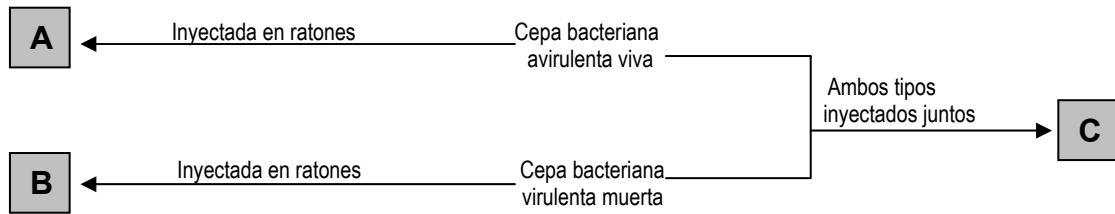
De Microcosmos, por L. Margulis y D. Sagan

- ¿Qué son las histonas? Explícalo brevemente.
- ¿Qué proceso habrá ocurrido en la matriz mitocondrial para que pueda encontrarse ARNm?
- ¿Qué función presumes que llevarán a cabo los ribosomas citados?
- Si el ADN mitocondrial y el resto de la maquinaria genética es como la de los procariontes, razona si es o no probable que aparezcan intrones, explicando previamente qué es un intrón.

Actividad resuelta en el libro del alumno.

ACTIVIDADES

15.4. El esquema representa una síntesis de los experimentos que realizó Griffith (1920) para investigar la naturaleza del material hereditario.



a) Indica, en A, B y C, si los ratones murieron o vivieron.

b) Explica cuáles fueron las deducciones de Griffith a la vista de los resultados que obtuvo.

- Griffith buscaba una vacuna contra la neumonía provocada por la bacteria *Streptococcus pneumoniae*. Descubrió que existían dos cepas de bacterias distintas:
 - Cepas S.** Son bacterias que poseen una cápsula gelatinosa de polisacáridos, y son capaces de provocar la enfermedad cuando se inoculan en un animal sano.
 - Cepas R.** Se trata de bacterias que no provocan la enfermedad. Carecen de cápsula gelatinosa, por lo que sus colonias tienen un aspecto más rugoso que las S.
 - Los ratones A son inoculados con bacterias de tipo R y no mueren, ya que se trata de una cepa bacteriana avirulenta y, por tanto, no provoca la enfermedad.
 - Los ratones B son inoculados con bacterias de tipo S; por tanto, deberían contraer la enfermedad y morir, pero no lo hacen porque las bacterias han sido inactivadas por el calor.
 - Los ratones C son inoculados con ambos tipos de bacterias, y, en teoría, no tendrían que contraer la enfermedad, pero, sin embargo, la contraen y, como consecuencia, mueren.
- A la vista de los resultados obtenidos con los diferentes grupos de ratones, sobre todo con los del grupo C, Griffith dedujo que en las bacterias muertas por el calor existía “algo” —que llamó **principio transformante**— que era captado por las bacterias vivas avirulentas, y transformaba sus caracteres hereditarios convirtiéndolas en virulentas. Años más tarde, se demostró que lo que Griffith había llamado principio transformante era el ADN, siendo esta la primera evidencia de que el ADN era el material hereditario.

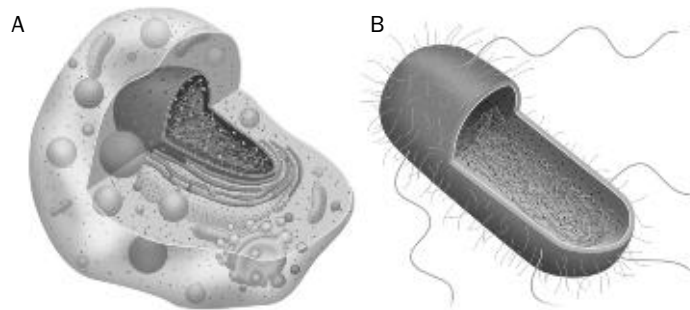
15.5. ¿Qué se quiere dar a entender con la hipótesis “un gen, una enzima”? ¿Quién la formuló? ¿Por qué razón se transformó en la de “un gen, una cadena polipeptídica”? Razona las respuestas.

La hipótesis “un gen, una enzima” propone la existencia de una relación directa entre la molécula de ADN y la secuencia de aminoácidos de una enzima. Según esta hipótesis, un gen contiene la información para que los aminoácidos se unan en un determinado orden y formen una enzima. Fue una hipótesis formulada en la década de los años cuarenta del siglo xx por G. Beadle y E. Tatum.

Años más tarde, la hipótesis “un gen, una enzima” se transformó en la de “un gen, una cadena polipeptídica”, ya que no todas las proteínas son enzimas y que, además, algunas proteínas están formadas por más de una cadena polipeptídica.

15.6. El dibujo representa dos tipos de células.

- Identifica cuál de las dos células es procariótica y cuál eucariótica.
- ¿Qué se entiende por genoma?
- ¿Qué diferencias existen entre el genoma de un organismo procariótico y el de un organismo eucariótico?



- La célula A es una célula **eucariótica**; concretamente, una célula vegetal, mientras que la B es **procariótica**.
- Se entiende por **genoma** el material genético de un organismo, o lo que es lo mismo, su **ADN**.
- Organismos procarióticos.** El genoma está formado por un solo cromosoma circular. Los genes son **continuos**, es decir, toda la información genética contenida en cada gen se traduce en la formación de una proteína. Además, muchas bacterias contienen **plásmidos**, que son moléculas de ADN circulares más pequeñas que el cromosoma, y con capacidad para replicarse independientemente.

Organismos eucarióticos. La mayor parte de su ADN se encuentra en el núcleo, formando el **genoma nuclear**. No existe una relación directa entre la complejidad del organismo y la cantidad de ADN, ya que la mayor parte de este no codifica proteínas ni interviene en la regulación de su síntesis.

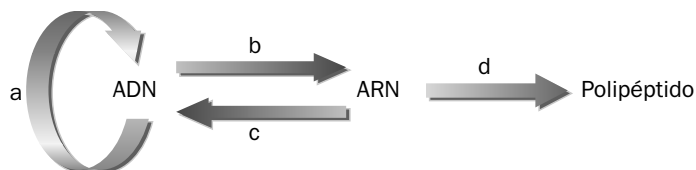
El genoma de los organismos eucarióticos tiene **mayor cantidad** de ADN y es muy **repetitivo**, es decir, contiene secuencias de nucleótidos altamente repetidas que no codifican proteínas.

Además, los genes eucarióticos se encuentran **fragmentados** en porciones, llamadas **intrones** y **exones**, intercalados unos entre otros. Ambas porciones son secuencias de nucleótidos, que en el caso de los intrones se transcriben, pero no se traducen; mientras que en el caso de los exones, se transcriben y se traducen, es decir, tienen información para formar una cadena polipeptídica; por tanto, codifican una secuencia de aminoácidos.

El ADN eucariótico está asociado con proteínas, las **histonas**, para formar los cromosomas.

Una parte del genoma eucariótico se encuentra en los **cloroplastos** y en las **mitocondrias**; se trata de moléculas circulares de ADN relativamente pequeñas que carecen de histonas. Su estructura es parecida a la del cromosoma bacteriano. Los cromosomas de estos orgánulos forman un sistema genético propio con plena capacidad para realizar la replicación del ADN, transcripción y síntesis proteica. Sin embargo, la mayoría de las proteínas de estos orgánulos son codificadas por el ADN nuclear, sintetizadas en el citoplasma y transportadas de manera individual hasta el orgánulo.

15.7. En relación con la figura adjunta que representa el flujo de la información genética, responde las siguientes cuestiones.



- Nombra cada uno de los procesos biológicos que se indican con las letras a, b, c y d. Relaciona cada uno de estos procesos con **ARN-polimerasa dependiente de ADN**, **ribosomas**, **ADN-polimerasa**, **transcriptasa inversa**, **aminoácidos**, **ARN transferente** y **cebadores de ARN**.
- Expón la función de cada uno de estos procesos.

- a) Replicación del ADN: ADN-polimerasa y cebadores de ARN; b. Transcripción: ARN-polimerasa dependiente de ADN; c. Transcripción inversa: transcriptasa inversa; d. Traducción: ribosomas, aminoácidos, ARN transferente.

La relación entre los procesos nombrados y los compuestos químicos es la siguiente:

- ADN-polimerasa: replicación del ADN.
 - ARN-polimerasa dependiente de ADN: transcripción.
 - Transcriptasa inversa: transcripción inversa.
 - Ribosomas, aminoácidos, ARN transferente: traducción.
- b) La función de los procesos señalados con las letras a, b, c y d son las siguientes:
- Replicación del ADN: duplicación de la molécula ADN.
 - Transcripción: síntesis del ARN a partir de la información genética contenida en el ADN.
 - Transcripción inversa: síntesis de ADN a partir de la información genética contenida en la molécula de ARN. Este proceso es característico de determinados virus, concretamente de los retrovirus, que acumulan su información genética en forma de ARN.
 - Traducción: síntesis de proteínas.

15.8. Explica razonadamente por qué el orden de los nucleótidos en el ADN determina los caracteres del fenotipo de los organismos.

Los genes se expresan en forma de caracteres, que constituyen el fenotipo de un individuo. Para explicar la función de los genes, Beadle y Batum propusieron en la década de 1940 la conocida hipótesis “un gen, una enzima”: los genes controlan la síntesis de enzimas, que, a su vez, controlan las reacciones químicas. En la actualidad, se sabe que la expresión “un gen, una enzima” puede hacerse extensiva a todas las proteínas, y no solo a las enzimáticas. Las características de un individuo –es decir, su fenotipo– son el resultado de la acción de sus genes expresada en su particular equipamiento de proteínas.

Desde el punto de vista de su función, un gen es un fragmento de ADN que lleva la información necesaria para fabricar una determinada proteína. Las proteínas están formadas por aminoácidos que se unen en un orden concreto, que viene determinado por el orden o secuencia de nucleótidos de la molécula de ADN; por esta razón se puede afirmar que el orden de los nucleótidos en el ADN determina los caracteres del fenotipo de los organismos.

15.9. Los premios Nobel de Fisiología y Medicina, y de Química de 2006 fueron para estudios relacionados con la expresión de la información genética donde participan distintos tipos de ARN.

- a) ¿Qué tipos de ARN conoces?
- b) ¿Dónde se origina cada uno de ellos?
- c) En las células eucarióticas, ¿cómo se llaman los segmentos que se eliminan en la maduración de uno de los tipos de ARN?
- d) ¿Cómo se llaman los segmentos que quedan y se traducen?
- a) Los tipos de ARN conocidos son: **ARNm** (ARN mensajero), **ARNt** (ARN de transferencia), **ARNr** (ARN ribosomal) y **ARNn** (ARN nucleolar).
- b) En los eucariontes, en el núcleo celular y en los procariontes, en el hialoplasma.
- c) En las células eucarióticas, los segmentos que se eliminan durante la maduración del ARNm son los **intrones**, que son secuencias de bases nitrogenadas más o menos largas que no se traducen, es decir, no codifican una secuencia de aminoácidos.
- d) Los segmentos que durante la maduración del ARNm quedan y se traducen se denominan exones, que son secuencias de bases nitrogenadas que contienen información para formar una cadena polipeptídica.

15.10. Observa atentamente este esquema y contesta.



- ¿Qué proceso representa el esquema?
 - Identifica lo señalado con los números 1, 2 y 3.
 - Describe con detalle qué es lo que está ocurriendo.
 - ¿Qué tarea lleva a cabo la enzima que es la principal responsable de que esto ocurra?
- El proceso representado en la figura es la **transcripción**, es decir, la formación de un ARNm a partir de la información genética contenida en el ADN.
 - 1: hebra de ADN molde que se transcribe; 2: hebra de ADN que no se transcribe; 3: ARNm en formación.
 - Parte de la transcripción; concretamente, la **elongación** de la cadena de ARN. Consiste en la adición de sucesivos ribonucleótidos para formar el ARN, y, básicamente, se realiza de la siguiente manera: la enzima **ARN polimerasa** avanza a lo largo de la cadena molde de ADN –la que se transcribe– leyéndola en sentido $3' \rightarrow 5'$, mientras que el sentido de la síntesis del ARN es $5' \rightarrow 3'$. La enzima selecciona el ribonucleótido trifosfato, cuya base es complementaria con la de la cadena de ADN que actúa como molde, y lo une mediante un enlace éster al siguiente nucleótido, desprendiéndose en la reacción un grupo pirofosfato (PPi). En los organismos eucariontes, tras la unión de los 30 primeros ribonucleótidos, se añade en el extremo $3'$ una caperuza formada por metil-guanosin-fosfato, que durante la traducción será una señal de reconocimiento del inicio de lectura.
 - El proceso de transcripción está catalizado por las ARN polimerasas. En los procariontes, solo existe una, mientras que en los eucariontes existen tres: ARN polimerasa I, II y III. La I interviene en la formación del ARNr, la II lo hace en la síntesis de todos los ARNm, y la III, en la del ARNt y de un ARNr de pequeño tamaño. En general, la ARN-polimerasa realiza las siguientes acciones:
 - Reconoce en el ADN que se va a transcribir una señal que indica el inicio del proceso.
 - Hace que la doble hélice de ADN se abra para permitir que quede expuesta la secuencia de bases del ADN, y se puedan incorporar los ribonucleótidos que se van a unir.
 - Avanza a lo largo de la cadena molde de ADN “leyéndola” en sentido $3' \rightarrow 5'$, mientras que el sentido de la síntesis del ARN es $5' \rightarrow 3'$. La enzima selecciona el ribonucleótido trifosfato, cuya base es complementaria con la de la cadena de ADN que actúa como molde, y lo une mediante un enlace éster al siguiente nucleótido.

15.11. Referente al código genético y a la mutación.

A partir de la siguiente secuencia de bases correspondiente a un fragmento de un gen:

5' TATATACAATTT 3'

3' ATATATGTTAAA 5'

- Indica cuál será la secuencia del ARNm correspondiente a la cadena inferior de este fragmento, indicando su polaridad.
- Ayudándote de la tabla del código genético, escribe la secuencia de aminoácidos del polipéptido codificado por este fragmento de gen, indicando cuáles son los extremos amino y carboxilo.
- Si en el ADN se produjese una sustitución del par C-G por el par T-A, indica cómo se altera el ARNm y la cadena polipeptídica.
- Explica qué significa que el código genético es degenerado.

- a) La secuencia del ARNm correspondiente a la cadena inferior del fragmento de ADN propuesto es:
5' UAU AUA CAA UUU 3'.
- b) La secuencia de aminoácidos del polipéptido codificado por este fragmento de un gen es la siguiente:
H₂N-Tyr-Ile-Gln-Phe-COOH.
- c) Si se sustituye el par C-G por el par T-A, la secuencia de bases en el fragmento de gen sería:

5' TATATATAATTT 3'

3' ATATATATTTAAA 5'

Como la hebra que se transcribe es la inferior, se formaría un ARNm constituido por la siguiente secuencia de bases: 5' UAU AUA UAA UUU 3', que, tras su traducción, se formaría un polipéptido constituido por los siguientes aminoácidos: H₂N-Tyr-Ile-COOH. El polipéptido se ha acortado por la razón de que el triplete de bases UAA no codifica para ningún aminoácido y es una señal de terminación que indica a la ARN polimerasa que la traducción ya ha concluido.

- d) El código genético es degenerado porque la mayor parte de los aminoácidos, a excepción de la metionina (Met) y el triptófano (Trp), están codificados por más de un codón. Los distintos codones que codifican para un mismo aminoácido se denominan codones sinónimos; esto supone una ventaja, ya que en el caso de que se produzcan cambios en algún nucleótido, es decir, que haya mutaciones, no se tiene porqué alterar el orden de los aminoácidos que forman una proteína.

15.12. ¿Podrían los 20 aminoácidos estar codificados por un código genético constituido por díptetes de las cuatro bases nitrogenadas? Razona la respuesta.

Los 20 aminoácidos proteicos no podrían estar codificados por un código genético constituido por díptetes de las cuatro bases nitrogenadas, ya que las combinaciones de cuatro elementos –las bases nitrogenadas– tomadas de dos en dos –los díptetes–, nos dan 16 posibles combinaciones; número insuficiente para codificar la totalidad de los 20 aminoácidos proteicos.

15.13. ¿Qué característica tiene el código genético que permite que un gen de un organismo se pueda expresar en otro? Razónalo.

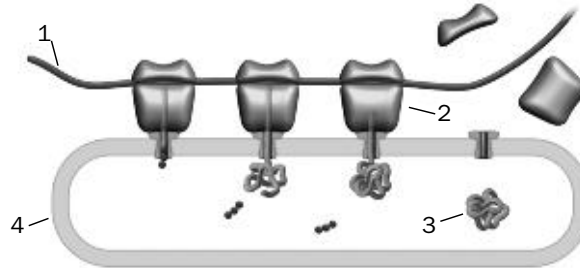
La característica del código genético que permite que un gen de un organismo se pueda expresar en otro es su **universalidad**. El código es compartido por todos los organismos conocidos, incluyendo los virus; así, por ejemplo, el codón UUG codifica para el aminoácido leucina tanto en los procariontes como en los eucariontes. Lo mismo ocurre con todos los codones. Este hecho indica que el código ha tenido un solo origen evolutivo.

15.14 Explica el concepto de gen y genoma. ¿Qué es el código genético? Explica qué significa que el código genético es universal.

- **Concepto de gen.** Según la genética clásica o mendeliana, un gen es una unidad de información hereditaria que se expresa determinando una característica observable o fenotipo, y desde el punto de vista molecular se define gen como un segmento de ADN que codifica una secuencia de ARN mensajero o que hace posible la transcripción de este.
- **Concepto de genoma.** Se define genoma como el conjunto completo de genes referido a un individuo o a una especie.
- **Código genético.** El código genético establece una relación de correspondencia entre las bases nitrogenadas del ARN y los aminoácidos que codifica.
- **Universalidad del código genético.** El código es universal, ya que es compartido por todos los organismos conocidos, incluyendo los virus; así, por ejemplo, el codón UUG codifica para el aminoácido leucina tanto en los procariontes como en los eucariontes. Lo mismo ocurre con todos los codones. Este hecho indica que el código ha tenido un solo origen evolutivo. Gracias a la genética molecular, se ha descubierto que esta universalidad tiene algunas excepciones; concretamente, las mitocondrias, algunas bacterias y algunos protozoos como *Tetrahymena* utilizan un código genético ligeramente diferente.

15.15. El esquema representa un proceso de gran importancia biológica.

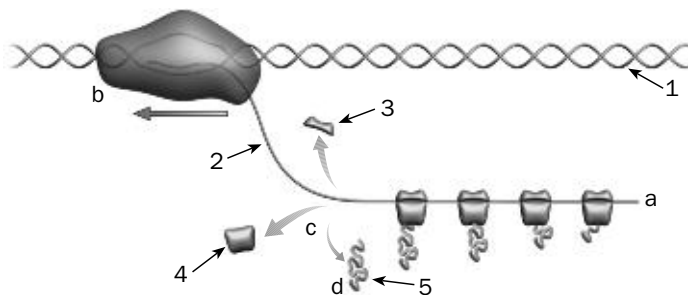
- Identifica las moléculas y orgánulos numerados.
- ¿Cuál es la finalidad del proceso?
- A la vista del esquema, ¿en qué tipo de organización celular tiene lugar el proceso?
- ¿Cuál es la composición del número 2?



- Las moléculas numeradas son el **ARNm**, señalada con el número 1; y proteínas, con el número 3. Los orgánulos numerados con el 2 son los ribosomas; con el número 4, uno de los sacos que forman parte del retículo endoplásmico rugoso (RER).
- La estructura dibujada se corresponde con una sección del retículo endoplásmico rugoso, estructura membranosa que lleva adosado en la cara citosólica de sus membranas un gran número de ribosomas. En los ribosomas se está realizando la traducción, es decir, la síntesis de una proteína. La proteína sintetizada se introduce en el interior de las cisternas que conforman el retículo, donde son almacenadas antes de ser transportadas a otros orgánulos citoplasmáticos (aparato de Golgi, lisosomas), a la membrana plasmática o al exterior de la célula. Antes de ser transportadas, y en el interior de las cisternas, algunas proteínas deben ser **glicosiladas** para convertirse en glicoproteínas.
- Este proceso tiene lugar en organismos eucariontes, ya que los procariontes carecen de estructuras membranosas como sería el retículo endoplásmico rugoso.
- Los ribosomas (número 2) están formados por ARN ribosomal y proteínas.

15.16. En relación con la figura inferior, responde.

- ¿Cómo se denominan los dos procesos biológicos representados? Identifica los distintos elementos de la figura señalados con números.
- Identifica los extremos del elemento 2 (a y b) y los extremos del elemento 5 (c y d). ¿Cuál es la composición química de los elementos señalados con los números 3 y 4?



- En la figura se representan dos procesos biológicos, la **transcripción** y la **traducción**. 1: ADN; 2: ARNm; 3: subunidad pequeña del ribosoma; 4: subunidad mayor del ribosoma y 5: proteína recién sintetizada.
- El elemento 2 es el ARNm, y la a señala su extremo 5', mientras que la b señala el extremo 3'. El elemento 5 es una proteína, y la c señala el **aminoácido amino terminal**, mientras que d señala el **aminoácido carboxilo terminal**. Los elementos 3 y 4, cuando se unen, forman un ribosoma y, por tanto, su composición química es ARN ribosomal y proteínas.

- 15.17. Expón razonadamente si el ADN de una célula de la piel de un individuo contendrá la misma información genética que una célula del hígado. ¿Sintetizan las dos células las mismas proteínas?

La célula de la piel y la del hígado de un mismo individuo tienen la misma información genética, ya que derivan una misma célula, el **cigoto**; célula que se divide por **mitosis**, por tanto, las células que derivan de ella tienen la misma información genética.

Las células de un mismo individuo que sean iguales sintetizan las mismas proteínas, pero las que son distintas —como por ejemplo, una de la piel y otra del hígado— no sintetizan las mismas proteínas, ya que en cada una de ellas se expresan genes diferentes, razón por la cual son células anatómica y fisiológicamente distintas, aun procediendo de una misma célula, el cigoto.

- 15.18. Consultando el código genético, escribe la secuencia de aminoácidos que se puede originar a partir del ARN mensajero siguiente.

5' GAGCGUGGGAGUAGCUUUUAUGUC 3'



Si en la secuencia de ADN se produjera una alteración que cambiase en este ARN la U señalada con una flecha por una C.

- a) ¿Cómo se llamaría este fenómeno?
- b) ¿Tendría consecuencias para la célula?
- c) ¿Qué ocurriría si desaparece la base señalada? Razónalo.

La secuencia de aminoácidos que se origina a partir del ARN mensajero propuesto es: Glu-Arg-Gly-Thr-Ser-Phe-Tyr-Val.

- a) El cambio del uracilo (U) por la citosina (C) es una **mutación**; concretamente, una **sustitución de bases**, y como se sustituye una base pirimidídica por otra pirimidínica, a este tipo de mutación se la denomina **transición**.
- b) Las consecuencias de esta mutación pueden ser notables o bien pasar desapercibidas. En este caso, el cambio de U por C hace que el ARN mensajero tenga la siguiente secuencia de bases: 5' GAG CGU GGG ACU AGC UUC UAU GUC 3'. Cuando este ARNm se traduce, se forma el siguiente polipéptido: Glu-Arg-Gly-Thr-Ser-Phe-Tyr-Val, el mismo que si no se hubiese producido la alteración. Este es debido a que el **código genético es degenerado**, y el anticodón UUU codifica para el mismo aminoácido (Fen) que el UUC. Esta mutación no afectaría al individuo portador, y por esta razón se llaman **mutaciones silenciosas**.
- c) Si desaparece el uracilo marcado con la flecha, el ARN mensajero estaría formado por la siguiente secuencia de bases: 5' GAG CGU GGG ACU AGC UUU AUG UC 3', que tras su traducción daría origen al siguiente polipéptido: Glu-Arg-Gly-Thr-Ser-Phe-Met; la desaparición de la base nitrogenada afectaría a los dos últimos aminoácidos, y se formaría un polipéptido distinto.

- 15.19. Un determinado segmento de ADN tiene la siguiente secuencia de nucleótidos en una de sus cadenas.

3' TTCCAGCAT 5'

- a) ¿Cuál debe ser la secuencia de nucleótidos de la otra cadena? Marca los extremos 3' y 5'.
 - b) Si la enzima ARN-polimerasa lee este segmento de ADN, ¿cuál debe ser la secuencia de nucleótidos de la cadena de ARN mensajero? Marca los extremos 3' y 5'.
- a) La secuencia de nucleótidos de la otra cadena es 5' AAG GTC GTA 3'. Para determinarla, se ha tenido en cuenta la complementariedad de bases entre la A-T y la G-C.
 - b) La secuencia de nucleótidos del ARN mensajero que se forma a partir del segmento de ADN es 5' AAG GUC GUA 3'. Para determinar esta secuencia de nucleótidos se ha tenido en cuenta la complementariedad de bases entre las del ADN y las del ARN, A-U, G-C y T-A.

UN PASO MÁS

15.20. Un estudiante de bachillerato ha encontrado en la página web www.ncbi.nlm.nih.gov/ (National Center for Biotechnology Information): la secuencia que codifica para una enzima del ratón.

AATGGCTACAGACTCTCGG

- a) Razona de qué molécula se trata.
 - b) La secuencia completa tiene 810 nucleótidos. ¿Cuál es el máximo número de aminoácidos que puede contener esta proteína? Justifica la respuesta.
 - c) No obstante, es probable que el número de aminoácidos de la proteína sea menor. Explica por qué.
 - d) El estudiante decide comparar esta secuencia con la de la misma enzima de una vaca y de un pollo. Explica cuál de ellas sería más parecida y por qué.
-
- a) La secuencia encontrada en la página web www.ncbi.nlm.nih.gov/ se corresponde con un ADN, ya que este ácido nucleico está formado por las siguientes bases nitrogenadas: A, G, C y T, mientras que el ARN carece de T y en su lugar lleva U.
 - b) Si la secuencia tiene 810 nucleótidos, y cada tres nucleótidos codifican un aminoácido, el máximo de aminoácidos que puede tener la proteína por él codificada es de 270 aminoácidos, resultado de dividir 810 entre 3.
 - c) Efectivamente, es probable que el número de aminoácidos de la proteína sea menor de 270, y ello es porque en los organismos eucariontes, durante el proceso de maduración del ARN mensajero, se **eliminan los intrones**, secuencias de bases más o menos largas que se transcriben, pero que no se traducen, es decir, no codifican una secuencia de aminoácidos y, en consecuencia, la proteína formada no tiene por qué estar formada por 270 aminoácidos, puede tener menos.
 - d) Al comparar la enzima del ratón con la de la vaca y con la del pollo, se parecerá más a la de la vaca que a la del pollo por estar ratón y vaca más próximos evolutivamente; ambos animales son mamíferos, mientras que el pollo es un ave. Dos organismos cuanto más próximos estén evolutivamente, más parecidas serán las secuencias de bases que integran sus genes.

15.21. En un diario se puede leer la siguiente noticia de prensa.

“Un numeroso grupo de personas ha resultado intoxicado por el consumo de *Amanita phalloides*, seta sumamente tóxica. Su toxicidad está provocada por la sustancia 1 α -amanitina que se comporta como un potente inhibidor de la ARN-polimerasa II.”

- a) ¿Qué tipo de compuesto es la ARN-polimerasa II?
- b) ¿Por qué crees que la inhibición de la ARN-polimerasa II convierte a la *Amanita phalloides* en una seta sumamente tóxica?
- c) Describe con detalle el proceso en el que interviene la ARN-polimerasa II.
- d) ¿Que haya una ARN-polimerasa II hace pensar que tiene que haber más? Si la respuesta es afirmativa, nómbralas e indica la función que realizan.

- a) La ARN-polimerasa II es una enzima que interviene en la síntesis de todos los ARN mensajeros en los organismos eucariontes.
- b) El hecho de que la 1 α -amanitina se comporte como un inhibidor de la ARN-polimerasa II impide la síntesis de los ARN mensajeros, y ello conlleva que no se formen las proteínas necesarias para el funcionamiento de las células.
- c) La ARN-polimerasa II interviene en la **transcripción**.

La transcripción consta de tres etapas: la **iniciación**, la **elongación** y la **terminación**; tras la terminación, se produce la maduración del ARN.

Iniciación. Comienza cuando la ARN-polimerasa reconoce en el ADN que se va a transcribir una **señal** que indica el inicio del proceso. Estas señales, denominadas **centros promotores**, son unas determinadas secuencias cortas de bases nitrogenadas a las que se une la ARN-polimerasa. El promotor indica cuál de las dos cadenas de ADN se usa como molde. La ARN-polimerasa hace que la doble hélice de ADN **se abra** para permitir que quede expuesta la secuencia de bases del ADN, y se puedan incorporar los ribonucleótidos que se van a unir.

Elongación. Es la adición de sucesivos ribonucleótidos para formar el ARN. La ARN-polimerasa avanza a lo largo de la cadena molde de ADN "leyéndola" en sentido $3' \rightarrow 5'$, mientras que el sentido de la síntesis del ARN es $5' \rightarrow 3'$. La enzima selecciona el ribonucleótido trifosfato cuya base es complementaria con la de la cadena de ADN que actúa como molde, y lo une mediante un enlace éster al siguiente nucleótido, desprendiéndose un grupo pirofosfato (PPi).

En los eucariontes, tras la unión de los 30 primeros ribonucleótidos, se añade en el extremo $3'$ una "caperuza" formada por metil-guanosín-fosfato, que durante la traducción será una señal de reconocimiento del inicio de lectura.

Terminación. La ARN-polimerasa reconoce en el ADN unas **señales de terminación** que indican el final de la transcripción. Esto implica el cierre de la burbuja formada en el ADN y la separación de la ARN-polimerasa del ARN transcrito.

En los eucariontes, la ARN-polimerasa transcribe regiones de ADN largas que exceden la longitud de la secuencia que codifica la proteína. En ciertos puntos, una enzima corta el fragmento de ARN que lleva la información para sintetizar la proteína, y el ADN sigue transcribiéndose durante cientos o miles de bases, pero el transcrito se acaba degradando por no tener caperuza. La señal de corte es una secuencia (AAUAAA), llamada señal de poliadenilación, que aparece sobre el ARN unos pocos nucleótidos antes del punto de corte.

Después de la separación del ARN, una enzima (poli-A-polimerasa) añade en el extremo final $3'$ una secuencia formada por unos 200 nucleótidos de adenina, llamada cola poli-A, que, parece ser, interviene en los procesos de maduración y transporte del ARN fuera del núcleo.

- d) En los eucariontes, además de la ARN-polimerasa II, existen otras dos ARN-polimerasas, la I, que interviene en la formación del ARN ribosomal, y la III, que interviene en la síntesis del ARN transferente y de un ARN ribosomal de pequeño tamaño.

15.22. Cuando un arquitecto diseña una casa, no son los planos originales los que emplean los trabajadores en su construcción. En su lugar, utilizan copias de los originales, manteniendo estos intactos y sin daño alguno.

- a) ¿Crees que esto podría ser utilizado como analogía para explicar el proceso de expresión génica? Justifica la respuesta.
- b) ¿Con qué molécula orgánica podríamos comparar los planos originales? ¿Por qué razón esa molécula no puede salir del lugar de la célula donde se encuentra?
- c) ¿Con qué molécula orgánica podríamos comparar las copias de los planos? Compara las dos moléculas, y establece las diferencias existentes en cuanto a su composición química y su estructura.
- a) Sí que podría utilizarse como analogía para explicar el proceso de expresión génica. En este caso, la información genética necesaria para construir la célula se encuentra en el ADN, ácido nucleico "guardado" en el núcleo celular. Como la síntesis de los compuestos necesarios para las estructuras celulares se realiza, básicamente, en el citoplasma, es necesario que la información llegue hasta allí. El ADN no puede salir del núcleo y la información se transcribe a una molécula de ARN, llamada ARN mensajero, que sería la copia del original, que sí puede salir del núcleo llevando la información para que se sintetizen los compuestos químicos necesarios para originar las estructuras celulares.
- b) Los planos originales podríamos compararlos con el **ADN**, que no puede salir del núcleo porque, debido a su tamaño, no puede pasar a través de los poros que presenta la membrana nuclear.
- c) Las copias de los planos se podrían comparar con las moléculas de **ARN mensajero**.

Las **diferencias estructurales** más importantes entre el ADN y el ARN son las siguientes:

- El ADN, salvo excepciones, tiene generalmente una **estructura bicatenaria**, es decir, está formada por dos cadenas complementarias de desoxirribonucleótidos, y el ARN es una molécula **monocatenaria**, ya que está formada por una sola cadena de ribonucleótidos.
- La longitud de la cadena de nucleótidos que forma el ADN es mucho mayor que la del ARN, al estar este último formado por un menor número de nucleótidos.
- El ARN tiene siempre una estructura lineal, mientras que el ADN puede ser lineal o circular.
- El ADN se asocia en los eucariontes a unas proteínas básicas llamadas histonas. Esta asociación permite al ADN un alto grado de empaquetamiento de las largas cadenas que constituyen el material hereditario, alcanzándose su máximo grado cuando se constituyen los **cromosomas**.
- Atendiendo a la **composición química**, las diferencias entre los dos tipos de ácidos nucleicos son:
- El ADN contiene como pentosa la 2-desoxirribosa, y sus bases nitrogenadas son adenina (A), timina (T), guanina (G) y citosina (C); mientras que el ARN tiene como pentosa a la ribosa, y sus bases nitrogenadas son las mismas excepto la timina, que es sustituida por el uracilo (U).

15.23. Lee el siguiente extracto de una noticia de prensa:

“El genoma humano contiene poco más de 30 000 genes –apenas 11 000 más que el de un gusano– y vastas regiones desérticas y repetitivas. Para empezar, el genoma humano tiene un 95% de basura. Solo aproximadamente un 5% consiste en genes, las instrucciones para hacer proteínas. A pesar de la complejidad de la estructura y el comportamiento humano, el número de genes es comparable al existente en genomas mucho más pequeños. Está claro que no existe una gran correlación entre la complejidad de un organismo y la cantidad de ADN que tiene. Apparently no importa la cantidad de genes que se tengan, sino cómo se usan. La fragmentación de los genes humanos hace posible que se construyan muchas proteínas distintas a partir de los mismos genes, mediante la combinación de las instrucciones de formas diversas. Según parece, como mínimo el 35% de todos los genes humanos puede leerse de muchas formas.”

- Define los términos subrayados en el texto.
- En el texto se aclara que los genes son “las instrucciones para hacer proteínas”. ¿Por qué procesos esas instrucciones se usan para sintetizar proteínas? ¿Qué orgánulos intervienen? Describe brevemente los procesos.
- La frase “la fragmentación de los genes humanos” hace referencia a la presencia de exones e intrones. Explica de qué manera un gen discontinuo, con exones e intrones, puede dar lugar a una proteína.

- Los términos subrayados en el texto son: genoma humano, genes y ADN.
 - Genoma humano.** Es el material genético de una persona, o lo que es lo mismo, su ADN. Por extensión se puede considerar genoma humano al material genético de la especie humana.
 - Genes.** Según la genética clásica o mendeliana, un gen es una unidad de información hereditaria que se expresa determinando una característica observable o fenotipo, y desde el punto de vista molecular se define gen como un segmento de ADN que codifica una secuencia de ARN mensajero o que hace posible la transcripción de este.
 - ADN.** Acrónimo de ácido desoxirribonucleico. Molécula de ácido nucleico de doble cadena helicoidal, capaz de replicarse y determinar la estructura hereditaria de las proteínas de una célula.
- Los genes, formados principalmente por ADN, llevan información para que se sinteticen las proteínas. Dos son los procesos que permiten que con las instrucciones contenidas en el ADN se sinteticen las proteínas, la transcripción y la traducción. Los orgánulos citoplasmáticos que intervienen en la síntesis de las proteínas son los ribosomas.

Dado que la síntesis de proteínas se realiza en los ribosomas (situados en el citoplasma) y que el ADN se halla en el núcleo, del que no puede salir, es necesaria la existencia de alguna molécula que actúe como intermediario entre el ADN y los ribosomas. Este papel de intermediario lo realiza un tipo de ARN, el ARN mensajero (ARNm). El proceso de formación de los ARN se denomina **transcripción**.

Con la información contenida en la molécula de ARNm se puede sintetizar una cadena polipeptídica en un proceso denominado **traducción** que ocurre en los ribosomas. En este proceso intervienen otros tipos de ARN, el ARN ribosómico (ARNr), componente fundamental de los ribosomas, y el ARN de transferencia (ARNt), que transportará los aminoácidos hasta los ribosomas.

El flujo de información genética se puede expresar mediante el “**dogma central de la biología molecular**”. Este esquema fue propuesto por Watson y Crick en 1970, y fue considerado durante muchos años.

Todo este trasvase de información se produce gracias a la naturaleza química de los ácidos nucleicos. Debido a la complementariedad de las bases nitrogenadas, el ADN se puede replicar y transcribir a ARNm, que se va a traducir por medio de los ARNt y ARNr.

Los ARNm de los organismos eucariontes no se pueden traducir directamente en proteínas, sino que necesitan un procesamiento previo denominado **maduración postranscripcional**, que, a diferencia de los procariontes, es un proceso más complejo porque la mayor parte de los genes que codifican las proteínas están fragmentados (cada gen consta de **intrones** y **exones** intercalados unos con otros). Así pues, el ARNm transcrito primario está formado por intrones y por exones.

- Su maduración consiste en la eliminación de los intrones y la unión de los exones mediante un mecanismo que se conoce con el nombre de *splicing* (en inglés, empalme). Requiere la presencia de una enzima llamada ribonucleoproteína pequeña nuclear (RNPPn).

El proceso de “corte y empalme” comienza cuando las secuencias intrónicas forman unos bucles que provocan el acercamiento de los extremos de los exones, y continúa con el corte de los intrones y la unión de los exones para formar un ARNm que ya está en condiciones de salir del núcleo. De esta manera se sabe que, a veces, un mismo gen puede madurar de diferentes maneras, dependiendo de cómo se eliminan los intrones.

ACTIVIDADES PAU RESUELTAS

16.1. Los laboratorios GTC *Biotherapeutics* (www.gtc-bio.com) han desarrollado un método de producción de fármacos mediante animales transgénicos, actualmente en fase de evaluación por la autoridad reguladora europea. La compañía ha sido pionera también en la producción de medicamentos mediante clonación.

- a) Define los términos subrayados en el texto.
- b) ¿Qué diferencia existe entre la ingeniería genética y los procesos naturales?

Actividad resuelta en el libro del alumno.

16.2. Explica en qué consiste el Proyecto Genoma Humano. Describe dos ventajas y dos inconvenientes de su utilización.

Actividad resuelta en el libro del alumno.

16.3. Los plásmidos bacterianos se utilizan como vectores en ingeniería genética.

- a) ¿Qué es un plásmido?
- b) Describe el mecanismo de la conjugación bacteriana ayudándote de un dibujo.

Actividad resuelta en el libro del alumno.

ACTIVIDADES

16.4. Lee la siguiente noticia y contesta a las preguntas que se plantean a continuación.

Científicos surcoreanos anuncian que aparearán a los primeros perros clonados “Snuppy” y “Bona”, ambos de raza afgana.

El Mundo

- a) ¿Qué es la clonación?
- b) ¿Qué es un organismo transgénico?
- c) Cita tres finalidades diferentes por las que se pretende conseguir un organismo transgénico.

a) La **clonación** es un proceso extendido en la naturaleza que consiste en la producción de individuos genéticamente idénticos mediante reproducción asexual. Referido al ADN, la clonación consiste en producir múltiples copias de un gen específico, o de un fragmento de ADN, en el interior de un organismo que hace las veces de hospedador.

Pero, en general, si nos referimos a los organismos, la clonación es un proceso por el que se producen organismos genéticamente idénticos entre sí e idénticos al organismo original del que proceden. En los animales, la **clonación terapéutica** consiste en la creación de embriones por clonación para utilizarlos como materia prima en distintas terapias, mientras que la **clonación reproductiva** persigue conseguir animales genéticamente iguales a otro a partir de una célula adulta.

b) **Organismo transgénico.** Se entiende por organismo transgénico a aquel organismo que lleva en su dotación genética un gen o una porción de un gen perteneciente a un organismo distinto.

c) Los organismos transgénicos se utilizan para diversos fines, como:

En la **medicina**, los organismos transgénicos se pueden utilizar para la producción de medicamentos, como es el caso de la insulina, que actualmente se obtiene de bacterias transgénicas.

En la **agricultura**, los organismos transgénicos se utilizan para conseguir plantas resistentes a determinados herbicidas, para mejorar el contenido nutritivo de algunos alimentos, o bien se utilizan plantas transgénicas como “fábricas” de medicamentos.

En la **ganadería**, los organismos transgénicos se utilizan para la mejora del rendimiento de las explotaciones ganaderas, para utilizar sus órganos en los xenotransplantes, u obtener –junto a la leche– sustancias de interés farmacéutico e, incluso, determinados animales se clonan terapéutica y reproductivamente.

16.5. Ingeniería genética.

- a) ¿En qué consiste la reacción en cadena de la polimerasa?
 - b) ¿Qué funciones desempeñan las enzimas de restricción?
 - c) ¿Qué peligro, respecto al equilibrio ecológico y respecto a la salud humana, se puede derivar de la utilización de técnicas de ingeniería genética?
- a) La **reacción en cadena de la polimerasa** es una técnica in vitro que permite obtener de manera muy rápida un elevado número de copias de un pequeño fragmento de ADN.
- b) Las **enzimas de restricción** son enzimas específicas que reconocen en el ADN una pequeña secuencia de bases determinada (entre cuatro y ocho nucleótidos), que se denomina sitio de restricción, para luego cortar las dos cadenas de nucleótidos dentro de este sitio. El corte es consecuencia de la hidrólisis de los enlaces fosfodiéster que unen entre sí los nucleótidos que forman el ADN. La mayoría de los sitios de restricción son simétricos, lo que significa que la secuencia de nucleótidos es la misma en ambas cadenas cuando se leen en dirección 5' → 3'. Estas secuencias de nucleótidos que se leen de la misma manera en las dos hebras se denominan palindrómicas.
- c) Las enzimas de restricción dividen los esqueletos de azúcar-fosfato en ambas cadenas de ADN de dos maneras; unas dejan "extremos lisos" y otras, las más útiles, lo hacen dejando "extremos escalonados". En este segundo caso, los fragmentos de restricción resultantes del corte tienen, por lo menos, un extremo monocatenario, denominado extremo cohesivo o pegajoso porque puede unirse, mediante puentes de hidrógeno, con una secuencia de bases complementaria.
- Es indudable que la ingeniería genética tiene grandes ventajas en diferentes campos, entre ellos el de la salud, pero plantea numerosas dudas sobre sus posibles inconvenientes.
1. Desde el **punto de vista ambiental**, puede ocurrir que los granos de polen producidos por plantas transgénicas fecunden plantas silvestres, y con ello alterar su genoma, hecho que podría alterar el equilibrio ecológico, y ello puede tener consecuencias todavía desconocidas.
 2. Desde el **punto de vista de la salud**, bacterias transgénicas con algún gen que les confiera resistencia a determinados antibióticos podrían infectar células humanas y, como muestran resistencia a determinados antibióticos, sería complicado combatirlas.

16.6. Lee el texto y responde a las preguntas:

"Un equipo de investigación de la UAB (Universidad Autónoma de Barcelona) desarrolla un nuevo analizador de **ADN** más rápido y miniaturizado. El dispositivo permitirá hacer rápidamente pruebas de paternidad, identificar infecciones y detectar la presencia de **transgénicos**. Por ejemplo, para detectar la presencia de *Salmonella* en una muestra de mayonesa, la sonda tiene fragmentos complementarios al de un grupo de **genes** que identifican la bacteria en cuatro horas y media."

Universia.es

- a) Define los términos subrayados en el texto.
 - b) Cita una finalidad para la obtención de organismos transgénicos.
- a) Definición de los términos subrayados.
1. **ADN**. Acrónimo de ácido desoxirribonucleico. Molécula de ácido nucleico de doble cadena helicoidal, capaz de replicarse y determinar la estructura hereditaria de las proteínas de una célula.
 2. **Transgénicos**. El término transgénico hace referencia a los organismos que llevan en su dotación genética un gen o porción de gen perteneciente a un organismo distinto.
 3. **Genes**. Según la genética clásica o mendeliana, un gen es una unidad de información hereditaria que se expresa determinando una característica observable o fenotipo; y desde el punto de vista molecular, se define gen como un segmento de ADN que codifica una secuencia de ARN mensajero o que hace posible la transcripción de este.
- b) Aunque tiene muchas finalidades, una de ellas sería la obtención de bacterias transgénicas capaces de sintetizar hormonas, como la insulina o la del crecimiento.

16.7. En relación con la biotecnología.

- a) Define ingeniería genética.
 - b) Define genómica y proteómica.
 - c) Explica brevemente el proceso de introducción de un fragmento de ADN en un vector durante la formación de moléculas recombinantes.
-
- a) **Ingeniería genética.** Se denomina así al conjunto de métodos y técnicas que permiten el acceso y la manipulación del ADN. La ingeniería genética difiere de la biotecnología tradicional en que permite a los científicos manipular genes, pudiendo modificarlos e incluso introducirlos en otro organismo distinto. Los organismos que han sido modificados por ingeniería genética se denominan **transgénicos**.
 - b) La **genómica** es una rama de la genética que estudia el genoma completo de un organismo, tanto desde el punto de vista estructural como del funcional.
La **proteómica** estudia, desde el punto de vista estructural y funcional, el **proteoma**, es decir, el conjunto de proteínas codificadas por un genoma concreto.
 - c) Si el hospedador es una bacteria, la entrada de la molécula recombinante se hace por **transformación**, proceso natural por el que una bacteria capta ADN extraño que se encuentre en el medio circundante. Se facilita mediante:
 - **Tratamiento con cloruro cálcico (CaCl₂).** Las células se enfrían en presencia de CaCl₂, y luego se les da un choque de calor (42 °C durante unos segundos), con lo que las membranas celulares se hacen más permeables al ADN.
 - **Electroporación.** Un corto impulso eléctrico aplicado a la solución de células provoca que se abran orificios en la membrana por donde entra el ADN.
 - Si se trata de células vegetales, las moléculas recombinantes se pueden introducir mediante:
 - **Electroporación.** Consiste en la apertura de poros en las membranas por choque eléctrico e incorporación de protoplastos, que son células vegetales a las que se ha suprimido la pared celular. Tiene el inconveniente de que no siempre es posible regenerar plantas enteras a partir de protoplastos.
 - **Suspensión líquida.** Los plásmidos recombinantes se vuelven a insertar en *Agrobacterium*, para luego, por medio de una suspensión líquida, infectar las hojas de la planta.
 - **Biobalística.** En el caso de las monocotiledóneas, como el trigo o el arroz, casi no resultan infectadas por los sistemas anteriores. Consiste en el bombardeo de las células vegetales con una "pistola genética". Se colocan los plásmidos en partículas de oro o de wolframio, y se disparan a un tejido sin dañar la célula.

16.8. A un óvulo de una hembra A se le elimina su núcleo y se le introduce el núcleo de una célula somática de un individuo B, y posteriormente se implanta en el útero de una hembra C.

Si los individuos A, B y C son de la misma especie, ¿a quién se parecerán las características genéticas del individuo resultante? Razona la respuesta.

Dado que la información genética que determina las características de un individuo se encuentra en los cromosomas, que a su vez están en el núcleo, las características que tenga el nuevo individuo nacido de la hembra C serán las mismas que las que tiene el individuo del que procede el núcleo, es decir, del individuo B. Este procedimiento de clonación reproductiva es del tipo **transferencia nuclear**, el mismo que se utilizó para la obtención de la oveja Dolly, y, básicamente, se desarrolla de la siguiente manera:

1. **Se obtiene una célula somática** del individuo que se quiere clonar.
2. **Se extrae un óvulo** de una hembra donante, y se elimina el núcleo.
3. **Se reemplaza** este núcleo por el de la célula somática.
4. **Se desarrolla** la "célula creada" hasta formar un embrión.
5. **Se implanta** en el útero de una hembra de la misma especie donde culmina su desarrollo.

16.9. Describe brevemente, valiéndote de un ejemplo, los pasos que se deben seguir para clonar un gen en una bacteria.

1. El primer paso en todo proceso de clonación es la **obtención del gen** o del fragmento de ADN que tiene interés, por ejemplo, el gen que codifica para la insulina, y ello se puede hacer mediante tecnología del ADN recombinante, formación de un ADN complementario o hacerlo sintéticamente.
2. Se obtiene un **plásmido bacteriano**, que, además de llevar su propio origen de replicación, lleve una serie de marcadores; por ejemplo, puede ser uno que confiera resistencia a un determinado antibiótico, que permitan, más tarde, poderlas diferenciar con facilidad de aquellas otras que no lo tienen.
3. El plásmido y el ADN humano **se cortan con la misma enzima de restricción**, y los fragmentos resultantes se mezclan para formar numerosos plásmidos recombinantes, es decir, plásmidos en los que se ha insertado el gen que tiene interés y queremos clonar en la bacteria.
4. Las plásmidos recombinantes **se mezclan con las bacterias**, como *Escherichia coli*. Algunas bacterias por transformación incorporan los plásmidos recombinantes que lleva el gen, otras incorporan plásmidos recombinados pero sin el gen, y algunas no incorporan ningún plásmido.
5. Las bacterias **se siembran en un medio que contenga un antibiótico** para que solo las bacterias resistentes a ese antibiótico sobrevivan, que son las que llevan el gen de interés en sus plásmidos. Posteriormente, esas bacterias **se cultivan** para obtener un gran número de ellas, que portarán en su genoma el gen de interés y, de esta manera, habremos clonado el gen.

16.10. Supón que se obtienen dos individuos clónicos a partir de células de un mismo individuo. Uno de ellos se obtiene mediante la transferencia del núcleo de una célula de riñón, y el otro, de una de hígado.

Responde razonadamente las siguientes cuestiones.

- a) ¿Tienen ambos individuos el mismo genotipo?
- b) ¿Y el mismo fenotipo?

Ambos individuos **tienen el mismo genotipo**, ya que para la clonación se han utilizado células de un mismo individuo. El hecho de que las células utilizadas en la clonación procedan de distintos órganos, en este caso riñón e hígado, no quiere decir que lleven distinta información genética. Llevan la misma información genética porque proceden de una misma célula, el cigoto, que se divide por mitosis, y luego, las células resultantes se diferencian hasta transformarse en células del riñón o del hígado, pero conservando la misma información genética.

El fenotipo es el resultado de la acción del genotipo con el ambiente. Según esto, el fenotipo puede ser diferente, siempre y cuando los dos individuos clónicos vivan en distintos ambientes. Por ejemplo, los hermanos gemelos son individuos clónicos; si uno de ellos, siendo pequeño, sufre alguna enfermedad relacionada con el crecimiento –por ejemplo, un déficit alimentario–, crecerá menos que el otro y entonces su fenotipo será distinto, ya que tendrán distinta altura.

16.11. Supón que se ha clonado un individuo transfiriendo el núcleo de una célula de hígado totalmente diferenciada a un óvulo sin núcleo.

- a) ¿Tendrá el nuevo individuo todos los genes, o tendrá únicamente aquellos que se expresaban en la célula del hígado?
- b) ¿Por qué?

- a) El nuevo individuo tendrá todos los genes, y no solo los que se expresan en la célula del hígado.
- b) Todas las células de un mismo individuo, independientemente del órgano del que formen parte, tienen los mismos genes, ya que todas ellas derivan del cigoto, célula que se divide activamente por mitosis. Todas las células resultantes de la división del cigoto llevan la misma información genética, y tras su diferenciación se transforman en células anatómica y fisiológicamente diferentes, que constituirán primeramente los tejidos y luego los órganos, como es el caso del hígado.

- 16.12. Explica el proceso general que permite la obtención de la hormona del crecimiento humano a partir de microorganismos modificados genéticamente. Indica qué ventajas ofrece el empleo de hormona obtenida por este método, frente a la obtenida a partir de hipófisis de animales.

Una vez obtenido el gen que codifica para la hormona del crecimiento humano, habría que insertarlo en un vector de clonación que podría ser un plásmido bacteriano, para así obtener el transgén, es decir, un plásmido llamado recombinante, que lleva el gen para la hormona del crecimiento.

El transgén se introduce en una bacteria que se reproduce asexualmente hasta obtener numerosas copias, que son clones, llevando todas ellas en su genoma el gen de interés. Las bacterias sintetizarían la hormona, que por procedimientos químicos o físicos se extraería para utilizarla con fines terapéuticos.

La hormona obtenida mediante clonación es idéntica a la producida por el organismo humano, mientras que la que se obtiene de la hipófisis de los animales, fundamentalmente de las vacas, no es idéntica; difiere en alguno de sus aminoácidos, y ello puede provocar problemas de rechazo al no ser compatible.

- 16.13. ¿Cuál de los siguientes cebadores permitirá hacer una copia del ADN monocatenario de secuencia 5'-GCTAGTCAGGTC?

- a) 5'-GCTAG
- b) 5'-CGATC
- c) 5'-GACCT
- d) 5'-CTGGA
- e) 5'-TCAGT

El ADN monocatenario que se pretende copiar tiene la siguiente secuencia de bases nitrogenadas:

5'-GCTAGTCAGGTC-3'. El cebador es un corto oligonucleótido formado por cinco bases nitrogenadas complementarias con las cinco bases nitrogenadas del ADN situadas en su extremo 3'.

ADN monocatenario: 5'-GCT AGT CAG GTC-3'

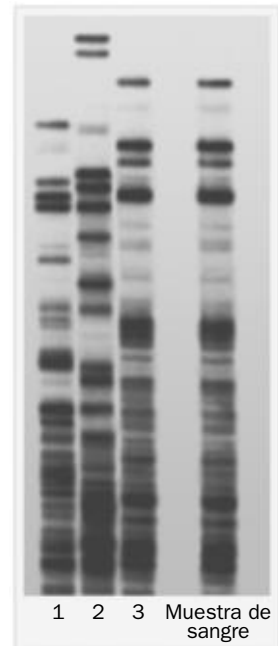
Cebador: 3'-TCCAG-5'. Luego, de las cinco opciones que presenta la pregunta, la correcta sería la c.

- 16.14. En el escenario de un crimen, el LIC (Laboratorio de Investigación Criminal) ha encontrado sobre el cadáver de una persona restos de sangre que no se corresponden con la suya.

Tras numerosas pesquisas, la policía centra sus sospechas en tres personas a las que el juez ordena someterse a una prueba de ADN. La imagen muestra las huellas genéticas de los tres sospechosos, señalados con números, y la obtenida a partir de la sangre hallada sobre el cadáver.

- a) ¿Cuál de los tres sospechosos puede ser el asesino? Razona la respuesta.
- b) Si somos todos de la misma especie, ¿por qué las huellas genéticas son distintas?
- c) ¿Existe algún caso en que dos personas tengan la misma huella genética? Razona la respuesta.
- d) ¿Qué tipo de marcadores genéticos se utilizan para elaborar estas huellas genéticas?

- a) De los tres sospechosos, el asesino puede ser el **número 3**, ya que su huella genética es coincidente con la obtenida a partir de la muestra de sangre encontrada en el lugar del crimen.
- b) Los seres humanos somos, en un 99,9%, genéticamente idénticos; por tanto, diferimos solo en un 0,1%, lo que supone que en cada uno de nosotros existen unos 3 millones de nucleótidos ordenados de manera diferente. Estas "pequeñas" diferencias no están distribuidas al azar, sino que se encuentran en regiones cromosómicas concretas, y es posible utilizarlas como **marcadores genéticos**. La identificación de estas regiones permite utilizar estas diferencias como una huella genética individual, que se usa en medicina forense para la identificación de restos humanos y en pruebas de paternidad.



- c) En el caso de los gemelos monocigóticos, llamados también gemelos univitelinos, la huella genética es idéntica. Los gemelos monocigóticos se forman a partir de un único cigoto, que se escinde accidentalmente en dos durante las primeras fases de su desarrollo, en un proceso que debe biológicamente considerarse de reproducción asexual. Cada una de las dos células sigue su desarrollo, hasta culminar en el nacimiento de dos personas genéticamente idénticas.
- d) Uno de los marcadores genéticos más utilizados son las **repeticiones cortas en tándem** (STR: *Short Tandem Repeats*); secuencias cortas de bases nitrogenadas que se repiten consecutivamente. Estas secuencias están repetidas en todas las personas, pero lo que nos hace diferentes es el número de repeticiones; así, la secuencia AT se repite 31 veces en algunas personas y, en otras, solo 23. Cuanto mayor sea el número de marcadores que se examinen en una muestra de ADN, más probable es que la huella genética sea de una única persona.

16.15. Una de las características de los vectores de clonación para poder ser utilizados de manera eficaz es que llevan uno o más genes marcadores; como, por ejemplo, el que confiere a cierta bacteria resistencia frente a un determinado antibiótico.

- a) ¿Qué es un vector de clonación?
 - b) ¿Qué tipos de vectores de clonación son los más utilizados en ingeniería genética?
 - c) ¿Por qué los vectores de clonación han de llevar genes marcadores? ¿Qué ocurriría si no los llevarasen?
- a) Los **vectores de clonación** son moléculas de ADN capaces de transportar ADN extraño y replicarse dentro de un organismo hospedador.
 - b) Los vectores de clonación más utilizados en ingeniería genética son:
 - **Plásmidos.** Son pequeñas moléculas de **ADN bicatenario** y **circular** que se localizan en las bacterias. No forman parte del cromosoma bacteriano, y tienen capacidad para replicarse independiente, ya que tienen su propio origen de replicación.
 - **Virus bacteriófagos.** Son virus que infectan bacterias. Su uso como vectores se debe a que durante la transducción (proceso de transferencia de ADN en el cual los bacteriófagos transportan genes bacterianos de una célula huésped a otra), algunos genes de la bacteria huésped pueden incorporarse a su genoma. Cuando el fago infecte otra bacteria, puede transferirle los genes de la primera. Los bacteriófagos más empleados son los **bacteriófagos lambda** (λ), que son capaces de llevar mayor cantidad de ADN que un plásmido.
 - **Cósmidos.** Son **vectores híbridos** entre el fago λ y un plásmido, de modo que su ADN puede replicarse en una célula como un plásmido, o empaquetarse como un fago. Se llaman así porque llevan la porción cos del bacteriófago λ , que incluye los genes necesarios para que el material genético pueda empaquetarse. Además, tienen un origen de replicación plasmídico, es decir, uno o más genes marcadores que le confieren resistencia a determinados antibióticos, y un número de sitios de restricción donde puede insertarse el ADN foráneo. La ventaja de los cósmidos frente a los plásmidos es que la porción de ADN foráneo que llevan puede ser mucho mayor.
 - c) Todos los vectores de clonación deben tener unas características comunes, además de llevar su propio **origen de replicación**; deben portar unos **genes marcadores** que sirvan para su rápida y fácil identificación. Estos genes marcadores pueden ser de varios tipos: los que confieren al hospedador una resistencia a determinados antibióticos, los que codifican una proteína fácilmente detectable, o genes de bioluminiscencia. Si no llevaran genes marcadores, no se les podría diferenciar de los que no los tuviesen, y no se podría saber qué hospedador es el que lleva el gen de interés. Así, por ejemplo, muchos plásmidos llevan genes que les confieren resistencia a algunos antibióticos —como a la ampicilina o la tetraciclina—, que confieren al hospedador alguna característica que permite identificar con facilidad el gen que portan.

16.16. En la década de 1940, el compositor Fernando García Morcillo compuso una famosa canción titulada “Tengo una vaca lechera”, cuya primera estrofa es:

“Tengo una vaca lechera, no es una vaca cualquiera, me da leche merengada, ¡ay! Qué vaca tan salada, tolón, tolón, tolón, tolón.”

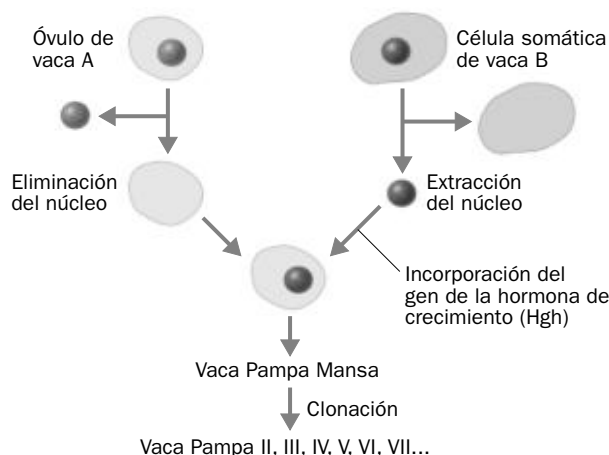
- a) **Razona por qué a este compositor se le podría considerar como un precursor de la ingeniería genética.**
 - b) **¿Qué tipo de animal sería la vaca de la canción?**
 - c) **Explica cómo se puede conseguir que en la leche de un mamífero vaya alguna sustancia de interés terapéutico. ¿De qué sustancias en concreto se trata?**
-
- a) En el año 1940, la ingeniería genética no existía; entraba dentro de lo utópico pensar que llegaría el momento en que se pudiesen manipular los genes para, por ejemplo, que una vaca o cualquier otro mamífero pudiese producir leche que contenga una sustancia de interés terapéutico, como podría ser la hormona del crecimiento. En este sentido, al autor de la canción se le puede considerar como un **precursor de la ingeniería genética**, ya que su vaca da leche merengada, que es una leche enriquecida con azúcar, corteza de limón, claras de huevo y canela.
 - b) La vaca de la canción sería un **animal transgénico**, ya que para que su leche lleve la sustancia de interés terapéutico, es necesario haber introducido en su genoma un gen foráneo que determinase la producción de la sustancia de interés.
 - c) La producción de determinadas proteínas en la leche de animales transgénicos es particularmente interesante cuando esas proteínas se requieren en gran cantidad o son muy complejas. La producción en leche permite, además, una purificación relativamente simple de la proteína de interés. Como la producción de la nueva molécula no debe interferir con el crecimiento y metabolismo del animal, se introduce el gen de interés junto con una secuencia (promotor) que permite su expresión únicamente en la glándula mamaria. De esta forma se consiguió la expresión de genes que producen sustancias con función farmacológica en glándulas mamarias de ovejas, de cabras y de vacas.

16.17. Razona si las siguientes afirmaciones son verdaderas o falsas:

- a) **Los plásmidos bacterianos son, por definición, moléculas de ADN recombinante.**
 - b) **Las enzimas de restricción de la bacteria *Escherichia coli* no degradan su propio ADN.**
 - c) **La retrotranscriptasa es una enzima que cataliza la transcripción en los organismos procarióticos, pero no en los eucarióticos.**
 - d) **Una sonda de ADN es un corto oligonucleótido de hebra doble, obtenido sintéticamente.**
 - e) **Todos los individuos pertenecientes a una misma especie tienen el mismo genoma.**
-
- a) Falsa. No son moléculas de ADN recombinante. Los plásmidos son pequeñas moléculas de **ADN bicatenario y circular** que se localizan en las bacterias. No forman parte del cromosoma bacteriano, y tienen capacidad independiente para replicarse, ya que tienen su propio origen de replicación.
 - b) Verdadera. Las enzimas de restricción son producidas por bacterias; en este caso, por la *Escherichia coli*, y las protegen de los ADN extraños; por ejemplo, del que proviene de los bacteriófagos, ya que se encargan de degradarlo cortándolo en pequeños fragmentos. No degradan su propio ADN, ya que este está protegido por grupos metilo (-CH₃) adicionales que las bloquean.
 - c) Falsa. Tanto en los organismos procarióticos como en los eucarióticos, la transcripción está catalizada por las ARN-polimerasas. La retrotranscriptasa o transcriptasa inversa cataliza la síntesis de ADN a partir del ARN, y se da en algunos tipos de virus, concretamente en los retrovirus.
 - d) Falsa. Las sondas son pequeños oligonucleótidos de cadena sencilla, formados por unos 20 nucleótidos que se hibridarán con cualquier ADN recombinante que tenga una secuencia de bases complementaria.
 - e) Falsa. Los individuos de una misma especie muestran diferencias fenotípicas, que son consecuencia de que no tienen el mismo genoma.

UN PASO MÁS

- 16.18. En Argentina, han obtenido la vaca Pampa Mansa por un proceso de clonación, tal y como se detalla en el esquema inferior. Esta vaca también es transgénica, ya que incorpora el gen de la hormona del crecimiento humano (hGH), proteína que se obtendrá a partir de la leche. Para producir hGH a gran escala, se ha clonado la vaca Pampa Mansa y se han obtenido: Pampa Mansa II, Pampa Mansa III, Pampa Mansa IV, etc. De la leche de estas vacas se ha extraído hGH.



- a) Justifica, en cada caso, si son ciertas o no las afirmaciones siguientes.
- La vaca Pampa Mansa es transgénica, pero las vacas Pampa Mansa II, Pampa Mansa III y Pampa Mansa IV no lo son.
 - Las vacas Pampa Mansa II, III, IV, etc., también producirán la hormona del crecimiento humano si el gen se hubiese incorporado a óvulos de la vaca A, o bien a la célula somática de la vaca B.
- b) La hormona del crecimiento humano obtenida a partir de organismos transgénicos es necesaria para tratar personas con distintos problemas de crecimiento. Tiene, exactamente, 191 aminoácidos. ¿De cuántos nucleótidos constará, como mínimo, el gen que codifica esta hormona? Justifica la respuesta.
- c) Sin embargo, es muy probable que el gen contenga muchos más nucleótidos. Explica por qué.
- a) Ambas afirmaciones son falsas:
- La vaca Pampa Mansa es transgénica, pero las vacas Pampa Mansa II, Pampa Mansa III y Pampa Mansa IV no lo son. Esta afirmación es falsa, ya que todas las vacas que aparecen en el esquema son también transgénicas; todas ellas incorporan el gen que determina la hormona del crecimiento humano. El genoma de todas ellas es idéntico al de la vaca clonada inicialmente y, por tanto, también llevan incorporado dicho gen.
 - Las vacas Pampa Mansa II, III, IV, etc., también producirán la hormona del crecimiento humano si el gen se hubiese incorporado a óvulos de la vaca A, o bien a la célula somática de la vaca B. Esta afirmación es falsa, ya que si el gen se hubiese incorporado a óvulos de la vaca A, como en el proceso se enuclean estos óvulos, se pierde dicho gen. Si el gen en cuestión se hubiese incorporado a la célula somática de la vaca B, habría que tener la seguridad de que se ha insertado en el ADN del núcleo de la célula, ya que de lo contrario no sería efectivo.
- b) Cada uno de los aminoácidos de una proteína está codificado por un triplete de bases nitrogenadas; luego, como la hormona del crecimiento, que tiene naturaleza proteica, está formada por 191 aminoácidos, serán $191 \times 3 = 573$ las bases nitrogenadas. A estas 573 hay que añadir tres más que son las que indican al ribosoma que la traducción ha terminado, luego el total de nucleótidos que forma parte del gen que codifica la hormona del crecimiento será, como mínimo, de 576 pares de nucleótidos.
- c) Dado que en los organismos eucariontes los genes que codifican proteínas están formados por intrones y exones, y teniendo en cuenta que los intrones se transcriben pero no se traducen, es posible que el gen que codifica para la hormona del crecimiento tenga más parejas de nucleótidos que los 576 expuestos anteriormente.

16.19. Lee esta reseña aparecida en un periódico, y contesta a las cuestiones.

“Un paciente sufría una extraña enfermedad genética, ya que carecía de una de las enzimas para metabolizar el amonio. Se sometió a un tratamiento experimental, que pretendía insertar en sus células fragmentos de ADN para sustituir su gen defectuoso. Pero, en la práctica, la terapia genética es todavía difícil de aplicar y los métodos se encuentran aún en una fase primaria. Lo más complicado es introducir el nuevo material genético en la célula e incorporarlo en el ADN existente sin que el propio sistema inmune de la persona se vea alterado. La mayoría de los enfoques terapéuticos se basan en los llamados “caballos de Troya” naturales, es decir, los virus. En este caso, los investigadores inyectaron altas dosis de una forma modificada del virus común de la gripe directamente en su hígado. Una vez dentro, se esperaba que las partículas virales insertaran ADN de reemplazo en células de los tejidos, de forma que su hígado pudiera empezar a procesar normalmente el amonio. Al cabo de cuatro días, el paciente murió por fallo múltiple de los órganos y se especuló que lo que había provocado el fallecimiento fue una respuesta inmune exagerada por la inyección del virus.”

- a) ¿Qué información supones que llevaba el ADN que se pretendía introducir?
 - b) ¿Por qué el virus provocó una respuesta inmune?
 - c) ¿Puedes citar alguna característica de los ciclos de los virus que pueda estar relacionada con el hecho de llamarlos “caballos de Troya” naturales?
-
- a) El paciente sufría una enfermedad relacionada con el metabolismo del amonio, de tal manera que la presencia de un gen defectuoso provocaba que no pudiese sintetizar una de las enzimas que intervienen en la ruta metabólica de ese compuesto. La solución propuesta era insertar en sus células un fragmento de ADN que portase el gen que le permitiese al paciente poder sintetizar bien la enzima de la que carecía.
 - b) La **inmunidad** es el proceso de defensa desarrollado por los animales superiores, que les protege contra las posibles agresiones que puedan sufrir por parte de los microorganismos y de otros agentes patógenos. En este caso, el virus introducido en la paciente se comporta como un antígeno, que son compuestos que inducen en las células que forman parte del sistema inmunológico la producción de anticuerpos específicos.
 - c) La estructura de un virus animal es muy sencilla, consta de una cápsida de naturaleza proteica en cuyo interior se encuentra el ácido nucleico. Esta estructura es lo que permite comparar a los virus con un “caballo de Troya”, ya que al igual que ellos, los virus llevan “algo” en su interior y, además, el ciclo de replicación del virus se inicia su fijación o unión a la célula que va a infectar, para posteriormente inyectar en el interior de la célula el ácido nucleico, que será el material infectivo.

16.20. Un profesor de veterinaria de la Universidad Nacional de Seúl ha asegurado recientemente que ha clonado con éxito dos lobos. Los análisis demostraron que los dos lobos, bautizados como “Snuwolf” y “Snuwolffy”, son clones; sin embargo, todavía no se ha entregado una verificación independiente de los exámenes de ADN. Según expertos consultados, de confirmarse este hallazgo, servirá para la protección de los lobos, una especie que en muchos países se encuentra en peligro de extinción. (Noticia en prensa)

- a) Define, de forma concreta, el término clon.
 - b) ¿Cómo se codifica la información genética en el ADN?
 - c) Explica qué son los intrones y los exones.
-
- a) **Clon.** Linaje de individuos o células genéticamente idénticas. En un sentido más amplio, se puede utilizar el término clon para señalar un único organismo o individuo que es genéticamente idéntico a otro individuo. Si lo referimos al ADN, se entiende por clon a las múltiples copias que se pueden obtener a partir de un gen específico o de un fragmento de ADN.
 - b) La información genética en el ADN está codificada por la **secuencia de nucleótidos** que constituyen las dos cadenas de polinucleótidos que lo forman.
 - c) En los organismos eucariontes, cada gen consta de varios fragmentos denominados intrones y exones, intercalados unos con otros. Los intrones son secuencias de bases más o menos largas que se transcriben pero no se traducen, es decir, no codifican una secuencia de aminoácidos. Los exones son las secuencias que se transcriben y traducen, es decir, tienen información para formar una cadena polipeptídica.

17

Genética y evolución

ACTIVIDADES PAU RESUELTAS

17.1. En relación con la información genética.

- a) Define euploidía, e indica y explica sus tipos.
- b) Define aneuploidía, e indica y explica sus tipos.
- c) Pon dos ejemplos de aneuploidías humanas indicando el síndrome que producen.

Actividad resuelta en el libro del alumno.

17.2. Las mutaciones son, generalmente, perniciosas para el individuo que las sufre; sin embargo, desde el punto de vista evolutivo son muy importantes. Explica razonadamente esta aparente contradicción.

Actividad resuelta en el libro del alumno.

17.3. En relación con la mutagénesis y el cáncer.

- a) Explica el concepto y origen del cáncer.
- b) Define protooncogenes y oncogenes. Indica cómo pueden originarse los oncogenes.

Actividad resuelta en el libro del alumno.

ACTIVIDADES

17.4. Define los siguientes conceptos.

- a) Mutación génica
- b) Mutación cromosómica
- c) Mutación genómica

- a) **Mutaciones génicas.** Son las mutaciones en un sentido más estricto. Provocan cambios en la secuencia de nucleótidos de un gen determinado.
- b) **Mutaciones cromosómicas.** Afectan a la disposición de los genes de un cromosoma, pero no afectan a la secuencia de nucleótidos del gen.
- c) **Mutaciones genómicas.** Son aquellas que alteran, aumentando o disminuyendo, el número de cromosomas característico de la especie.

17.5. ¿Tienen las mismas consecuencias las mutaciones que se producen en las células somáticas que las que se producen en las células germinales? Razona la respuesta.

Desde el punto de vista del tipo de células afectadas, las mutaciones se clasifican en dos grupos: **germinales** y **somáticas**, y las consecuencias que tienen no son las mismas.

Las germinales, que son las que afectan a los gametos o bien a las células madre que darán origen a los gametos, es decir, a las células de la línea germinal se transmitirán a la descendencia, y sobre ellas actuará la selección natural.

Las somáticas, llamadas así porque las sufren las células somáticas y, por tanto, las que procedan de ellas por mitosis, afectan al individuo, pudiendo causar en algunas ocasiones enfermedades graves (por ejemplo, un tumor); pero no son heredables, por lo que no representan un papel importante en la evolución.

17.6. Define el término mutación, y distingue entre mutaciones espontáneas e inducidas. Comenta dos ejemplos en los que se pongan de manifiesto los efectos perjudiciales de las mutaciones.

Mutación. Cambio en el ADN que constituye un gen que, en última instancia, genera diversidad genética. Según su origen, las mutaciones pueden ser de dos tipos: **espontáneas e inducidas**.

La mayor parte de las mutaciones se producen de manera espontánea, es decir, por causas naturales, como errores que pueden ocurrir en la replicación del ADN o en la meiosis, o por cambios químicos espontáneos en el ADN. Las inducidas son mutaciones causadas por la presencia en el medio de agentes físicos o químicos que pueden afectar a la estructura del ADN. Los agentes que las desencadenan se denominan **agentes mutagénicos**.

El **albinismo** y la **anemia falciforme** son dos mutaciones que afectan a la especie humana, y son perjudiciales. El albinismo es producido por la incapacidad de convertir un aminoácido, la tirosina, en el pigmento que colorea la piel, la melanina. La ruta metabólica que lleva a la formación de melanina desde el aminoácido tirosina está controlada por diversas enzimas, entre ellas la tirosinasa. Las personas que padecen albinismo tienen esta ruta interrumpida, ya que su enzima tirosinasa tiene un bajo o un nulo rendimiento, y no produce la melanina suficiente. Aunque hay diferentes tipos de albinismo, el más común de ellos está producido por una mutación en el gen TYR de la tirosinasa, que en la especie humana está situado en el cromosoma 11, y lleva la información genética para que se sintetice la tirosinasa. La anemia falciforme es una enfermedad que provoca una alteración en la hemoglobina, y con ella un cambio en la morfología de los glóbulos rojos, que pasan a tener forma de hoz. El cambio en la estructura de la hemoglobina está provocado por una mutación en el gen que la determina. La hemoglobina está formada por dos cadenas polipeptídicas, la A y la B, con un total de 600 aminoácidos. La diferencia entre la hemoglobina normal y la falciforme reside en que en la falciforme el ácido glutámico, que ocupa el sexto lugar de la cadena B, está sustituido por la valina. Esta "simple y sencilla" sustitución está causada por una mutación génica que afecta al gen que expresa la hemoglobina.

17.7. Realiza una clasificación de los agentes mutagénicos, exponiendo los criterios utilizados, e ilústrala con ejemplos.

Los **agentes mutagénicos** o mutágenos son aquellos agentes físicos o químicos que aumentan la tasa de mutación espontánea de una especie. Todos ellos actúan dañando o alterando la estructura del ADN.

- **Agentes mutagénicos físicos:**

- **Radiaciones ionizantes.** Son radiaciones electromagnéticas de longitud de onda muy corta y, por ello, con un alto poder energético. Entre ellas se encuentran los rayos X, los rayos γ y las emisiones de partículas de tipo α y β liberadas en las explosiones nucleares. Pueden causar la rotura de los cromosomas, promoviendo así mutaciones cromosómicas, y también modificar las bases nitrogenadas, lo que da lugar a mutaciones puntuales.
- **Radiaciones no ionizantes.** Destacan como importantes mutágenos los rayos ultravioleta (UV). Provocan la formación de un enlace covalente entre dos bases pirimidínicas contiguas, dando origen a dímeros de citosina o de timina, y con ello, a la aparición de formas tautoméricas que producirán mutaciones génicas del tipo de las transiciones.

- **Agentes mutagénicos químicos:**

- **Ácido nitroso (HNO_2).** Produce la desaminación de las bases nitrogenadas, y así, por ejemplo, transforma la citosina en uracilo, y la adenina en hipoxantina. Cuando el ADN se replica, se incorporan bases incorrectas, pues el uracilo se aparea con la adenina, y la hipoxantina con la citosina. Así, esta sustancia causa una transición de bases.
- **Agentes alquilantes.** Actúan sobre las bases nitrogenadas añadiendo grupos etilo o metilo, con lo que se altera la replicación del ADN. Los más utilizados en la investigación son el etilmetanosulfonato (EMS) y la nitrosoguanidina (HG). Fundamentalmente, provocan transiciones.
- **Sustancias análogas a las bases nitrogenadas.** Pueden sustituir a las bases nitrogenadas del ADN y provocar transiciones, como el 5-bromouracilo puede incorporarse en lugar de la timina, y la 2-aminopurina lo hace en lugar de una adenina. Con ello, provocan errores en la replicación.
- **Sustancias intercalantes.** Dos colorantes, la proflavina y el naranja de acridina, se pueden intercalar entre las bases nitrogenadas de una cadena de ADN, dando origen a inserciones o deleciones de un solo par de bases. Otra sustancia, el benzopireno, que se encuentra en el humo del tabaco y en los alquitranes, es un potente cancerígeno que provoca mutaciones al intercalarse entre las dos cadenas del ADN y unir las covalentemente.

17.8. En relación con las mutaciones.

- Explica el concepto de mutación génica, e indica las consecuencias de estas mutaciones según afecten a células somáticas o a células germinales.
- Considera el siguiente fragmento de un gen de un organismo procariota:

5' TCGGA 3'
3' AGCCT 5' ←

Al replicarse la cadena indicada con una flecha, se introduce un error por la ADN polimerasa III, de forma que la nueva cadena sintetizada presenta la siguiente secuencia:

5' TCAGA 3'

Explica qué error se ha producido y menciona una enzima que participe en la corrección.

- Define: triploidía, trisomía y monosomía.

- Las **mutaciones génicas** son las mutaciones en un sentido más estricto. Provocan cambios en la secuencia de nucleótidos de un gen determinado. Las hay que se producen en las células somáticas y, por tanto, solo afectan al individuo, pudiendo causar en algunas ocasiones enfermedades graves (por ejemplo, un tumor), pero no son heredables, por lo que no representan un papel importante en la evolución, mientras que si afectan a las células germinales, se transmitirán a la descendencia.
- El error introducido es una mutación génica; se ha sustituido la guanina (G) por la adenina (A). Se trata de una sustitución de bases –concretamente, una transición–, ya que se sustituye una base púrica por otra también púrica.

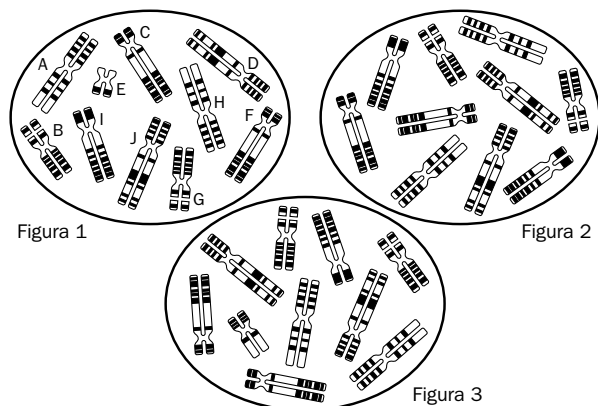
Existen distintos mecanismos de reparación de los errores que se producen durante la replicación del ADN. La misma **ADN polimerasa** que interviene en la síntesis de ADN es la encargada de corregir los errores. Durante la replicación, es frecuente que se produzcan errores y se incorporen nucleótidos que no tengan correctamente apareadas sus bases. La ADN polimerasa actúa entonces como **exonucleasa**, y elimina los nucleótidos mal apareados.

- Definición de los términos triploidía, trisomía y monosomía.

- **Triploidía.** Mutación de tipo genómico –concretamente, una euploidía–, que se caracteriza porque los individuos afectados tienen tres juegos completos de cromosomas; por tanto, su dotación cromosómica es $3n$.
- **Trisomía.** Mutación de tipo genómico –concretamente, una aneuploidía–, que se caracteriza porque los individuos afectados tienen uno de sus cromosomas repetido tres veces; por tanto, su dotación cromosómica es $2n + 1$.
- **Monosomía.** Mutación de tipo genómico –concretamente, una aneuploidía–, que se caracteriza porque los individuos afectados carecen de un cromosoma de una pareja de homólogos; por tanto, su dotación cromosómica es de $2n - 1$.

17.9. ¿Dos cromosomas homólogos son idénticos? ¿Las dos cromátidas de un cromosoma son idénticas? Explica muy brevemente tus respuestas.

- Las figuras 1 y 2 representan células en metafase mitótica de dos individuos de distinto sexo de una especie animal con 10 cromosomas (diploide) y determinación del sexo XX - XY. En la figura 1, cada cromosoma aparece con una letra. Identifica los pares de cromosomas homólogos. Identifica el individuo del sexo heterogamético (XY) y el del sexo homogamético (XX).
- Al analizar otro individuo de esa especie (figura 3), se observó una mutación cromosómica. ¿En qué consiste esa mutación? ¿Cómo se denomina ese tipo de mutación?

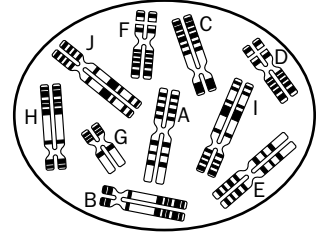


Los cromosomas homólogos no son idénticos. En los organismos con dotación cromosómica diploide ($2n$), cada uno de los cromosomas que forma una pareja de homólogos procede de uno de los dos progenitores, que aunque morfológicamente sean iguales, con la excepción de la pareja XY, pueden llevar información genética diferente.

Las dos cromátidas de un cromosoma son idénticas, ya que provienen de la duplicación del ADN en el período de interfase. Según la hipótesis semiconservativa de replicación del ADN, la molécula de ADN se escinde en sus dos cadenas, y cada una de ellas dirige la síntesis de su complementaria, formándose dos moléculas idénticas con una hebra antigua y una hebra nueva cada una.

I. Los pares de cromosomas homólogos son: AH, CF, BG, JD e IE. El individuo de sexo heterogamético (XY) es el representado en la figura 1, ya que la pareja de homólogos IE son distintos; el I representaría el cromosoma X, mientras que el E representaría el cromosoma Y. El individuo de sexo homogamético sería el representado en la figura 2, ya que ninguno de los diez cromosomas es morfológicamente distinto a su homólogo.

II. El individuo representado por la figura 3 ha sufrido una mutación, concretamente una **deleción**, que consiste en la pérdida de un segmento cromosómico y, por tanto, de los genes contenidos en él. A la vista de la figura 3, en la que se han señalado con letras los cromosomas, se observa que la pareja HG está formada por dos cromosomas que son distintos; uno de ellos, el G, más corto que el H, ya que le falta un fragmento. Es, por tanto, una deleción.



17.10. Escribe la secuencia de aminoácidos que se puede originar a partir del ARN mensajero siguiente:

5' GAGCGUGGGACUAGCUUUUAUGUC.....3'

2.^a posición del codón

	U	C	A	G		
1. ^a posición del codón	U	Phe	Ser	Tyr	Cys	U
		Phe	Ser	Tyr	Cys	C
		Leu	Ser	STOP	STOP	A
		Leu	Ser	STOP	Trp	G
	C	Leu	Pro	His	Arg	U
		Leu	Pro	His	Arg	C
		Leu	Pro	Gln	Arg	A
		Leu	Pro	Gln	Arg	G
	A	Ile	Thr	Asn	Ser	U
		Ile	Thr	Asn	Ser	C
		Ile	Thr	Lys	Arg	A
		Met	Thr	Lys	Arg	G
	G	Val	Ala	Asp	Gly	U
		Val	Ala	Asp	Gly	C
		Val	Ala	Glu	Gly	A
		Val	Ala	Glu	Gly	G

3.^a posición del codón

Si en la secuencia de ADN se produjera una alteración que cambiase en este ARN la U señalada con una flecha por una C, ¿cómo se llamaría este fenómeno? ¿Tendría consecuencias para la célula? ¿Qué ocurriría si desaparece la base señalada? Razona las respuestas.

La secuencia de aminoácidos que se origina a partir del ARN mensajero propuesto es: Glu-Arg-Gly-Thr-Ser-Phe-Tyr-Val.

El cambio del uracilo (U) por la citosina (C) es una **mutación**; concretamente, una **sustitución de bases**, y como se sustituye una base pirimidídica por otra pirimidínica, a este tipo de mutación se la denomina **transición**.

Las consecuencias de esta mutación pueden ser notables o bien pasar desapercibidas. En este caso, el cambio de U por C hace que el ARN mensajero tenga la siguiente secuencia de bases: 5' GAG CGU GGG ACU AGC UUC UAU GUC 3'. Cuando este ARNm se traduce, se forma el siguiente polipéptido: Glu-Arg-Gly-Thr-Ser-Phe-Tyr-Val, el mismo que si no se hubiese producido la alteración. Este es debido a que el **código genético es degenerado**, y el anticodón UUU codifica para el mismo aminoácido (Phe) que el UUC. Esta mutación no afectaría al individuo portador, y por esta razón se llaman **mutaciones silenciosas**.

Si desaparece el uracilo marcado con la flecha, el ARN mensajero estaría formado por la siguiente secuencia de bases: 5' GAG CGU GGG ACU AGC UUU AUG UC 3', que tras su traducción daría origen al siguiente polipéptido: Glu-Arg-Gly-Thr-Ser-Phe-Met; la desaparición de la base nitrogenada afectaría a los dos últimos aminoácidos, y se formaría un polipéptido distinto.

17.11. Supón que en un fragmento de ADN que codifica un polipéptido se produce una mutación que cambia un par de bases por otro. Debido a ello, cuando la célula sintetice de nuevo el polipéptido puede ocurrir cualquiera de los cuatro hechos siguientes:

- I. Que se codifique el mismo aminoácido.
- II. Que se sustituya un aminoácido por otro distinto.
- III. Que el nuevo polipéptido sintetizado sea más corto.
- IV. Que el nuevo polipéptido sintetizado sea más largo.

Basándote en tus conocimientos del código genético, explica cómo se produciría cada uno de estos resultados.

A partir de un supuesto fragmento de ADN podemos saber el ARNm transcrito y la secuencia de aminoácidos que forma el polipéptido codificado:

ADN	5' AGC ATT GAC TAC ATA 3'
	3' TCG TAA CTG ATG TAT 5'
ARNm	5' AGC AUU GAC UAC AUA 3'
Polipéptido	Ser - Ile - Asp - Tyr - Ile

A partir de la información genética contenida en este supuesto ADN se ha sintetizado un polipéptido formado por cinco aminoácidos.

- I. **Que se codifique el mismo aminoácido.** Dado que el código genético es **degenerado**, es posible que se codifique el mismo aminoácido. El término degenerado, aplicado al código genético, indica que la mayor parte de los aminoácidos, a excepción de la metionina (Met) y el triptófano (Trp), están codificados por más de un codón. Los distintos codones que codifican para un mismo aminoácido se denominan **codones sinónimos**; esto supone una ventaja, ya que en el caso de que se produzcan cambios en algún nucleótido, es decir, que haya mutaciones, no se tiene por qué alterar el orden de los aminoácidos que forman un polipéptido. En el caso concreto del ejemplo, el aminoácido Ile está codificado por dos codones distintos, el AUU y el AUA.
- II. **Que se sustituya un aminoácido por otro distinto.** Es posible. Un cambio de un par de bases por otro puede suponer el cambio de aminoácido. En la secuencia de bases del ADN propuesto en el ejemplo, cambiamos el par C-G del tercer triplete de bases por el par A-T. El ARNm formado es distinto, y donde antes se encontraba el codón GAC ahora figura el GAA, que codifica para el aminoácido glutamina (Glu) en lugar del aspártico (Asp).

ADN	5' AGC ATT GAA TAC ATA 3'
	3' TCG TAA CTT ATG TAT 5'
ARNm	5' AGC AUU GAA UAC AUA 3'
Polipéptido	Ser - Ile - Glu - Tyr - Ile

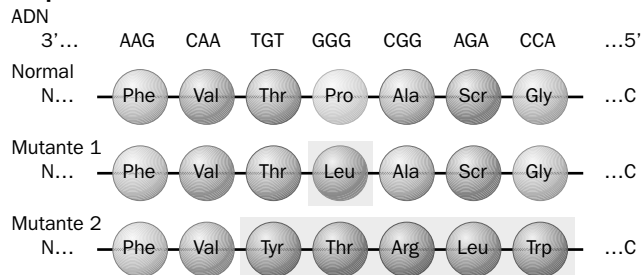
- III. **Que el nuevo polipéptido sintetizado sea más corto.** Es posible. Un cambio de un par de bases por otro puede provocar que el polipéptido formado sea más corto. En la secuencia de bases del ADN propuesto en el ejemplo, cambiamos el par C-G del cuarto triplete de bases por el par A-T. El ARNm formado es distinto; donde antes se encontraba el codón UAC, ahora figura el UAA, que es uno de los codones que no codifica para ningún aminoácido, y señala el punto donde se termina la lectura del ARNm y, por tanto, la finalización del polipéptido.

ADN	5' AGC ATT GAC TAA ATA 3'
	3' TCG TAA CTG ATT TAT 5'
ARNm	5' AGC AUU GAC UAA AUA 3'
Polipéptido	Ser - Ile - Asp - parada

El polipéptido que se forma en este caso es más corto, ya que solo está formado por tres aminoácidos.

- IV. **Que el nuevo polipéptido sintetizado sea más largo.** No es posible que sea más largo, ya que el número de tripletes de bases del ADN no se altera cuando se cambia un par de bases por otro distinto; luego el ARNm formado tendrá el mismo número de codones con sentido, y, por tanto, el número de aminoácidos del polipéptido codificado será el mismo.

- 17.12. En la figura se indica la secuencia de bases de un fragmento de un gen (hebra codificante), así como la correspondiente secuencia de aminoácidos del polipéptido que codifica. Además, se indican los segmentos correspondientes de los polipéptidos codificados por dos mutaciones diferentes de ese gen. El mutante 1 tiene una sustitución de un aminoácido; en el mutante 2 cambian todos los aminoácidos a partir de un punto.



- a) Determina la secuencia de ARNm correspondiente al fragmento de ADN de la figura, indicando la polaridad.
- b) Para los dos mutantes, razona brevemente qué tipo de mutación en el ADN (sustitución, delección o adición) podría explicar el correspondiente cambio en la secuencia de aminoácidos.
- c) Las palabras del código genético (codones) están formadas por tres letras (bases). ¿Por qué razón no pueden estar formadas por dos letras?
- a) Para saber la secuencia de bases nitrogenadas del ADN que por transcripción da origen al ARNm, se aplican las reglas de complementariedad de bases entre las del ADN y las del ARNm: A-T, T-A, G-C y C-G. La secuencia de bases nitrogenadas del ARNm correspondiente al fragmento de ADN y el polipéptido por él codificado son los que se señalan en la tabla siguiente:

ADN	5' TTC GTT ACA CCC GCC TCT GGT 3'
	3' AAG CAA TGT GGG CGG AGA CCA 5'
ARNm	5' UUC GUU ACA CCC GCC UCU GGU 3'
Polipéptido original	H ₂ N Phe – Val – Thr – Pro – Ala – Ser – Gly COOH

- b) **Mutante n.º 1.** Se ha producido un cambio en uno solo de los aminoácidos que forman el polipéptido, la prolina (Pro); el cuarto aminoácido empezando por el extremo amino ha cambiado por la leucina (Leu).

ADN	5' TTC GTT ACA CTC GCC TCT GGT 3'
	3' AAG CAA TGT GAG CGG AGA CCA 5'
ARNm	5' UUC GUU ACA CUC GCC UCU GGU 3'
Polipéptido mutante	H ₂ N Phe – Val – Thr – Leu – Ala – Ser – Gly COOH

La leucina (Leu) es un aminoácido que puede estar codificado por alguno de los siguientes cuatro codones: CUU, CUC, CUA y CUG. La sustitución en el ARNm de una base nitrogenada del codón CCC hace aparecer el codón CUC, que codifica para la leucina (Leu). Este cambio en la secuencia de bases del ARNm es consecuencia de una mutación en el ADN; concretamente, de una sustitución. En el ADN original se ha sustituido la guanina (G) por la adenina (A), y como se ha sustituido una base púrica por otra también púrica, a la mutación se le llama transición.

Mutante n.º 2. A partir del tercero de los aminoácidos han cambiado todos ellos. Este cambio es posible si en el ARNm se adiciona una base nitrogenada; concretamente, el uracilo (U) en el tercero de los codones. Entonces, se produce un corrimiento en la pauta de lectura, y a partir del punto donde se ha adicionado la base, cambian todos los codones y, todos los aminoácidos por ellos codificados.

ADN	5' TTC GTT TAC ACC CGC CTC TGG T 3'
	3' AAG CAA ATG TGG GCG GAG ACC A 5'
ARNm	5' UUC GUU UAC ACC CGC CUC UGG U 3'
Polipéptido mutante	H ₂ N Phe – Val – Tyr – Thr – Arg – Leu – Trp COOH

El hecho de que en el ARNm haya aparecido una base que antes no había es consecuencia de la mutación sufrida por el ADN. La mutación es una adición –también denominada inserción–, y se llama así porque en el ADN aparece una base nitrogenada nueva, en este caso la adenina (A).

- c) Los codones están formados por tres bases nitrogenadas y no por dos por la siguiente razón: las combinaciones de cuatro elementos, las cuatro bases nitrogenadas, tomados de dos en dos, dan dieciséis combinaciones posibles; como hay veinte aminoácidos proteicos, no habría suficientes combinaciones de bases nitrogenadas para codificar todos ellos.

17.13 Los cambios inducidos por mutaciones pueden ser de diferentes tipos.

- a) ¿Qué tipo de mutación está asociada al síndrome de Down?
 - b) ¿Las mutaciones son alteraciones al azar o dirigidas hacia un cambio concreto?
 - c) ¿Por qué las mutaciones son la base de la selección de las especies?
- a) El síndrome de Down es una **trisomía** que afecta al cromosoma 21.
 - b) Las mutaciones son alteraciones producidas al azar y no dirigidas hacia un cambio concreto. Desde el punto de vista de la selección natural, son las mutaciones génicas las que revisten mayor entidad. La aparición por azar de una mutación no tiene por qué implicar ni perjuicios ni beneficios a su portador. El perjuicio o beneficio de una mutación es consecuencia de que el medio ambiente donde vive ese individuo es cambiante. Ante un cambio medioambiental, el portador de la mutación puede salir beneficiado, con lo que sobrevive mejor y será seleccionado frente a aquellos otros que no portan en su genotipo la mutación; si sobrevive, podrá reproducirse, y de esta manera transmitir a sus descendientes el gen mutado, que les permitirá, a su vez, sobrevivir mejor que los que no portan la mutación.
 - c) Las mutaciones aportan la variabilidad genética sobre la que luego actúa la selección natural en el proceso evolutivo. Algunas de las mutaciones producen variaciones individuales que permiten a su poseedor adaptarse a las condiciones ambientales, y, por tanto, tener una mayor probabilidad de sobrevivir, y así transmitir a sus descendientes sus características genéticas. Sin embargo, existen mutaciones que implican una peor adaptación al medio ambiente, y sus portadores irán desapareciendo de la población.

17.14. Explica las implicaciones de las mutaciones en la evolución de los seres vivos.

Las mutaciones aportan la variabilidad genética sobre la que luego actúa la selección natural en el proceso evolutivo. Algunas de las mutaciones producen variaciones individuales que permiten a su poseedor adaptarse a las condiciones ambientales, y, por tanto, tener una mayor probabilidad de sobrevivir, y así transmitir a sus descendientes sus características genéticas. Sin embargo, existen mutaciones que implican una peor adaptación al medio ambiente, y sus portadores irán desapareciendo de la población.

En una población, las tasas de mutación espontánea para un gen dado son muy bajas; por eso, una mutación aparecerá solo en unos pocos individuos por generación, es decir, en una baja frecuencia. Además, la frecuencia no tiende a aumentar a lo largo de generaciones, pues también existe una tasa de retromutación que determina la frecuencia con la que un alelo mutante revierte al alelo original.

Por todo lo anterior, las mutaciones por sí solas no afectan de un modo determinante al curso de la evolución, pero proporcionan la variabilidad genética sobre la que van a actuar los otros factores que sí condicionan la evolución.

17.15. La reproducción sexual proporciona a los individuos que la utilizan un sistema para aumentar considerablemente su variabilidad genética, lo que les permite una mayor probabilidad de adaptación y evolución.

¿Cómo explicarías el origen de la variabilidad genética en los individuos haploides de reproducción no sexual?

En los individuos haploides de reproducción no sexual la única fuente de variabilidad genética son las mutaciones.

17.16. Relacionados con la teoría sintética o neodarwinista sobre la evolución de los seres vivos, existen los siguientes términos: mutación, selección natural, migración, reproducción sexual, deriva genética, ley del equilibrio de las poblaciones, población, especie biológica y aislamiento reproductivo. Indica.

- a) **Cuál de ellos es fuente de variabilidad.**
- b) **Los agentes evolutivos que hacen posible el cambio en las frecuencias relativas de los alelos de un gen.**
- c) **De qué manera contribuye la reproducción sexual a la evolución.**

- a) Las fuentes de variabilidad son la mutación y la reproducción sexual.
- b) La existencia de variabilidad genética entre los individuos que componen una población es uno de los puntos esenciales de la teoría de Darwin. En los organismos con reproducción sexual, durante la meiosis se produce una recombinación genética; pero esta reorganización de genes, por sí sola, no afecta a la composición global del acervo génico de una población, es decir, no hace variar las frecuencias génicas de una población, que permanecen constantes de generación en generación.

Las frecuencias génicas y genotípicas de una población se mantienen invariables de generación en generación, siempre que la población se comporte como una **población ideal**. Este hecho fue demostrado matemáticamente por Hardy y Weinberg en 1908, quienes propusieron que “las frecuencias alélicas de una población, en condiciones ideales de estabilidad, tienden a permanecer constantes en generaciones sucesivas, a menos que actúen factores que favorezcan la evolución”. En la práctica, las condiciones ideales de estabilidad no se dan en ninguna población, ya que existen unos agentes evolutivos que provocan cambios en las frecuencias relativas de los alelos de un gen. Los agentes evolutivos son los siguientes: mutaciones; poblaciones no aisladas genéticamente de otras; los cruzamientos no siempre se producen al azar; existen poblaciones cuyo tamaño no es suficientemente grande; y, por último, no todos los alelos son igual de viables frente a la selección natural.

- c) El origen de la variabilidad genética sobre la que luego actúa la evolución está en las mutaciones y en la reproducción sexual. La reproducción no origina, como sí lo hacen las mutaciones, nuevas alternativas para un gen, pero produce nuevas combinaciones a partir de las alternativas generadas por mutación. Las causas son:
 - Los descendientes reciben información de dos progenitores diferentes.
 - Tanto en la formación de gametos (recombinación génica durante la meiosis) como en la fecundación, las posibilidades de combinación genética son muy elevadas.

17.17. Alteraciones del material genético.

- a) **Define el concepto de mutación.**
- b) **El tabaco aumenta significativamente la incidencia de cáncer de pulmón. Propón una explicación para este hecho.**
 - a) **Mutación.** Cambio en el ADN que constituye un gen que, en última instancia, genera diversidad genética.
 - b) En el humo del tabaco se encuentra una sustancia, el benzopireno, que es un potente cancerígeno que provoca mutaciones al intercalarse entre las dos cadenas del ADN y unirlos covalentemente. El **benzopireno**, junto con otras sustancias como la proflavina y el naranja de acridina, son sustancias intercalantes que se pueden intercalar entre las bases nitrogenadas de una cadena de ADN, dando origen a inserciones o deleciones de un solo par de bases.

UN PASO MÁS

17.18. El 26 de abril de 1986, el reactor número cuatro de la central nuclear de Chernóbil (Ucrania) sufrió un terrible accidente que liberó al medio ambiente una cantidad de radiactividad 30 ó 40 veces mayor de la desprendida conjuntamente por las bombas atómicas lanzadas en 1945 por Estados Unidos en las ciudades de Hiroshima y Nagasaki. En junio de 1995, la revista *Nature* publicaba que, aun habiendo transcurrido bastantes años, nacían niños con malformaciones y enfermedades genéticas de padres aparentemente sanos que en 1986 vivían en las cercanías de la central nuclear.

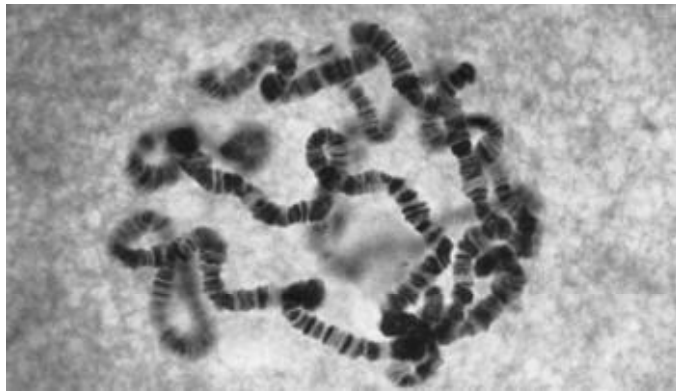
- a) **¿Qué tipo de radiación se desprendió en Chernóbil? ¿Qué efectos causa sobre los organismos vivos?**
- b) **¿Cuál puede ser la razón de las malformaciones y enfermedades genéticas en niños que nacieron después de 1986?**
 - a) En el accidente de Chernóbil se desprendieron radiaciones ionizantes en forma de **partículas de tipo α y de tipo β** . Las radiaciones ionizantes son radiaciones electromagnéticas de longitud de onda muy corta, que pueden causar la rotura de los cromosomas, promoviendo así mutaciones cromosómicas y también modificaciones en las bases nitrogenadas, lo que da lugar a mutaciones puntuales.
 - b) Las malformaciones y enfermedades genéticas aparecidas en niños nacidos con posterioridad a la fecha del accidente pueden ser debidas a diferentes causas; entre ellas, que las **radiaciones desprendidas afectasen a las células germinales** –óvulos y espermatozoides– de sus padres, y de esta manera, las alteraciones cromosómicas hayan sido heredadas por los hijos.

- 17.19. En las clínicas radiológicas existen carteles que indican a las mujeres embarazadas o a las que creen estarlo, que antes de someterse a la exploración radiológica consulten con su médico. ¿Por qué? En el supuesto caso de que no se puedan utilizar los rayos X, ¿con qué técnica se podría realizar el seguimiento del embarazo? ¿Por qué?

Los rayos X son radiaciones ionizantes. Son radiaciones electromagnéticas de onda muy corta y, por ello, con alto poder energético. Pueden romper los cromosomas, promoviendo así mutaciones cromosómicas, y también modificar las bases nitrogenadas, lo que da lugar a mutaciones puntuales.

Si no se pueden utilizar los rayos X, el seguimiento del embarazo se puede hacer mediante ecografía, que "es un procedimiento de obtención de imágenes que emplea los ecos de una emisión de ultrasonidos dirigida sobre un cuerpo u objeto como fuente de datos para formar una imagen de los órganos o masas internas con fines de diagnóstico". El uso de las ecografías se puede hacer durante el embarazo, ya que es una técnica que no perjudica al feto.

- 17.20. Las mutaciones cromosómicas pueden detectarse mediante técnicas citogenéticas, ya que los cromosomas homólogos al emparejarse durante la profase I de la meiosis lo hacen adoptando una forma específica que depende del tipo de mutación cromosómica. La fotografía muestra cromosomas gigantes de *Drosophila melanogaster* durante la profase I, y se observa la formación de un bucle.



- a) ¿Qué tipo de mutación cromosómica es la que da origen a esta especial forma citogenética observada en la fotografía? Razona la respuesta.
b) ¿Qué otras mutaciones cromosómicas conoces?

- a) Las mutaciones cromosómicas que durante la meiosis dan origen a estructuras citogenéticas en forma de bucle son las **deleciones**. Una deleción es una mutación cromosómica que consiste en la pérdida de un segmento cromosómico y, por tanto, de los genes en él contenidos.

La mayoría de los seres pluricelulares son diploides, por lo que normalmente, aunque uno de los cromosomas tenga una mutación, por ejemplo, una deleción, tendrán otro cromosoma homólogo normal. Así, cuando estos cromosomas –homólogos, pero no idénticos– se aparean en la profase I de la meiosis, los cromosomas resultantes adoptan morfologías características que permiten detectar la mutación. En el caso de las deleciones aparecerá un bucle, ya que en uno de los cromosomas homólogos ha desaparecido una porción.

- b) **Duplicaciones**. Aparición de un segmento cromosómico más de una vez, en el mismo cromosoma o en otro.

Translocaciones. Es el cambio de localización de un segmento cromosómico. La translocación puede ser recíproca con intercambio entre dos cromosomas no homólogos, o no recíproca o transposición cuando no se produce intercambio.

Inversiones. Son segmentos cromosómicos que han girado 180°, por lo que su secuencia génica queda invertida con respecto a la del resto del cromosoma. Son pericéntricas si el fragmento invertido incluye el centrómero, y paracéntricas en caso contrario.

17.21. Lee el siguiente texto y responde a las preguntas:

“El efecto más significativo de las mutaciones consiste en aumentar la variabilidad genética y, en última instancia, aportar la materia prima de la evolución, aunque las mutaciones por sí solas tienen pocas probabilidades de determinar la naturaleza o dirección del cambio evolutivo.”

- a) ¿Qué se quiere dar a entender con el término “materia prima de la evolución”?
- b) ¿Cuál es la razón por la cual las mutaciones por sí solas no bastan para explicar el proceso evolutivo?

- a) Por “materia prima de la evolución” se entiende al conjunto de genes que son susceptibles de modificarse como consecuencia de las mutaciones.
- b) Las mutaciones por sí solas no afectan de un modo determinante al curso de la evolución, pero proporcionan la variabilidad genética sobre la que van a actuar los otros factores que sí condicionan la evolución. Además de las mutaciones, existen otros factores que condicionan el proceso evolutivo:

Flujo génico. En los animales y vegetales existe una migración genética porque los organismos (o sus gametos, o sus semillas) se mueven de un lugar a otro, y se entrecruzan con los individuos que forman la población del lugar adonde llegan. Esta migración se denomina flujo génico, e implica el desplazamiento de genes hacia dentro y hacia fuera de una población.

El flujo génico no cambia las frecuencias génicas en el conjunto de individuos que forman la especie, pero sí que puede cambiarla de manera local cuando estas frecuencias no son iguales entre la población emigrante y los residentes.

Apareamiento selectivo. En los procesos reproductivos, la selección del compañero se ve afectada por el fenotipo. En muchos animales, sobre todo en aquellos en los que hay polimorfismo, el apareamiento selectivo se debe fundamentalmente al comportamiento.

Deriva genética. La deriva genética es el cambio en las frecuencias génicas, debido puramente al azar. Se produce este fenómeno en una población pequeña, ya que el alelo presente en una baja proporción puede perderse fácilmente.

Los efectos de la deriva genética son pequeños en la mayoría de las poblaciones naturales, pero pueden revestir especial importancia cuando tiene lugar la formación de una población a partir de muy pocos individuos (efecto fundador), o cuando las poblaciones quedan reducidas a muy pocos individuos, es decir, pasan a través de un cuello de botella.

17.22. En un período de 90 años, una pareja de elefantes llega a tener seis descendientes, suponiendo que todos ellos llegasen a adultos y se reprodujesen de idéntica manera; al cabo de 750 años, la pareja inicial habría dado origen a una población formada por 90 millones de elefantes. Este hecho no ocurre, puesto que de lo contrario, los elefantes habrían sobrepoblado el planeta.

- a) ¿Por qué no ocurre esto?
- b) La elevada capacidad reproductora de la mayor parte de las especies, incluidos los elefantes, fue un hecho observado por Darwin. ¿Qué otras observaciones realizadas por él dieron origen a su teoría evolutiva?

- a) El planeta no se habrá superpoblado de elefantes, ya que el crecimiento de una población está limitado por los recursos disponibles (alimento, agua, luz, espacio, etc.), de tal manera que al existir un mayor número de individuos de los que pueden vivir con esos limitados recursos, se establece entre ellos una **lucha por la existencia**, impidiendo que todos sobrevivan para reproducirse, es decir, entre los individuos de una población se produce una lucha por la existencia.
- b) Capacidad reproductiva elevada. La mayoría de las especies tienen una gran capacidad reproductiva, siendo capaces de producir un elevado número de descendientes, la mayor parte de los cuales no llegará a la edad adulta y no se reproducirá.

Variabilidad individual. Dentro de una especie existe gran variabilidad individual, de tal manera que algunos individuos presentan características que los diferencian del resto.

Supervivencia del más apto. Algunas de las características individuales confieren a su poseedor una mayor capacidad para sobrevivir hasta la madurez y reproducirse, y así transmitir a sus descendientes estas particulares características.

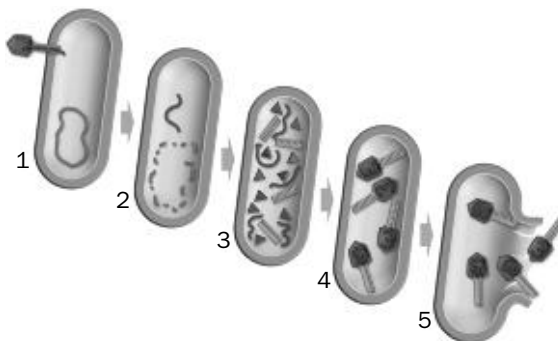
17.23. Razona si las siguientes afirmaciones son verdaderas o falsas.

- a) Según las células afectadas, las mutaciones se clasifican en dos grupos: las germinales y las somáticas; ambas con un papel importante en la evolución, ya que son heredables.
 - b) Las mutaciones en las que se sustituye o en las que se adiciona un nucleótido en el ADN provocan un corrimiento en la pauta de lectura.
 - c) Según Darwin, la unidad evolutiva es el individuo; afirmación que años más tarde fue ratificada por la teoría neodarwinista.
 - d) La caza abusiva de elefantes marinos del norte redujo su población a 20 ejemplares. En el año 1884 se prohibió su caza, y la población aumentó hasta los 30 000 ejemplares. Según la evolución, al número tan reducido de individuos supervivientes se le llama grupo fundador.
 - e) La teoría del equilibrio intermitente postula que una especie pasa por cortos períodos de “estasis”, seguidos por períodos largos en los que sufre una lenta evolución.
-
- a) Falsa. De los dos tipos de mutaciones planteadas –las germinales y las somáticas–, solo son heredables las germinales, ya que afectan a las células germinales, gametos o células que dan origen a ellos.
 - b) Falsa. Solo provocan un corrimiento en la pauta de lectura las adiciones, y no las sustituciones.
 - c) Falsa. Efectivamente, según Darwin, la unidad evolutiva es el individuo, pero esta afirmación no fue ratificada por la teoría neodarwinista; todo lo contrario, la teoría neodarwinista propone como unidad evolutiva la población y no el individuo.
 - d) Falsa. No se llama grupo fundador, se denomina cuello de botella. Se produce cuando una población pasa por una situación en la que, debido a condiciones ambientales adversas u otras circunstancias como sería la caza abusiva, se reduce drásticamente. Con posterioridad, recupera su número, pero a partir de un corto conjunto de individuos.
 - e) Falsa. La teoría del equilibrio intermitente postula que “una especie pasa por **largos** períodos de estasis (períodos de tiempo de millones de años en los que no sufre cambios) seguidos por períodos **cortos** en los que sufre una rápida especiación”.

ACTIVIDADES PAU RESUELTAS

18.1. Con referencia a los virus y otros agentes infecciosos.

- a) Indica a qué tipo de ciclo corresponde el siguiente esquema, y explica brevemente cada una de las fases representadas por números.



- b) Define los términos retrovirus y prión.
 c) Indica las diferencias entre el significado de los términos epidemia y pandemia.

Actividad resuelta en el libro del alumno.

18.2. Los microorganismos constituyen un conjunto muy heterogéneo desde el punto de vista taxonómico.

- a) Cita dos que presenten una organización procariótica.
 b) Cita dos que presenten una organización eucariótica.
 c) Cita dos que presenten una organización vírica.
 d) De uno de los tres apartados anteriores, indica la forma de vida de los dos ejemplos, señalando en cada caso si es inocua, beneficiosa o perjudicial para los seres humanos u otros seres vivos.

Actividad resuelta en el libro del alumno.

18.3. Se dice que la evolución de las bacterias es un proceso lento debido a que durante su reproducción no hay intercambio de información genética entre individuos. Solo en las especies dotadas con mecanismos parasexuales como la conjugación, el ritmo evolutivo parece acelerarse.

- a) ¿Cómo se dividen las bacterias?
 b) ¿Por qué este tipo de reproducción hace más lento el ritmo evolutivo?
 c) ¿Qué es la conjugación bacteriana?
 d) ¿Por qué se acelera el ritmo evolutivo con procesos como la conjugación?

Actividad resuelta en el libro del alumno.

ACTIVIDADES

18.4. Los virus son agentes infecciosos que llevan a cabo su multiplicación en el interior de las células.

- a) **Explica la diferencia entre un virus desnudo y un virus envuelto, y relaciona esta diferencia con las distintas formas de penetración de un virus en la célula huésped.**
- b) **Define profago y provirus.**

- a) Un virus desnudo es aquel formado exclusivamente por ácido nucleico y cápsida proteica. Los virus envueltos presentan un recubrimiento exterior a la cápsida, formado por una doble capa lipídica. Los virus desnudos suelen introducir su ácido nucleico por inyección en la célula huésped, quedándose la cápsida fuera de ella. Cuando se trata de virus envueltos, penetran por fenómenos de endocitosis o por fusión de la doble capa lipídica con la membrana celular, liberándose la nucleocápsida completa en el interior.
- b) Se habla de **profago** cuando el ácido nucleico del virus se integra en el cromosoma bacteriano, describiendo un ciclo lisogénico durante el cual no se liberan nuevos virus. El estado de provirus es lo mismo, pero en el caso de una célula eucariótica, y aquí si se liberan algunos nuevos virus.

18.5. En el año 1969, R.H. Whittaker saca a los hongos y a las bacterias del reino Plantas, y establece para estos seres dos nuevos reinos, el reino Hongos y el de las Moneras. Con relación al primero, explica las diferencias estructurales de los hongos con respecto a las plantas, que pudieron llevar a este científico a proponer este cambio en la taxonomía.

Los hongos presentan una estructura de talo, integrada por una masa celular sin especialización ni diferenciación tisular, mientras que las plantas tienen una estructura de cormo: las células no son todas iguales, y están agrupadas en tejidos sobre la base de estas diferencias, que implican también especialización.

Los hongos son seres heterótrofos, y obtienen la energía de la degradación de moléculas orgánicas procedentes del medio en el que viven. Las plantas, por el contrario, son seres autótrofos y fotosintéticos: degradan materia orgánica que ellas mismas producen.

Los hongos, al igual que las plantas, presentan células dotadas de pared celular. Pero en ellos está constituida fundamentalmente por quitina, mientras que el componente mayoritario de la pared de las células vegetales es la celulosa.

Por último, cuando se trata de acumular sustancias glucídicas de reserva, los hongos almacenan glucógeno, y las plantas, almidón.

18.6. Con relación a la biología celular y la microbiología.

- a) **Señala las aportaciones científicas de Antón van Leeuwenhoek y de Robert Hooke.**
- b) **Describe brevemente en qué consiste la teoría de la generación espontánea. ¿Es correcta esta teoría? Razona la respuesta.**
- c) **¿Qué es la tinción Gram? Explica su fundamento biológico.**

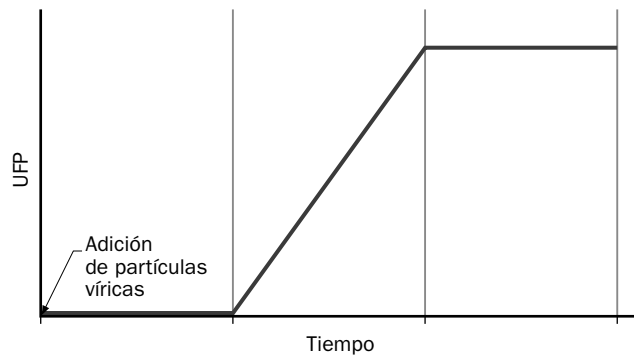
- a) Hooke emplea por primera vez, en 1665, el término "célula" para referirse a las pequeñas celdas de celulosa presentes en una muestra de corcho que logra visualizar con un microscopio de su invención. En realidad, no observa células sino paredes celulares. También observó los cuerpos fructíferos de algunos hongos microscópicos. Leeuwenhoek, en 1674, con un microscopio fabricado por él mismo, observa por primera vez microorganismos en el agua, en el suelo y en el sarro dental.

- b) La teoría de la generación espontánea sostenía que la vida y los seres vivos podían surgir espontáneamente a partir de materia orgánica. Pasteur, en 1859, consigue cerrar la controversia creada en torno a la generación espontánea, al demostrar que la putrefacción está causada por microorganismos que están presentes en el aire o en el agua.

- c) La tinción Gram es un método de identificación de bacterias por tinción diferencial. Se las expone a la acción de dos colorantes, el cristal violeta y la safranina. Tras el lavado, algunas bacterias han retenido el colorante, y presentan una pared bacteriana color violeta (Bacterias Gram+), mientras que otras lo han perdido, y aparecen de color rosa (Bacterias Gram-).

La tinción Gram se basa en la diferente estructura de la pared bacteriana. Las Gram+ poseen una pared formada por una gruesa capa de mureína (peptidoglucano), que es la que en la tinción retiene el colorante. Las bacterias Gram- tienen una pared bacteriana formada por una capa de peptidoglucano muy fina, rodeada por una bicapa lipídica externa.

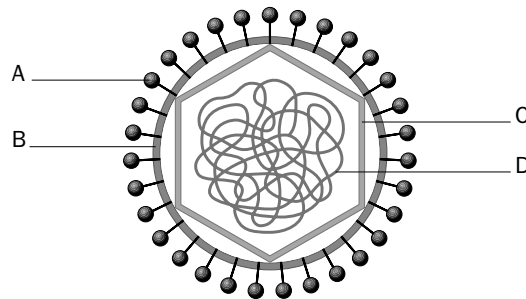
- 18.7. Relaciona la gráfica de multiplicación del bacteriófago T4 de *Escherichia coli* con las distintas fases de multiplicación del virus.



Las siglas UFP representan las unidades formadoras de placas o calvas, y es una medida del número de partículas víricas infectivas.

El **período de latencia** corresponde con la adsorción y penetración del virus, liberación y replicación del ácido nucleico, y síntesis de las proteínas víricas. El **período de explosión** corresponde al ensamblaje, maduración y liberación de los nuevos virus. En el **período de latencia**, el virus utiliza la maquinaria bacteriana de replicación para fabricar sus componentes estructurales. En esta fase no existen virus dentro de la bacteria, y no pueden ser detectados por ello en su interior. Tras el ensamblaje y liberación, las nuevas partículas ya poseen capacidad infectiva y pueden infectar a otras células.

- 18.8. A la vista del esquema adjunto, que representa un tipo de agente patógeno que provoca diversas enfermedades, contesta a las siguientes preguntas.



- ¿El agente patógeno representado en el esquema puede ser considerado un microorganismo? Razónalo.
- ¿De qué tipo de agente patógeno se trata? Nombra las estructuras señaladas con las letras A, B, C y D.
- Indica dos características distintivas de este tipo de agente. ¿Qué otros agentes patógenos conoces?
- Indica la función de la estructura señalada con A, y la composición química y la función de C y D. Cita dos enfermedades producidas por este tipo de agente patógeno.

- Los virus no pueden ser considerados ni organismos ni microorganismos, puesto que no poseen organización celular ni son seres vivos. No intercambian materia ni energía con el medio, y no se relacionan; solo se reproducen, pero para ello, necesitan infectar a células. Son parásitos obligados que causan enfermedades.
- Es un virus envuelto. A) Glucoproteínas. B) Bicapa lipídica de la envuelta. C) Cápsida. D) Ácido nucleico.
- No tiene metabolismo propio. En su ciclo de infección, son capaces de generar dentro de la célula infectada miles de copias idénticas a ellos, que son liberadas por lisis celular.
Otros agentes patógenos son: bacterias, protozoos y hongos.
- A) Participan en la fijación del virus a la célula; C) La cápsida está formada por proteínas estructurales cuya misión es contener y proteger al ácido nucleico; D) ADN o ARN, nunca los dos. Es la molécula que lleva la información genética.

Dos enfermedades producidas por este tipo de agentes patógenos son la gripe y el sida.

18.9. Para preparar yogur casero, se mezcla bien una cierta cantidad de leche con un poco de yogur y se reparte la mezcla en pequeños cuencos, que se mantienen a una temperatura de entre 35 y 40 °C durante unas 8 horas.

- a) ¿No sería mejor meter los cuencos en el frigorífico (4 °C)?
 - b) ¿Cómo sería el yogur si se emplease leche previamente esterilizada?
 - c) ¿Qué ocurriría si el esterilizado fuera el yogur utilizado para mezclar?
- a) No sería mejor. La temperatura del frigorífico impediría el crecimiento de las bacterias del ácido láctico, con lo que al no producirse la fermentación láctica, no se formaría nuevo yogur.
 - b) El tipo de leche (entera, desnatada o semidesnatada) originaría yogur con una menor o mayor cantidad de grasa. La leche esterilizada no influiría sobre el yogur, puesto que las bacterias que causan la fermentación de la lactosa de la leche están en la porción de yogur que se mezcla inicialmente con la leche, y no en esta.
 - c) En este caso no se formaría yogur, ya que la esterilización de la porción inicial de yogur eliminaría las bacterias que llevan a cabo la fermentación.

18.10. En un recipiente cerrado herméticamente se están cultivando levaduras utilizando glucosa como fuente de energía. Se observa que cuando se agota el oxígeno, aumenta el consumo de glucosa y comienza a producirse etanol.

- a) ¿Qué es una levadura?
 - b) ¿Por qué aumenta el consumo de glucosa al agotarse el oxígeno?
 - c) ¿Qué vía metabólica estaba funcionando antes y después de agotarse el oxígeno?
 - d) ¿Cómo se llama la condición de un ser que puede vivir en un ambiente con y sin oxígeno?
- a) Una levadura es un hongo unicelular. Está constituida por una célula ovalada, eucariótica, dotada de pared celular quitinosa, heterótrofa y saprófita.
 - b) Al agotarse el oxígeno, la levadura comienza a fermentar la glucosa; proceso que le reporta escasa energía, por lo que aumenta el consumo de glucosa en un intento de generar mediante fermentación toda la energía que necesita. El tipo de fermentación que la levadura lleva a cabo es la alcohólica, y por eso se genera etanol.
 - c) Cuando existe oxígeno, la levadura hace un metabolismo oxidativo y degrada glucosa mediante la glucólisis, el ciclo de Krebs y la cadena respiratoria, con lo que obtiene hasta 38 moléculas de ATP por cada molécula. Cuando se agota el oxígeno, realiza la fermentación alcohólica; proceso en el que también ocurre la glucólisis, pero después el ácido pirúvico se descarboxila y pasa a acetaldehído, que finalmente se reduce a etanol. En este proceso solo se obtienen dos moléculas de ATP.
 - En el metabolismo oxidativo, los productos finales son moléculas inorgánicas, mientras que en la fermentación son moléculas orgánicas.
 - La cantidad de energía que se produce en uno y en otro.
 - d) Las levaduras son seres anaerobios facultativos.

18.11. Indica la clasificación de los virus.

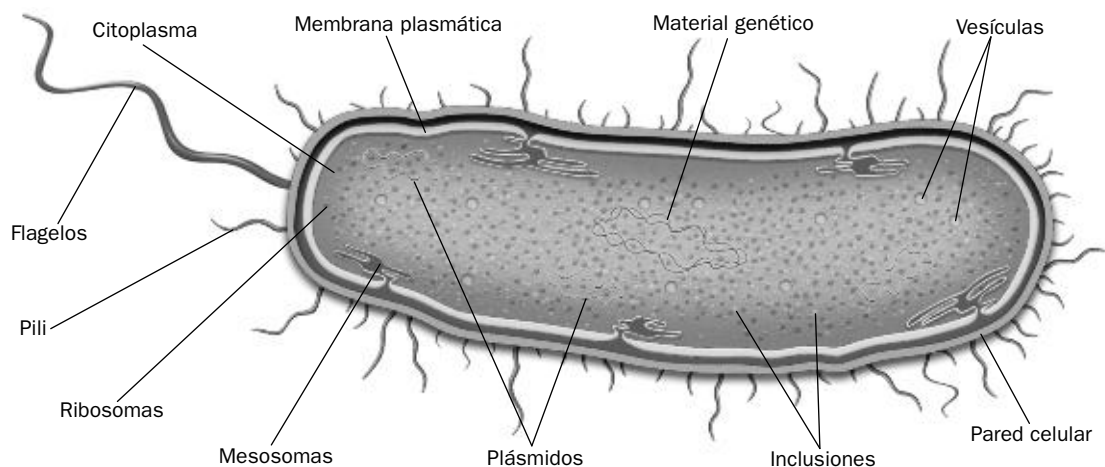
- a) Según el huésped al que parasitan.
 - b) Según al material genético que poseen.
 - c) Según la forma de la cápsida.
 - d) Describe los tipos de multiplicación vírica.
- a) **Bacteriófagos**, cuando parasitan bacterias; **virus vegetales**, cuando parasitan a plantas; y **virus animales**, cuando parasitan a animales.
 - b) **Virus ARN** (reovirus) y **virus ADN** (herpesvirus).
 - c) Según la estructura de la cápsida, pueden ser de simetría **icosaédrica** (parvovirus), **helicoidal** (mosaico del tabaco) o **complejos** (bacteriófagos). Según que la cápsida presente una envoltura membranosa externa o no, pueden ser **envueltos** (virus de la gripe) o **desnudos** (papilomavirus).
 - d) **Ciclo lítico**. El virus penetra en la célula hospedadora, y provoca la formación de miles de copias del genoma y de las proteínas de la cápsida. Tras el ensamblaje de ambas, se liberan por lisis celular.
Ciclo lisogénico. El virus penetra en la célula hospedadora, y su material genético se integra en el material genético celular sin producir lisis celular y sin originar nuevos virus.

18.12 En relación con las bacterias.

a) Completa el cuadro siguiente.

	Pared celular (presencia/ausencia) Características	Ejemplo o enfermedades
Bacterias Gram +	Capa gruesa de mureína	<i>C. tetanii</i> Tétanos
Bacterias Gram -	Capa fina de mureína. Membrana externa	<i>S. typhimurium</i> Salmonelosis
Arqueobacterias	Pared sin mureína	<i>Metanococcus</i> (Arq. Metanógenas)
Micoplasma	Sin pared	Micoplasmas Neumonía atípica

b) Dibuja y rotula las estructuras más relevantes de una célula bacteriana típica.



18.13. Un virus puede permanecer completamente inactivo durante mucho tiempo hasta encontrar a su célula hospedadora. Cuando esto ocurre se producen una serie de hechos que permiten su reproducción.

- ¿Cuál es la razón de la inactividad en ausencia de la célula hospedadora?
 - Cuando se trata de bacteriófagos, ¿qué moléculas del virus son las responsables de contactar con la célula hospedadora?
 - ¿Qué moléculas del virus son las responsables de que se generen nuevos virus semejantes al inicial?
 - ¿Qué secuencia de procesos dan lugar a la formación de nuevos virus?
- Fuera de la célula hospedadora, un virus que no posee estructura celular se comporta como una partícula inerte, y pueden encontrarse incluso cristalizados. Los virus no son seres vivos.
 - Los bacteriófagos son virus complejos que poseen una cabeza icosaédrica que encierra el ADN y una cola con simetría helicoidal formada por proteínas. El extremo más alejado de esta respecto a la cabeza posee una placa basal con espinas y las llamadas "fibras de la cola". Las espinas y las fibras de la cola se fijan a la pared bacteriana en la fase de adsorción.
 - En el caso de los bacteriófagos, se trata de ADN, pero puede ser también ARN. Nunca los dos.
 - Adsorción → Fijación → Penetración → Síntesis de los componentes víricos → Ensamblaje → Liberación.

18.14. Indica las principales diferencias entre las algas eucarióticas microscópicas y los hongos filamentosos microscópicos.

Las algas eucarióticas tienen cloroplastos con varios tipos de pigmentos fotosintéticos, y son fotosintéticas (autótrofas); mientras que los hongos microscópicos están formados por hifas, tabicadas o no, carecen de cloroplastos, son heterótrofos, y digieren el alimento en el exterior de las células con la secreción de potentes enzimas que generan metabolitos que luego absorben.

18.15. Completa la tabla, indicando las características de cada grupo de microorganismos.

	Algas	Bacterias	Hongos	Protozoos
Organización celular	Eucariótica	Procariótica	Eucariótica	Eucariótica
N.º de células	Unicelulares/ pluricelulares	Unicelulares	Unicelulares/ pluricelulares	Unicelulares
Nutrición	Autótrofa	Autótrofa/ heterótrofa	Heterótrofa	Heterótrofa
Realiza fotosíntesis	Sí	Sí	No	No
División celular	Mitosis	Bipartición	Mitosis	Mitosis
Pared celular	Sí, de celulosa	Sí, de mureína	Sí, de quitina	No

¿Por qué se excluye de esta tabla a los virus?

Los virus no son microorganismos. No son seres vivos, y no poseen organización celular.

18.16. En el siglo XIX el doctor Ignaz Semmelweis, haciendo estudios comparativos en dos hospitales sobre las fiebres que padecían las mujeres después del parto, encontró que en un hospital el 10% de las mujeres que habían sido atendidas por cirujanos morían, mientras que en otro hospital, donde las mujeres eran atendidas sólo por comadronas, la mortalidad no pasaba del 4%. También observó que algunos cirujanos del primer hospital solían atender a las parturientas después de realizar autopsias.

- ¿Qué explicación científica podría justificar la diferencia en el porcentaje de mortalidad entre los dos hospitales?**
 - ¿Qué recomendación harías, sin modificar la actividad de los cirujanos, para disminuir el porcentaje de muertes en el primer hospital?**
- Puede establecerse una relación entre la realización de autopsias y la elevada tasa de mortalidad de las parturientas, puesto que en el segundo hospital, donde éstas son atendidas por personal que no está relacionado con las autopsias, la mortalidad es mucho menor. Parece también obvio que los cirujanos del primer hospital no mantienen las condiciones de asepsia entre una operación y otra, lo cual les convierte en transmisores de agentes infecciosos desde los cadáveres hasta las parturientas.
 - Entre las recomendaciones que podrían hacerse figuran: la esterilización del material quirúrgico, la no reutilización de materiales desechables o a la asepsia en sus manos.

18.17. Indica las semejanzas y diferencias entre microorganismos quimiolitótrofos y fotolitótrofos.

Los microorganismos quimiolitótrofos y fotolitótrofos son ambos procariotas autótrofos, capaces, por lo tanto, de producir materia orgánica a partir de materia inorgánica ingerida (litótrofos) y la energía captada del ambiente.

En ambos casos, la síntesis de materia orgánica se realiza mediante procesos redox.

Se diferencian en la naturaleza de la energía captada para obtener ATP y poder reductor: luminosa (fotolitótrofos) o química (quimiolitótrofos).

Entre los fotolitótrofos, podemos citar las sulfobacterias verdes y púrpura (los fotosintéticos más primitivos), o las cianobacterias, con una fotosíntesis muy similar a los organismos eucarióticos.

Entre los quimiolitótrofos, destacan las bacterias del suelo por su intervención en los ciclos biogeoquímicos, mineralizando la materia orgánica.

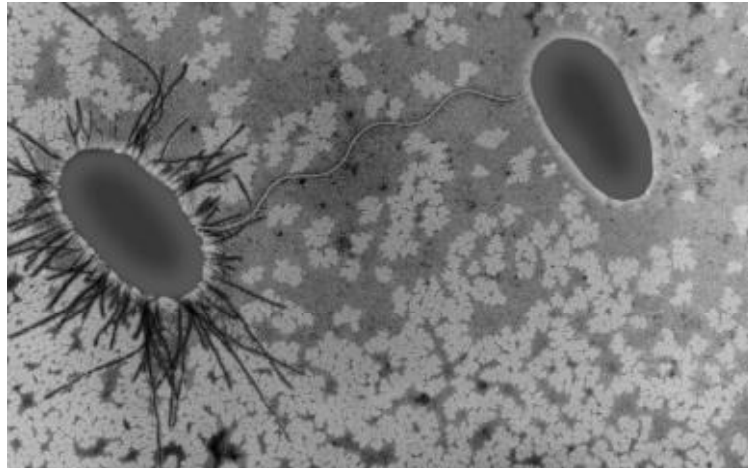
18.18. Explica cuáles son las principales diferencias que existen entre los tres mecanismos de intercambio de información genética en bacterias.

Los tres mecanismos de intercambio de información genética en bacterias son:

- **Conjugación.** Una bacteria donadora transmite ADN de sus plásmidos, a través de pelos sexuales, a una bacteria receptora. Si en ella, el plásmido se integra en el cromosoma bacteriano, recibe el nombre de **episoma**. En una transferencia posterior, esta bacteria puede pasar no solo el episoma, sino también parte de su propio material genético. Se calcula que *Escherichia coli* ha adquirido de esta manera un 18% de sus genes a lo largo de los últimos 100 millones de años.
- **Transformación.** Las bacterias pueden captar del medio fragmentos de ADN procedentes de la lisis de otras bacterias o de otras células.
- **Transducción.** En este caso, las bacterias intercambian material genético mediante un virus transmisor, un bacteriófago. El virus se integra en el cromosoma de la bacteria donadora, iniciando un ciclo lisogénico. Cuando se separa de él para iniciar un ciclo lítico, arrastra algunos genes que transmite a la bacteria receptora en la infección.

18.19. Las bacterias aparecieron aproximadamente hace 3500 millones de años y siguen existiendo hoy gracias a su gran capacidad de adaptación.

- Explica cómo ocurre la reproducción bacteriana.
- ¿Cuál es la finalidad del intercambio de información genética en las bacterias?
- ¿Qué es un plásmido?



- Las bacterias se dividen asexualmente por bipartición simple o por gemación. No presentan fenómenos de mitosis. El cromosoma bacteriano único que poseen se duplica, y luego el citoplasma se escinde en dos partes aproximadamente iguales que se separan, llevándose una copia cada una.
- Entre las bacterias, se dan fenómenos parasexuales de intercambio de información genética como la conjugación. La transducción y la transformación también suponen la adquisición de nuevo material genético, gracias a un virus o directamente del medio. De este modo, las bacterias se vuelven resistentes a algunos antibióticos, o hacen aumentar la variabilidad genética, reducida debido a su proceso habitual de reproducción asexual.
- Es un fragmento de ADN circular independiente del cromosoma bacteriano, que puede transmitirse de una bacteria a otra.

UN PASO MÁS

18.20. Un laboratorio farmacéutico lanza al mercado un nuevo antibiótico llamado “ribosomicina”, cuya acción consiste en inhibir la síntesis de proteínas; dado que impide la actividad de los ribosomas 70 S y dado que las bacterias poseen este tipo de ribosoma.

- a) **¿Sería recomendable la utilización de ribosomicina en el tratamiento de infecciones bacterianas humanas?**
 - b) **¿Sería recomendable este antibiótico en el caso de una infección vírica?**
 - c) **Relaciona bacterias y mitocondrias basándote en la teoría endosimbiótica de Lynn Margulis.**
- a) La ribosomicina impediría a las bacterias la síntesis de proteínas, ya que poseen ese tipo de ribosomas –imprescindibles en el proceso–, y este hecho no las permitiría proliferar en el huésped en el caso de una infección. Pero resulta que las mitocondrias de las células eucarióticas también poseen ese tipo de ribosomas, por lo que si la ribosomicina llegara a afectarlas, podría paralizar las funciones mitocondriales.
- b) No hay ningún antibiótico recomendable para una infección vírica, pero es que la ribosomicina, además, altera a los ribosomas 70 S; orgánulo que los virus no poseen, dado que no son formas celulares.
- c) Según Lynn Margulis, las células eucarióticas surgieron por procesos de simbiosis entre células procarióticas con distintas capacidades. Las mitocondrias serían antiguas bacterias capaces de manejar el oxígeno. Una prueba de ello sería la presencia en las mitocondrias de ADN circular y bicatenario semejante al de las bacterias; las crestas mitocondriales, que son iguales a los mesosomas bacterianos; o los ribosomas de las mitocondrias, que son como los de las bacterias, de 70 S.

18.21. Una oferta de un medicamento anunciada en internet dice lo siguiente.

“CURAFast es un medicamento muy eficaz para curar la malaria gracias a su fórmula antibiótica que ataca a la pared bacteriana, penetra en la célula infecciosa y destruye el núcleo.”

Al margen de que nadie debe comprar medicamentos sin control, redacta una crítica científica a las propiedades del “Curafast”.

Los antibióticos son efectivos contra las infecciones bacterianas, pues son sustancias que impiden a las bacterias formar la pared celular; esto las deja totalmente desprotegidas, y no sobreviven. El problema es que la malaria no es una enfermedad causada por una bacteria, sino por el esporozoo *Plasmodium*, un protozoo, y ante él, los antibióticos son inoperantes. La malaria se trata con quimioterapia, y actualmente se trabaja mucho para la obtención de una vacuna.

Además, aunque la malaria fuera una enfermedad bacteriana, el “Curafast” no podría destruir el núcleo, puesto que las bacterias no lo tienen. El cromosoma bacteriano está disperso en el citoplasma.

18.22. Una noticia aparecida en determinado periódico decía así:

“...En dicha Universidad se está investigando sobre el mal de las vacas locas que ahora se sabe que afecta también a los humanos. Uno de los científicos consultados afirmó que acaban de aislar el microorganismo infeccioso que produce dicha enfermedad en las personas, y que trabajan actualmente en la elaboración de sueros y vacunas para luchar contra ella...”.

Elabora una crítica a la noticia que recoja los aspectos ciertos y los errores; indica el agente patógeno y expón el mecanismo de transmisión de este tipo de enfermedades a la especie humana.

La encefalitis espongiforme bovina o “mal de las vacas locas” es una enfermedad de las vacas. Los humanos se ven afectados por el síndrome de Creutzfeldt-Jakob. Ambas enfermedades están causadas por el mismo tipo de agente infeccioso, un prión, que es una proteína infecciosa y no un microorganismo, por lo que no cabe elaborar sueros o vacunas contra él. La proteína del prión es anómala, y se encuentra en la membrana neuronal, por lo que causa enfermedades de tipo nervioso y degenerativo. La proteína presenta segmentos de la secuencia de aminoácidos con una estructura secundaria distinta a la de la proteína normal. Esta se convierte en infecciosa por contacto con la primera.

- 18.23. Un reportero de televisión entrevista a la salida de un centro de salud a una mujer que lleva un niño en los brazos. Se queja de la inoperancia de los médicos del mismo, que no han querido recetarle antibióticos a su hijo, enfermo de gripe, aconsejándole paracetamol para la fiebre y que beba mucho líquido.” “¡Yo no sé para qué vengo al pediatra! ¡Ya me hizo lo mismo cuando tuvo la varicela!”.**

Redacta una crítica sobre la situación planteada valorando la actuación del médico.

La gripe no es una enfermedad bacteriana sino vírica, lo mismo que la varicela. Y los virus no son sensibles a los antibióticos. Los consejos del médico están orientados a paliar los efectos de la infección como el dolor de cabeza, la fiebre o el malestar general, y no a atacar al agente infeccioso que la causa. El uso indiscriminado e innecesario de antibióticos no hace sino aumentar la resistencia a ellos de las bacterias, contra las que sí son efectivos.

- 18.24. El virus H5N1 es el causante de un tipo de gripe aviar que, ocasionalmente, ha infectado a personas que habían estado en contacto con aves enfermas en varios lugares del mundo. Durante el otoño de 2005, la OMS advirtió del riesgo real de que este virus mutase y pudiese causar una epidemia mundial entre los humanos, contra la cual estaríamos inmunológicamente poco protegidos. El material genético de este virus tiene una gran capacidad de cambiar a medida que se replica. El virus inicial se ve reemplazado por nuevas variantes, que presentan cambios en las proteínas de su revestimiento.**

- a) **¿Qué relación existe entre “el material genético de este virus tiene una gran capacidad de cambiar” y “los cambios de las proteínas de su revestimiento”?**
 - b) **Utiliza tus conocimientos de inmunología para interpretar el hecho de que las personas estemos “inmunológicamente poco protegidas” contra el virus H5N1.**
 - c) **Algunas vacunas para prevenir enfermedades víricas se fabrican a partir de virus idénticos a los que causan la infección, pero modificados genéticamente de manera que no pueden replicarse dentro de las células. Explica en qué se basa la acción de una vacuna. ¿Podrías indicar la razón por la cual en el caso del virus H5N1 es difícil obtener una vacuna eficaz?**
- a) Una proteína surge siempre por un proceso de traducción de un mensaje escrito con nucleótidos a uno escrito con aminoácidos. Si el material genético vírico es susceptible de sufrir mutaciones, la lectura de los tripletes de bases puede verse alterada y, por consiguiente, alterará la secuencia de las proteínas sintetizadas a partir de él.
 - b) El sistema inmunitario proporciona protección al individuo cuando es capaz de destruir o inactivar un antígeno mediante la producción de anticuerpos o de células. Pero el sistema inmunitario no conoce al virus de la gripe aviar, y no puede producir defensas contra él.
 - c) Una vacuna es un antígeno atenuado que se introduce en un organismo sano para forzar al sistema inmunológico a fabricar anticuerpos contra él, sin sufrir la enfermedad. Es difícil obtener una vacuna efectiva contra una partícula infectante tan susceptible de mutar como este virus. Ocurre lo mismo que con el virus de la gripe humana: la vacuna contra él es una especie de cóctel que contiene todas las variedades de virus de las últimas campañas. Pero si la cepa causante de la enfermedad en esta temporada no está entre ellas, la vacuna no será en absoluto efectiva.

19

Los microorganismos en la biosfera

ACTIVIDADES PAU RESUELTAS

19.1. Algunas bacterias pueden obtener energía por quimiosíntesis.

- a) Concepto de quimiosíntesis.
- b) Cita las fases de la quimiosíntesis.
- c) Pon un ejemplo de una bacteria que participe en el ciclo del nitrógeno, y explica su importancia en los ciclos biogeoquímicos.

Actividad resuelta en el libro del alumno.

19.2. Durante la fabricación de la cerveza se producen una serie de reacciones anaerobias.

- a) Indica cómo se llama el proceso global y qué tipo de microorganismo interviene.
- b) Describe, desde el punto de vista químico, la reacción global de este proceso y en qué parte de la célula se localiza.
- c) Cita dos ejemplos de otros procesos similares, indicando su interés industrial.

Actividad resuelta en el libro del alumno.

19.3. Los microorganismos son un grupo muy heterogéneo de seres vivos.

- a) Formula y explica la teoría de la simbiogénesis (endosimbiosis), y expón la trascendencia de esta teoría en la biología contemporánea.
- b) Define los siguientes conceptos: simbiosis, parasitismo, zoonosis y pandemia.

Actividad resuelta en el libro del alumno.

ACTIVIDADES

19.4. La microbiología y la biotecnología son dos disciplinas científicas implicadas en algunos procesos de la industria alimentaria.

- a) Describe qué etapas son comunes y cuáles son diferentes en la fabricación del vino y la cerveza.
 - b) Describe qué etapas son comunes y cuáles son diferentes en la fabricación del yogur y el queso.
- a) Ambos procesos tienen en común el proceso de fermentación alcohólica que las levaduras *Saccharomyces* llevan a cabo para su fabricación. Las diferencias principales están en la procedencia de los azúcares que se someten a fermentación. Para fabricar cerveza se parte de almidón, un polisacárido no fermentable que debe ser sometido a hidrólisis (malteado) previa para obtener glucosa. El azúcar para fabricar vino es directamente la glucosa contenida en las uvas.
- b) La etapa común es la fermentación láctica, provocada por las bacterias del ácido láctico. Las diferencias estriban en que el yogur no requiere maduración, pero sí el queso, que pasa por un hidrolizado de las proteínas hasta dar aminoácidos libres a cargo de hongos y bacterias.

19.5. Debido a la biotecnología, la importancia de algunos microorganismos es cada día mayor.

- a) **Define en qué consiste la biotecnología, relacionándola con la utilización de microorganismos.**
 - b) **Menciona un proceso biotecnológico basado en la actuación de las levaduras.**
 - c) **Indica qué tipo de células son las levaduras.**
- a) Es el conjunto de técnicas basadas en la intervención de los microorganismos, y su finalidad es producir sustancias útiles al ser humano.
 - b) La fabricación de pan se basa en el proceso de fermentación alcohólica, que llevan a cabo levaduras del género *Saccharomyces* sobre los azúcares contenidos en los cereales.
 - c) Las levaduras son hongos unicelulares formados por células eucarióticas heterótrofas dotadas de pared celular.

19.6. En la industria alimentaria es frecuente el uso de microorganismos.

- a) **Cita los tipos de microorganismos más utilizados en la producción de alimentos.**
- b) **Explica dos procesos de la industria alimentaria basados en la actividad de los microorganismos.**
- c) **Describe el papel de algunos microorganismos en las intoxicaciones alimentarias.**

- a) Los microorganismos más utilizados en la producción de alimentos son las levaduras y las bacterias.
- b) **Fabricación de pan.** Se hace una mezcla con harina de trigo, agua y levaduras. Se amasa y se deja reposar.

La masa crece por la fermentación alcohólica de las levaduras. Las piezas se hornean. El alcohol se evapora durante la cocción, y los espacios de la miga son acúmulos del CO₂ que se desprende en el proceso.

Fabricación de vinagre. El vino se agria espontáneamente, y produce vinagre por la acción de las bacterias del ácido acético. En la industria, se parte de alcohol diluido o de sidra. Las bacterias del ácido acético se hacen crecer sobre una masa de virutas de madera. Son aerobias, y requieren cierta aireación. El sustrato se hace pasar entre las virutas, y las bacterias producen una oxidación incompleta del alcohol a ácido acético a medida que el sustrato pasa entre ellas. El vinagre se recoge debajo del depósito, que puede ser reutilizado.

- c) Una intoxicación alimentaria es la salmonelosis. La **salmonela** se adquiere por contaminación fecal o por alimentos contaminados (huevos). Produce una toxina muy potente que afecta al intestino, al bazo, a la sangre y a los ganglios linfáticos. Produce fiebre alta y fiebre ondulante, además de manchas en la piel. Tras la curación, la bacteria puede permanecer acantonada en el enfermo, que se le llama portador y puede contaminar alimentos por manipulación.

19.7. La elaboración de ciertos productos lácteos se inicia con una primera reacción en la que interviene un determinado tipo de microorganismo. Posteriormente, se requiere que intervengan otros microorganismos hasta obtener el producto final.

- a) **Describe brevemente esa primera reacción que se lleva a cabo (nombre del sustrato inicial y nombre de los productos finales), y el microorganismo A que interviene en esta etapa del proceso.**
- b) **El hongo *Penicillium roquefortii* es responsable del aspecto, olor y sabor de un determinado producto lácteo. ¿Sabrías indicar cuál es ese producto y si este hongo participa antes o después que el microorganismo A en el proceso de elaboración?**
- c) **Otras especies de *Penicillium* se han empleado tradicionalmente en la industria farmacéutica. Indica el nombre de la primera sustancia que se obtuvo gracias a él, y el nombre genérico de estos fármacos.**

- a) La primera reacción es la fermentación láctica. Se parte de lactosa y se obtiene finalmente ácido láctico y ATP, a cargo de bacterias de los géneros *Lactobacillus*, *Streptococcus* y *Leuconostoc*.
- b) El producto es el queso de Roquefort, y el *Penicillium* actúa después de la fermentación, en la maduración del queso.
- c) Penicilina. Antibióticos.

19.8. En relación con la diversidad microbiana.

- a) Menciona tres microorganismos pertenecientes a distintos reinos, indicando en cada caso el reino al que pertenece.
 - b) Señala si cada uno de los microorganismos mencionados en el apartado anterior tiene o no organización celular, y de qué tipo.
 - c) Cita tres enfermedades infecciosas humanas producidas por microorganismos, indicando el organismo patógeno correspondiente.
 - d) Menciona tres microorganismos beneficiosos para el ser humano o para el medio ambiente, con indicación de sus efectos.
- a) *Saccharomyces cerevisiae* (hongos). *Escherichia coli* (bacterias). *Trypanosoma gambiense* (protozoos).
 - b) Los tres tienen organización celular. *Saccharomyces* y *Trypanosoma* son células eucarióticas, y *Escherichia coli* tiene organización procariótica.
 - c) El tétanos, producida por la bacteria *Clostridium tetanii*. El cólera, producida por el *Vibrio cholerae*, una bacteria. Y la malaria, producida por un protozoo, el *Plasmodium falciparum*.
 - d) *Saccharomyces cerevisiae* produce procesos de fermentación alcohólica. Actúa en la fabricación de la cerveza. Las bacterias simbiotes del colon humano ayudan a la síntesis de algunas vitaminas (K). Los hongos del género *Penicillium* fabrican antibióticos.

19.9. Explica todas las diferencias estructurales y funcionales entre bacterias y levaduras.

- **Diferencias estructurales.** Las bacterias son seres unicelulares de organización procariótica, mientras que las levaduras son seres unicelulares eucarióticos. Ambos tipos de células tienen pared rodeando a su membrana plasmática, pero en el caso de las bacterias está formada por mureína (peptidoglucano); en las levaduras, es una mezcla de quitina y celulosa. Las levaduras son células provistas de todos los orgánulos celulares habituales (no cloroplastos), mientras que las bacterias carecen casi por completo de ellos, a no ser de ribosomas. Respecto a su material genético, las bacterias poseen un único cromosoma bacteriano de ADN bicatenario y circular, mientras que la levadura tiene un genoma fragmentado, integrado por varias parejas de cromosomas.
- **Diferencias funcionales.** Las levaduras son seres quimioorganótrofos o quimioheterótrofos, lo mismo que la mayoría de las bacterias. Pero estas pueden ser también fotoliotótrofos (bacterias del azufre, cianobacterias, purpúreas) o quimiolitótrofos (bacterias del hierro, nitrificantes, del hidrógeno).

19.10. Una cierta cantidad de leche pasteurizada “se corta” cuando se la deja a temperatura ambiente en una tarde de agosto. No ocurre así cuando se la pone en el interior de la nevera. Explica por qué.

La leche se contamina espontáneamente con las bacterias del ácido láctico, que crecen en ella lentamente con la temperatura de la nevera. Cuando la leche se expone a la temperatura que puede darse en una tarde de agosto, las bacterias del ácido láctico proliferan rápidamente y fermentan la lactosa de la leche, lo que genera ácido láctico como residuo. Este hace descender el pH, lo que causa la coagulación de las proteínas de la leche, que por eso se separa como en dos fases: el suero y los coágulos de caseína.

19.11. Pon un ejemplo de una aplicación de la biotecnología a la industria alimentaria, en la que se empleen microorganismos para producir o transformar alimentos. Con respecto a dicha aplicación.

- a) Indica en qué consiste la aplicación tecnológica y los productos de interés obtenidos.
 - b) Indica el microorganismo implicado.
 - c) Explica el proceso metabólico implicado.
- a) Fabricación de cerveza. Consiste en un proceso de fermentación de azúcares contenidos en cereales, del que se obtiene un líquido con cierto contenido alcohólico de sabor agradable.
 - b) Los microorganismos implicados en la fabricación de cerveza son las levaduras (hongos) *Saccharomyces cerevisiae*.
 - c) El azúcar contenido en cebada, maíz o arroz es almidón, que no es fermentable. Por eso, es necesario maltear –humedecer– los granos para que germinen. Así, se liberan enzimas que hidrolizan el almidón, originando maltosa y glucosa, sobre el que ya pueden actuar las levaduras. Estas hacen fermentación alcohólica. Someten a la glucosa a la glucólisis, y después el ácido pirúvico resultante se transforma en etanol y CO₂. Esto es el mosto de cerveza, al que se añade lúpulo para darle el clásico amargor.

19.12. Explica qué es un antibiótico.

- a) **¿Qué tipo de organismos lo producen?**
- b) **Describe brevemente un proceso tecnológico de producción de antibióticos.**
- a) Un antibiótico es una sustancia que inhibe el crecimiento de las bacterias porque les impide fabricar la pared bacteriana tras la bipartición, altera sus procesos de síntesis de proteínas o entorpece la replicación de su ADN. Los antibióticos, en el caso de las bacterias, tienen una toxicidad selectiva, de modo que su utilización contra ellas no altera los tejidos del huésped. Los antibióticos los producen los hongos (*Penicillium notatum*).
- b) Los hongos producen antibióticos como productos de su metabolismo, y ni siquiera de su metabolismo primario. El hongo fabrica una sustancia antibiótica en función del alimento disponible, y lo hace solo cuando la colonia ha terminado de crecer en un medio aerobio.

19.13. Recientemente, se han producido algunos casos de botulismo en la Comunidad Autónoma del País Vasco por consumir conservas vegetales en mal estado.

- a) **¿Cuál es la causa del botulismo?**
- b) **¿A qué tipo de tratamiento crees que deben someterse los alimentos para eliminar el riesgo de contraer dicha enfermedad?**
- c) **Una vez contraída, la enfermedad tiene una remisión lenta y difícil sin que un tratamiento con antibióticos acelere el proceso de recuperación. ¿Por qué tienen tan poco efecto los antibióticos en el tratamiento del botulismo?**
- a) El botulismo es una intoxicación de origen alimentario causada por *Clostridium botulinum*, que libera una neurotoxina que actúa en el ámbito de la sinapsis neuromuscular de los nervios motores y de las terminaciones del parasimpático, donde interfiere en la liberación de acetilcolina.
- b) Las esporas de *Clostridium botulinum* son resistentes al calor, pero al calor húmedo. Sin embargo, las toxinas se destruyen fácilmente por el calor, y esto se logra cocinando los alimentos a 80 °C durante 30 minutos. Ocurre frecuentemente en conservas caseras de verduras, pescado o frutas. Las latas con *Clostridium* (un bacilo anaerobio gram positivo) frecuentemente aparecen deformadas por la acumulación de gas en su interior.
- c) Los antibióticos son efectivos frente al germen, pero no ante la toxina. La enfermedad se trata con la antitoxina botulínica.

19.14. La fermentación es un proceso metabólico ampliamente difundido entre los microorganismos, que el ser humano aprovecha a menudo para la conservación o la producción de alimentos.

- a) **Cita dos tipos de fermentación de interés en la producción de alimentos.**
- b) **¿Qué tipos de organismos son los causantes de las fermentaciones citadas?**
- c) **¿Qué tipo de metabolismo exhiben?**
- d) **¿En qué consiste la pasteurización?**
- e) **¿Cómo afectaría este proceso a los organismos anteriormente aludidos?**
- a) La fermentación láctica, que es el paso previo a todas las transformaciones que ocurren a partir de la leche; y la fermentación alcohólica, que es el proceso que se sigue para la obtención de bebidas alcohólicas, pan, etc.
- b) La fermentación láctica la llevan a cabo las bacterias del ácido láctico, *Lactobacillus*, *Streptococcus* y *Leuconostoc*. La fermentación alcohólica la realizan levaduras del género *Saccharomyces*.
- c) Ambos son organismos quimioheterótrofos, ya que la fuente de energía es un sustrato oxidable orgánico y la sustancia dadora de electrones es también una sustancia orgánica.
- d) La pasteurización consiste en someter a un alimento a una elevación de la temperatura (a 71,7 °C, en el caso de la leche) durante un período de 15 segundos, y a un proceso de enfriamiento rápido posterior.
- e) No mata a todos los microbios presentes, sino solo a los que no resisten dicha temperatura. No es, por consiguiente, un mecanismo de esterilización.

19.15. Para preparar yogur casero se mezcla una cierta cantidad de leche con un poco de yogur, y se mantiene a 35-40 °C durante unas ocho horas.

- a) ¿Qué pasaría si por error se mantuviera la mezcla durante ocho horas a 0 °C?
 - b) ¿Obtendríamos yogur si se emplea leche previamente esterilizada?
 - c) ¿Y si lo que se esteriliza es el yogur antes de añadirlo a la leche?
- a) El mantenimiento de la temperatura a 0 °C impediría la proliferación de las bacterias, y, por tanto, la formación de yogur.
 - b) Sí. La leche de la mezcla es solo una fuente de lactosa para los microorganismos (*Streptococcus*, *Lactobacillus* y *Leuconostoc*) del yogur.
 - c) Si se esteriliza el yogur antes de producir la mezcla, no se formaría más yogur, a partir de la leche añadida, porque la fermentación de la lactosa no tendría lugar.

19.16. Las levaduras son microorganismos que pueden utilizar azúcares como fuente de carbono y energía. Expón razonadamente la eficacia del proceso desde el punto de vista energético si la utilización de los azúcares se hace en presencia o en ausencia de oxígeno.

En **presencia de oxígeno**, los azúcares sufren un proceso de oxidación completa que pasa por tres rutas metabólicas distintas: primero, la **glucólisis**; en el citoplasma, sin oxígeno y gracias a la cual la glucosa se convierte en dos moléculas de **ácido pirúvico**. Estas se convierten en moléculas de acetil-coenzima A, y se introducen en la siguiente ruta metabólica que es también anaerobia y ocurre en la matriz mitocondrial: es el **ciclo de Krebs**. Y por último, las moléculas de poder reductor acumuladas en los procesos anteriores son intercambiadas por energía en la **cadena respiratoria**, que es la ruta aerobia que tiene lugar en la membrana mitocondrial interna. Este proceso genera un total de 38 moléculas de ATP por cada molécula de glucosa que se convierte en CO₂ y agua.

En **ausencia de oxígeno**, el proceso de degradación de los azúcares es una fermentación alcohólica. Los azúcares se degradan mediante la ruta metabólica de la glucólisis, que genera **ácido pirúvico**. En la fermentación alcohólica, el ácido pirúvico se descarboxila a acetaldehído, y luego este, gracias a las moléculas de poder reductor formadas en la glucólisis, se reduce a alcohol etílico, generándose en total solo dos moléculas de ATP.

19.17. Diferencia entre infección y enfermedad.

- a) ¿Son infecciosas todas las enfermedades?
 - b) ¿Producen enfermedad todas las infecciones?
 - c) ¿Por qué crees que son contagiosas las enfermedades infecciosas?
- a) Se llama **infección** a cualquier situación en la que un microorganismo patógeno se instala y crece en el huésped, independientemente de que este sea o no dañado. Pero infección no es sinónimo de enfermedad, ya que como se ha dicho, la infección no siempre produce daños en el huésped.
 - b) No todas las enfermedades son de origen infeccioso; cáncer, enfermedades autoinmunes, trastornos psíquicos, etc., no lo son.
 - c) Los microorganismos deben acceder a los tejidos del huésped, y allí proliferar antes de producir algún tipo de daño. Este hecho requiere, a su vez, atravesar la piel o las mucosas; estructuras que actúan, normalmente, como barreras microbianas. Para superar estas barreras, la entrada de microorganismos implica muchas veces la existencia de heridas. La infección es un proceso que resulta de la conjunción de dos factores:
 - La **patogenicidad** del parásito, que es su capacidad para producir en el huésped los cambios fisiológicos o anatómicos que constituyen la enfermedad.
 - La **resistencia** o susceptibilidad del huésped a la acción del parásito. Esta depende del estado de sus defensas y nutricional de factores ambientales, de su situación anímica, etc.
 - Estos dos factores determinan la **virulencia** del microorganismo. Ni la virulencia ni la resistencia del huésped son parámetros constantes.

Por lo tanto, no es la enfermedad la que es transmitida de un huésped a otro, sino el organismo patógeno, que es la base del fenómeno de contagio. Así, por ejemplo, la tuberculosis y la lepra son dos enfermedades infectocontagiosas, pero son dos microorganismos patógenos –*Mycobacterium tuberculosis* y *Mycobacterium leprae*, respectivamente– los que se transmiten de persona a persona.

19.18. En alimentación se utiliza habitualmente azúcar blanco constituido por sacarosa. Su consumo exige una cuidada higiene bucal para evitar las corrosiones ácidas del esmalte dental, conocidas como caries. Se dice que con la excepción del resfriado común, la caries es la enfermedad humana de mayor prevalencia.

- a) ¿Qué quiere decir esto?
- b) **Explica razonadamente el proceso que provoca la aparición de ácidos corrosivos a partir de los residuos de la sacarosa.**
- a) La prevalencia de una enfermedad es un coeficiente que indica el número de individuos afectados por una enfermedad en relación con el total de la población.
- b) Los microorganismos que causan la caries son del género *Streptococcus*, uno de los gérmenes de la microflora habitual de la boca que generan ácido láctico en la degradación por fermentación de la sacarosa. La sacarosa se hidroliza, y los restos de glucosa y fructosa que la constituyen son degradados mediante la glucólisis hasta dar ácido pirúvico, que posteriormente se reduce a ácido láctico. Los restos de este ácido son los que desmineralizan el esmalte dentario, que se incrementan mucho en casos de ingesta de alimentos ricos en sacarosa entre comidas. Estos restos no los elimina la musculatura oral ni la saliva, y sí desaparecen con la higiene de la boca.

19.19. El tétanos es una enfermedad bacteriana grave, en algunos casos, mortal.

- a) ¿Cuál es el microorganismo responsable?
- b) ¿Cuál es la vía de infección?
- c) ¿Qué síntomas presenta?
- d) **Uno de los procedimientos utilizados para desinfectar heridas es limpiarlas con agua oxigenada. En estos casos, es improbable que se desarrolle el agente patógeno responsable del tétanos. ¿Por qué?**
- e) **¿Qué mecanismos preventivos o de tratamiento podrían emplearse?**



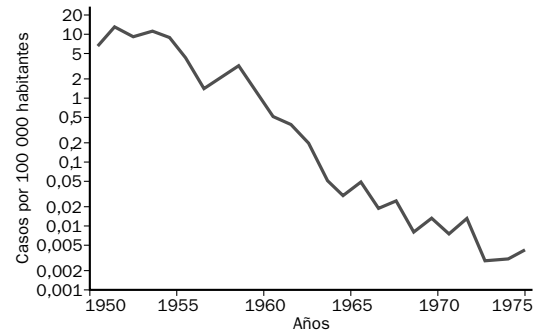
- a) El agente patógeno responsable del tétanos es la bacteria *Clostridium tetani*, un bacilo gram positivo anaerobio estricto.
- b) La bacteria se encuentra habitualmente en el suelo en forma de endosporas. Pueden infectar al humano a través de heridas incisas a partir de objetos cortantes o punzantes contaminados.
- c) La enfermedad, debida a una neurotoxina muy potente que el germen genera, produce contracciones dolorosas de la musculatura del cuello y de la mandíbula, y parálisis espástica de los músculos torácicos. Las contracciones musculares son cada vez más violentas, y disminuyen los períodos de relajación.
- d) El agua oxigenada aplicada sobre la herida impide crecer a la bacteria, que precisa de un ambiente anaerobio. Generalmente, la bacteria prolifera cuando la herida cicatriza, que es cuando se crea el ambiente anaerobio que el germen necesita.
- e) Como mecanismos preventivos, utilizaría la vacunación, que requiere tres dosis: la primera; la segunda, al cabo de un mes; y la tercera, al cabo de un año. Protege durante 10 años. Como tratamiento, se podrían suministrar sueros antitetánicos y relajantes musculares.

19.20. La fabricación de pan, en la que se genera etanol, pasa por el mismo proceso que la de vino o cerveza.

- a) ¿De qué proceso se trata? ¿Qué microorganismo interviene?
- b) ¿Qué ocurre con el etanol que se produce en la fabricación del pan? ¿Qué ocurre con el CO₂?
- c) **¿Qué son las llamadas levaduras de pastelería?**
- a) El proceso para fabricar vino, cerveza y pan es el mismo: una fermentación alcohólica, llevada a cabo por levaduras de género *Saccharomyces*. Las levaduras convierten la glucosa en ácido pirúvico, lo descarboxilan y lo convierten en acetaldehído, que finalmente es reducido a etanol.
- b) El etanol producido en la fermentación en el caso del pan se evapora durante la cocción. El CO₂ queda atrapado en la masa en la fermentación. Es el responsable de los huecos de la miga.
- c) Las llamadas levaduras de pastelería no son tales levaduras. Se trata de sustancias que producen efervescencia (burbujas de CO₂) al entrar en contacto con un medio húmedo.

19.21. Observa la gráfica siguiente sobre la evolución de la poliomielitis y responde.

- ¿Cuál es el agente causante? ¿Cómo se propaga?
- ¿Cuáles son sus síntomas?
- La disminución del número de casos en las últimas décadas es evidente. ¿A qué crees que se debe?
- ¿Sería efectivo el empleo de antibióticos?



- La poliomielitis es una enfermedad infecciosa, causada por un enterovirus que se propaga a partir de las heces fecales de los enfermos cuando estas contaminan el agua y los alimentos que se relacionan con ella.
- El virus afecta en primer lugar al intestino, y la enfermedad se declara cuando llega al sistema nervioso, momento en el que aparece una parálisis progresiva del cuerpo que llega a producir la muerte. Lo más habitual es la parálisis de una o de las dos piernas. Se denomina con frecuencia "parálisis infantil" porque afectaba fundamentalmente a niños.
- La drástica disminución en el número de casos se debe a la vacunación.
- No. La poliomielitis no es una infección bacteriana, que son el único tipo de infecciones sensibles a los antibióticos.

UN PASO MÁS

19.22. El flujo vaginal tiene habitualmente un pH de entre 3,5 y 4,5 debido a la presencia de *Lactobacillus acidophilus*, que permite una débil proliferación de *Candida albicans*. Un tratamiento prolongado con antibióticos en una paciente es, según el médico, la causa de la aparición de candidiasis, una enfermedad infecciosa.

- Explica qué tipos de microorganismos son *Lactobacillus acidophilus* y *Candida albicans*.
 - ¿Qué proceso debe llevar a cabo *Lactobacillus* para que exista ese valor de pH?
 - ¿Qué es un microorganismo oportunista?
 - Da una explicación a las palabras del médico.
- Lactobacillus acidophilus* es una de las bacterias del ácido láctico, componente habitual de la biota de la vagina, mientras que *Candida albicans* es un hongo.
 - Lactobacillus* vive en la vagina haciendo una fermentación láctica sobre el hidrolizado de glucógeno de las células que se descaman de la mucosa, con la que produce ácido pirúvico (glucólisis) que luego se reduce a ácido láctico. La acumulación de este determina un pH ácido.
 - Candida albicans* es un microorganismo oportunista. Normalmente, no es patógeno, pero puede llegar a serlo cuando varían las condiciones del medio.
 - Un tratamiento prolongado con antibióticos ha podido afectar a *Lactobacillus*, que, como todas las bacterias, son sensibles a los antibióticos. Esto no ocurre, sin embargo, con los hongos. La desaparición de la bacteria ha podido ser la causa de la disminución de la cantidad de ácido láctico, con lo que el pH sube; condición que favorece a la *Candida*, que con un pH menos ácido puede proliferar. Por eso, los antibióticos han favorecido la candidiasis.

19.23. Una industria que fabrica abonos nitrogenados recomienda en sus envases, como medida de respeto al medio ambiente, que se alterne uno de los abonos con la "rotación de cultivos".

"Si un terreno se cultiva año tras año con una gramínea –por ejemplo, trigo o cebada–, la productividad irá disminuyendo; para restaurarla, será preciso romper ese ciclo anual cultivando trébol o alfalfa."

- ¿Por qué disminuye la productividad del campo de cultivo por el cultivo reiterado con gramíneas?
- ¿Qué tienen de particular las plantas de trébol o alfalfa que permiten restaurar la productividad de un campo?
- Describe el proceso que desarrollan estas plantas, indicando el agente causante del mismo.

- a) La productividad disminuye paulatinamente por agotamiento de sustancias minerales, imprescindibles para las plantas. Concretamente, se reduce la cantidad de nitrógeno, que es imprescindible para formar proteínas y ácidos nucleicos.
- b) Las plantas como el trébol o la alfalfa son leguminosas; plantas que viven asociadas con bacterias fijadoras de nitrógeno, que forman unos nódulos en sus raíces. La alternancia de otros cultivos con este tipo de plantas hace que el suelo se enriquezca en este elemento.
- c) Las bacterias del género *Rhizobium* son habitantes del suelo que se asocian a las raíces de las leguminosas (y no de otras plantas). En ellas fijan nitrógeno atmosférico (N₂) y lo excretan a la planta en forma de amoníaco. Son bacilos anaerobios gram negativo.

19.24. Carlos es un estudiante de nueve años, alumno de un colegio de la zona norte de Madrid. Desde hace unas semanas, se siente cansado en exceso y se da cuenta de que ha perdido peso. Además, comenta que tiene una sensación de dolor leve pero creciente, en la parte derecha del abdomen junto a las costillas.

Acude a su médico, que, además, observa un tono amarillento en la piel del niño; tras hacerle las pruebas pertinentes, le diagnostica hepatitis vírica. En el mismo centro se le proporciona tratamiento con un antiviral, y Carlos mejora notablemente en el transcurso de las siguientes semanas, desapareciendo finalmente todos los síntomas y sin ningún tipo de secuela.

Al volver al colegio, le cuentan que su amigo Víctor y una de las profesoras que cuidan el comedor del colegio han caído enfermos con los mismos síntomas, y que también han sido diagnosticados de hepatitis viral con idéntica evolución posterior que la de Carlos.

- a) ¿Qué tipo/s de hepatitis puede haber tenido presumiblemente Carlos?
 - b) ¿Crees que puede tener relación con la enfermedad de su compañero y de la profesora? ¿Por qué?
 - c) ¿Qué tipo de transmisión tienen estos tipos de virus de la hepatitis?
 - d) ¿Qué otros virus de la hepatitis conoces? ¿Cuál es su mecanismo de transmisión?
- a) Lo más probable es que Carlos haya sufrido una infección por el virus de la Hepatitis A o E, ya que la sintomatología ha sido leve y de corta evolución, y la enfermedad se ha resuelto rápidamente y sin dejar secuelas en cuanto se ha iniciado el tratamiento antiviral.
 - b) La existencia de dos casos similares en el mismo entorno y poco separados en el tiempo refuerza esta teoría, debido a la forma de transmisión de estos virus, por agua o alimentos contaminados.
 - c) El mecanismo de transmisión de los virus de las hepatitis A y E se denomina fecal-oral, ya que el virus en su forma infectiva se elimina por las heces durante la fase de incubación de la enfermedad. Se puede contaminar por falta de higiene, agua, alimentos o cualquier instrumento de uso común, que sean ingeridos o utilizados por otra persona, y por los cuales esta adquiere la enfermedad.
 - d) Los virus B y C provocan cuadros muy graves que tienen una alta probabilidad de evolucionar a una enfermedad permanente (cirrosis y posteriormente cáncer de hígado); su transmisión es por vía sexual, de madres a hijos durante el embarazo, la lactancia o el parto o por vía sanguínea. El virus D es un virus defectivo que solo puede aparecer en compañía del virus de la hepatitis B.

19.25. Define el concepto de toxina de microorganismo patógeno. ¿Qué diferencia existe entre endotoxinas y exotoxinas?

La virulencia de algunos microorganismos viene determinada por la producción de una serie de sustancias como proteasas, nucleasas o lipasas, que dañan y desorganizan los tejidos del huésped. Estas sustancias son las que denominamos toxinas.

Las **exotoxinas** son proteínas solubles que son liberadas al medio de crecimiento por bacterias gram positiva. Estas toxinas son sensibles al calor, muy tóxicas, y no producen fiebre. Tienen efectos específicos sobre los tejidos, e inducen la formación de anticuerpos en el organismo huésped.

Las **endotoxinas** son los componentes lipídicos de la membrana externa de las bacterias gram negativa.

20

Defensa del organismo frente a la infección

ACTIVIDADES PAU RESUELTAS

20.1. Con relación al sistema inmunitario.

- a) Define los conceptos de antígeno y anticuerpo.
- b) ¿Qué se entiende por respuesta inmune?
- c) Indica los tipos de respuesta inmune y explica cada uno de ellos.

Actividad resuelta en el libro del alumno.

20.2. En el sistema defensivo del organismo existen células fagocíticas.

- a) Cita dos de estas células e indica a qué tipo de defensa pertenecen.
- b) Explica el mecanismo de la fagocitosis y sus etapas.

Actividad resuelta en el libro del alumno.

ACTIVIDADES

20.3. Respecto a la función defensiva del sistema inmunitario, describe cuáles son y cómo actúan los mecanismos de defensa inespecíficos.

Cualquier organismo es capaz de reconocer a sus propias células, y puede distinguirlas de las de otro individuo de su misma especie o incluso de las de una especie distinta. Esto se debe a que todas las células presentan en la superficie de sus membranas unas moléculas exclusivas, diferentes –en mayor o menor medida– a las de otras células. Solo en el caso de los gemelos univitelinos, estas moléculas son idénticas. Cuando las células de dos individuos entran en contacto, esas mínimas diferencias convierten a estas moléculas de superficie en elementos extraños ante los que el organismo reacciona, intentando librarse de ellos; es la **respuesta inmune**.

Esta respuesta es característica y casi exclusiva de los vertebrados. Los invertebrados carecen de ella, aunque sí desarrollan fenómenos de defensa como la fagocitosis o la inflamación.

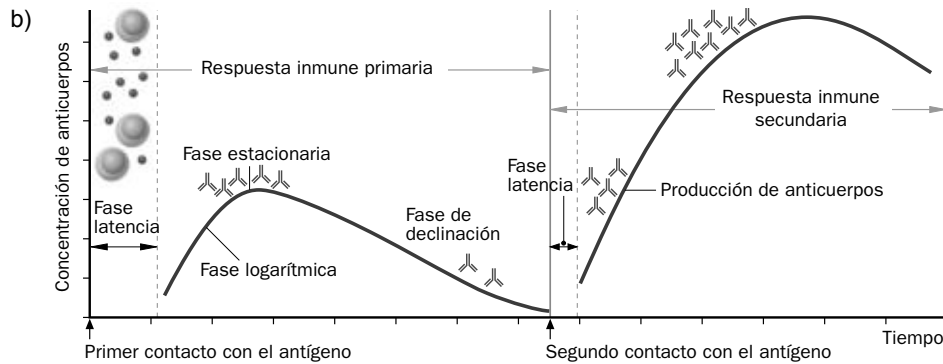
La actuación de los mecanismos de defensa inespecíficos se puede resumir de la siguiente forma: la barrera más externa es la **piel**, que actúa como una **barrera mecánica** y cuyo objetivo es impedir que cualquier agente externo penetre en el organismo. Reacciona de la misma manera ante cualquier tipo de patógeno tantas veces como este intente acceder. Sin embargo, cuando la piel sufre una alteración, permite el paso de los gérmenes, que entonces, sí pueden llegar a la sangre. Aquí se encuentra la **segunda barrera**, que está compuesta por células –los **leucocitos** o **glóbulos blancos**–, y que son los defensores del organismo mediante el proceso de **fagocitosis**. Sin embargo, al igual que la piel, esta constituye también una **barrera inespecífica**, es decir, que tampoco distingue unos microorganismos de otros.

20.4. Respecto a la respuesta inmune.

- a) Explica en qué consisten las respuestas inmunológicas primaria y secundaria.
 - b) Representa gráficamente cómo varía la concentración de anticuerpos a lo largo del tiempo en ambas respuestas.
 - c) Define memoria inmunológica.
- a) La **respuesta inmune primaria** es el proceso imprescindible y necesario para que exista memoria inmune, puesto que es aquí cuando la proliferación de los linfocitos crea células de memoria. Esta consta de tres fases sucesivas:
- **Fase de latencia.** Tiene una duración de una a dos semanas, durante la cual el antígeno es identificado y tiene lugar la proliferación de los linfocitos.
 - **Fase logarítmica.** Dura varios días, y en ella, la producción de anticuerpos –inmunoglobulinas del tipo IgM– aumenta hasta un máximo.
 - **Fase de declinación.** En ella, la concentración de anticuerpos va disminuyendo progresivamente hasta alcanzar niveles muy bajos o anularse. Cuando esto ocurre, la respuesta inmune primaria ha eliminado la infección.

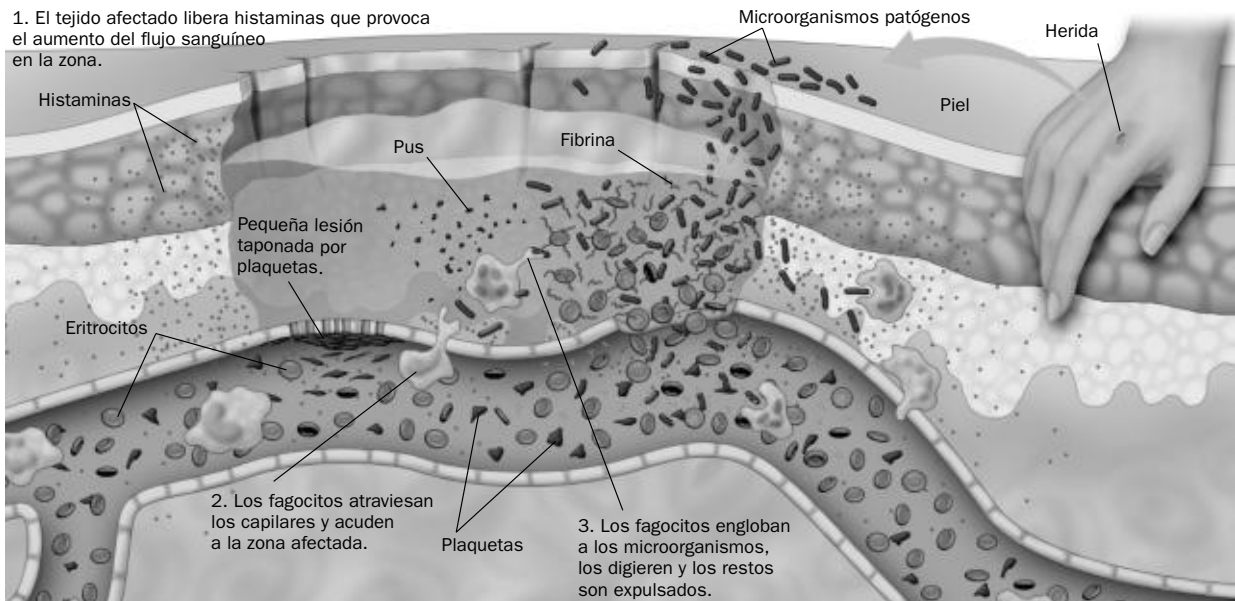
La respuesta inmune secundaria es cuando el antígeno accede por segunda vez al organismo, sin que importe el tiempo transcurrido desde el primer contacto; se caracteriza por:

- **La fase de latencia** es mucho más corta, ya que existen células de memoria que reconocen al antígeno, y rápidamente proliferan.
- **La producción de anticuerpos**, que en esta segunda respuesta son inmunoglobulinas IgG, es más rápida y de mayor intensidad. Las IgG pueden perdurar largo tiempo en la sangre. Los virus del sarampión, la varicela o la rubéola, por ejemplo, crean un estado inmune permanente en el individuo. Pero el virus de la gripe, que dispone de componentes antigénicos sensibles a las mutaciones, solo provoca una inmunidad temporal.



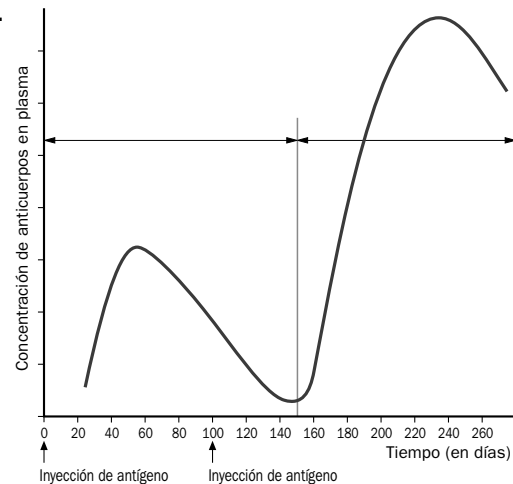
- c) La respuesta inmune se produce siempre que existe contacto con el germen invasor, pero tras el primero de ellos, el organismo "recuerda"; por ello, en contactos sucesivos, la respuesta puede llegar a ser tan intensa y rápida que la enfermedad no siempre vuelve a manifestarse. Esto es la memoria inmune, que como los recuerdos, se alarga con los años a medida que se establecen más contactos con diferentes patógenos.

20.5. Elabora un dibujo esquemático de la reacción inflamatoria y describe cómo transcurre.



20.6. Estudia la siguiente gráfica y contesta a las preguntas.

- ¿Qué proceso representa? ¿Qué indican las dos flechas situadas sobre la gráfica?
- ¿Qué debe ocurrir para que se desencadene la respuesta inmune?
- Enumera las diferencias principales entre estos dos procesos.
- ¿Qué tipo de anticuerpos se generan en cada uno de ellos?



- La gráfica representa la variación en la concentración de anticuerpos en el plasma a lo largo del tiempo. Se trata de la respuesta inmune primaria y secundaria. La primera flecha indica la respuesta primaria, la que sobreviene en el primer contacto con el antígeno; y la segunda señala la respuesta inmune secundaria, la que se produce ante sucesivos contactos.
- Que un antígeno logre sobrepasar las barreras inespecíficas de la defensa orgánica, y que este establezca contacto con un determinado linfocito B.
- La cantidad de anticuerpos que se producen, el tiempo que tardan en producirse tras la inyección del antígeno y el tiempo que permanecen en el plasma.
- Los anticuerpos que se producen en la respuesta inmune primaria son IgM. Los de la respuesta inmune secundaria son IgG.

La primera exposición al antígeno tarda en producirse, por lo que tiene una fase de latencia larga, durante la cual se identifica al antígeno y se forman clones de linfocitos B y T, que terminan neutralizando al antígeno, superándose así la enfermedad. Como se crean también células de memoria, la respuesta inmune secundaria tiene una fase de latencia mucho más corta y se producen muchos más anticuerpos, de modo que la enfermedad no llega a manifestarse. Estos anticuerpos, a diferencia de la respuesta inmune primaria, persisten en el plasma durante mucho más tiempo.

20.7. Referente a los linfocitos T.

- ¿Qué tipos de linfocitos T conoces y cómo actúa cada uno de ellos?
- Menciona dónde se originan y dónde maduran.

- Linfocitos T citotóxicos, colaboradores y supresores, y células de memoria. Los linfocitos T citotóxicos (CD8) reaccionan ante péptidos situados en la superficie de cualquier célula. Se fijan sobre ella, y liberan sustancias (citocinas, citotoxinas y linfoquinas) que la destruyen. Los colaboradores reconocen fragmentos unidos a proteínas del MHC en la superficie de los macrófagos, y liberan entonces linfoquinas que activan a los linfocitos citotóxicos y a los linfocitos B, que desencadenan la respuesta humoral. Los supresores disminuyen o atenúan la respuesta inmune. Las células de memoria son células que persisten en el tejido linfático, esperando un nuevo contacto con el antígeno.
- Los linfocitos T se originan en la médula y maduran en el timo.

Los linfocitos T son los responsables de la respuesta inmune celular, junto con los macrófagos. A estas células se las llama también células presentadoras de antígenos, porque cuando un antígeno invade al organismo, es captado por los macrófagos que, gracias a un conjunto de proteínas que constituyen el complejo principal de histocompatibilidad, lo fagocitan y muestran en su superficie los fragmentos del mismo. Los linfocitos T reconocen estos fragmentos, se activan y proliferan, dando lugar a los tipos de linfocitos citados.

20.8. El significado original de “antígeno” es generador de anticuerpos. Los antígenos son moléculas que cuando penetran en el organismo son reconocidas por algunos tipos celulares.

- Nombra los dos tipos principales de células sanguíneas que reconocen antígenos.
- Menciona cuál de estos dos tipos celulares está implicado en la respuesta humoral.
- Menciona cuál de estos dos tipos celulares está implicado en la respuesta inmune celular.
- Menciona cuál de estos dos tipos celulares, una vez reconocido el antígeno, induce la secreción de anticuerpos contra ese antígeno.

- Se trata de los linfocitos B y los linfocitos T.
- Los linfocitos B.
- Los linfocitos T.
- Los linfocitos B. Cuando un antígeno penetra en el organismo, acaba por encontrar un linfocito B que tiene en su superficie celular un anticuerpo complementario de ese antígeno. La unión entre ambas moléculas activa y hace proliferar a ese linfocito B, que responde dividiéndose en dos tipos de células:
 - Células plasmáticas, que son células dotadas de un RER sumamente desarrollado que produce grandes cantidades de anticuerpos libres. Las células plasmáticas permanecen en los ganglios, pero los anticuerpos circulan por la sangre y los tejidos.
 - Células de memoria. Algunos linfocitos no se transforman en células plasmáticas sino en células de memoria, y circulan mucho tiempo después en sangre, dispuestas a repetir el proceso.

20.9. Respecto al sistema inmune, responde a las siguientes cuestiones.

- ¿Qué tipo de biomoléculas son los anticuerpos?
- ¿Qué tipo de biomoléculas son los antígenos?
- ¿Cuáles son las características más importantes de la reacción antígeno-anticuerpo?
- ¿Qué células del organismo producen anticuerpos?

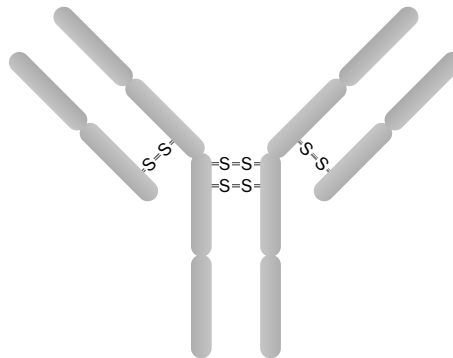
- Los anticuerpos son proteínas de conformación globular que, debido a sus propiedades, reciben el nombre de **inmunoglobulinas (Ig)**.
- Un antígeno es toda sustancia, ajena al organismo, capaz de desencadenar una respuesta inmune.
- El determinante antigénico de un antígeno se acopla con la porción variable de un anticuerpo, como lo hace una llave con su cerradura.

La unión tiene lugar mediante enlaces de Van der Waals, interacciones hidrofóbicas o iónicas, pero no se forman enlaces covalentes, por lo que la reacción es siempre **reversible**.

La reacción antígeno-anticuerpo es totalmente **específica**: un anticuerpo es capaz de reconocer entre miles de determinantes antigénicos a aquel que le es complementario. El resultado final consiste en la formación de complejos antígeno-anticuerpo que, posteriormente, son fagocitados.

- Los linfocitos B.

20.10. El esquema representa una de las moléculas más importantes en la respuesta inmune.

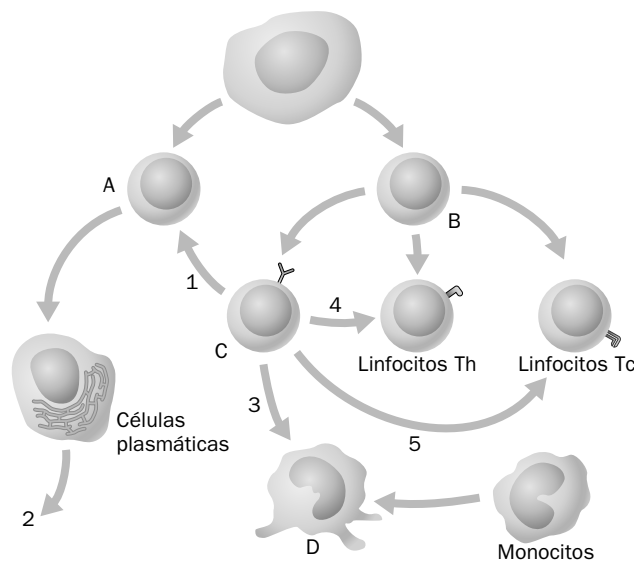


- Nombra esta molécula indicando su estructura y función.
- Indica qué células del cuerpo humano producen estas moléculas y explica de qué tipo celular proceden.
- Explica el papel de estas moléculas en las reacciones antígeno-anticuerpo.

- Se trata de una inmunoglobulina (Ig) o anticuerpo.
- Está formada por cuatro cadenas de aminoácidos unidas por puentes disulfuro y dispuestas en forma de Y. Hay dos cadenas largas, llamadas cadenas H, y dos cadenas cortas, llamadas cadenas L. Las cadenas H forman el soporte de la Y, son comunes a todos los anticuerpos, y constituyen la porción constante de la molécula. Las ramas de la Y son exclusivas de cada anticuerpo y son la porción variable o paratopo. Con ellas, se une el anticuerpo a un antígeno y solo a él, de modo que una molécula de anticuerpo puede fijarse, al menos, a dos moléculas del mismo antígeno durante la reacción antígeno-anticuerpo.
- Estas moléculas tienen la misión de atraer a los antígenos, y formar con ellos complejos antígeno-anticuerpo, que luego serán fagocitados por los macrófagos; son producidas por los linfocitos B, que son un tipo de glóbulos blancos.

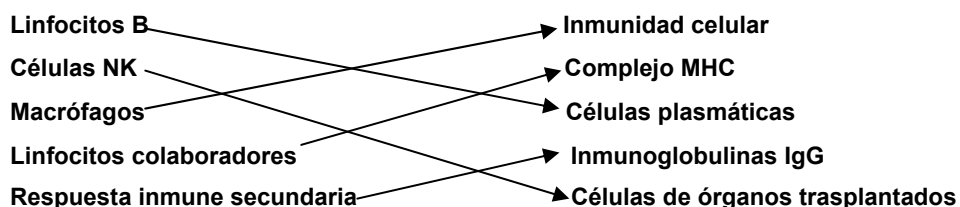
20.11. Estudia el siguiente esquema.

- Explica, de modo muy general, lo que representa.
- Identifica qué células son A, B, C y D.
- Indica qué sustancias o qué procesos representan los números 1, 2, 3, 4 y 5.



- Los procesos de inmunidad celular y humoral. El origen de estos dos mecanismos de defensa específica está en las células madre del tejido hematopoyético, que dará origen a los linfocitos B y T.
- A) Son los linfocitos B, que generan células plasmáticas por activación; B) son los linfocitos T, ya que su activación hace aparecer distintos tipos de linfocitos T; C) son los linfocitos T colaboradores (CD4), porque influyen sobre los linfocitos B, sobre los macrófagos y sobre los demás tipos de linfocitos T; D) son los macrófagos, que se originan de los monocitos.
1. Interleucinas. 2. Producción de anticuerpos. 3,4,5. Interleucinas.

20.12. Relaciona con flechas los términos de las dos columnas.



20.13. En una transfusión de sangre, es muy importante tener en cuenta que los glóbulos rojos del donante son células extrañas para el receptor, y que en su superficie existen moléculas que este va a percibir como antígenos. Se trata del sistema ABO. Sus posibles combinaciones originan los cuatro grupos de glóbulos rojos que se conocen.

- A, con antígeno A.
- B, con antígeno B.
- AB, con los dos.
- O, con hematíes sin antígenos.

Explica qué pasará si una persona del grupo A recibe una transfusión de un donante del grupo B.

Una persona del grupo A tiene glóbulos rojos que en su membrana expresan el antígeno A, y que es tolerado por el organismo. Si recibe sangre del grupo B, recibirá glóbulos rojos que expresan en su membrana el antígeno B. Este antígeno no será reconocido como propio, y se desencadenará contra él una respuesta inmunitaria con segregación de anticuerpos que pueden causar una conmoción al receptor, e incluso su muerte.

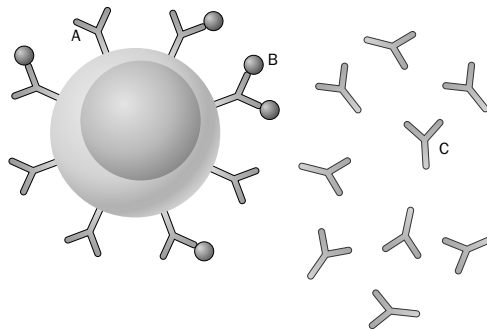
20.14. Define el concepto de inmunidad. Describe brevemente los tipos de inmunidad celular y humoral, e indica qué tipos de linfocitos intervienen en cada una de ellas.

La inmunidad es la respuesta del organismo para neutralizar o destruir cualquier molécula ajena al organismo –denominada antígeno–, independientemente de que sea o no perjudicial y de que se encuentre libre o formando parte de un germen.

Hablamos de inmunidad celular cuando los linfocitos T y los macrófagos son capaces de unirse a los antígenos y destruirlos.

Hablamos de inmunidad humoral cuando los linfocitos B fabrican proteínas específicas –los anticuerpos–, capaces de reconocer y unirse a antígenos destruyéndolos.

20.15. El esquema representa una célula del sistema inmunitario que interacciona, por primera vez, con un antígeno.



- a) ¿Qué tipo de célula es la que está representada en el esquema?
- b) ¿Qué representan las moléculas A, B y C?
- c) ¿Habrá alguna diferencia si el esquema representase un segundo contacto con el antígeno?

a) La célula representada es un linfocito B con anticuerpos anclados a su superficie, que actúan como receptores de antígenos. Los linfocitos T también reconocen antígenos, pero sus receptores no son anticuerpos.

b) A son anticuerpos con forma de Y. El tallo de la misma está formado por la porción constante de todos los anticuerpos, y las ramas contienen (dos veces) la porción variable, con la que se unen al antígeno. Son monómeros, por lo que se supone que se trata de IgD. B son antígenos. C son anticuerpos libres. No pueden ser IgG porque estamos en una respuesta primaria, ni IgM porque no son pentámeros. Solo pueden ser IgE o IgA.

c) Si se tratara de una respuesta inmune secundaria, esto es, en un segundo contacto con el antígeno, habría muchos más anticuerpos libres y serían IgG.

Hay anticuerpos de cinco clases, que son proteínas distintas que se basan en el número de subunidades que las forman –son monómeros, dímeros o pentámeros– y al número de moléculas de antígeno que, por esta razón, pueden fijar. Las IgG son las más abundantes, y atraviesan la placenta. Las IgA son dímeros, y están presentes en las secreciones. Las IgM son pentámeros, y aparecen en el primer contacto con el antígeno. Las IgE aparecen en fenómenos alérgicos, y de las IgD se sabe poco; aparecen en la superficie de los linfocitos B.

UN PASO MÁS

20.16 Un diseñador de videojuegos imagina cuatro escenas de persecución que deberán incluirse en la aventura que está desarrollando.

Primera escena: en penumbra, una criatura fantástica persigue a una legión de esferas negras y peludas, sobre las que descarga dardos fosforescentes. Algunos se clavan en algunas de ellas, pero no parece afectarles, dado que siguen corriendo. Hasta que aparece un gran sapo blanco, que se come a todas las criaturas negras que puede detectar...

Segunda escena: superada esta pantalla, las esferas negras y peludas que sobreviven llegan a una charca en la que habitan una especie de medusas dotadas de miles de tentáculos a las que atraen poderosamente. Las medusas se les pegan por todos los sitios, y unas y otras forman marañas que se mueven con dificultad... hasta que aparece otra vez el sapo blanco, que las engulle.

Tercera escena: las esferas que han sobrevivido al sapo por segunda vez nadan velozmente hacia una estructura que las atrae al tiempo que emite haces de luz por sus innumerables poros. Algunas esferas se introducen por los poros sin problemas, pero no así aquellas a las que se han unido pequeñas vesículas de gas. Estas ya no caben y, además, tienden a flotar.

Cuarta escena: finalmente, muchas de las criaturas negras pretenden atravesar una trama de algas que las lastra y dificulta su avance. Se agotan tratando de desligarse de ellas, y se hunden hasta el fondo de la charca, donde las espera, cómo no, de nuevo, el sapo blanco.

- a) Establece el paralelismo entre este esbozo de guión y el hecho biológico en el que pueda estar basado.
- b) Identifica los diferentes personajes que intervienen en la historia para rehacer el texto biológico original, en el que podría haberse inspirado el autor del videojuego.

a) Se trata de establecer un paralelismo entre este esbozo de guión con el hecho biológico en el que pueda estar basado. Sería conveniente, además, tratar de identificar a los diferentes personajes que intervienen en la historia para rehacer el texto biológico original.

b) El guión está basado en los diferentes tipos de reacción antígeno-anticuerpo que tienen lugar en el organismo, así como el destino de los complejos antígeno-anticuerpo que se forman.

La primera pantalla representa la reacción de la opsonización. Las esferas negras son los antígenos, y los dardos fluorescentes son las opsoninas, que permiten al sapo blanco (los macrófagos) situarlas en la penumbra y fagocitarlas.

La segunda pantalla representa la reacción de aglutinación. Las medusas son anticuerpos que, atraídas por las criaturas negras, los antígenos, forman agregados celulares que también son fagocitados por los macrófagos.

En la tercera pantalla se representa la neutralización. Las vesículas de gas (los anticuerpos) impiden a las esferas negras (los antígenos) la entrada en la estructura de luz (la célula); impiden la infección y las aleja de ella. Finalmente, la trama de algas (anticuerpos) forma una masa que, debido a su peso, se va al fondo. Representa la reacción de precipitación, en la que se forman grandes complejos tridimensionales que precipitan y son fagocitados por los macrófagos (es decir, el sapo).

20.17. Un estudio sobre la evolución de los procesos infecciosos en niños de 0 a 3 años revela lo siguiente:

“Existe una enorme incidencia de los procesos infecciosos a lo largo del primer año de escolarización, que disminuye sensiblemente en los años sucesivos hasta igualarse, el tercero, con la incidencia de estos procesos en niños que han permanecido en casa sin escolarizar.

La etapa de los 0 a los 3 años es la de mayor susceptibilidad a las infecciones, y los mecanismos de transmisión más frecuentes son la vía fecal-oral y la respiratoria.”

Da una explicación a este hecho y establece una relación con el desarrollo del sistema inmunitario.

La inmunidad pasiva que el feto o el recién nacido posee proviene de la madre, que suministra las IgG necesarias a través de la placenta o la lactancia. Persisten hasta los seis meses, durante los cuales, protegen al individuo de procesos infecciosos, mientras se va desarrollando poco a poco el sistema inmunitario propio, hasta que llega a ser capaz de elaborar por sí mismo una respuesta inmune.

La gran variedad de gérmenes y la facilidad del contagio debido al contacto con los otros niños justifican la enorme incidencia de procesos infecciosos durante el comienzo de la vida escolar, cuando se supone, además, que su sistema inmunitario no está totalmente desarrollado. La incidencia disminuye sensiblemente a medida que el organismo entra en contacto con nuevos patógenos, y la respuesta inmune fabrica células de memoria. Si el sistema inmune los “recuerda”, los segundos contactos con los patógenos no permiten que la enfermedad reaparezca.

Es de suponer que en casa, el número de gérmenes es menor y más difíciles las formas de contagio, dado el aislamiento respecto a otros niños. Y cuanto más tardan en aparecer los gérmenes, mayor será el desarrollo del sistema inmune y, por tanto, mayor también su capacidad de respuesta.

20.18. La publicidad de una empresa de cosméticos asegura lo siguiente:

“La nueva crema DERMOPLAST, además de hidratar y devolver la elasticidad y la consistencia a las pieles cansadas y envejecidas, contribuye a mantener en buen estado el manto ácido, porque evita la muerte de las células y mantiene el pH en valores de entre 7 y 7,32, que son los adecuados para que la piel haga frente a algunas agresiones bacterianas de la vida diaria.”

Sin entrar a valorar los beneficios reparadores de “Dermoplast” sobre la piel, redacta una crítica sobre las consideraciones que hace el anuncio acerca del manto ácido y su papel como barrera en las infecciones bacterianas.

La piel es una barrera defensiva inespecífica frente a las infecciones microbianas.

El manto ácido es una secreción cutánea integrada por el sudor que eliminan las glándulas sudoríparas, las grasas que producen las glándulas sebáceas y las células muertas que se desprenden del estrato córneo de la piel. Su nombre alude al pH que esta mezcla determina sobre la superficie del cuerpo, ligeramente ácido, que impide la colonización de los microorganismos, dado que estos necesitan valores de pH básicos o ligeramente básicos para sobrevivir.

Independientemente de las dudas acerca de si “Dermoplast” pueda evitar la muerte celular o no, no favorece a la piel algo que impide la renovación celular, dado lo importantes que son las células muertas para la formación del manto ácido. Si la crema determina un pH de entre 7 y 7,32 en el manto ácido, lejos de impedir, favorece el asentamiento de bacterias sobre la piel (las bacterias tratan de acceder a la sangre porque su pH, de 7,32, favorece su crecimiento). Finalmente, parece que “Dermoplast”, debido a sus propiedades, es especialmente efectiva ante determinadas especies bacterianas, cuando la piel es una barrera mecánica que produce una defensa inespecífica frente a la entrada de cualquier microorganismo.

20.19. ¿Qué explicación puedes dar al hecho de que un individuo pueda sufrir una enfermedad como el sarampión solo una vez en su vida? ¿Por qué no ocurre lo mismo con otras enfermedades como la gripe?

Debido a las células de memoria.

No ocurre lo mismo con la gripe porque el virus de la gripe dispone de componentes antigénicos sensibles a las mutaciones, por lo que solo provoca una inmunidad temporal.

ACTIVIDADES PAU RESUELTAS

21.1. La lactancia materna proporciona al recién nacido inmunidad natural pasiva.

- a) Explica en qué consiste este tipo de inmunidad.
- b) Pon otro ejemplo diferente de inmunidad natural pasiva.
- c) Explica en qué consiste la inmunidad artificial pasiva, y cuándo debe utilizarse.

Actividad resuelta en el libro del alumno.

21.2. Los trasplantes de órganos han evitado la muerte segura de un gran número de personas.

- a) Relaciona el trasplante de órganos con el sistema inmune de receptor y donante.
- b) Explica por qué se suele buscar el donante entre los miembros de la familia.
- c) Explica la importancia de los trasplantes con algún ejemplo concreto.

Actividad resuelta en el libro del alumno.

21.3. En los últimos años, y a pesar del enorme esfuerzo desarrollado, el número de personas afectadas por el sida sigue creciendo en el conjunto de la sociedad, y no solamente en los llamados “grupos de riesgo”.

- a) Señala cuáles son los efectos de esta enfermedad en el sistema inmunitario de las personas afectadas.
- b) Explica cuáles son las vías de transmisión del virus, y cómo se instala este en el organismo infectado.
- c) En relación con la cuestión anterior, indica cómo prevenir el contagio de esta enfermedad.

Actividad resuelta en el libro del alumno.

ACTIVIDADES

21.4. Construye un esquema con los tipos de inmunidad. Pon un ejemplo de cada uno de ellos.

La inmunidad puede ser congénita, como la que tiene el hombre ante la peste aviar, y puede ser adquirida, activa y pasiva. A su vez, la adquirida activa puede ser natural (padeciendo la enfermedad, por ejemplo, la viruela) o artificial (vacunación). La adquirida pasiva puede ser también natural (cuando la madre transmite inmunidad al feto) o artificial (cuando se administran sueros con inmunoglobulinas).

21.5. En algunas vacunas, hay que administrar varias dosis para alcanzar una protección suficiente.

- a) Explica qué ocurre al administrar la primera dosis y qué ocurre con dosis posteriores.
 - b) ¿En qué casos se espera que la vacuna reproduzca de forma atenuada algunos síntomas de la enfermedad?
 - c) ¿En qué casos la vacuna no va a producir ningún síntoma de la enfermedad?
- a) La primera dosis genera una respuesta inmune primaria en la que se producen anticuerpos contra el antígeno y células de memoria. Las dosis posteriores desencadenan una respuesta inmune secundaria: las células de memoria proliferan rápidamente, produciendo en un tiempo breve grandes cantidades de anticuerpos.
 - b) Cuando se utilizan vacunas obtenidas que atenúan la virulencia de las especies patógenas –lo que se llaman vacunas vivas, que son muy inmunógenas–, protegen durante mucho tiempo.
 - c) Con los diferentes tipos de vacunas no vivas. Las vacunas antiidiotipo y las de microorganismos muertos, que son menos inmunógenas.

- 21.6. La vacuna contra el sarampión produce inmunidad permanente, mientras que la de la gripe solo proporciona una protección temporal. Discute el porqué de estos hechos.**

El determinante antigénico del virus del sarampión es sumamente constante, y no parece sujeto a variabilidad genética; por tanto, siempre habrá células de memoria que puedan generar anticuerpos contra él tras la vacunación. No es el caso del virus de la gripe, cuyo antígeno, sumamente cambiante, genera numerosas cepas distintas. En cada campaña se vacuna con una mezcla de las últimas cepas aparecidas, lo que protege contra ellas, pero no contra las posibles mutaciones de las mismas.

- 21.7. En algunos casos, para defendernos de las infecciones, se aplican sueros utilizando mecanismos de inmunidad artificial pasiva.**

- a) Menciona qué tipos de moléculas son responsables de la inmunidad proporcionada por los sueros.
- b) Nombra un ejemplo de suero que sea de utilización habitual.
- c) ¿En qué ocasiones deben usarse sueros?
- d) Explica cómo se obtienen los sueros.

- a) Son inmunoglobulinas, anticuerpos.
- b) En los casos de hepatitis A y B se administra suero con IgG humana.
- c) Se emplean sueros cuando el individuo está sufriendo la enfermedad y no puede esperarse a que su sistema inmunológico trabaje, fabricando anticuerpos propios.
- d) Hasta hace unos años, se usaban anticuerpos producidos por otro animal, el caballo; este hecho generaba problemas en muchos casos, dado que el receptor puede formar IgE específicos contra esos anticuerpos. Actualmente, se ha abandonado esa práctica, y se inyectan inmunoglobulinas humanas obtenidas de sangre de un individuo inmune.

- 21.8. Explica cuándo es recomendable vacunar a un individuo y cuándo está indicado administrarle un suero. Explica también los efectos de cada tratamiento.**

La vacunación es un tratamiento preventivo. Se vacuna a un individuo cuando aún no ha sufrido la enfermedad, y con la esperanza de que no la padezca nunca. Se introducen los gérmenes atenuados o muertos para obligar al sistema inmunitario del receptor a fabricar anticuerpos. Estos permanecen en sangre durante un tiempo, y después desaparecen, pero quedan células de memoria que, llegado el caso, esto es, cuando aparezca el antígeno de nuevo, pueden actuar generando grandes dosis de anticuerpos contra él, manteniendo al individuo sano.

La sueroterapia se emplea cuando el individuo ya está sufriendo la enfermedad y no se puede esperar, por lenta, la respuesta inmune. Se inyectan anticuerpos preformados para ayudarle a superar el proceso. Estos desaparecen al cabo de poco tiempo, y la inmunización se anula porque no se han creado células de memoria.

- 21.9. Existe un gran número de cepas de la gripe en circulación, y cada una de ellas se encuentra en constante evolución. Cada año se fabrica una nueva vacuna contra las cepas de mayor peligrosidad.**

- a) ¿Qué es la vacunación?
- b) ¿En qué se diferencia la vacunación de la sueroterapia?
- c) ¿Cuál de los dos tipos de inmunización induce la formación de células de memoria?
- d) ¿Cómo se llaman estas células de memoria?

- a) La vacunación es un proceso de inmunización artificial activa que consiste en la inyección del antígeno atenuado en el organismo para inducir la formación de anticuerpos contra él.
- b) La vacunación obliga al sistema inmunitario a actuar, formando anticuerpos ante la presencia de un antígeno, aunque este esté atenuado. Se utiliza como medida preventiva en una persona sana, frente a una enfermedad que pudiera venir. La sueroterapia es una inmunización pasiva, en la que se introducen anticuerpos en el cuerpo de una persona ya enferma, a fin de ayudarle a superar la enfermedad, sin esperar a que su sistema inmunológico actúe.
- c) Solo crea memoria inmunológica la vacunación.
- d) Linfocitos B de memoria.

21.10. En algunas épocas del año, especialmente en primavera, suelen incrementarse los procesos alérgicos debidos a los pólenes. La llamada “fiebre del heno” está causada por el polen de gramíneas y afecta cada día a un mayor número de personas.

- a) ¿Qué es una alergia? Explica sus fases.
- b) En muchas ocasiones, es difícil distinguir los síntomas de una alergia de los de un simple resfriado vírico. ¿Qué tratamiento se debería aplicar en cada caso?
- c) Muchos pacientes polínicos toman “antihistamínicos”. Explica su acción.

- a) Es una hipersensibilidad de tipo I; una respuesta inmune excesiva ante el polen, con efectos perjudiciales para el organismo. La alergia comienza con la fase de sensibilización del organismo, cuando este entra en contacto por primera vez con el alérgeno (el polen). Este es fagocitado por los macrófagos, que presentan sus fragmentos en su superficie. Los linfocitos T reconocen estos fragmentos, y se unen a ellos segregando linfocinas. Estas linfocinas causan la maduración de los linfocitos B, que se transforman en células plasmáticas y liberan IgE. Las IgE se fijan a la superficie de los mastocitos. En un segundo contacto con el alérgeno, las moléculas de este se fijan a las IgE unidas a los mastocitos, lo que hace que estos liberen grandes cantidades de histamina y serotonina. Estas sustancias provocan vasodilatación capilar y un aumento de la permeabilidad, lo que provoca, a su vez, inflamación y enrojecimiento de la zona; son los síntomas de la alergia.
- b) Ante un resfriado vírico solo se pueden tratar los síntomas, no el virus. Si se trata de un proceso alérgico se pueden utilizar antihistamínicos.
- c) Los antihistamínicos son medicamentos que compiten con el alérgeno por las IgE. Si se fijan a las IgE de los mastocitos, estos no liberan histamina y no se producen los síntomas de la alergia.

21.11. Explica qué tipos de inmunoglobulinas se relacionan con los fenómenos alérgicos y cómo es esa relación.

Las inmunoglobulinas relacionadas con los fenómenos alérgicos son las IgE producidas por los mastocitos o células plasmáticas. La fase de sensibilización al alérgeno consiste en la formación de una serie de células, los mastocitos, que poseen en su superficie las IgE específicas contra él. En un segundo contacto, el alérgeno se une a estas IgE de los mastocitos, que liberan rápidamente grandes cantidades de histamina y serotonina, que son las sustancias causantes de la alergia.

21.12. ¿Por qué se dice que una inmunodeficiencia congénita no se manifiesta hasta los seis meses de edad?

Se supone que hasta los seis meses, el recién nacido dispone de los anticuerpos que le ha transmitido su madre a través de la placenta, lo que se llama inmunidad adquirida natural. Pasado ese tiempo, esos anticuerpos desaparecen porque se supone que el sistema inmune del niño comienza a desarrollarse. Si hay alguna inmunodeficiencia, se manifestará a partir de ese momento.

21.13. Se dice que la terapia de desensibilización en un proceso alérgico es similar a la administración de una vacuna. Explica por qué.

La desensibilización en un proceso alérgico sigue una pauta semejante a la de la vacunación, en el sentido de que se busca la respuesta inmune del organismo frente al alérgeno, como si fuera un antígeno cualquiera. Se inyectan dosis progresivas de alérgeno para que el organismo fabrique IgG en lugar de IgE. Las IgG no causan la liberación de serotonina ni histamina por parte de los mastocitos.

21.14. Explica qué es un alérgeno. Cita un mediador alérgeno responsable de los síntomas de la alergia. ¿Qué es un choque (*shock*) anafiláctico y qué consecuencias puede tener? Cita dos medidas para reducir los síntomas que se manifiestan en la alergia.

Un alérgeno es una sustancia normalmente inocua que el organismo no reconoce como propia, por lo que desencadena una respuesta inmune exagerada contra él. Son alérgenos el polen, el polvo, los ácaros, determinadas sustancias químicas, algunos fármacos, algunos alimentos, etc.

Un mediador responsable de los síntomas de la alergia es la histamina, que causa vasodilatación y un aumento de la permeabilidad en los capilares. Un choque (*shock*) anafiláctico es una reacción sumamente violenta que se origina cuando determinados alérgenos son introducidos directamente en sangre. Produce constricción bronquial, obstrucción de los capilares pulmonares, urticaria, hemorragias intestinales e insuficiencia cardíaca. Puede ser mortal.

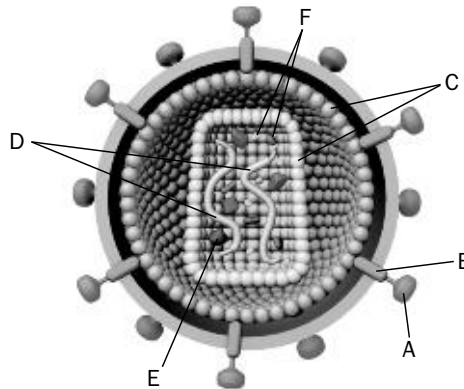
Como medidas para disminuir los síntomas alérgicos está el uso de antihistamínicos y la desensibilización.

21.15. La varicela es una enfermedad vírica que afecta a las vías respiratorias y a los ganglios linfáticos. Tras la diseminación del virus a través de la sangre aparecen lesiones cutáneas de carácter pápulo-vesiculoso que causan intenso picor por todo el cuerpo. Es una enfermedad altamente contagiosa, ante la que la vacunación no es eficaz.

Juan es un adulto de 40 años que padeció varicela a la edad de 6. Ahora cuida de su hijo de 3, aquejado de dicha enfermedad. Le han sugerido que no le lleve a la guardería para evitar el contagio de los otros niños, al menos hasta que empiecen a secarse las lesiones.

- a) ¿Es real la posibilidad de contagio de los demás niños?
 - b) ¿Existe riesgo de que Juan se contagie?
 - c) ¿La varicela es siempre una enfermedad infantil?
- a) Sí, es real. Dado que la vacunación contra la enfermedad no es eficaz, la única forma de inmunización es padecerla. Las posibilidades de contagio en una guardería son altísimas. Evidentemente, solo se contagiarán aquellos niños para los que el virus de la varicela es un antígeno desconocido. Los demás desarrollarán una respuesta inmune secundaria, y no sufrirán la enfermedad de nuevo.
 - b) No hay riesgo de contagio para el padre del niño, que ya está inmunizado desde que sufrió la enfermedad. Su sistema inmune sigue teniendo linfocitos de memoria contra ella.
 - c) Cualquier persona, a cualquier edad, es susceptible de padecer la enfermedad si no está inmunizado.

21.16. El esquema representa el virus del síndrome de la inmunodeficiencia adquirida (sida).



- a) Explica el nombre del virus (VIH).
 - b) Identifica sus partes.
 - c) ¿Cuáles de ellas permiten clasificarlo como un retrovirus envuelto?
- a) El VIH es el virus responsable del síndrome de la inmunodeficiencia humana (sida).
 - b) (A) GP 120, una proteína unida a un vástago que es la proteína GP 41, inmersa a su vez en la bicapa lipídica de la envuelta. (B), (C) Son proteínas de la cápsida P 24 y P 17. (D) Representa las moléculas de ARN monocatenario. (E) Son las moléculas de transcriptasa inversa. (F) Son nucleoproteínas.
 - c) Es un retrovirus, dado que su genoma está integrado por dos moléculas de ARN. Y es un virus envuelto por la existencia de una bicapa lipídica que rodea a la cápsida.

21.17. Marzo de 1985, por casualidad, en un análisis de rutina se descubre que Pablo, un niño de 18 meses, es seropositivo. Un estudio de los demás miembros de la familia revela esta misma situación para sus padres, pero no así para su hermano mayor, que, en este momento, tiene 7 años. Indagando sobre el posible mecanismo de contagio, se buscan antecedentes familiares y se obtienen los siguientes datos:

1. La madre ha padecido Hepatitis A seis años atrás.
2. Su hermano no ha tenido ninguna enfermedad reseñable, salvo catarros y un herpes labial.
3. Su padre tampoco ha sufrido ninguna enfermedad, aunque hace tres años pasó por un fuerte politraumatismo y un proceso hemorrágico importante a causa de un accidente de tráfico.

INFORME MÉDICO		HOSPITAL CLÍNICO VIRGEN DE LA SALUD
Exploración Dr. _____	Nº Colegiado _____	
Paciente: _____		
Edad: _____	Sexo: _____	Residencia: _____
<i>La madre ha padecido hepatitis A seis años atrás. Su hermano no ha tenido ninguna enfermedad reseñable, salvo catarros y un herpes labial. Su padre tampoco ha sufrido ninguna enfermedad, aunque hace tres años pasó por un fuerte politraumatismo y proceso hemorrágico importante a causa de un accidente de tráfico.</i>		

- a) Explica las distintas vías de contagio del VIH.
 - b) Trata de establecer la posible vía de contagio para todos los seropositivos de esta familia.
 - c) ¿Por qué no es seropositivo el hermano mayor de Pablo?
 - d) ¿Qué relación existe entre el VIH y la Hepatitis A de la madre?
- a) El VIH se contagia por contacto entre fluidos que puedan contener suficiente carga viral, como el semen o la sangre. Por tanto, las vías de contagio son: 1. Relaciones sexuales sin protección, 2. Contacto materno-filial a través de la placenta o la lactancia y 3. Compartir objetos punzantes o cortantes con seropositivos. En los 80 se produjeron contagios por transfusión sanguínea.
 - b) Lo más probable es que Pablo haya sido contagiado por su madre a través de la placenta. Su madre ha podido ser contagiada por contacto sexual con su padre. Y su padre ha podido convertirse en seropositivo a raíz de la transfusión con motivo del accidente.
 - c) El hermano no ha sido contagiado por haber nacido cuando sus padres eran seronegativos.
 - d) Ninguna.

21.18. Observa el siguiente esquema y contesta a las preguntas.



- a) ¿Qué significa el proceso número 3? ¿Por qué se dice que es un proceso imprescindible para la infección del VIH?
 - b) La flecha 1 solo sería aplicable a tejidos proliferativos en un adulto. ¿Puede darse este proceso en otros tejidos, no proliferativos, en un individuo adulto?
- a) La flecha 3 representa el proceso de transcripción inversa, que debe desarrollar el VIH para traducir su material genético (ARN monocatenario) a ADN, que es el lenguaje genético de la célula a la que pretenden parasitar los linfocitos T4.
 - b) La flecha 1 representa la duplicación del ADN. Las células duplican su ADN cuando pretenden dividirse, y esto ocurre en casi todas las células durante la fase de crecimiento. En el adulto es un proceso restringido a la epidermis, la médula roja, la mucosa del tubo digestivo, etc. Salvo en estos tejidos, no hay proliferación celular. Si ocurre, estaríamos ante un proceso cancerígeno.

21.19. Los prospectos de dos fármacos, A y B, proporcionan la siguiente información:

- A. Composición:** inmunoglobulinas humanas. Contiene principalmente IgG, con un amplio espectro de anticuerpos contra diferentes agentes infecciosos.
Indicaciones: se aplica a pacientes con deficiencia de anticuerpos.
- B. Composición:** contiene bacterias *Salmonella typhi* vivas (Aprox. $2 \cdot 10^9$ por cápsula) e inactivas (aprox. $5 \cdot 10^9$ por cápsula).
Indicaciones: proporciona inmunización contra la fiebre tifoidea.
- a) ¿Cuál proporciona inmunización activa y cuál inmunización pasiva? Explícalo.
- b) Justifica por qué está indicado un tratamiento con el fármaco A en el caso de una infección por el VIH.
- c) Una persona que debe viajar a una zona tropical consulta a su médico sobre la conveniencia de tomar el fármaco B para evitar contraer la fiebre tifoidea. El médico se lo desaconseja porque cree que será poco eficaz, dado que esta persona toma también el fármaco A. Justifica el consejo del médico, basándote en las composiciones e indicaciones de los dos fármacos.
- a) El fármaco A son IgG, anticuerpos, un suero, y crea inmunización pasiva temporal y sin memoria, porque el sistema inmune del receptor de estos anticuerpos no actúa. B crea una inmunización activa duradera y con memoria, porque las bacterias, atenuadas o no, son antígenos que obligan al sistema inmunitario del paciente a actuar.
- b) Porque la infección del VIH crea inmunodeficiencia, destrucción progresiva de los linfocitos T4 que conlleva una ausencia de respuesta inmune por falta de anticuerpos y de células defensivas. El fármaco A suprimiría parcialmente la ausencia de respuesta.
- c) Si toma el fármaco A es porque su sistema inmune está alterado y no produce respuesta al fabricar anticuerpos. Tampoco lo haría frente a los antígenos del fármaco B, por lo que sería totalmente ineficaz e incluso perjudicial, dado que también contiene bacterias vivas.

21.20. Un laboratorio de anatomía patológica analiza las muestras de una biopsia con el fin de detectar un posible tumor.

Enumera los criterios que se pueden tener en cuenta para identificar las células tumorales.

Se trata de una masa de células sin las características morfológicas de las células del tejido en el que se encuentran, y que tampoco realizan las funciones asignadas. Se detecta en ellas un metabolismo alterado y muy intenso, además de procesos de proliferación rápidos y alterados. Poseen anomalías cromosómicas como aneuploidías y citoesqueleto anormal. Poseen un glicocálix reducido o carecen de él, y antígenos de superficie distintos a los de las células normales.

21.21. En una operación para extirpar un cáncer de mama, el cirujano ha tenido especial cuidado en resear los vasos linfáticos de la zona. ¿Qué sentido puede tener esta acción? Diferencia entre tumor benigno, cáncer y metástasis.

Pretende evitar la diseminación de las células cancerosas hacia otras partes del cuerpo a donde pudieran llegar a través del sistema linfático. La mama tiene la axila en sus proximidades, que, como todos los pliegues anatómicos (rodillas, cuello, ingles, etc.), cuenta con una gran cantidad de vasos linfáticos.

Tumor benigno es una masa de células anormales que invade los tejidos circundantes, pero que tiene un crecimiento limitado. **Cáncer** es una masa de células que se divide sin límite y que se extiende a otros órganos. Una **Metástasis** se forma cuando un grupo de células cancerosas escapan del órgano dañado y emigran a través de la sangre a otro órgano en el que generan un nuevo tumor.

21.22. Una mujer de 48 años fue diagnosticada de cáncer de mama y se procedió con ella con el protocolo normal para este tipo de enfermos: primero fue sometida a cirugía, luego a un tratamiento de radioterapia y quimioterapia, y finalmente a un trasplante de médula.

Explica cada uno de los pasos dados por el oncólogo.

La cirugía se emplea para extirpar el tumor o los tejidos afectados. Es un tratamiento bastante eficaz que permite el análisis del tumor. Es efectivo, sobre todo, en casos en que está bien delimitado. La quimioterapia es el empleo de fármacos que detienen la proliferación celular del tumor. Tiene el problema de que destruye también células sanas. La radioterapia utiliza rayos X y rayos gamma para destruir el tumor o inducir la apoptosis celular.

El trasplante de médula ósea consiste en destruir con radiación o quimioterapia las células madre del paciente para implantar otras extraídas de un donante compatible con el receptor, a fin de reforzar o restablecer su sistema inmune.

21.23. Explica la técnica para obtener anticuerpos monoclonales.

Los anticuerpos monoclonales son anticuerpos capaces de reconocer a un único antígeno. Se utilizan para detectar variaciones de las moléculas de la superficie de las células por pequeñas que estas sean. Son sumamente útiles en el diagnóstico médico, en la detección del cáncer y en el tratamiento de distintas enfermedades. En principio, se aislaron clones de células plasmáticas que producían un solo tipo de anticuerpos, pero no sobrevivían en los cultivos de tejidos. En 1975 se consiguió que sobrevivieran indefinidamente al fusionarlas con células cancerosas de un mieloma de ratón. Estas células, llamadas "hibridomas", pueden producir cantidades ilimitadas de un determinado anticuerpo.

21.24. En algunas ocasiones, tras un trasplante sobreviene el rechazo por el receptor del órgano trasplantado.

- a) **Explica este fenómeno desde el punto de vista bioquímico.**
 - b) **Relaciónalo con alguna de las características de las proteínas.**
 - c) **¿Por qué disminuye el riesgo de rechazo con la consanguinidad entre el donante y el receptor del trasplante?**
- a) Los antígenos de superficie de las células del injerto –los llamados antígenos de histoincompatibilidad (MHC)– son desconocidos para el sistema inmunitario del receptor, que por eso reacciona en su contra.
 - b) Se relaciona con la especificidad de las proteínas de cada individuo.
 - c) El rechazo está en función de lo diferentes que sean los antígenos de superficie (proteínas MHC) del donante y del receptor; a medida que aumenta el grado de consanguinidad, estas diferencias disminuyen.

21.25. ¿Qué es, quién la produce y para qué sirve una ciclosporina?

Son fármacos procedentes de hongos. Son sustancias inmunosupresoras que actúan sobre los linfocitos T implicados en el rechazo, sin afectar al resto de las células inmunitarias, que pueden luchar así contra el desarrollo de las infecciones postrasplante.

21.26. Los trasplantes son procedimientos quirúrgicos útiles en casos de insuficiencias irreversibles de órganos y sistemas.

- a) Indica cuál es el mayor problema que se puede presentar con posterioridad a la ejecución de un trasplante, qué moléculas son las desencadenantes del mismo y cuáles son las células que primero actúan.
 - b) Cita el tipo de fármacos que se utilizan para evitarlo.
 - c) Cita y define cuatro tipos de trasplantes según el origen del órgano o tejido trasplantado.
- a) El mayor problema que puede presentarse es el rechazo, una respuesta inmunológica contra el órgano trasplantado. Los antígenos de superficie de las células del injerto –los llamados antígenos de histoincompatibilidad (MHC)– son desconocidos para el sistema inmunitario del receptor, que por eso reacciona en su contra. Las primeras células que actúan son los macrófagos.
 - b) Para evitarlo, se utilizan tratamientos con inmunosupresores como la ciclosporina, que intentan disminuir la actividad del sistema inmunitario en los días posteriores al trasplante.
 - c) Dependiendo de la procedencia del órgano trasplantado, se habla de autoinjerto si procede de la misma persona; isoinjerto cuando proviene de un individuo genéticamente idéntico al receptor; aloinjerto cuando donante y receptor son de la misma especie pero son individuos genéticamente distintos; y xenoinjerto cuando donante y receptor pertenecen a especies distintas.

UN PASO MÁS

21.27. En un manual de supervivencia puede leerse el siguiente texto, en relación con el tétanos:

“Se trata de una enfermedad infecciosa causada por una bacteria anaerobia que se encuentra habitualmente en el suelo, en excrementos de caballo y otros animales. Infecta heridas hechas con objetos cortantes, oxidados o sucios que tienen las esporas. Cuando la herida se cierra, se crea el medio anaerobio necesario y la spora se desarrolla dando origen a la bacteria, que prolifera. Producen una toxina muy potente que se une irreversiblemente a las terminaciones sinápticas, bloqueando la transmisión del impulso nervioso. Las contracciones musculares son cada vez más violentas, sin períodos de relajación. El corazón termina parándose en sístole.”

Explica cómo podría evitarse la acción de la toxina tetánica.

Hay tres maneras: evitar la contaminación de la herida por el *Clostridium tetani*, inyectar la gammaglobulina antitetánica y vacunar contra el tétanos.

21.28. En una revista de divulgación puede leerse lo siguiente:

“...a la mujer, embarazada de un feto Rh (+), se le administró nada más dar a luz una vacuna de gammaglobulinas con el fin de evitar, en un embarazo posterior, la eritroblastosis fetal; una enfermedad debida a la aglutinación de los eritrocitos.”

- a) ¿Se trata de un proceso de vacunación?
 - b) ¿Qué efecto desencadenan las gammaglobulinas inyectadas?
 - c) ¿Qué quiere decir “aglutinación de los eritrocitos”? ¿Qué significan los términos Rh (-) y (+)?
- a) No es un proceso de vacunación, sino de inmunización pasiva.
 - b) Las gammaglobulinas se fijan al antígeno D de la superficie de los glóbulos rojos, de modo que el sistema inmune de la madre no tendría que fabricar anticuerpos contra él.
 - c) Es una reacción antígeno-anticuerpo. Se forman grupos que resultan de la reacción de aglutinación entre los glóbulos rojos.
- El factor Rh es un sistema de grupos sanguíneos basados en la presencia (Rh+) o en la ausencia (Rh-) de una proteína D en la membrana de los glóbulos rojos.

21.29. Un periódico da cuenta en su página de sucesos de la oposición por parte de los padres de los alumnos de una escuela de educación infantil a que sus hijos permanezcan en la misma clase que un niño seropositivo, por el riesgo de contagio que este pueda suponer.

- a) ¿Qué es un seropositivo? ¿Qué modos existen de llegar a ser seropositivo? ¿Cómo ha podido contagiarse el niño?**
- b) Discute si son fundados los temores de los padres de los otros alumnos.**

- a) Un seropositivo es un individuo que posee anticuerpos producidos por su sistema inmune frente al VIH. Se llega a ser seropositivo por contacto entre fluidos con suficiente carga viral, como la sangre, el semen o los fluidos vaginales, por contacto materno filial, o a través de la placenta o la lactancia. También por compartir objetos cortantes o punzantes con otro seropositivo. La vía más probable de contagio en este caso es la materno filial.
- b) No son fundados. Las posibilidades de contagio en una guardería son mínimas. La saliva o las lágrimas no contienen suficiente carga viral para producir contagio. Tampoco es un riesgo compartir objetos como juguetes, cubiertos, chupetes, etc., por la misma razón.

21.30. En un artículo de periódico titulado “Curado un cáncer de piel con células del propio paciente” se puede leer:

“Con un novedoso sistema in vitro, lograron aislar un solo tipo de linfocitos T4, a los que estimularon con fragmentos de ADN de un antígeno, el NY-ESO-1, que también se encuentra en la membrana de las células tumorales de algunos pacientes. A continuación, clonaron estas células hasta lograr 5000 millones de copias y se las inyectaron al paciente. Una vez en el torrente sanguíneo, las células T4 actúan como células colaboradoras. Producen una serie de señales moleculares que desencadenan el proceso de destrucción del tumor. En concreto, contribuyen a generar linfocitos T8 que directamente aniquilan las células tumorales perforando su membrana.”

- a) Define linfocitos T4, señales moleculares y linfocitos T8.**
- b) Explica la razón de la desaparición del tumor.**

- a) Los linfocitos T4 son los llamados linfocitos colaboradores, que proliferan cuando establecen contacto con el antígeno. Las células T8 son los linfocitos citotóxicos que destruyen las células diana y evitan una respuesta desproporcionada. Las señales moleculares a las que se refiere el texto son las linfocinas, citotoxinas y citocinas liberadas por las células T y que causan la lisis de las células infectadas; en este caso, las células cancerosas.
- b) Con el cultivo de los linfocitos T4 estimulados con el antígeno NY-ESO-1 se obtiene una inmensa cantidad de células que van a reaccionar selectivamente, liberando sustancias citotóxicas solo contra las células tumorales, que poseen en superficie ese mismo antígeno. Los linfocitos T4 estimulan también la formación de linfocitos T8, que también causan la destrucción de las células del tumor.