

Guía del profesor

2

bachillerato

Biología

Mariano García Gregorio
Josep Furió Egea
M^a Ángeles García Papi

Guía Didáctica

bachillerato 2

Biología

Mariano García Gregorio
Josep Furió Egea
M^a Ángeles García Papí

Biología

2 bachillerato

©ES PROPIEDAD
Mariano García Gregorio
Josep Furió Egea
M^a Ángeles García Papi
Editorial ECIR, S.A.

ISBN: 978-84-9826-526-2

Diseño de interior: Diseño gráfico ECIR
Edición: Editorial ECIR
Impresión: Industrias gráficas Ecir (IGE)

Ilustraciones: Diseño Gráfico ECIR
Diseño e ilustración cubierta: Valverde e Iborra / Diseño gráfico ECIR

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 interactivo. Situar el cursor sobre el tema al que se desee ir y hacer clic.

<u>1</u>	Bioelementos y biomoléculas inorgánicas	5
<u>2</u>	Los glúcidos.....	13
<u>3</u>	Los lípidos	21
<u>4</u>	Las proteínas	29
<u>5</u>	Nucleótidos y ácidos nucleicos.....	37
<u>6</u>	Introducción a la célula	45
<u>7</u>	La envoltura celular	53
<u>8</u>	Citosol y citoesqueleto	63
<u>9</u>	Ribosomas y sistemas de endomembranas	71
<u>10</u>	Orgánulos energéticos	79
<u>11</u>	Núcleo. Mitosis y meiosis	87
<u>12</u>	Introducción al metabolismo. ATP y enzimas	97
<u>13</u>	Respiración y fotosíntesis	103
<u>14</u>	Las leyes de la herencia	113
<u>15</u>	Los genes y su función	131
<u>16</u>	Mutaciones y manipulaciones genéticas.....	141
<u>17</u>	Biología de los microorganismos.....	153
<u>18</u>	Microbiología aplicada	161
<u>19</u>	Inmunología.....	169
SOLUCIONARIO CUADERNO DE ACTIVIDADES		181
BIBLIOGRAFÍA		193

BIOELEMENTOS Y BIOMOLÉCULAS INORGÁNICAS



1. INTRODUCCIÓN

El presente tema aborda el estudio de la vida partiendo del nivel más sencillo: los elementos que la componen. Utilizamos para ello una clasificación funcional que agrupa a los diferentes bioelementos en tres grupos según su abundancia y en función de los tipos de biomoléculas que integran.

A continuación se realiza un estudio del agua en el que se deducen sus propiedades fisicoquímicas a partir de su estructura molecular, las relaciones que se establecen entre las moléculas de este compuesto singular y las consecuencia de todos estos fenómenos para la vida. El estudio de las

sales minerales comporta el análisis del concepto de pH y de los diferentes tipos de dispersiones. El tema concluye explicando los tipos de dispersiones que presentan las partículas de las sustancias en el seno del agua y los fenómenos que estas partículas provocan en relación con su movimiento y transporte a través de membranas (difusión, diálisis y ósmosis).

El documento final realiza un estudio de cierta complejidad sobre la nucleosíntesis de los bioelementos y los ámbitos del Universo donde se ha producido y se produce todavía.

2. TEMPORALIZACIÓN

Incluyendo una sesión para la evaluación, el tema debería desarrollarse en 5 sesiones de clase.

3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Estudiar y clasificar de una manera funcional los elementos químicos que forman parte de la materia viva.
2. Relacionar la abundancia de los bioelementos con su biodisponibilidad y deducir de ello consecuencias evolutivas.
3. Analizar la estructura molecular del agua y deducir de ella sus propiedades fisicoquímicas y las consecuencias e implicaciones de las mismas para las funciones biológicas.
4. Definir de forma significativa los términos acidez y basicidad, pH y disolución tampón y analizar en que forma intervienen en la elucidación de los procesos biológicos.
5. Caracterizar la diversidad de sales minerales presentes en los seres vivos e identificar las funciones biológicas que realizan.
6. Explicar los fenómenos que las partículas dispersas originan en el seno del agua.
7. Realizar algún experimento para estudiar el fenómeno osmótico, p. e. el estudio práctico de la turgescencia y la plasmólisis en células de la epidermis de cebolla.
8. Analizar de que forma se han sintetizado los procesos de nucleosíntesis de los bioelementos.

4. CONTENIDOS CONCEPTUALES

1. *Los elementos de la vida.*
 - Bioelementos principales: C, H, O, N, P y S.
 - Bioelementos secundarios: Ca, Mg, Na, K, Cl.
 - Oligoelementos.
2. *Las biomoléculas.*
3. *El agua.*
 - Estructura de la molécula de agua.
 - Propiedades fisicoquímicas del agua: importancia para la vida.
 - Disociación del agua.
4. *Las sales minerales.*
 - Regulación del pH.
 - Propiedades de las dispersiones.

5. SOLUCIONES Y COMENTARIOS

A. ACTIVIDADES VINCULADAS AL TEXTO

1 Los elementos de la vida

Actividades pág. 15

- a *¿Cuáles son los oligoelementos universales? ¿Por qué se denominan así?*
- b *¿Qué características comunes presentan los bioelementos primarios? ¿Y los bioelementos secundarios? ¿Y los oligoelementos?*
- c *El As es un veneno violento para las personas. Sin embargo viene en nuestra lista de oligoelementos. ¿Cómo se puede explicar esta aparente contradicción?*
- d *¿Qué elemento es más importante para el mantenimiento de la vida de un mamífero, el C o el Co? ¿Por qué?*
- e *Busca en la red la función biológica y algunos organismos en los que aparecen los siguientes oligoelementos: níquel, arsénico, cromo y vanadio.*

Soluciones:

- a Mn, Fe, Co, Cu y Zn. Se denominan universales porque existen en todos los seres vivos.
- b Los bioelementos principales presentan las siguientes características:
 - 1. Forman entre ellos con facilidad enlaces covalentes, compartiendo pares de electrones.
 - 2. Pueden compartir más de un par de electrones, formando enlaces dobles o triples, lo cual les dota de una gran versatilidad para formar compuestos químicos diferentes.
 - 3. La estabilidad de un enlace covalente es mayor cuanto menor es masa atómica de los átomos que lo forman. Los bioelementos principales son los elementos más ligeros con capacidad de formar enlaces covalentes, por lo que dichos enlaces son muy estables.
 - 4. A causa de la configuración tetraédrica de los enlaces del carbono, los diferentes tipos de moléculas orgánicas tienen estructuras tridimensionales diferentes. Ello da lugar a la existencia de estereoisómeros que los seres vivos diferencian y seleccionan.
 - 5. Es particularmente significativa la capacidad del carbono para formar enlaces estables carbono-carbono, llegando a formar largas cadenas carbonadas lineales,

ramificadas, anillos, etc., así como para unirse a otros elementos químicos, aumentando la posibilidad de crear nuevos grupos funcionales (aldehído, cetona, alcohol, ácido, amina, etc.) que originan compuestos orgánicos muy diversos.

Los bioelementos secundarios son metales y desempeñan tanto un papel estructural como funcional.

Los oligoelementos son tanto metales como no metales (aunque los esenciales son todos metales) y tienen en común presentarse en muy bajas concentraciones.

- b "El veneno es la dosis" dice el aforismo clásico. La cantidad de As presente en los seres vivos está muy por debajo de la dosis tóxica.
- c Teniendo en cuenta que un mamífero no puede vivir si le falta cualquiera de los dos tanta importancia tiene uno como el otro.
- d Recomendamos iniciar la búsqueda en alguna referencia como Wikipedia (es.wikipedia.org/wiki/Elemento_químico_esencial) y continuar refinándola.

2 Las biomoléculas

Actividades pág. 16

- a *¿Cuál es la sustancia que mayor número de moléculas diferentes presenta en la bacteria *E. coli*? ¿Por qué?*
- b *El CaCO_3 tiene un átomo de carbono en su molécula. ¿Es una biomolécula orgánica o inorgánica?*
- c *¿Por qué hay, en *E. coli*, más moléculas de RNA que proteínas?*

Soluciones:

- a La molécula más abundante en *E. coli* es el agua. El tipo molecular más diversificado es el RNA. Superan al número de proteínas porque además de los mRNA que codifican proteínas, hay tRNA y rRNA.
- b Los carbonatos se consideran como sustancias inorgánicas: están formados por el ión carbonato CO_3^{2-} y cationes, unidos entre sí por enlace iónico.
- c (Ver a)

3 El agua

Actividades pág. 17

- a Estudia la tabla II y justifica la diferencia porcentual en las siguientes parejas: 1) Medusa - Hombre adulto; 2) Diente - Cerebro. 3) Feto humano- Hombre adulto. 4) Alga- Liquen.
- b ¿Tiene sentido que los científicos espaciales investiguen la presencia de agua en otros mundos? ¿Por qué?
- c ¿Cómo te explicas que siendo el agua una molécula plana, el hielo tenga estructura tetraédrica?

Soluciones:

- a La medusa es un invertebrado, sin tejidos compactos, formada únicamente por endodermo, ectodermo y una capa gelatinosa hidratada intermedia, la mesoglea. En un hombre adulto hay tejidos compactos como los que forman los huesos y los tendones.

El diente, en un porcentaje elevado, está formado por esmalte y dentina muy pobres en agua, mucho más abundante en el tejido nervioso que forma el cerebro.

Una persona adulta presenta un mayor porcentaje de tejidos compactos (óseo, conjuntivo denso, etc.), que un feto.

Los líquenes están formados por la asociación simbiótica de un alga y un hongo. Las células del alga contienen una gran vacuola central con mucha agua, a diferencia de las células del hongo; por ello las algas presentan un mayor porcentaje de agua.

- b La presencia de agua es una condición básica para la existencia de la vida, tal como generalmente se define ésta. Por ello la búsqueda de agua es sinónimo de búsqueda de vida y de ahí el interés de esas investigaciones.
- c La molécula de agua es plana puesto que tres partículas en el espacio (los dos átomos de H y el de O) sólo pueden determinar una línea o un plano. Sin embargo los orbitales electrónicos enlazantes y los no enlazantes se disponen en la posición espacial más alejada posible, esto es, en disposición tetraédrica con el átomo de oxígeno en el centro (ver figura 3.1, pag. 17 del libro del alumno). Una molécula de agua puede formar hasta cuatro puentes de hidrógeno, que en el caso del hielo son permanentes.

Actividades pág. 19

- a ¿Por qué no se hielan los líquidos corporales de los peces cuando nadan en agua a temperaturas próximas a $-0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$? ¿Se podrían beber esas aguas?
- b El alcohol se disuelve muy bien en agua, pero la gasolina no. ¿Cómo te explicas que siendo ambas sustancias compuestos orgánicos y combustibles de alto poder calorífico tengan un comportamiento tan diferente?
- c Generalmente, antes de llover hace más frío que después. ¿Tiene explicación este fenómeno?
- d ¿A qué se denomina capa de hidratación?

Soluciones:

- a Porque los líquidos corporales de los peces y demás animales acuáticos no están constituidos por agua pura sino que son disoluciones cuyo punto de congelación está por debajo de $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Las aguas que no se congelan a $-0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (como las aguas marinas) pueden tener un elevado contenido en sales, por lo que en principio no son recomendables para ser bebidas.
- b Sencillamente porque ambas características no están relacionadas por ninguna razón físicoquímica.
- c La condensación del vapor de agua en agua líquida que se produce cuando llueve conlleva la liberación de energía térmica (calor latente de condensación) al aire circundante, lo que hace que éste aumente su temperatura.
- d Al conjunto de moléculas de agua que rodean a los cationes y aniones de los compuestos iónicos y los mantienen en disolución.

Actividades pág. 20

- a Al iluminar un cloroplasto, el pH de los tilacoides pasa de $\text{pH} = 7$ a $\text{pH} = 5$. ¿Cuánto ha variado la concentración de iones hidrógeno por litro?
- b Bebo un zumo de tomate $\text{pH} = 4$ y al cabo de poco tiempo de mezclarse con el jugo estomacal, el $\text{pH} = 2$? ¿Cuánto ha variado la concentración de iones hidrógeno por litro?
- c Compara el caso a y el b. ¿Es igual la variación?

Soluciones:

- a $10^{-5}\text{ M} - 10^{-7}\text{ M} = 0,99 \times 10^{-5}\text{ M}$
- b $10^{-2}\text{ M} - 10^{-4}\text{ M} = 0,99 \times 10^{-2}\text{ M}$
- c La variación de b) es 1000 veces mayor que la variación en el caso a)

4 Las sales minerales

Actividades pág. 21

- a ¿Por qué es importante que los fluidos biológicos mantengan su pH dentro de ciertos límites?
- b Indica cómo reacciona el tampón fosfato: a) cuando se añade un ácido; b) cuando se añade una base; c) cuando se añade una sustancia a pH = 7; cuando se añade agua de mar; cuando se añade agua pura.

Soluciones:

- a Porque las reacciones bioquímicas tienen un pH óptimo. Si nos alejamos de ese valor su rendimiento disminuye hasta llegar a ser cero.
- b El pK del tampón fosfato es de 6,86. Al añadir:
- a. Un ácido a una disolución de este tampón, la reacción se produce en el sentido
- $$\text{HPO}_4^{2-} + \text{H}^+ \rightarrow \text{H}_2\text{PO}_4^-$$
- b. Una base a una disolución de este tampón la reacción se produce en el sentido
- $$\text{HPO}_4^{2-} + \text{H}^+ \leftarrow \text{H}_2\text{PO}_4^-$$
- c. El agua del mar es ligeramente alcalina por lo que la reacción será como b.
- d. Al añadir agua pura la reacción se mantiene en estado de equilibrio sin desplazarse en ningún sentido.

Actividades pág. 24

- a Los colirios son medicamentos que se aplican depositando gotitas sobre la superficie del ojo. El prospecto nos indica que se trata de una disolución isotónica (isotónica). ¿Es importante ese dato o realmente lo único importante es el principio activo (la sustancia que cura) contenido en el colirio.
- b ¿Es lo mismo una diálisis que una filtración? ¿En qué se diferencian?
- c ¿Por qué no se puede regar con agua del mar?
- d ¿Por qué no explotan las células de una planta cuando se riegan con agua dulce que es claramente hipotónica con respecto al citoplasma celular?

Solución:

- a Es fundamental porque las células de la conjuntiva que reciben el colirio sufrirían el efecto osmótico en caso de no ser así y se irritarían ocasionando conjuntivitis.

- b Se parecen en que en ambos casos se produce una separación de moléculas disueltas, al atravesar una membrana las moléculas cuyo tamaño es inferior al diámetro del poro de dicha membrana. Se diferencian en que en la diálisis la presión hidrostática es la misma a ambos lados de la membrana, mientras que en la filtración la presión hidrostática de la disolución que se va a filtrar es mayor.
- c Por su elevada presión osmótica que impediría la absorción osmótica del agua por las raíces de las plantas
- d Porque la gruesa pared celular impide que las células vegetales lleguen a estallar.

B. ACTIVIDADES DE AUTOEVALUACIÓN

- 1 Define los siguientes conceptos: diálisis, presión osmótica, oligoelemento, biomolécula, tampón, plasmólisis, turgescencia, amortiguador de pH.

Solución:

- **Diálisis:** Proceso de difusión selectiva a través de una membrana. Se utiliza para separar solutos de bajo peso molecular, capaces de atravesar los poros de una membrana, de otras moléculas que, por su mayor tamaño, no pueden hacerlo.
- **Presión osmótica:** presión necesaria para evitar la difusión de un disolvente (generalmente agua) a través de una membrana semipermeable que separa dos disoluciones de diferente concentración.
- **Oligoelemento:** elemento químico necesario para la vida que se encuentra en muy pequeña proporción en los seres vivos que lo contienen.
- **Biomolécula:** molécula presente en los seres vivos, necesaria para que se desarrollen los procesos vitales.
- **Tampón:** disolución de un ácido débil (generalmente) y de su base conjugada que amortigua los cambios de pH cuando se le adicionan disoluciones ácidas o básicas.
- **Plasmólisis:** contracción del citoplasma de una célula vegetal al expulsar el agua de la vacuola central cuando aquella es expuesta a una disolución hipertónica. La plasmólisis supone el despegue la membrana plasmática de la pared celular. También puede aplicarse al fenómeno de contracción citoplásmica que experimentan las células animales como los gló-

bulos sanguíneos al ser expuestos a disoluciones hipertónicas.

- **Turgescencia:** hinchazón producida por la entrada de agua que experimentan las células vegetales al ser expuestas a disoluciones hipotónicas.
- **Amortiguador de pH:** disolución tampón.

2 Indica cuales de los siguientes cationes y aniones forman parte de la materia viva: Na^+ , K^+ , Fr^+ , Fe^{2+} , Zn^{2+} , H^+ , Ag^+ , Hg^{2+} , Sn^{4+} , SO_4^{2-} , NO_3^- , H_2PO_4^- , H_2SbO_4^- , HCO_3^- , HNO_2^- , CO_3^{2-} , MnO_4^- .

Solución:

Todos con la excepción del Fr^+ , Ag^+ , Hg^{2+} , H_2SbO_4^- y MnO_4^- .

3 Establece parejas de número-letra entre los siguientes bioelementos y sus funciones.

Bioelemento		Función	
1	C	a	Forma parte de la molécula de la clorofila, es metálico.
2	P	b	Forma parte de todas las proteínas y en forma iónica lo toman las plantas.
3	Zn	c	Se encuentra en la estructura del DNA y en un sistema tampón.
4	Mg	d	Es un cofactor de enzimas de oxidación reducción.
5	N	e	Interviene en los procesos de transporte electrónico, en la respiración y en la fotosíntesis.
6	Fe	f	Se encuentra en todas las biomoléculas orgánicas y en algunas inorgánicas.
7	Co	g	Forma parte de la vitamina B_{12} .

Solución:

1-f 2-c 3-d 4-a 5-b 6-e 7-g

4 ¿Por qué hay tanta diferencia en el % de composición elemental entre la corteza terrestre y los seres vivos?

Solución:

Porque la vida ha seleccionado determinados elementos de la corteza y también de las capas fluidas que eran idóneos para los procesos biológicos y para la construcción de estructuras biológicas. La abundancia en la corteza no es sinónimo de idoneidad ni tampoco de accesibilidad. De particular interés son los elementos disueltos en la hidrosfera porque son más accesibles. Si comparamos el porcentaje entre los bioelementos y los elementos disueltos en el agua del mar (libro del alumno, pagina 12, fig. 1.2) observaremos que la correlación es mayor.

5 ¿Por qué decimos que la molécula de agua es eléctricamente neutra? ¿Cómo se establece el dipolo permanente en la molécula de agua?

Solución:

Porque tiene el mismo número de protones y de electrones.

El dipolo permanente del agua se establece porque el átomo de oxígeno tiene dos pares de electrones no enlazantes que se repelen entre ellos. Es además muy electronegativo por lo que atrae hacia sí los electrones compartidos con el hidrógeno. Todo ello genera en el hidrógeno una densidad de carga positiva (δ^+) y en el oxígeno una densidad de carga negativa (δ^-). Esta estructura de cargas se denomina dipolo permanente. Por ello decimos que el agua es una sustancia polar.

6 Generalmente afirmamos que la vida se desarrolla en torno a valores de pH neutros. ¿Es cierto esto siempre y en todos los casos? Cita algunos ejemplos que confirmen tu respuesta

Solución:

Es cierto que la mayor parte de los procesos biológicos se realizan a valores de pH próximos a la neutralidad. El pH del citoplasma de la mayor parte de las células se encuentra próximo a ese valor.

No obstante en el interior de algunos orgánulos o en algunos compartimentos de éstos se localizan valores de pH mayores o menores de 7. En los lisosomas, en el espacio intermembranoso de las mitocondrias y en el espacio tilacoidal, el pH es ácido.

La digestión en vertebrados se realiza a pH ácido en el estómago y a pH básico en el intestino.

El medio ambiente en el que viven algunas bacterias puede alcanzar valores extremos de acidez y basicidad. Así ocurre con *Sulfolobus* y *Helicobacter* que viven a pH muy ácido y algunas Archaeas que viven a pH superior a 9.

7 Desde la antigüedad se conservan los alimentos disponiéndolos en disoluciones muy concentradas de sal (salmueras, salazones) o de azúcar (compotas, mermeladas).

- ¿Tiene esto algo que ver con lo que hemos estudiado en el tema?
- ¿Cultivarías algún microorganismo (bacteria, protozoo, hongo) en un medio muy salado o muy azucarado ¿Por qué?

Solución:

- a. Las disoluciones muy concentradas presentan una elevada presión osmótica lo que hace que la mayor parte de los microorganismos no puedan vivir en ellas.
- b. Salvo en el caso de algunos organismos extremófilos, los medios de elevada presión osmótica son inadecuados para cultivar en ellos microorganismos, por la razón planteada más arriba.

8 ¿Qué ocurre en la sangre cuando aumenta la concentración de CO₂? ¿En qué circunstancias fisiológicas puede darse este proceso? ¿A qué se denomina acidosis sanguínea?

Solución:

Cuando en la sangre aumenta la concentración de CO₂, el equilibrio del tampón carbonato-bicarbonato se desplaza según el sentido de la flecha:

$\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{HCO}_3^- + \text{H}^+$, lo que hace que disminuya el pH de la sangre, fenómeno conocido como acidosis sanguínea.

A mayor ventilación pulmonar, menor concentración de CO₂ en sangre. Cualquier proceso que aumente el CO₂ en sangre producirá una disminución de pH sanguíneo salvo que aumente la ventilación pulmonar. Si aumenta la ventilación pulmonar, manteniéndose constante la producción de CO₂, el pH aumentará.

9 Al alcanzar la menopausia se produce con frecuencia en las mujeres una dolencia denominada osteoporosis. Para diagnosticarla y tratarla se utiliza una técnica denominada densitometría ósea.

- a. ¿Qué bioelemento está implicado en el proceso de la osteoporosis?
- b. ¿Qué mide la densitometría?

Solución:

- a. La osteoporosis consiste en una pérdida de masa mineral (fosfato tricalcico) en los huesos de las mujeres, como consecuencia de los cambios hormonales que acaecen en la menopausia y que dificultan la incorporación de calcio al hueso.
- b. La densitometría mide la cantidad de calcio existente en el hueso. Dicha cantidad se estima por la mayor o menor cantidad de radiación que atraviesa un hueso que es irradiado con rayos X.

10 Tenemos dos recipientes A y B separados entre sí por una membrana semipermeable. En ellos colocaremos diferentes disoluciones. Indica el sentido del flujo del agua en cada caso.

A	B
Agua	Agua
Agua	NaNO ₃ (0,1M)
Glucosa (0,1M)	NaNO ₃ (0,05M)
Glucosa (90 g/L)	NaNO ₃ (73 g/L)

Masa molecular de la glucosa = 180.

Masa molecular del NaNO₃ = 73

Solución:

A	Dirección del flujo		B
Agua	1	↔	Agua
Agua	2	→	NaNO ₃ (0,1M)
Glucosa (0,1M)	3	←	NaNO ₃ (0,05M)
Glucosa (90 g/L)	4	→	NaNO ₃ (73 g/L)

El agua se mueve (succión) desde la disolución de menor presión osmótica (menor concentración) a la de mayor presión osmótica (mayor concentración). La presión osmótica es directamente proporcional a la concentración molar. En el último caso la disolución de glucosa de 90 g/L es 0,5 M y la disolución de NaNO₃ de 73 g/L es 1 M.

11 Explica por qué flota el hielo sobre el agua. ¿Qué consecuencias tiene para el desarrollo de la vida en los ecosistemas acuáticos? Describe el proceso.

Solución:

El hielo flota sobre el agua líquida. A medida que el agua líquida se enfría, se contrae y su densidad aumenta. Al llegar a 4 °C alcanza su máxima densidad. A partir de aquí si seguimos enfriando su densidad se mantiene prácticamente constante pero cuando se llega a 0 °C y solidifica, la densidad disminuye bruscamente, "el hielo se expande": el agua en estado sólido es menos densa que el agua líquida.

Esta propiedad se debe (pag. 18, fig. 3.3 a y b del libro del alumno) a que, en estado líquido, se forman y destruyen continuamente los puentes de hidrógeno (a temperatura ambiente cada molécula forma un promedio de 3'4 puentes de hidrógeno). Estos enlaces confieren al agua una estructura de red dinámica empaquetada, sin posiciones fijas en las moléculas (el empaquetamiento es máximo a 4 °C). En estado sólido cada molécula de agua forma cuatro puentes de hidrógeno con otras tantas moléculas de agua, que mantienen posiciones fijas en una estructura cristalina tridimensional más expandida y, por lo tanto, menos densa.

La flotabilidad del hielo sobre el agua en mares, lagos y ríos, es crucial para la vida en esos medios. Si el hielo

fuese más denso se hundiría y se acumularía en el fondo haciendo imposible la vida acuática.

12 Señala si son verdaderas o falsas las siguientes afirmaciones, explicando por qué.

- a. El agua tiene en su molécula un dipolo permanente.
- b. El agua disuelve a sustancias polares y a algunas no polares.
- c. El agua disuelve a sustancias iónicas y polares, pero en general no a las no polares.
- d. El agua es un disolvente apolar que disuelve a las sustancias apolares.

Solución:

Son verdaderas a, b, y c. Es falsa d puesto que el agua es un disolvente polar que no disuelve a las sustancias apolares

13 Una de las propiedades del agua que cambia cuando se disuelve en ella un soluto es la presión de vapor:

- a. ¿Aumenta o disminuye?
- b. ¿Cuál es la explicación?

Solución:

- a. La presión de vapor del agua disminuye al disolver en ella un soluto.
- b. La explicación intuitiva del fenómeno puede obtenerse teniendo en cuenta que las moléculas de agua son "retenidas" por el soluto lo que dificulta su paso de la fase líquida a la gaseosa; por lo tanto aumenta la

temperatura de ebullición

14 Justifica basándote en la estructura electrónica espacial del agua (T), en la existencia de un dipolo permanente en la molécula (DP), o en ambas (A), las siguientes propiedades físico químicas del agua:

- a. Capacidad de disolver sustancias iónicas.
- b. Capacidad de disolver sustancias polares.
- c. Mayor densidad en estado sólido.
- d. Alto calor específico.
- e. Elevado calor de vaporización.

Solución:

- a. DP. La capacidad de disolver sustancias iónicas se debe a la existencia de un dipolo permanente en las moléculas de agua cuyas cargas interaccionan con los iones.
- b. DP. Las cargas del dipolo de las moléculas de agua interaccionan con las cargas de signo contrario de otros grupos polares, normalmente mediante puentes de hidrógeno.
- c. T (y DP). La mayor densidad del hielo se debe en primer lugar a la estructura espacial tetraédrica de la molécula de agua que le permite empaquetarse de una manera muy compacta uniéndose gracias los puentes de hidrógeno con otras moléculas
- d. y e. DP. La abundancia de puentes de hidrógeno hace que la unión entre las moléculas de agua sea muy efectiva lo que hace que al aplicar calor sobre el agua, gran parte de él se utilice en romper los puentes de hidrógeno lo que se traduce en valores altos para el calor específico y en calor de vaporización.

LOS GLÚCIDOS

2

1. INTRODUCCIÓN

En el presente tema, definimos, en primer lugar, el concepto de glúcido haciendo referencia a los grupos funcionales que intervienen en la construcción de estas biomoléculas orgánicas y las clasificamos según el número de unidades moleculares que poseen.

A continuación se hace un estudio de la estructura y las propiedades físico químicas de los monosacáridos, disacáridos, oligosacáridos y polisacáridos para seguidamente analizar cómo esas propiedades determinan las funciones biológicas (energéticas, estructurales, de información, etc.) de estas sustancias.

Finalmente se estudian las funciones biológicas de los diferentes glúcidos.

2. TEMPORALIZACIÓN

Incluyendo una prueba de evaluación, esta unidad temática puede desarrollarse en 6 sesiones.

3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Tipificar los glúcidos analizando los elementos básicos (grupos químicos) que determinan la naturaleza glucídica.
2. Obtener y caracterizar las estructuras cíclicas de los monosacáridos y disacáridos. Formular los principales monosacáridos pentosas y hexosas en sus formas lineales y cíclicas. Formular los principales disacáridos y sus formas cíclicas. Identificar los diferentes estereoisómeros que aparecen en estas biomoléculas.
3. Estudiar el fenómeno de la rotación óptica y su valor en la identificación de diferentes glúcidos.
4. Estudiar la estructura espacial de las moléculas de polisacáridos.
5. Explicar procedimientos para la identificación química de monosacáridos y disacáridos así como del almidón y del glucógeno.
6. Analizar las diferentes funciones biológicas de los glúcidos y sus implicaciones evolutivas.
7. Estudiar teórica y prácticamente la reacción de Fehling.
8. Aplicar técnicas y realizar pequeñas investigaciones para la determinación semicuantitativa de glúcidos en alimentos como la leche.
9. Valorar el desarrollo de la glucómica como un nuevo campo en la investigación bioquímica.

4. CONTENIDOS CONCEPTUALES

1. Concepto de glúcido y clasificación.
2. Monosacáridos.
 - Estructura de los monosacáridos.
 - Formas cíclicas.
3. Disacáridos.
 - Principales disacáridos.
4. Oligosacáridos.
5. Polisacáridos.
 - Homopolisacárido.
 - Heteropolisacárido.
6. Funciones biológicas de los glúcidos.
 - Función energética.
 - Función estructural y mecánica.
 - Función informativa.
 - Otras funciones.

5. SOLUCIONES Y COMENTARIOS

A. ACTIVIDADES VINCULADAS AL TEXTO

2 Los monosacáridos

Actividades pág. 31

- a Indica como nombrarías a los siguientes monosacáridos que tienen:

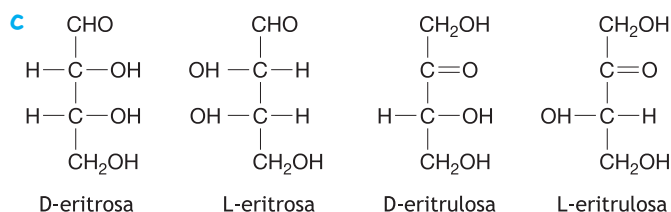
- 6 átomos de carbono y un grupo aldehído
- 5 átomos de carbono y un grupo cetona
- 4 átomos de carbono y un grupo aldehído
- 7 átomos de carbono y un grupo cetona

- b ¿Qué papel desempeñan en un polarímetro el polarizador y el analizador? Ten en cuenta que ambos son filtros que sólo permiten el paso de la luz que vibra en un mismo plano.

- c Escribe la fórmula de los enantiómeros de los glúcidos de la figura 2.1.

Soluciones:

- a Aldohexosa, cetopentosa, aldotetrosa, cetoheptosa.
- b El polarímetro selecciona uno de los múltiples planos de vibración de la luz incidente. El analizador, se gira hasta que coincide con el plano de vibración de la luz, modificado al atravesar la disolución ópticamente activa.



Actividades pág. 32

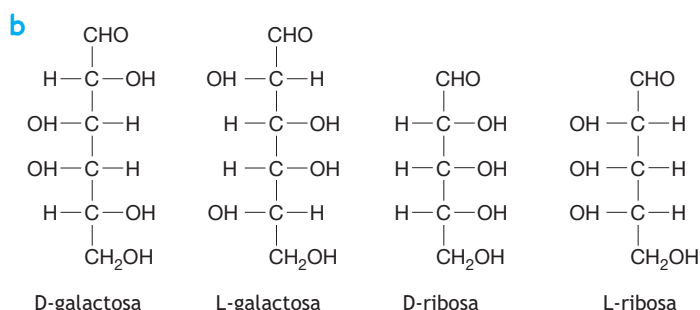
- a Fíjate en la fórmula de la cetotriosa (fig. 2.5). ¿Presenta actividad óptica? ¿Cómo es su enantiómero?
- b Escribe la fórmula de los enantiómeros de la D-galactosa y de la D-ribosa
- c Hemos sintetizado en el laboratorio un monosacárido que denominaremos incógnita que cristaliza y forma dos tipos de cristales que son unos la imagen especular de los otros, por lo que suponemos que unos corresponden a

isómeros D y otros a isómeros L. El experimento ha sido caro y nos interesa identificar "quien es quien". ¿Cómo podríamos saber qué cristales serían D-incógnita y cuáles L-incógnita?

- d ¿En los glúcidos hay relación entre los isómeros D y L y la forma en que giran el plano de polarización de la luz?
- e ¿Qué diferencia hay entre la ribosa y la desoxirribosa? ¿Cuál de las dos tiene más estereoisómeros?

Soluciones:

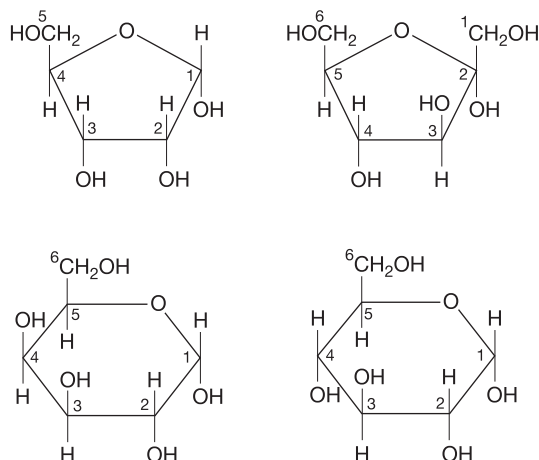
- a La cetotriosa no presenta actividad óptica puesto que no tiene ningún carbono asimétrico. No hay enantiómeros para esta especie química



- c Hemos de suponer que una de las dos formas puede ser metabolizada por un microorganismo. Prepararemos dos disoluciones nutritivas idénticas excepto en la fuente de carbono que será en cada caso uno de los dos glúcidos obtenidos. Aquella disolución en la que crezcan los microorganismos llevará disuelto el isómero D.
- d No. Así por ejemplo, la D-glucosa y la L-fructosa son dextrógiras
- e La desoxirribosa contiene dos H en el carbono nº 2 que, por lo tanto, no es asimétrico. La desoxirribosa tiene 2 carbonos asimétricos lo que supone $2^2 = 4$ estereoisómeros. La ribosa tiene 3 carbonos asimétricos. Por tanto tiene $2^3 = 8$ estereoisómeros.

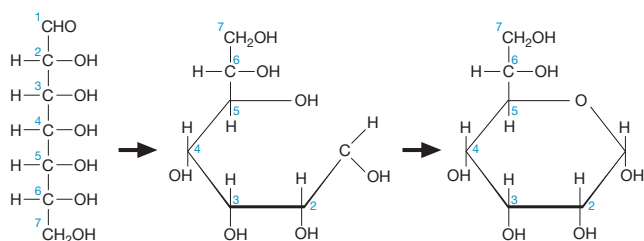
Actividades pág. 34

- a ¿Pueden ciclarse las triosas? ¿Y las tetrasas? ¿Por qué?
- b Dibuja una cetoheptosa lineal de manera que todos los grupos OH queden a la derecha. Cíclala. ¿Qué anillo se obtiene?
- c ¿Cuál es la fórmula lineal de las moléculas adjuntas?



Soluciones:

- a Las triosas no pueden ciclarse puesto que la tensión que se produciría en los enlaces C-C harían el hipotético compuesto altamente inestable. Las tetrasas si pueden pero por la razón antes citada son muy inestables en estado ciclado.
- b Un anillo hexagonal, que es el más estable



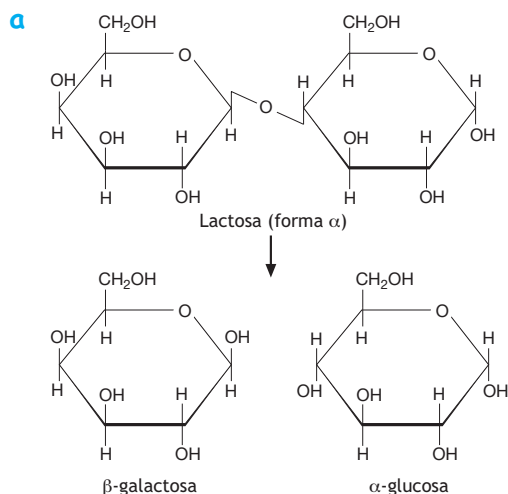
- c De izquierda a derecha y de arriba abajo: D-Ribosa, D-fructosa, D-galactosa y D-glucosa. (Ver libro del alumno, pag 32, fig. 2.5).

3 Los disacáridos

Actividades pág. 36

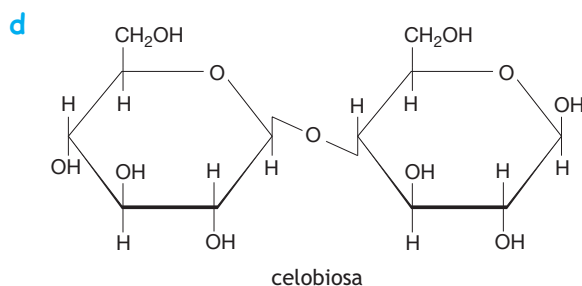
- a Escribe la fórmula de la lactosa en forma a. Hidrólízala. Escribe los compuestos resultantes de la hidrólisis y nómbralos.
- b Si la sacarosa es dextrógira, explica por qué, al hidrolizarla en disolución acuosa, se convierte en levógira.
- c Indica si son glúcidos reductores la sacarosa, la lactosa y la maltosa. Explica por qué.
- d Escribe la fórmula de la celobiosa.

Soluciones:



β-D-galactosa y α-D-glucosa. Debido a la mutarrotación aparecerían también las formas α-D-galactosa y β-D-glucosa.

- b Al hidrolizar la sacarosa se obtiene α-D-glucosa y β-D-fructosa. Como el carácter levógira de la fructosa es más fuerte que el carácter dextrógira de la glucosa, la mezcla equimolecular es levógira.
- c La lactosa y la maltosa son reductores ya que el carbono anomérico libre de la glucosa, en ambos casos, puede reducirse. La sacarosa no es reductora pues los carbonos anoméricos de la glucosa y la fructosa no están libres puesto que están implicados en el enlace glicosídico.



4 Polisacáridos

Actividades pág. 39

- a ¿Qué prueba química sencilla podrías hacer para diferenciar si el contenido de un tubo de ensayo es almidón o glucosa?
- b El almidón, al ser expuesto a la acción del yodo, adquiere una coloración azul oscura. Si eliminamos la clorofila de una hoja (para que no interfiera el color verde) y

la introducimos en una disolución de lugol (que contiene yodo) adquiere color azul. Si tapamos durante tres días, cubriéndola con papel de aluminio, una hoja de una planta y luego la cortamos, la decoloramos y la sumergimos en lugol, no adquiere la coloración azul oscura. Explica por qué se producen estos fenómenos.

Soluciones:

- a Añadir unas gotas de lugol. Si se tiñe de color azul oscuro es almidón.
- b Las hojas de las plantas almacenan la glucosa fotosintetizada en forma de almidón, lo que explica el color azul de una hoja viva y decolorada a la que se añade lugol. Si privamos de luz a una hoja, no realizará la fotosíntesis e hidrolizará el almidón para obtener glucosa para respirar. Al cabo de unos días no quedará almidón. Si entonces añadimos el lugol el resultado del test será negativo.

6 Funciones biológicas de los glúcidos

Actividades pág. 40

- a Explica las ventajas evolutivas de almacenar glucógeno como molécula energética de disposición inmediata.
- b Explica por qué es conveniente para la supervivencia del individuo que la hidrólisis del glucógeno muscular sea más rápida que la del glucógeno hepático.

Soluciones:

- a La reserva energética a largo plazo en los animales son los lípidos. Los animales almacenan glucógeno, a pesar de ser energéticamente menos rentable que la acumulación de lípidos, porque, en primer lugar, los músculos movilizan más rápidamente el glucógeno que las grasas, y en segundo lugar porque los animales no pueden convertir los ácidos grasos en glucosa.

Si en los animales la glucosa es la molécula de elección transportada por el sistema circulatorio, en las plantas es la sacarosa el glúcido que circula por el floema desde las partes verdes a toda la planta. La sustancia de reserva de utilización inmediata en las plantas es el almidón, cuya estructura, menos ramificada que el glucógeno lo hace menos fácilmente hidrolizable, cosa que no es un inconveniente para el metabolismo de las plantas, más lento.

- b La glucosa es la fuente de energía celular por excelencia.

En los animales es esencial el mantenimiento de una concentración adecuada de glucosa en la sangre. En condiciones normales, el cerebro utiliza solamente la glucosa como fuente de energía. Por ello, los músculos esqueléticos y el hígado almacenan glucosa en forma de glucógeno. Después de una comida, el exceso de glucosa se polimeriza como glucógeno; una vez completada la reserva el sobrante de glucosa se almacena como grasa. Las reservas de glucógeno muscular y hepático desempeñan funciones completamente diferentes. El glucógeno muscular es el combustible de reserva de las fibras musculares y su función es aportar energía para el proceso de la contracción muscular. La función del glucógeno hepático es la de suministrar glucosa para su utilización en otros tejidos a través del mantenimiento de la concentración de glucosa en sangre.

B. ACTIVIDADES DE AUTOEVALUACIÓN

- 1 Define aldosa, cetosa, cetotriosa, carbono asimétrico, enantiómero, dextrógiro, mutarrotación, proyección de Haworth.

Solución:

- **Aldosa:** monosacáridos que tienen un grupo funcional aldehído en el carbono 1.
- **Cetosa:** monosacáridos que tienen un grupo funcional cetona en el carbono 2.
- **Cetotriosa:** dihidroxicetona, cetosa con tres átomos de carbono.
- **Carbono asimétrico:** átomo de carbono unido a cuatro grupos diferentes.
- **Enantiómeros:** estereoisómeros que guardan entre sí una relación especular.
- **Dextrógiro:** sustancia química que, en disolución, gira hacia la derecha el plano de polarización de la luz.
- **Mutarrotación:** Proceso en virtud del cual dos anómeros se interconvierten.
- **Proyección de Haworth:** Representación gráfica de glúcidos ciclados, en forma pentagonal o hexagonal plana.

- 2 Relaciona las siguientes columnas

- | | |
|---------------------|--|
| 1. D-gliceraldehído | a. No tiene actividad óptica |
| 2. Dihidroxiacetona | b. Es la molécula más abundante de la Biosfera |
| 3. Celulosa | c. Se obtiene en la hidrólisis de la celulosa |

- | | |
|------------------|--------------------------------------|
| 4. Celobiosa | d. Sustancia anticoagulante |
| 5. Heparina | e. Componente del almidón |
| 6. Amilopectina | f. Única triosa con actividad óptica |
| 7. Mutarrotación | g. Interconversión de anómeros. |

Solución:

1-f 2-a 3-b 4-c 5-d 6-e 7-g

3 Indica si son verdaderas o falsas las siguientes afirmaciones añadiendo, en su caso, las soluciones verdaderas.

- Todos los glúcidos naturales son de la serie D.
- La fructosa no puede reducir al Cu^{2+} .
- La sacarosa no puede reducir al Cu^{2+} .
- Los disacáridos no presentan mutarrotación.
- La D-Glucosa y la L-Glucosa sólo se diferencian en la posición espacial de los grupos del C-5.
- La sacarosa no se puede hidrolizar.
- La amilosa es un polímero estructural.

Solución:

- y c. son verdaderas
- Falsa. La fructosa reduce al Cu^{2+} puesto que tiene un carbono anomérico libre.
- Falsa. Los disacáridos presentan mutarrotación, con excepción de los que tienen sus dos carbonos anoméricos implicados en el enlace glicosídico
- Falsa. La D glucosa y la L-glucosa guardan entre sí una imagen especular. Por lo tanto la disposición espacial de los grupos enlazados por **todos** sus carbonos asimétricos guardan la misma relación que un objeto y su imagen en el espejo (ver pag. 31, fig. 2.4, del libro del alumno).
- La sacarosa se hidroliza químicamente (medio ácido, en caliente) y enzimáticamente (sacarasa).
- La amilosa es un componente del almidón. Por lo tanto es un polímero de reserva.

4 Explica por qué el anillo de la glucosa es hexagonal y el de la fructosa es pentagonal. ¿Se podría ciclar la fructosa de manera que obtuviéramos un anillo hexagonal?

Solución:

El anillo de glucosa es hexagonal, porque está formado por 5 átomos de C y uno de O. Ello se debe a que el hemiacetal se forma por reacción entre el C 1 que lleva el grupo aldehído y el OH del C 5. Es un anillo muy estable. La fructosa forma un anillo pentagonal porque consta de

4 átomos de C y uno de O, puesto que el hemiacetal se forma entre el C 2 que lleva el grupo cetona y el C 5. Este anillo, en el caso de la fructosa, es más estable que el hexagonal, que puede formarse también si el hemiacetal se establece con el OH del C 6.

5 ¿Por qué en la proyección de Haworth, el grupo CH_2OH siempre queda por encima del plano?

Solución:

El grupo CH_2OH siempre queda arriba si se trata de glúcidos D. En los L, queda por debajo.

6 Al nombrar los glúcidos se suele anteponer una serie de símbolos: D, L, (+), (-), α , β . Explica el significado de cada uno de ellos.

Solución:

D: forma del estereoisómero de un monosacárido cuyo OH del carbono asimétrico más alejado del grupo aldehído o cetona queda a la derecha.

L: forma del estereoisómero de un monosacárido cuyo OH del carbono asimétrico más alejado del grupo aldehído o cetona queda a la izquierda.

(+): sustancia dextrógira.

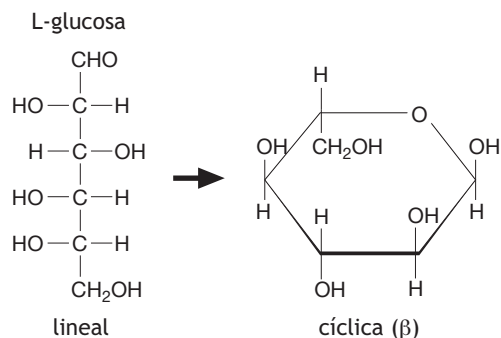
(-): sustancia levógira.

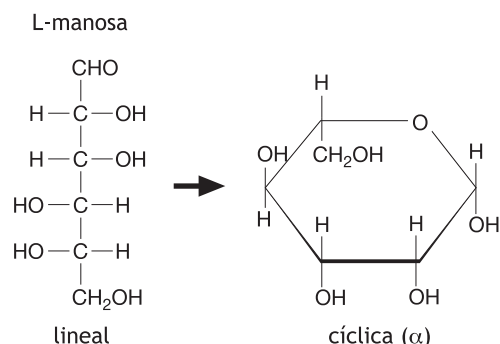
α : anómero en el que el grupo OH del carbono anomérico queda debajo del plano en la representación de Haworth.

β : anómero en el que el grupo OH del carbono anomérico queda encima del plano en la representación de Haworth.

7 Escribe la fórmula de la L-glucosa y de la L-manosa y ciclasas. ¿Qué papel biológico desempeñan estos azúcares?

Solución:





Son formas L luego no tienen ningún papel biológico.

- 8** Diferencia desde el punto de vista de su disolución en agua los siguientes compuestos: glucosa, agar-agar, almidón, celulosa, sacarosa y D-gliceraldehído y L-gliceraldehído. ¿Cuáles de estas sustancias son hidrófobas?

Solución:

Glucosa, sacarosa, D y L gliceraldehído son solubles en agua. El almidón es soluble en agua pero por el gran tamaño de su molécula forma dispersiones coloidales. Otro tanto pasa con el agar. La celulosa es insoluble en agua debido fundamentalmente al enorme tamaño de sus moléculas. Es, sin embargo, una sustancia hidrófila, gracias a sus grupos OH.

- 9** ¿Qué es un polarímetro? ¿Cómo funciona? ¿Puede tener cualquier longitud el tubo que contiene la disolución del glúcido a analizar?

Solución:

Un polarímetro mide la rotación óptica de una sustancia disuelta (un glúcido o cualquier sustancia ópticamente activa). Su funcionamiento se basa en el análisis del giro que experimenta un rayo de luz polarizada que atraviesa un recipiente de longitud exacta que contiene la disolución cuya rotación óptica se desea medir.

En un extremo del tubo hay un filtro **polarizador** que selecciona un plano de vibración de luz. Este plano, a medida que la luz se propaga por la disolución problema puede inclinarse (si la sustancia es ópticamente activa). Otro filtro polarizador, llamado **analizador**, situado en el extremo del tubo impide el paso de la luz a menos que se gire un ángulo igual al que ha girado el plano de vibración de la luz polarizada. Mediante un círculo graduado puede determinarse cuanto vale ese ángulo.

El polarímetro se usa para medir la rotación óptica de una sustancia en una disolución de una determinada concentración y también para determinar la concentración

de una disolución cuya rotación óptica específica se conoce.

- 10** ¿Qué diferencia hay entre la hidrólisis de la amilosa y la de la amilopectina? ¿Y entre la hidrólisis de la amilopectina y la del glucógeno?

Solución:

El glucógeno y el almidón se hidrolizan en el tubo digestivo en reacciones catalizadas por las amilasas, contenidas en la saliva y en el jugo pancreático. La hidrólisis enzimática de la amilosa produce la escisión de los enlaces α ($1 \rightarrow 4$). Para hidrolizar la amilopectina y el glucógeno, se requiere la acción combinada de dos enzimas: para romper los enlaces α ($1 \rightarrow 6$) interviene el enzima desramificador α ($1 \rightarrow 6$)-glucosidasa. Una vez rotos los enlaces α ($1 \rightarrow 6$), las α -amilasas continúan degradando enlaces α ($1 \rightarrow 4$).

En las células animales el glucógeno se hidroliza por una enzima diferente la fosforilasa del glucógeno.

- 11** En un tubo de ensayo colocamos una disolución coloidal de un glúcido.

- a. Le hacemos la prueba de Fehling. Indicar el resultado esperado.
b. Escupimos en el tubo y tras 2 minutos le hacemos la prueba de Fehling. Indicar el resultado esperado.

Solución:

Si se trata de una disolución coloidal, el glúcido podría ser almidón o agar.

La prueba de Fehling en cualquiera de los dos casos es negativa.

Si la prueba de Fehling es positiva se trata de almidón que se ha hidrolizado por las amilasas salivares. Si es negativa podría ser agar.

- 12** Disponemos de varios tubos de ensayo con disoluciones de varios compuestos. Indica qué sustancia había en el tubo.

Muestras	Fehling	Hidrólisis	Fehling tras hidrólisis
1. Disolución transparente	Positivo	Sí hidrolizable	Positivo
2. Zumo de uva	Positivo	No hidrolizable	
3. Disolución coloidal	Negativo	Sí hidrolizable	Positivo
4. Líquido blanco	Positivo	Sí hidrolizable	Positivo

Solución:

La disolución del tubo 1 podría ser un disacárido como maltosa o lactosa, puesto que se disuelve en agua, se hidroliza y el producto de la hidrólisis (un monosacárido) es Fehling +.

El segundo tubo contiene zumo de uva, rico en glucosa

El tubo 3 tiene una disolución coloidal, Fehling negativa e hidrolizable, datos concordantes con que se trate de almidón. Al ser Fehling positivo el hidrolizado (maltosa o glucosa) se refuerza nuestra suposición.

El tubo 4 debe contener una sustancia hidrolizable disuelta. Podría tratarse de leche, que es blanca, y contiene lactosa que es hidrolizable en galactosa y glucosa, ambas fehling positivo.

- 13** *La fructosa se emplea como edulcorante en dietas. Teniendo en cuenta que 1g de fructosa produce las mismas kcal que uno de glucosa, ¿Qué sentido tiene emplear esta sustancia?*

Solución:

La capacidad edulcorante de la fructosa es mayor que la de la glucosa por lo que para producir el mismo efecto que esta hay que emplear menos cantidad que aquella.

- 14** *La oficina contra el fraude te encarga una investigación para determinar si unas partidas de miel están adulteradas. Dispones de un polarímetro, entre otros instrumentos, para realizar la investigación. Sabemos que la miel contiene una mezcla equimolecular de glucosa (dextrógira) y fructosa (levógira) que en conjunto es levógira puesto que la actividad óptica debida a la fructosa es mayor que la que aporta la glucosa. Se supone con fundamento que la adulteración se debe a la adición artificial de glucosa.*

Determina qué valores de rotación óptica esperas encontrar en caso de adulteración por adición de glucosa.

Solución:

Si leemos el enunciado de la actividad 16 vemos que la rotación óptica específica de la glucosa en disolución es $+52,7^\circ$. Buscando en la red o en otras fuentes encontraremos para la fructosa un valor de -92° . Por tanto una disolución equimolecular de glucosa y fructosa tendrá una rotación óptica de $(52,7 + (-92))/2 = -39,3^\circ$. Si obtenemos un valor mayor que ese, estamos ante una posible adulteración por adición de glucosa.

- 15** *Avanza una hipótesis explicativa de por qué la evolución ha seleccionado las formas D en los glúcidos como enantiómeros exclusivos para la vida.*

Solución:

Se trata de una respuesta abierta. Debe valorarse la coherencia con los datos que se manejan en las diversas teorías sobre el origen de la vida y el hecho de que otras biomoléculas quirales, como los aminoácidos (en este caso formas L), también presentan selección isomérica en la evolución bioquímica.

- 16** *La α -D-glucosa tiene una rotación óptica específica = $+112,2^\circ$; la β -D-Glucosa = $+18,7^\circ$. Cuando cualquiera de estas sustancias se disuelve en agua la rotación cambia hasta $+52,7^\circ$. Explica el fenómeno y calcula la proporción de formas α y β en disolución.*

Solución:

El fenómeno observado se debe a la mutarrotación, que interconvierte los anómeros $\alpha \rightleftharpoons \beta$ hasta alcanzar el equilibrio. Las especies en equilibrio no están en la misma concentración puesto que entonces la rotación de una disolución de α o β glucosa sería $(112,2 + 18,7)/2 = 65,45^\circ$ cosa que no se observa.

Para calcular el % de cada anómero en equilibrio, llamaremos x al % de α -D-glucosa y $100-x$ al % de β -D-Glucosa.

$$112,2x + 18,7(100 - x) = 52,7; \Rightarrow$$

$\Rightarrow x = 37,5$ es el % de α -D-glucosa y $100 - x = 62,5$ el % de β -D-Glucosa.

LOS LÍPIDOS

3

1. INTRODUCCIÓN

Los lípidos constituyen un grupo heterogéneo tanto por su estructura química como por las funciones biológicas que desempeñan.

A lo largo del presente tema trataremos ambas cuestiones poniendo especial interés en relacionar su estructura molecular con sus propiedades fisicoquímicas y las consecuencias biológicas derivadas de esas propiedades.

En el desarrollo de la unidad temática serán abordados los ácidos grasos, los triacilgliceridos, las ceras, los lípidos

complejos (fosfoglicéridos y esfingolípidos) y los lípidos sin ácidos grasos (isoprenoides y esteroides).

Analizaremos también las implicaciones evolutivas de la selección de los lípidos como sustancias de reserva.

El documento final presenta las últimas investigaciones acerca de las funciones relacionadas con el aprendizaje de la sustancia blanca del sistema nervioso, así como de las enfermedades que se presentan como consecuencia de alteraciones de la misma.

2. TEMPORALIZACIÓN

6 sesiones, incluyendo una de evaluación

3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Caracterizar y definir los principales tipos de lípidos que constituyen biomoléculas.
2. Estudiar el proceso químico de síntesis de los triacilglicéridos, así como la hidrólisis química y enzimática. Diferenciar el proceso de hidrólisis del de saponificación.
3. Identificar y describir las funciones biológicas de triacilglicéridos y ceras.
4. Analizar la estructura de los denominados lípidos de membrana (fosfoglicéridos y esfingolípidos) y justificar su estructura química con su función biológica.
5. Analizar la estructura de los esteroides y sus principales papeles en los seres vivos.
6. Analizar la estructura de los isoprenoides y sus principales papeles en los seres vivos.
7. Discutir algunas implicaciones fisiológicas de la selección evolutiva de los triacilglicéridos como sustancias de reserva.
8. Aplicar técnicas experimentales para extraer y separar lípidos. Realizar un estudio experimental del grado de saturación de grasas comestibles.
9. Estudiar el papel de algunos lípidos (la mielina) puesto de relieve por investigaciones recientes.

4. CONTENIDOS CONCEPTUALES

1. Los lípidos: propiedades generales.
2. Ácidos grasos.
3. Triacilglicéridos.
 - Función biológica de los triacilglicéridos.
4. Ceras.
 - Función biológica de las ceras.
5. Lípidos de membrana.
 - Fosfoglicéridos.
 - Esfingolípidos.
 - Función biológica de fosfoglicéridos y esfingolípidos.
6. Lípidos sin ácidos grasos.
 - Esteroides.
 - Isoprenoides.

5. SOLUCIONES Y COMENTARIOS

A. ACTIVIDADES VINCULADAS AL TEXTO

2 Ácidos grasos

Actividades pág. 47

- a ¿Por qué decimos que los ácidos grasos son sustancias anfipáticas?
- b ¿Qué relación hay entre la longitud de la cadena de un ácido graso y su punto de fusión? ¿Qué relación hay entre el número de dobles enlaces de un ácido graso y su punto de fusión?
- c ¿Por qué se disponen los ácidos grasos en el seno del agua formando micelas? ¿Podríamos unir dos micelas?

Soluciones:

- a Se denominan sustancias anfipáticas aquellas en las que coexisten grupos hidrófobos y grupos hidrófilos. Los ácidos grasos son sustancias anfipáticas puesto que la cadena hidrocarbonada es hidrófoba, mientras que el grupo -COOH es hidrófilo.
- b Las cadenas hidrocarbonadas de los ácidos grasos se unen entre sí mediante enlaces de Van der Waals. Para fundir un ácido graso hay que romper los enlaces de Van der Waals que unen las cadenas. Cuanto más largas son dichas cadenas, mayor número de enlaces se establecen entre ellas. Por tanto cuanto más largas sean las cadenas mayor energía se requerirá para romper los enlaces. En consecuencia a mayor longitud de la cadena de un ácido graso, mayor temperatura de fusión.
- Los dobles enlaces en las cadenas hidrocarbonadas de los ácidos grasos insaturados producen codos que las separan lo que se traduce en un menor número de enlaces entre ellas. Por ello los ácidos grasos insaturados tienen un punto de fusión menor que los saturados con igual número de átomos de carbono.
- c Debido a su carácter anfipático los ácidos grasos dispersos en el agua tienden a formar micelas, más o menos esféricas, en las que el polo hidrófilo se orienta al exterior, en contacto con el agua y el extremo hidrófobo se orienta hacia el interior. Las micelas no pueden unirse porque sus extremos hidrófilos están rodeados de moléculas de agua.

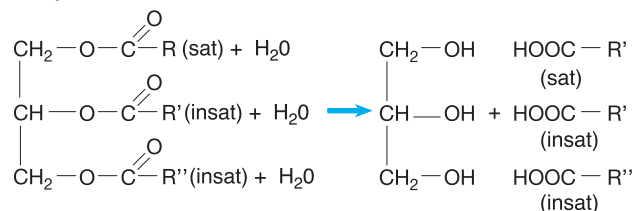
3 Triacilglicéridos y 4 Ceras

Actividades pág. 49

- a Escribe la reacción de hidrólisis de una grasa que tenga un ácido graso saturado y dos insaturados. ¿Qué estado físico cabe esperar que tenga dicha grasa a temperatura ambiente?
- b ¿Qué diferencia hay entre la saponificación y la hidrólisis enzimática? Escribe la reacción de saponificación que el NaOH produce sobre la tripalmitina.
- c Algunas semillas almacenan triacilglicéridos como sustancia de reserva en lugar de glúcidos. ¿Podría significar este hecho una adaptación evolutiva?
- d ¿Son saponificables las ceras? ¿Cuáles serían los productos de la saponificación de la cera representada en la figura 4.1?

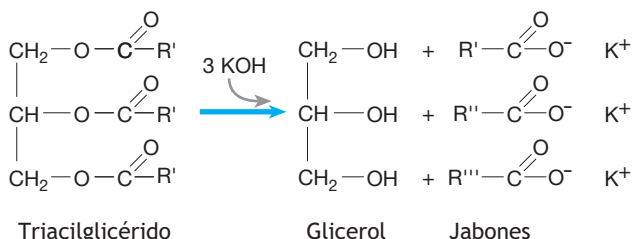
Soluciones:

- a Una posibilidad es



En principio y dado que no concretamos de qué ácidos grasos se trata, la presencia de dos ácidos grasos insaturados hace suponer que a temperatura ambiente esta sustancia sería líquida (ver tabla I, pag. 47 del libro del alumno). El caso menos favorable a esta suposición, se daría si las dos moléculas de ácidos grasos insaturados fueran de ácido oleico (p.f. = 13,4 °C) y el ácido graso saturado fuese el ácido lignocérico.

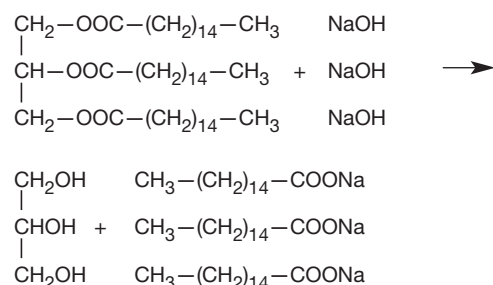
- b Los triacilglicéridos pueden sufrir hidrólisis química o enzimática.
- Hidrólisis química. Se lleva a cabo en la industria mediante tratamiento con álcalis (normalmente NaOH o KOH) sobre las grasas. Esta hidrólisis da glicerol y las sales sódicas o potásicas de los ácidos grasos, conocidas con el nombre de jabones.



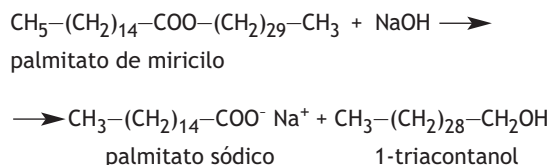
Debido a ello este proceso se conoce con el nombre de saponificación

- Hidrólisis enzimática. Este proceso se realiza mediante la acción catalítica de enzimas específicas denominadas lipasas. Estas enzimas se localizan intracelularmente en los lisosomas.

En organismos animales desarrollados, como los vertebrados, son segregadas también al tubo digestivo formando parte del jugo pancreático y del jugo intestinal. En el ser humano existe también una lipasa gástrica.



- c. Sí, porque a igualdad de peso, las grasas rinden más energía que los glúcidos. Por tanto una semilla que almacenara una gran cantidad de energía con el mínimo peso podría dispersarse con mucha facilidad, lo que sin duda representa una ventaja evolutiva.
- d. Sí las ceras son saponificables. El palmitato de miricilo representado en la figura 4.1 del libro del alumnado es un éster de ácido palmítico y de 1-tricontanol. Podría ser saponificado por una base fuerte, NaOH por ejemplo, y produciría palmitato sódico y 1-triacontanol, según la reacción:



5 Lípidos de membrana

Actividades pág. 51

- ¿Qué sustancia está presente en todos los esfingolípidos y ausente en todos los fosfoglicéridos? ¿Qué sustancias aparecen en todos los fosfolípidos y en todos los esfingolípidos? ¿Qué sustancia está presente en todos los fosfoglicéridos y sólo en algunos esfingolípidos?
- ¿Por qué caracterizamos a los fosfoglicéridos y los esfingolípidos como "lípidos de membrana"? ¿Qué propiedades fisicoquímicas poseen que los hacen idóneos para esa función?

Soluciones:

- La esfingosina está presente en todos los esfingolípidos y está ausente en los fosfolípidos. Los ácidos grasos forman parte tanto de los fosfolípidos como de los esfingolípidos. El ácido fosfórico forma parte de todos los fosfoglicéridos y de las esfingomielinas.
- Tanto los fosfolípidos como los esfingolípidos son constituyentes de las membranas biológicas (plasmática y de los diferentes orgánulos membranosos). Estos tipos moleculares son anfipáticos y en medio acuoso forman espontáneamente bicapas enfrentando sus extremos polares y quedando en contacto con el agua sus grupos polares.

Las fuerzas que determinan la formación de bicapas son las interacciones hidrófobas y las fuerzas de van der Waals entre las colas hidrocarbonadas. Además, se producen interacciones electrostáticas y puentes de hidrógeno entre los grupos polares de la cabeza y las moléculas de agua.

Actividades pág. 52

- ¿Se pueden saponificar los esteroides? ¿Y los isoprenoides? ¿Por qué?
- Los monoterpénos son sustancias aromáticas. Los politerpenos son prácticamente inodoros. ¿Por qué?

Soluciones:

- La saponificación es una hidrólisis básica de un éster de un alcohol con uno o varios ácidos grasos. Ni los esteroides ni los isoprenoides son ésteres, por tanto no son saponificables.

- b. Los monoterpenos están formados por dos unidades de isopreno, mientras que los politerpenos están formados por muchas. Los primeros son sustancias de peso molecular medio, de naturaleza líquida y volátil lo que facilita su paso a estado gaseoso, su dispersión en el aire y su percepción olfativa.

Los politerpenos son sólidos o semisólidos y poco volátiles. Por eso no huelen.

B. ACTIVIDADES DE AUTOEVALUACIÓN

- 1** Define los siguientes conceptos: *lípidos, molécula anfipática, cadena saturada, cadena insaturada, micela, bicapa, grasa natural, esfingolípido*.

Solución:

- **Lípidos:** Los lípidos son un grupo de moléculas orgánicas formadas por carbono (C), hidrógeno (H) y oxígeno (O), aunque los de mayor complejidad llevan también nitrógeno (N), fósforo (P) y azufre (S).

Desde el punto de vista químico son muy heterogéneos, si bien tienen en común las siguientes propiedades físicas:

- a) son insolubles en agua
- b) son solubles en disolventes orgánicos (no polares) como benceno, éter, cloroformo, etc.
- c) son muy poco densos.
- **Molécula anfipática:** la que contiene grupos hidrófilos y grupos hidrófobos.
- **Cadena saturada:** cadena hidrocarbonada en los ácidos grasos sin dobles ni triples enlaces.
- **Cadena insaturada:** cadena hidrocarbonada en los ácidos grasos con algunos dobles y triples enlaces.
- **Micela:** estructuras aproximadamente esféricas formadas por la asociación de ácidos grasos al ser dispersados en agua.
- **Bicapa:** Fina película formada por la asociación en paralelo de dos capas de lípidos anfipáticos enfrentados por sus extremos hidrófobos. Es la base de todas las membranas biológicas.
- **Grasa natural:** mezcla de triacilglicéridos simples y mixtos que pueden ser líquidos como los aceites y sólidos, como lo sebos.
- **Esfingolípido:** constituyentes de las membranas biológicas formados por tres componentes básicos: esfingosina

(o uno de sus derivados), un ácido graso, y un grupo polar (ácido fosfórico + colina, glucosa o galactosa, un oligosacárido).

- 2** Relaciona los elementos de la tabla indicando la correspondencia entre letras y números

1. Esteroide	a. Vitamina K
2. Diterpeno	b. Hidrólisis alcalina de una grasa simple
3. Saponificación	c. Ester de un ácido graso con un alcohol, ambos de elevado peso molecular
4. Cera	d. Lípido abundante en las membranas de células del sistema nervioso
5. Esfingolípido	e. Derivado del ciclopentano perhidrofenantreno
6. Ceramida	f. Deriva de la misma molécula que el colesterol
7. Estradiol	g. Componente de los esfingolípidos

Solución:

1-e 2-a 3-b 4-c 5-d 6-g 7-f

- 3** Señala si son ciertas o falsas las siguientes afirmaciones, corrigiendo estas últimas y añadiendo las respuestas correctas:

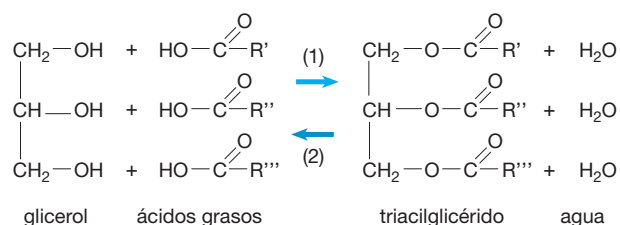
- a. Los triglicéridos son lípidos de membrana.
- b. Los ácidos grasos libres son los lípidos más abundantes.
- c. La vitamina D es un esteroide.
- d. Los lípidos tienen C, H y O pero nunca N ni P.

Solución:

- a. Falsa. Los triacilglicéridos aportan energía a la célula animal, a muchas semillas y a algunos frutos. Son excelentes aislantes térmicos para muchos animales.
- b. Falso. Si bien son muy abundantes formando parte de otros lípidos en estado libre son raros.
- c. Verdadera
- d. Falso. El N se encuentra en todos los fosfoglicéridos (es componente de la etanolamina, la colina y la serina) y esfingolípidos (es componente de la esfingosina). El P se encuentra en todos los fosfolípidos y en las esfingomielinas (ácido fosfórico).

- 4** Escribe la reacción de hidrólisis enzimática de un triacilglicérido.

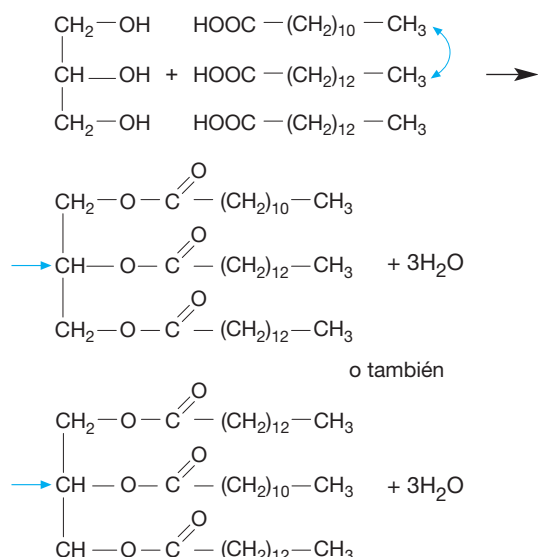
Solución:



Reacción de: 1) síntesis y 2) hidrólisis de un triacilglicérido.

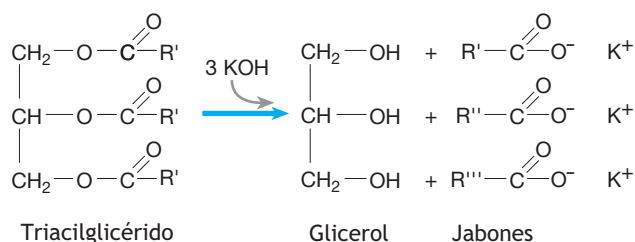
- 5** Escribe la reacción de síntesis de un triacilglicérido formado por glicerol, ácido láurico y ácido mirístico (dos moléculas). ¿Se obtiene una molécula o pueden obtenerse varias? ¿Por qué?

Solución:



Pueden obtenerse dos moléculas diferentes según que el ácido láurico se esterifique con el carbono central del glicerol o con uno de los laterales.

- 5** Identifica la reacción química adjunta.



¿Tiene lugar en los seres vivos? Indica el nombre de los sustratos y los productos que intervienen en la reacción.

Solución:

Se trata de una saponificación. Esta reacción no tiene lugar en los seres vivos, sino que se trata del proceso industrial de obtención del jabón amigdalino (por tratarse de KOH en lugar de NaOH).

- 7** Diógenes Higiénico tiene sobre su lavabo tres sustancias para lavarse las manos: tripalmitina, palmitato sódico e hidróxido de sodio. ¿Cuál de ellas es la indicada para lavarse correctamente? ¿Qué hace desaconsejables para ese fin las otras dos?

Solución:

Debe lavarse con palmitato sódico, que es un jabón (sal sódica de un ácido graso). No puede lavarse con tripalmitina que es un aceite y en ningún caso debe tocar el hidróxido de sodio que es una base caústica extremadamente irritante.

- 8** Dibuja una tabla semejante a la adjunta y rellénala en tu cuaderno de clase.

Sustancias	Componentes comunes
Trioleína y tripalmitina	
Esfingomielina y Ácido linoleico	
Vitamina A y β -caroteno	

Solución:

Sustancias	Componentes comunes
Trioleína y tripalmitina	Glicerol
Esfingomielina y Ácido linoleico	Ácido linoleico
Vitamina A y β -caroteno	4 unidades de isopreno

- 9** Busca información en la red acerca del colesterol. Averigua la diferencia entre el HDL y LDL. ¿Qué son las placas de ateroma? ¿Dónde se forman?

Solución:

La búsqueda debe permitir al alumno llegar al concepto de lipoproteína y describir mediante un esquema como la capa exterior de una lipoproteína plasmática está formada por grupos hidrófilos de cadenas polipeptídicas y de fosfolípidos y su volumen interno por colesterol, tria-

cilglicéridos, y las porciones hidrofóbicas de las cadenas polipeptídicas y las colas polares de los fosfolípidos.

Debe así mismo diferenciar que las lipoproteínas de alta densidad HDL (high density lipoprotein) tienen pocos lípidos en su interior- de ahí su densidad más alta - al contrario que las lipoproteínas de baja densidad LDL que son ricas en lípidos interiores por lo que su densidad es más baja.

Respecto a la función de cada tipo las HDL transportan colesterol de los tejidos y la sangre al hígado para su transformación. Las LDL transportan colesterol del hígado a los tejidos para reparar y formar membranas y formar esteroides.

Si la producción de LDL es alta pueden formarse depósitos de colesterol entre las paredes arteriales formando las **placas de ateroma**, que disminuyen el diámetro arterial y cuya rotura puede provocar un trombo que bloquee el flujo sanguíneo.

10 En un laboratorio de Biotecnología dispongo de varios ácidos grasos para fabricar películas superficiales de recubrimiento de agua. Los ácidos son láurico, lignocérico, y araquidónico. Indicar que ácido o ácidos debo utilizar para fabricar películas que tengan las siguientes características:

- a. alto grado de empaquetamiento y temperatura de solidificación en torno a 44 °C.
- b. alto grado de empaquetamiento y temperatura de fusión superior a los 80 °C.
- c. bajo grado de empaquetamiento. Es indiferente la temperatura de fusión.
- d. temperatura de solidificación entre -48 °C y -50 °C.

Solución:

Debe tenerse en cuenta que el grado de empaquetamiento es mayor en las cadenas saturadas

- a. Ácido láurico.
- b. Ácido lignocérico
- c. Ácido araquidónico
- d. Ácido araquidónico

11 Mediante una hidrólisis controlada descompongo una serie de sustancias A, B, C y D. Indicar de que sustancia se trata.

Sustancia hidrolizada	Productos de hidrólisis
A	Ácidos grasos y glicerol
B	Ácidos grasos, glicerol y ácido fosfórico
C	Esfingosina, ácido esteárico y glucosa
D	Glicerol, un aminoalcohol, ácido fosfórico y ácidos grasos

Solución:

- A = Triacilglicérido B = Ácido fosfatídico;
C = Cerebrósido D = Fosfoglicérido

12 El Charrán ártico es un ave que recorre 40 000 km al año sumando los dos desplazamientos estacionales del polo norte al polo sur antes del invierno ártico y del polo sur al polo norte antes del invierno austral. ¿Qué sustancias de reserva utiliza para realizar tamaños desplazamientos? ¿Qué características físicoquímicas presentan dichas sustancias que las hacen idóneas para ese viaje?

Solución:

Utiliza sus reservas de triacilglicéridos, una excelente fuente de energía, puesto que su baja densidad y elevada energía de oxidación les coloca con ventaja frente a otras sustancias como los glúcidos. El hecho de que exista un tejido, el tejido adiposo, cuyo citoplasma es capaz de almacenar elevadas cantidades de estas sustancias es una ventaja adicional.

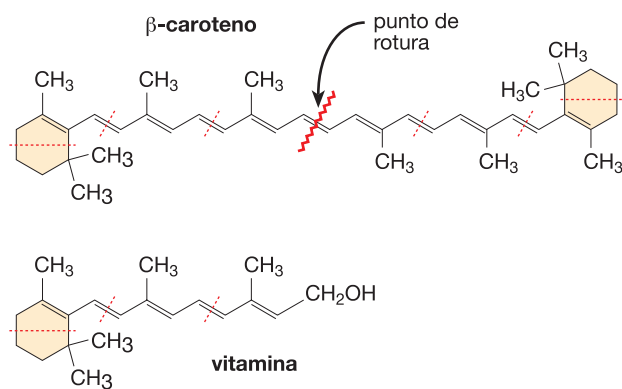
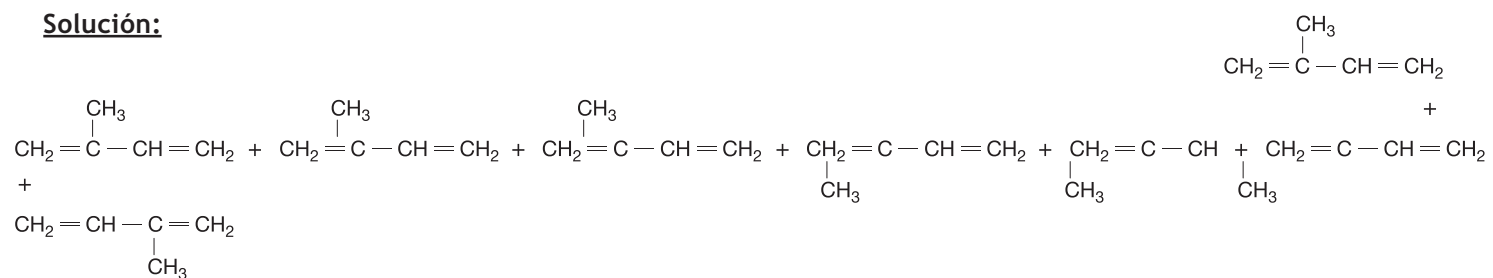
13 Con fundamento se afirma que inhalar pegamento, entre otras calamidades, es nefasto para el sistema nervioso. ¿Qué propiedad de los lípidos explica lo que afirmamos?

Solución:

Los pegamentos son disoluciones concentradas cuyos solventes son compuestos orgánicos variados cuyas características comunes son su alta capacidad de disolución de lípidos y su alta volatilidad (el pegamento debe secarse rápidamente). La inhalación de estos pegamentos afecta las membranas celulares, caso grave sobre todo si se trata de células con poca o nula capacidad de reproducción como son las neuronas.

14 Sintetiza el β-caroteno a partir del isopreno.

Solución:



LAS PROTEÍNAS

4

1. INTRODUCCIÓN

El tema 4 está dedicado al estudio de las proteínas las biomoléculas orgánicas más abundantes en las células que constituyen aproximadamente la mitad del peso seco de un gran número de organismos.

A lo largo del tema ponemos el énfasis en el hecho de que las proteínas realizan una gran diversidad de funciones a partir de unos rasgos estructurales básicos comunes. De ahí la gran importancia que concedemos al estudio de las estructuras de las proteínas en sus niveles primario, secundario, terciario y cuaternario, partiendo de los aminoácidos, elementos constituyentes de las mismas.

Aunque el estudio de la función enzimática y el de la inmunidad tienen como protagonistas moleculares a las proteínas, la trascendencia de estas funciones y la importancia que se les concede en el currículum, hace que tales funciones sean desarrolladas con mucha mayor amplitud en otras unidades temáticas (12 y 19 respectivamente). El estudio de la proteómica también será abordado en otros temas, tras el estudio de la genómica.

De especial interés resulta la aplicación de la técnica de electroforesis en papel para la separación de aminoácidos.

2. TEMPORALIZACIÓN

El desarrollo de esta unidad temática requiere 8 sesiones en las que se incluye una de evaluación y una para la realización de la electroforesis.

3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Identificar los aminoácidos como los componentes moleculares de las proteínas, analizar su estructura química, caracterizar sus propiedades en disolución y relacionar dichas propiedades con los procedimientos habituales de separación.
2. Diferenciar aminoácidos proteicos de aminoácidos no proteicos
3. Estudiar el proceso químico de formación de péptidos y caracterizar el enlace peptídico.
4. Definir qué es una proteína y analizar las estructuras primaria, secundaria, terciaria y cuaternaria. Identificar las interacciones que mantienen estables dichas estructuras.
5. Clasificar funcionalmente las proteínas. Tipificar, definir y describir las diferentes propiedades de interés biológico que presentan las proteínas.
6. Estudiar la naturaleza y el desarrollo del proceso de desnaturalización
7. Analizar, mediante la lectura crítica del documento final, qué son y cómo funcionan las proteínas motoras.
8. Realizar la separación de aminoácidos mediante la aplicación de la técnica de electroforesis en papel.

4. CONTENIDOS CONCEPTUALES

1. Los aminoácidos.
 - Los aminoácidos en disolución.
 - Aminoácidos proteicos y aminoácidos no proteicos.
2. Los péptidos.
3. Las proteínas: concepto y estructura.
 - Estructura primaria.
 - Estructura secundaria.
 - Estructura terciaria.
 - Estructura cuaternaria.
4. Homoproteínas y heteroproteínas.
5. Funciones de las proteínas. Clasificación funcional.
6. Propiedades de interés de las proteínas
 - Especialidad.
 - Comportamiento ácido-base.
 - Solubilidad de las proteínas.
 - Desnaturalización de las proteínas.

5. SOLUCIONES Y COMENTARIOS

A. ACTIVIDADES VINCULADAS AL TEXTO

1 Los aminoácidos

Actividades pág. 59

- Indica cuál será la carga eléctrica a pH 13 de la serina, la valina y la arginina.
- ¿Qué carga eléctrica tendrá el glutamato a pH 1?
- La electroforesis de la figura 1.5 se realizó en un medio tamponado a pH 7. Indicar la carga (positiva o negativa) de los aminoácidos arginina, prolina y aspartato a ese pH.
- ¿Por qué tienen distinto punto isoeléctrico los diferentes aminoácidos?

Soluciones:

- A pH= 13 el grupo amino de la serina estará como -NH_2 y el grupo ácido estará como -COO^- . Su carga será de -1. Igual ocurrirá con la valina.
La arginina es algo más compleja puesto que a ese pH, el grupo amino estará como -NH_2 , el grupo ácido estará como -COO^- pero el grupo R tiene un grupo guanidinio con un pK de 12,48 por lo que a pH= 13 casi la mitad de moléculas de histidina tendrán carga +. Por ello su carga total será negativa pero mayor que -1 (aproximadamente -0,5).
- A pH = 1 el glutamato tendrá el grupo amino como -NH_3^+ y los dos grupos ácido como -COOH . Su carga será +1.
- La mancha que mas se ha movido en dirección al polo negativo es la correspondiente a la arginina luego es el aminoácido con mayor carga +. La prolina también es + a ese pH pero su carga es menor. Finalmente el aspartato tiene carga -, pero esta carga en valor absoluto es menor que la de la arginina, pues la migración del aspartato hacia el polo + es menor que la de la arginina hacia el polo -.
- Por la cadena lateral. Cuando en ella no hay otros grupos ionizables como los grupo amino o ácido el resto de los grupos influye sobre el grupo amino y ácido del carbono α . Cuando los hay, la influencia de estos grupos hace que el aminoácido presente varios estados de ionización. Así por ejemplo la lisina tiene tres valores de pK:

LISINA	Grupo ácido (C α)	Grupo amino (C α)	Cadena lateral
pH 2,18	$[\text{-COOH}] = [\text{-COO}^-]$ (pK ₁ grupo -COOH)	-NH_3^+	-NH_3^+
pH 8,95	-COO^-	$[\text{-NH}_3^+] = [\text{-NH}_2]$ (pK ₂ grupo -NH_3^+)	-NH_3^+
pH 10,53	-COO^-	-NH_2	$[\text{-NH}_3^+] = [\text{-NH}_2]$ (pK ₃ 2º grupo -NH_3^+)

Actividades pág. 60

- Observa las fórmulas estructurales de los aminoácidos proteicos (fig. 1.2) y señala aquellos que tengan algún carbono asimétrico además del carbono α . Indica, además, cuántos isómeros ópticos presentarán dichos aminoácidos.

Soluciones:

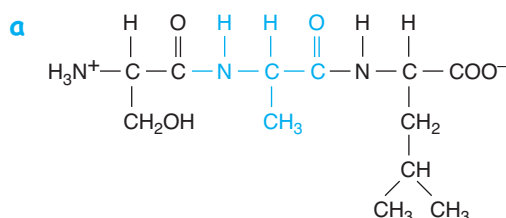
La isoleucina y la treonina tienen también el carbono β asimétrico. El número de isómeros ópticos de un compuesto es 2 elevado al número de carbonos asimétricos. Por tanto: $2^2 = 4$.

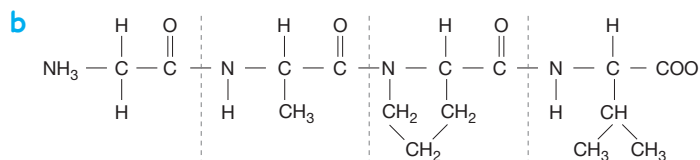
2 Los péptidos

Actividades pág. 61

- Escribe la estructura de un tripéptido formado por los aminoácidos serina, leucina y alanina, colocando la serina en el extremo N-terminal y la leucina en el extremo C-terminal.
- Escribe la estructura de un tetrapéptido formado por los aminoácidos glicocola, alanina, prolina y valina. ¿Cuántas posibilidades existen? ¿Cuántas posibilidades existen ocupando la valina el residuo aminoterminal? ¿Cuántas posibilidades existen ocupando la valina el residuo aminoterminal y la glicocola el residuo carboxiloterminal.

Soluciones:





Como se trata de 4 aminoácidos diferentes, las posibilidades son permutaciones de 4 elementos = $4! = 4 \times 3 \times 2 \times 1 = 24$ tetrapéptidos diferentes. Si la valina ocupa el residuo terminal sólo quedan libres 3 aminoácidos. Por tanto las posibilidades son $3! = 3 \times 2 \times 1 = 6$. Si además fijamos la posición de la glicocola, sólo quedan libres 2 aminoácidos. Las posibilidades son $2! = 2 \times 1 = 2$.

3 Las proteínas: concepto y estructura

Actividades pág. 63

- a Haciendo uso de tus conocimientos de Matemáticas, calcula cuántas proteínas diferentes de 100 aminoácidos podrían construirse si contuvieran los 20 aminoácidos proteicos.
- b Si tenemos un α hélice de 54 nm de larga, calcula:
- el número de aminoácidos que contendrá
 - el número de vueltas que tendrá

Soluciones:

- a Como han de considerarse proteínas diferentes aquellas que difieran en alguno de los aminoácidos componentes, o en su orden de colocación, y como un mismo aminoácido puede repetirse cuantas veces se quiera en una proteína, hemos de considerar las variaciones con repetición de veinte elementos tomados de cien en cien, o sea, 20^{100} . Ese número es muy superior al de átomos del universo (9×10^{78}) y da idea de la inmensa capacidad de los organismos para diversificar sus proteínas componentes, pues basta con cambiar la composición o el orden de colocación de alguno de los aminoácidos.
- b Cada vuelta de la α hélice son 0,54 nm luego una hélice de 54 nm tendrá 100 vueltas. Como en cada vuelta hay 3,6 residuos tendríamos 360 aa. Se trata de un ejercicio matemático, puesto que no se conocen α hélices tan largas.

Actividades pág. 64

- a Explica de qué manera puede influir la estructura primaria de una proteína en el tipo de estructura secunda-

ria que presenta. Para eso habrás de recordar algún detalle explicado en el apartado correspondiente a la disposición espacial del enlace peptídico.

Soluciones:

- a Al hablar de las propiedades del enlace peptídico se ha dicho que dos planos de la amida contiguos pueden girar a través de los dos enlaces sencillos del carbono α , pero que el giro no es totalmente libre, pues la cadena lateral unida al carbono α dificulta la rotación. Por tanto, según la naturaleza de los aminoácidos enlazados, el valor de los ángulos entre los planos de la amida contiguos será diferente, y según esos ángulos, la molécula podrá adoptar una estructura secundaria diferente.

Actividades pág. 66

- a Indica los diferentes tipos de interacciones (enlaces) que estabilizan las estructuras primaria, secundaria, terciaria y cuaternaria de una proteína.
- b Ordena de mayor a menor fuerza las siguientes interacciones: interacción hidrofóbica, enlace de Van der Waals, enlace peptídico, puente disulfuro e interacción electrostática.
- c Indica qué tipo de interacciones, de las que suelen estabilizar la estructura terciaria de una proteína, pueden establecerse entre las siguientes parejas de aminoácidos (ver fig. 1.2):
- valina-leucina • cisteína-cisteína • lisina-aspartato
 - serina-serina • tirosina-glutamina • glutamato-treonina

Soluciones:

- a y b Enlace peptídico > puentes disulfuro > interacciones electrostáticas > puentes de hidrógeno > interacciones hidrofóbicas > interacciones de van der Waals.
- c
- Valina-leucina: puesto que se trata de dos aminoácidos con cadena lateral apolar, podrán establecer interacciones de Van der Waals o también hidrofóbicas.
 - Lisina-aspartato: a pH neutro, el primero presenta carga positiva en la cadena lateral, y el segundo carga negativa; por tanto, podrán establecer interacciones electrostáticas.
 - Tirosina-glutamina: los dos presentan cadena lateral polar sin carga; en el caso de la tirosina, el grupo polar es -OH, y por tanto podrá establecer un puente de hidrógeno con el nitrógeno del grupo amida de la glutamina.
 - Cisteína-cisteína: podrán establecer puentes disulfuro por reacción química entre los dos grupos tiol (-SH).

- Serina-serina: los dos presentan grupo -OH en la cadena lateral, y por tanto podrán establecer puentes de hidrógeno.
- Glutamato-treonina: la treonina presenta un grupo polar -OH; puede establecer un puente de hidrógeno con el oxígeno del grupo carbonilo.

5 Funciones de las proteínas.

Clasificación funcional

Actividades pág. 68

- Enumera las diferentes acciones que puede experimentar un ligando como consecuencia de su unión a una proteína activa.
- Haz una clasificación de proteínas activas según que la unión con el ligando sea reversible o irreversible.

Soluciones:

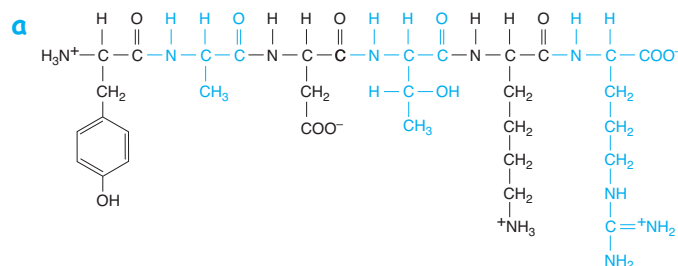
- Cuando el ligando es un sustrato que se une a una enzima, experimenta una transformación química, convirtiéndose en otra sustancia.
Si el ligando se une a una proteína transportadora, cambia de lugar en el organismo, sin alterarse químicamente.
Cuando el ligando se une a una proteína reguladora o a una proteína contráctil, no sufre ninguna transformación, sino que es la proteína la que se transforma.
Si el ligando es un antígeno y se une a una inmunoglobulina, queda rodeado por la proteína, siendo neutralizado o aglutinado, sin que pueda realizar ninguna acción en el organismo.
- Se unen reversiblemente al ligando: enzimas, proteínas transportadoras, reguladoras y contráctiles; esto es así porque para poder seguir ejerciendo su acción, han de separarse del ligando.
Se unen irreversiblemente al ligando las proteínas inmunes, pues la acción de desactivación del antígeno ha de ser duradera.

6 Propiedades de interés de las proteínas

Actividades pág. 70

- Con ayuda de la figura 1. 2, escribe una cadena polipeptídica formada por los aminoácidos tirosina, alanina, aspartato, treonina, lisina y arginina. Señala en qué condiciones de pH (ácido, neutro y básico) se disolverá el polipéptido.
- Las albúminas son fácilmente solubles en agua destilada, mientras que las globulinas lo son en soluciones salinas diluidas.
 - ¿Qué información aportan estos datos sobre la naturaleza de los aminoácidos componentes de estas proteínas?
 - ¿Cuál de los dos tipos de proteínas se verá más fácilmente desnaturalizado por un cambio de pH del medio? Razona tu respuesta.

Soluciones:



Consideramos únicamente las cargas de las cadenas laterales de los aminoácidos, y no de los grupos N-terminal y C-terminal.

A **pH ácido**: el aspartato no se disociará, por exceso de concentración de hidrogeniones, y por tanto no se formará carga negativa; la lisina y la arginina se protonarán y tendrán carga positiva; los demás aminoácidos no presentan carga. Por tanto, la carga neta del polipéptido será +2.

A **pH neutro**: el aspartato se disociará y la lisina y la arginina se protonarán. Por tanto la carga neta del polipéptido será +1.

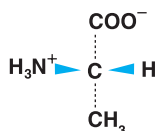
A **pH básico**: el aspartato se disociará y adquirirá carga negativa, en cambio la lisina y la arginina no se protonarán por defecto de hidrogeniones en el medio. Por tanto la carga neta del polipéptido será -1.

- Las albúminas tienen más grupos polares por lo que pueden disolverse en agua destilada. Las globulinas tienen menos grupos polares pero son solubles en disoluciones

salinas diluidas, puesto que los iones salinos contribuyen a aumentar la polaridad de sus cadenas laterales. Las albúminas serían más afectadas por los cambios de pH puesto que tienen más grupos polares.

B. ACTIVIDADES DE AUTOEVALUACIÓN

- 1** ¿Qué aminoácido es el representado a continuación? ¿Es un D-aminoácido o un L-aminoácido?



Solución:

Es un L-aminoácido, por presentar el grupo amino a la izquierda, tras colocar el grupo ácido en posición vertical.

- 2** En el tubo digestivo, las enzimas proteolíticas (pepsina, tripsina, quimiotripsina, carboxipeptidasas y aminopeptidasas) van transformando progresivamente las proteínas en péptidos y éstos en aminoácidos. ¿Qué tipo de enlaces e interacciones han de romper para conseguir esas transformaciones?

Solución:

Los cambios de pH y los movimientos mecánicos propios del tubo digestivo pueden contribuir a romper o debilitar las interacciones más débiles que estabilizan las estructuras secundarias (puentes de hidrógeno), terciaria y cuaternaria (interacciones electrostáticas, hidrofóbicas, y de Van der Waals). Para romper los enlaces covalentes hace falta la acción de las enzimas. Estos enlaces covalentes son:

- Los puentes disulfuro, que estabilizan a las estructuras terciaria y cuaternaria.
- Los enlaces peptídicos que unen entre sí a los diferentes aminoácidos.

- 3** Existe una prueba química sencilla para determinar la presencia de proteínas en un producto natural. Se denomina reacción del biuret. La reacción se produce entre los reactivos y los grupos químicos del enlace peptídico ($-\text{NH}-\text{CO}-$), por lo que sirve para reconocer la presencia de todas las proteínas, sean cuales sean sus aminoácidos componentes.



La prueba se realiza añadiendo a una solución acuosa del producto que se quiere analizar, una disolución concentrada de hidróxido sódico, y luego unas gotas de solución acuosa al 1 % de sulfato de cobre. Si el producto contiene proteínas, la solución acuosa toma un color violeta claro.

Predecir si darán coloración en la reacción del biuret los siguientes productos, justificando la respuesta: leche, clara de huevo, caldo de carne, aceite, zumo de uva, leche cortada (habiendo sido previamente coagulada con unas gotas de ácido en caliente).

Solución:

- Leche: Dará coloración, puesto que es rica en proteínas, como la lactoalbúmina y el caseinógeno.
- Clara de huevo: Dará coloración, pues es rica en proteínas, especialmente la ovoalbúmina.
- Caldo de carne: Dará coloración, pues puede tener en suspensión o en disolución algunas de las proteínas propias del tejido muscular, como la actina y la miosina.
- Aceite: No dará coloración, pues es básicamente una mezcla de grasas líquidas ricas en ácido oleico.
- Zumo de uva: No dará coloración, pues es básicamente una solución acuosa de glucosa.
- Leche cortada: Dará coloración, pues en la desnaturalización de las proteínas no se rompen los enlaces peptídicos.

- 4** La solubilidad de las proteínas varía con el pH y con la concentración de iones disueltos. ¿A qué se deben estas variaciones?

Solución:

La variación del pH puede hacer que cambie la carga de las cadenas laterales de los aminoácidos, y la presencia de iones puede aumentar la polaridad de dichas cadenas y alterarlas; por esos dos procedimientos, puede variarse la afinidad de una proteína por el agua. También, una

concentración excesiva de iones puede provocar que las moléculas de agua rodeen más a los iones que a las moléculas de proteína, con lo cual disminuiría la solubilidad de la proteína.

- 5** Una proteína tiene 100 aminoácidos, entre los que hay 5 lisinas, 3 argininas, 1 histidina, 2 aspártatos y 3 glutámicos. No contiene tirosina ni cisteína. ¿Qué carga neta tendrá dicha proteína a extremos ácidos de pH? ¿Y a valores básicos extremos? ¿Es de esperar que el punto isoeléctrico sea ácido o básico?

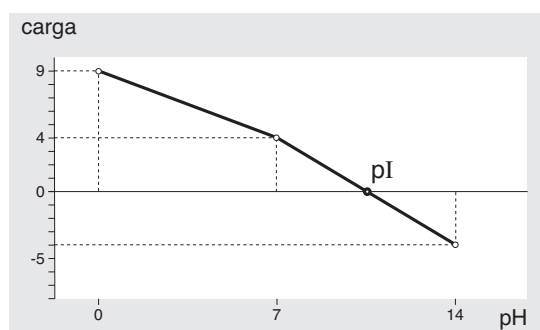
Solución:

El número elevado de aminoácidos es una indicación de que hemos de considerar simplemente las cargas de las cadenas laterales de aminoácidos, y no los extremos N y C terminal. El dato de la ausencia de tirosina y cisteína no afecta a la cuestión, pues se trata de aminoácidos polares sin carga.

A extremos ácidos del pH, los aminoácidos básicos (lisina, arginina e histidina) se protonarán, mientras que los ácidos (aspártico, glutámico) no se disociarán. Por tanto, la carga neta será: +9.

A valores básicos extremos, los aminoácidos básicos no se protonarán, y los ácidos sí que se disociarán. Por tanto, la carga neta será: -5.

El punto isoeléctrico es el valor del pH para el que la proteína tiene una carga neta 0; es de suponer que será un valor de pH superior a 7 (básico), como puede deducirse observando la variación de la carga con el pH en la siguiente gráfica:



La gráfica se ha dibujado calculando también la carga a pH neutro, que será: $+9 - 5 = +4$.

- 6** Muchas veces, para ejercer su función, las proteínas han de cambiar de conformación (cambio de posición relativa de sus átomos en el espacio sin que se rompa ningún enlace químico); por ejemplo, una enzima para unirse al sustrato de reacción, o un anticuerpo para unirse al antígeno, adaptan la forma de su molécula a la del ligando. ¿Puede considerarse este cambio de

conformación como una desnaturalización? Razona tu respuesta comparando los efectos de la desnaturalización con los cambios de conformación citados.

Solución:

Los cambios de conformación citados no deben considerarse como desnaturalización, pues por la desnaturalización, la proteína deja de ser funcional al perderse la estructura nativa con que fue sintetizada, mientras que en los casos citados, el cambio de conformación es necesario para que la proteína ejerza su acción, es decir, las proteínas han sido elaboradas con una estructura que es funcional precisamente porque puede sufrir un cambio de conformación.

- 7** Contesta, justificando la respuesta, si son verdaderas o falsas las siguientes afirmaciones:

- El que exista libertad de giro alrededor de los enlaces $C(\alpha)-C$ y $N-C(\alpha)$ de una cadena polipeptídica significa que un residuo puede girar y adquirir cualquier ángulo respecto al anterior y al siguiente.
- En una proteína globular es de esperar que un residuo de triptófano se encuentre situado en el interior de la molécula.
- Los grupos $C=O$ y $N-H$ de los enlaces peptídicos pueden contribuir a la estabilización de la estructura secundaria formando puentes de hidrógeno, pero no intervienen en la estabilización de las estructuras terciaria y cuaternaria.
- Cuando se desnaturaliza una proteína, se rompen los enlaces peptídicos.
- En la estabilización de la estructura cuaternaria no intervienen nunca enlaces covalentes.

Solución:

- Falso, porque la libertad de giro está limitada por las atracciones o repulsiones que ejerzan las cadenas laterales unidas al carbono α .
- Verdadero, porque el triptófano tiene una cadena lateral apolar, por tanto no formará interacciones con el agua, sino con otros grupos apolares.
- Falso, porque los puentes de hidrógeno entre estos grupos también pueden contribuir a estabilizar las estructuras terciaria y cuaternaria.
- Falso, porque constituyen el único enlace o interacción que no se rompe en una desnaturalización, y por eso se dice que las proteínas desnaturalizadas mantienen su estructura primaria.
- Falso, porque pueden intervenir los puentes disulfuro.

8 Diferencia claramente las siguientes parejas de conceptos:

- a. Estructura secundaria/estructura terciaria.
- b. Puente de hidrógeno/interacción electrostática.
- c. Hélice α /estructura β .
- d. Proteínas estructurales/proteínas de reserva.
- e. Enlace peptídico/enlace isopeptídico
- f. Péptido proteico /péptido no proteico.

Solución:

- a. La **estructura secundaria** es la disposición espacial que adopta la cadena polipeptídica según los ángulos que forman entre sí los planos de la amida. Se estabiliza principalmente mediante puentes de hidrógeno entre grupos C=O y N-H de los enlaces peptídicos.
- b. El **puente de hidrógeno** es un tipo de interacción electrostática que se establece entre un átomo de hidrógeno (que, sin llegar a tener carga eléctrica positiva, tiene una cierta polaridad eléctrica positiva por estar enlazado a otro átomo afín por los electrones) y otro átomo que, sin llegar a tener carga eléctrica negativa, tiene una cierta polaridad eléctrica negativa por estar enlazado con átomos poco afines a los electrones; los átomos que más frecuentemente interaccionan con el hidrógeno son el oxígeno, azufre y nitrógeno.
La interacción electrostática es un concepto amplio que abarca al puente de hidrógeno como caso particular, y se forma entre átomos con polaridad eléctrica opuesta, tanto si presentan una carga eléctrica neta, como si presentan una cierta polaridad por razón de la mayor o menor afinidad por los electrones.
- c. La **hélice α** es un tipo de estructura secundaria en que la cadena polipeptídica adquiere forma de héli-

ce o muelle, con el giro a la derecha en el sentido de avance de la molécula.

La **estructura β** es un tipo de estructura secundaria en que la cadena polipeptídica adquiere forma de zigzag o acordeón, con los pliegues a nivel de los carbonos α .

- d. Las **proteínas estructurales** contribuyen a dar forma, rigidez o flexibilidad a las diversas partes de la célula o del organismo pluricelular. Son mayoritariamente fibrilares (de forma alargada e insolubles en agua).

Las **proteínas de reserva** constituyen un almacén de aminoácidos que el organismo utilizará con su crecimiento y desarrollo. Son mayoritariamente globulares (de forma redondeada y solubles en agua).

- e. El **enlace peptídico** es resultado de la formación de un grupo amida entre el grupo carboxilo principal de un aminoácido y el grupo α -amino de otro.

El **enlace isopeptídico** es resultado de la formación de un grupo amida entre un grupo carboxilo de un aminoácido y un grupo amino de otro, pero de manera que o bien el grupo carboxilo, o bien el grupo amino, o bien los dos, están en la cadena lateral de los aminoácidos; es decir, o bien no es el grupo carboxilo principal, o bien no es el grupo α -amino.

- f. Un **péptido proteico** es un fragmento de proteína o una cadena polipeptídica que será utilizada para la formación de una proteína. Sus aminoácidos componentes son algunos de los veinte aminoácidos proteicos, y están unidos entre sí por enlaces peptídicos.

Un **péptido no proteico** no forma parte de la composición de una proteína, sino que tiene otras funciones biológicas diferentes. Algunos de sus aminoácidos pueden no pertenecer al grupo de los veinte aminoácidos proteicos, y puede ser que algunos de los aminoácidos estén unidos por enlaces isopeptídicos.

NUCLEÓTIDOS Y ÁCIDOS NUCLEICOS

5

1. INTRODUCCIÓN

El presente tema parte del estudio de los componentes más sencillos de los ácidos nucleicos, los nucleótidos, con una descripción de su estructura química y también de sus funciones, como biocatalizadores y como vectores de energía. Se prosigue con un estudio de la estructura química de los diferentes ácidos nucleicos, y se presenta su función biológica, que será desarrollada en el tema 15.

La importancia biológica de los ácidos nucleicos justifica que se intente profundizar en la comprensión de su estructura química, que hace posible su trascendental función como transmisores de información.

Detalles estructurales, como el estudio de la cromatina de los eucariotas, ayuda a comprender la complejidad de la estructura de estos compuestos, y el documento final, que nos sitúa en los albores de la vida, ayuda también a comprender los problemas que la evolución prebiótica hubo de resolver.

2. TEMPORALIZACIÓN

El presente tema puede desarrollarse en seis sesiones. La evaluación del tema puede hacerse conjuntamente con el de las proteínas.

3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Reconocer la estructura química de los nucleótidos, haciéndose hincapié en el modo de realizarse la unión química entre sus componentes y de unos nucleótidos con otros.
2. Conocer las funciones biológicas de los nucleótidos que no forman parte de los ácidos nucleicos.
3. Describir la estructura de los ácidos nucleicos y relacionarla con sus funciones biológicas.
4. Conocer el modo en que se presenta en la célula la molécula de DNA, explicando las ventajas químicas y funcionales de la estructura de la cromatina.
5. Desarrollar destrezas investigadoras a través de la realización de prácticas de identificación de biomoléculas.

4. CONTENIDOS CONCEPTUALES

1. Nucleósidos y nucleótidos
2. Nucleótidos de interés biológico
 - Fosfatos de adenosina
 - Coenzimas derivadas de nucleótidos
3. Polinucleótidos y ácidos nucleicos
 - Estructura química
 - Comparación del DNA y el RNA
 - Funciones de los ácidos nucleicos
4. Estructura de los diferentes tipos de RNA
5. Estructura del DNA
6. Variaciones de la estructura del DNA
7. La cromatina

5. SOLUCIONES Y COMENTARIOS

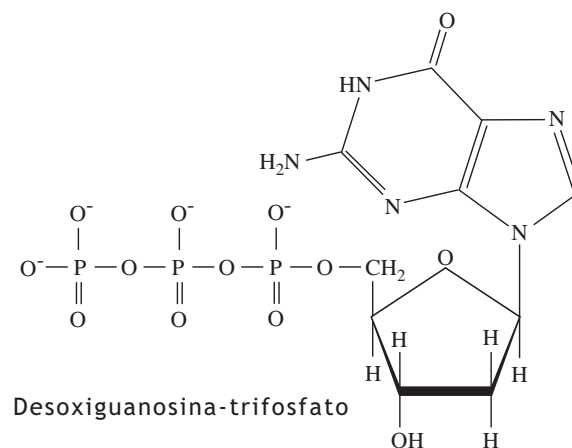
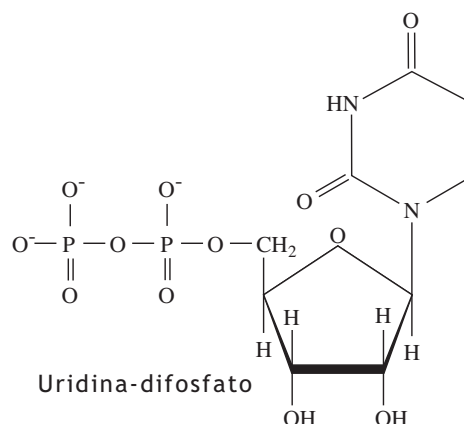
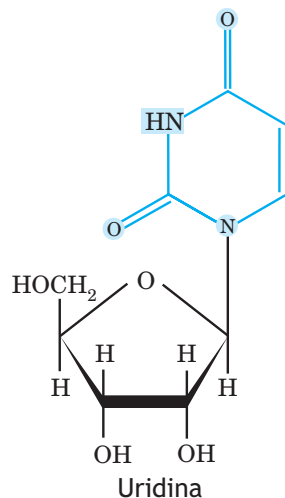
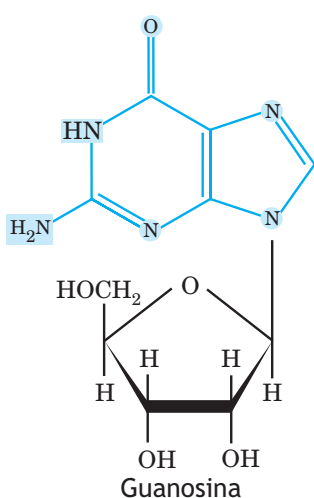
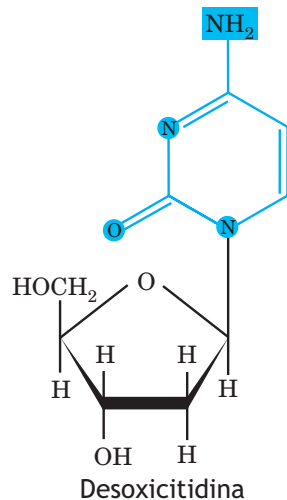
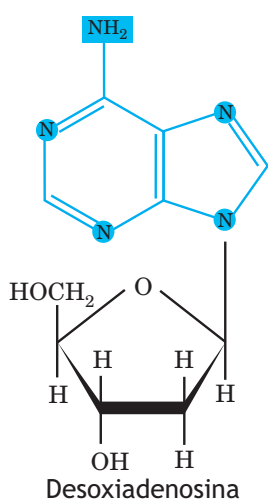
A. ACTIVIDADES VINCULADAS AL TEXTO

1 Nucleósidos y nucleótidos

Actividades pág. 77

- a Haciendo uso de las estructuras de bases nitrogenadas, nucleósidos y nucleótidos que se facilitan en las figuras anteriores, y de las correspondientes a los monosacáridos, que se estudiaron en el Tema 2, escribe la estructura química de los siguientes compuestos: guanosina, uridina, desoxiadenosina, desoxicitidina, uridina-difosfato (UDP), desoxiguanosina-trifosfato (dGTP).

Soluciones:



2 Nucleótidos de interés biológico

Actividades pág. 79

- a Clasifica las coenzimas estudiadas en dos grupos según el modo de actuación para hacer posible la acción de la enzima.
- b Indica qué tienen de común y qué tienen de diferente las coenzimas estudiadas y los nucleótidos que forman parte de los ácidos nucleicos.

Soluciones:

- a Los flavín nucleótidos y los piridín nucleótidos se unen temporalmente a la enzima, en el centro activo, al mismo tiempo que el sustrato, para facilitar el trasiego de hidrogeniones y electrones.

La coenzima A se enlaza con el sustrato previamente a la unión de éste a la enzima, provocando la activación del sustrato.

- b** Las coenzimas estudiadas tienen en común con los nucleótidos de los ácidos nucleicos la presencia de componentes comunes (ribosa, fosfato, adenina) y el modo de unirse de dichos componentes.

Las diferencias son:

- Las coenzimas presentan bases nitrogenadas que no son propias de los ácidos nucleicos: flavina y nicotinamida, y, en el caso de la coenzima A, otros compuestos no presentes en los ácidos nucleicos: ácido pantoténico y β -aminoetanotiol.
- Hay coenzimas que son dinucleótidos (FAD, NAD y NADP), y no unen los dos nucleótidos por un enlace fosfodiéster, como vemos en el estudio de los polinucleótidos, sino que se enlazan entre sí los fosfatos de cada uno de los nucleótidos.

3 Polinucleótidos y ácidos nucleicos

Actividades pág. 81

- a** Teniendo presente las diferencias estructurales entre el DNA y el RNA, ¿piensas que será abundante en la célula el nucleótido dUTP? ¿Y el TMP? ¿Por qué razón?
- b** Compara la estructura química de la ribosa y de la desoxirribosa y señala si hay algún detalle diferente que pueda justificar el hecho de que el DNA pueda adoptar estructuras más compactas y estables que el RNA.

Soluciones:

- a** dUTP y TMP no pueden ser abundantes en la célula:
- Respecto del dUTP, los desoxirribonucleótidos son propios del DNA y este ácido no presenta uracilo.
 - Respecto del TMP, los ribonucleótidos son propios del RNA y este ácido no presenta timina.
- b** En el carbono 2' de la pentosa, la ribosa presenta un hidrógeno y un hidroxilo, y la desoxirribosa presenta dos hidrógenos. El grupo hidroxilo es más polar y afín al agua que el hidrógeno, y por tanto la ribosa tendrá más tendencia a rodearse de agua que la desoxirribosa, así que será más difícil que un polirribonucleótido adquiera estructuras compactas.

4 Estructura del RNA

Actividades pág. 83

- a** ¿Qué modalidad de RNA presenta las moléculas más grandes? ¿Y cuál es la modalidad que las presenta más pequeñas?
- b** ¿Qué modalidad de RNA se caracteriza por no presentar apenas regiones con bases nitrogenadas apareadas?
- c** ¿Qué modalidad de RNA se caracteriza por presentar bases nitrogenadas atípicas en el RNA?

Soluciones:

- a** El mRNA presenta las moléculas más grandes, y el tRNA las moléculas más pequeñas.
- b** El mRNA no presenta apenas regiones con bases apareadas.
- c** El tRNA puede presentar timina (propia del DNA) y derivados de otras bases nitrogenadas, como la N6-metiladenina, 7-metilguanina y dihidrouracilo.

6 Variaciones de la estructura del DNA

Actividades pág. 86

- a** Al analizar químicamente una molécula de DNA se observa que el 20 % de sus bases nitrogenadas lo constituye la adenina. Calcular el porcentaje en que se encuentran las otras bases nitrogenadas.
- b** ¿Qué crees que será más fácil, separar las dos hebras de una molécula de DNA o separar los nucleótidos que componen cada hebra? Justifica tu respuesta.
- c** Observa las dos siguientes secuencias bases nitrogenadas de fragmentos de DNA. Intenta construir un fragmento de DNA híbrido, señalando, por ejemplo con una raya entre las bases, las bases nitrogenadas que no llegarán a establecer puentes de hidrógeno estables entre ellas.
- | | |
|-------------------|-------------------|
| ATTACGCGGCTGCATT | ATTAACGCGGCAGGCTT |
| TAAATGCGCCGACGTAA | TAATTGCGCCGTCCGAA |

Soluciones:

- a** Como A y T se presentan enfrentadas en el DNA, el porcentaje de timina ha de ser igual al de adenina: 20 %
Entre timina y adenina suman un 40 % de las bases nitrogenadas; el resto, será citosina y guanina: el 60 %. Como,

además, C y G se encuentran enfrentadas, se encontrarán en el mismo porcentaje: 30 % para la citosina y 30 % para la guanina.

b Las dos hebras del DNA se hallan unidas por los puentes de hidrógeno entre las bases complementarias, mientras que los nucleótidos de una misma hebra están unidos por enlaces covalentes, que constituyen una interacción más fuerte; por tanto, será más fácil separar las dos hebras que separar los nucleótidos de una hebra. Por eso la desnaturalización del DNA se consigue por calentamiento en un medio extracelular, mientras que la rotura del DNA requiere agentes energéticos como radiaciones X o reactivos químicos fuertes.

c * A T T T A C G C G G C T G C A T T
 ** T A A T T G C G C C G T C C G A A
 * hebra superior de 1.^a molécula
 ** hebra inferior de 2.^a molécula

B. ACTIVIDADES DE AUTOEVALUACIÓN

1 Algunas vitaminas son sustancias que forman parte de la composición química de las coenzimas estudiadas en el presente tema. Por ejemplo:

- Vitamina B₂, químicamente la riboflavina.
- Vitamina P-P, químicamente la nicotinamida.
- Ácido pantoténico.

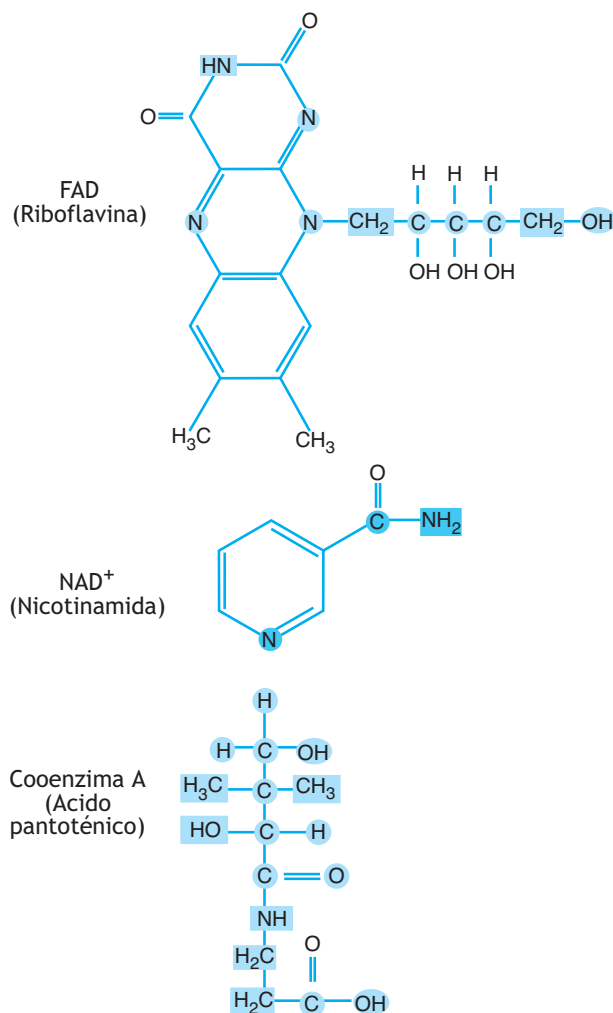
Teniendo presente la información suministrada en el presente tema, resuelve las siguientes cuestiones:

- ¿Se trata de vitaminas hidrosolubles, o liposolubles? Justifica tu respuesta.
- ¿Qué funciones desempeñarán en el organismo dichas vitaminas?

Escribe la estructura química de las tres vitaminas.

Solución:

- Serán hidrosolubles, pues forman parte de compuestos hidrosolubles, como son los nucleótidos.
- Forman parte de coenzimas y por tanto se puede considerar que tienen función de biocatalizadores.
- El alumnado puede encontrar dos de las estructuras químicas en las figuras 2.2 y 2.3 del tema (pág. 79), para lo cual debe eliminar de la estructura de las coenzimas la parte correspondiente a las pentosas y fosfatos. Para evitar dudas, se reproducen a continuación las estructuras:



2 Observa los siguientes esquemas, relativos al funcionamiento de los ácidos nucleicos, e indica cuáles son verdaderos y cuáles son falsos:

- RNA0 → replicación → RNA1 + RNA2
- DNA → transcripción → RNA
- DNA → traducción → proteína
- DNA0 → replicación → DNA1 + DNA2
- RNA → transcripción → proteína
- RNA → transcripción → DNA
- RNA → traducción → proteína
- DNA → traducción → RNA
- RNA → traducción → DNA

Solución:

- Falso.
- Verdadero.
- Falso; aunque puede considerarse verdadero si se incluye la transcripción en el proceso global de la traducción.

- d. Verdadero.
- e. Falso.
- f. Falso.
- g. Verdadero.
- h. Falso.
- i. Falso.

3 Se realiza el análisis químico de un ácido nucleico y nos van suministrando progresivamente la información. Se escribe a continuación, por orden cronológico, la información que nos suministran; conjetura después de cada etapa el tipo de ácido nucleico que se está analizando, y justifica tu respuesta:

- a. Contiene un hidrato de carbono que es el monosacárido ribosa.
- b. Contiene un 13 % de uracilo, un 25 % de adenina, un 28 % de guanina y un 34 % de citosina.
- c. Su masa molecular relativa es $2,03 \times 10^5$.

Solución:

- a. Debe ser RNA, pues la ribosa es propia de dicho ácido nucleico.
- b. Dada la gran diferencia entre los contenidos de U y A, y de C y G, no debe presentar muchas regiones con bases apareadas, por lo que probablemente será mRNA.
- c. Dada su elevada masa molecular relativa, lo más probable es que se trate de mRNA.

4 Recuerda lo explicado sobre la estabilidad de los ácidos nucleicos y razona qué ventajas puede reportar a los seres vivos el hecho de que el mensaje genético se almacene en forma de DNA y no de RNA. ¿Hay alguna excepción a esta regla general?

Solución:

Si el mensaje genético ha de transmitirse inalterado de generación en generación, conviene que sea guardado en moléculas químicamente estables; como el DNA es mucho más estable que el RNA, es más ventajoso para los organismos que el mensaje genético se almacene en forma de moléculas de DNA.

Una excepción a esta regla general son aquellos virus que tienen un material genético en forma de moléculas de RNA.

5 En la purificación de un fragmento de DNA se ha perdido una porción de una de las dos hebras, quedando la secuencia de bases nitrogenadas como se indica a continuación. Reconstruye la porción que falta y explica en qué te basas para reconstruirla.

ATTACC.....

TAATGGGCCGAATTCGGCTAAGCT

Solución:

ATTACCCGGCTTAAGCCGATTCGA

TAATGGGCCGAATTCGGCTAAGCT

Se reconstruye teniendo en cuenta la complementariedad de las bases nitrogenadas: frente a la G siempre va C, frente a la A siempre va la T, y viceversa.

6 Si el ácido nucleico que se estuviera purificando fuera RNA, ¿podrías reconstruir una porción perdida con la misma facilidad que lo has hecho en la cuestión anterior? ¿Qué datos necesitarías para intentar dicha reconstrucción?

Solución:

Solamente se podría reconstruir la porción perdida si se tuviera la seguridad de que se trata de una porción de la molécula con las bases apareadas, pues también en ese caso se cumple siempre la complementariedad A-U, C-G.

7 En la purificación de unas moléculas de tRNA se obtiene un fragmento cuya secuencia de bases nitrogenadas es la siguiente:

AUACGGCUAUCAGA

UAUGCCGAUAGUCU

¿Puede encontrarse en ese fragmento la secuencia del anticodón? Razona tu respuesta.

Solución:

No puede encontrarse en ese fragmento el anticodón, pues se trata de un fragmento con las bases apareadas, mientras que el anticodón se encuentra en un bucle de la molécula con bases nitrogenadas sin aparear.

8 Define brevemente los siguientes conceptos:

- nucleótido
- polinucleótido
- cromatina
- brazo aceptor del tRNA
- cadenas de nucleótidos antiparalelas
- desnaturalización del DNA
- bases nitrogenadas complementarias
- coenzima
- anticodón
- nucleosoma

Solución:

- **Nucleótido.** Biomolécula resultante de la unión entre una base nitrogenada, una pentosa y una o varias moléculas de ácido fosfórico. La unión entre dichas moléculas se realiza concretamente en lugares específicos, y mediante enlaces de determinado tipo: la base se une a la pentosa por un enlace N-glicosídico, y el fosfato se une a la pentosa mediante enlace éster.
- **Polinucleótido.** Son biomoléculas formadas por la unión de muchos nucleótidos que se unen entre sí por enlaces denominados fosfodiéster 5'-3', pues un fosfato forma un enlace éster con el carbono 5' de la pentosa de un nucleótido, y otro enlace éster con el carbono 3' de la pentosa del siguiente nucleótido.
- **Cromatina.** Es el complejo de sustancias que alberga el DNA en el núcleo de las células eucarióticas en reposo. Está formada básicamente por DNA y proteínas.
- **Brazo aceptor del tRNA.** Extremo de la molécula del tRNA que presenta bases sin aparear, y a cuyo nucleótido final se unirá un aminoácido en el proceso de síntesis de proteínas.
- **Cadenas de nucleótidos antiparalelas.** El término hace referencia a la disposición de las cadenas de nucleótidos enfrentadas en el DNA, pues las dos tienen polaridades opuestas: si se avanza por la doble hélice de arriba a abajo, en una cadena el primer C de la cadena es el 5' y el último el 3' (polaridad 5' → 3'), mientras que la otra cadena el primer C de la cadena es el 3' y el último es el 5' (polaridad 3' → 5').
- **Desnaturalización del DNA.** Consiste en la separación de las dos hebras de una molécula de DNA por ruptura de los puentes de hidrógeno entre las bases nitrogenadas enfrentadas.
- **Bases nitrogenadas complementarias.** Cada base púrica tiene una base pirimidínica a la que puede unirse establemente mediante el establecimiento de puentes de hidrógeno, pues la posición de sus grupos polares es complementaria cuando las bases se encuentran formando parte de polinucleótidos.
Concretamente, son complementarias la adenina con la timina o con el uracilo, pues pueden establecer dos puentes de hidrógeno, y la guanina con la citosina, pues pueden establecer tres puentes de hidrógeno.
- **Coenzima.** Sustancia orgánica no proteica (generalmente derivada de los nucleótidos) que debe estar presente en las reacciones enzimáticas para que la enzima realice su acción catalítica: o se une al centro activo de la enzima en el momento de la reacción, o se enlaza al sustrato previamente a la reacción.

- **Anticodón.** Triplete o grupo de tres nucleótidos situados en el bucle de la molécula de tRNA opuesto al brazo aceptor, y que determina la especie del tRNA y el aminoácido que se unirá al tRNA en el proceso de síntesis de proteínas.
- **Nucleosoma.** Es una unidad estructural de la cromatina que se repite numerosas veces, y está formado por un octámero de proteínas histonas y un filamento de DNA de longitud fija (146 nucleótidos) que envuelve al octámero (paquete de ocho moléculas).

9 *La cromatina es una estructura propia de las células eucarióticas. En las células procarióticas hay normalmente una sola molécula de DNA que se une a algunas proteínas estructurales y funcionales, pero sin constituir una estructura tan compleja como la cromatina, pues de hecho, se puede observar el DNA como un filamento de unos 2 nm de grosor. A la vista de los datos de la Tabla III del texto:*

- ¿Qué diferencia observas entre el DNA de las células eucarióticas y procarióticas que justifique que estas últimas no presenten cromatina?*
- ¿Presentarán cromatina los virus? Razona tu respuesta.*

Solución:

- Las moléculas de DNA de las células procariotas son muchísimo más cortas, y por eso pueden neutralizarse y empaquetarse sin necesidad de una estructura proteica compleja.
- No, pues se trata de una molécula aún más pequeña que en el caso de las células procarióticas.

C. ACTIVIDADES DEL DOCUMENTO DE AMPLIACIÓN

LAS MACROMOLÉCULAS EN EL ORIGEN DE LA VIDA

- Compara la idoneidad de ácidos nucleicos, proteínas y APN como compuestos para iniciar la evolución prebiótica; puedes rellenar para ello la siguiente tabla:*

Solución:

Compuesto	Proporciona información	Función catalítica	Estabilidad química
RNA	SI	SI, en ocasiones	NO
DNA	SI	NO	SI
Proteínas	SI, en ocasiones	SI	SI
APN	SI	NO	SI, excesiva

INTRODUCCIÓN A LA CÉLULA

6

1. INTRODUCCIÓN

El presente Tema, Introducción a la célula, se inicia, en primer lugar, con el conocimiento de la Teoría celular como teoría básica de la Biología. Seguidamente se plantean los métodos, morfológicos y bioquímicos, de estudio de las células destacando la importancia de la microscopía ya sea la óptica o la electrónica. A continuación, se revisan los dos ti-

pos de organización celular y se estudian el paso de las células procarióticas a las eucarióticas y las diferencias entre los organismos procariotas y eucariotas. Finalmente se hace una introducción al estudio de la célula eucariótica que será tratada con mayor detalle y profundidad en los cinco temas siguientes de esta Unidad.

2. TEMPORALIZACIÓN

El presente tema puede desarrollarse en 6 sesiones.

3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Valorar la Teoría celular como Teoría básica de la Biología.
2. Diferenciar las distintas técnicas que se utilizan en el estudio de la célula dedicando especial atención al uso del microscopio óptico.
3. Reconocer la estructura básica y universal de la célula en los distintos tipos de células existentes.
4. Analizar y relacionar las imágenes obtenidas de la célula a partir de diferentes métodos de observación, con su estructura tridimensional.
5. Establecer las diferencias y semejanzas entre los dos tipos de organización celular.
6. Exponer las características principales de las células eucarióticas.
7. Señalar las diferencias entre las células eucarióticas animales y vegetales.

4. CONTENIDOS CONCEPTUALES

1. Teoría celular: introducción histórica
 - Los principios de la teoría celular
2. Métodos de estudio morfológicos de la célula
 - Microscopía óptica
 - El poder de resolución
 - La manipulación de las muestras para microscopía óptica
 - Microscopía electrónica
3. Estudio bioquímico de la célula
 - Fraccionamiento celular
 - Autorradiografía
 - Cultivo celular
4. Tipos de organización celular
5. Introducción al estudio de la célula eucariótica
 - Estructuras de la célula eucariótica y sus funciones
6. El paso de las células procarióticas a las eucarióticas
 - La teoría endosimbiótica
7. Diferencias entre células procarióticas y eucarióticas

5. SOLUCIONES Y COMENTARIOS

A. ACTIVIDADES VINCULADAS AL TEXTO

1 Teoría celular. Introducción histórica

Actividades pág. 94

- a *¿Qué diferencias hay entre las células observadas por Hooke y por su contemporáneo Leeuwenhoek?*
- b *Cuando Robert Hooke examinó al microscopio una lamini-lla de corcho, ¿qué parte de las células es la que observó?*
- c *¿Qué importancia tienen los descubrimientos de Brown y Purkinje?*

Soluciones:

- a Las celdillas o células descritas por Robert Hooke no corresponden a lo que hoy se entiende por célula, ya que dicho científico observó las paredes celulares de células vegetales muertas y describió los huecos que las células habían ocupado. Su contemporáneo Leeuwenhoek observó una gran variedad de muestras: saliva, cocciones de pimienta, corcho, las hojas de las plantas, la circulación de la sangre en la cola de la salamandra, líquido seminal, orina, estiércol bovino, partículas procedentes del raspado de los dientes, etc. En muchas de estas muestras Leeuwenhoek descubrió células vivas, que ahora denominamos protozoos y bacterias, pero él las llamó a todas "animalculos".
- b Las paredes celulares.
- c Que se refieren ya al contenido interno de la célula. Brown descubrió el núcleo de la célula, como un pequeño corpúsculo que destaca en el interior de todas las células y Purkinje se centró en el líquido que llena la célula, al que denominó protoplasma.

2 Métodos de estudio morfológico de la célula

Actividades pág. 97

- a *¿Por qué se pueden ver más detalles de las estructuras celulares en las imágenes obtenidas con el microscopio que en imágenes muy ampliadas usando el microscopio óptico?*

Soluciones:

- a Porque el poder de resolución del microscopio electrónico es mayor que el del microscopio óptico. De esta característica del microscopio depende la observación de los detalles finos.

El poder de resolución se define como "la distancia mínima entre dos puntos que permite que ambos puedan distinguirse por separado, en vez de observarse como un solo punto borroso. Depende de la longitud de onda de la luz que se utiliza en el microscopio, aunque en la práctica también influye la calidad de las lentes.

El poder de resolución del microscopio óptico que utiliza luz visible es de 200 nm y el del microscopio electrónico que utiliza como fuente de iluminación un haz de electrones es de 2 nm para los objetos biológicos. Por tanto, el poder de resolución del microscopio electrónico es unas 100 veces superior al del microscopio óptico lo que permite ver más detalles de los objetos biológicos.

3 Estudio bioquímico de la célula

Actividades pág. 99

- a *Durante el fraccionamiento, las células y las soluciones que se utilizan deben mantenerse muy frías. ¿A qué puede deberse?*
- b *¿Cómo se puede determinar el contenido del precipitado?*
- c *Un homogeneizado de una célula animal se centrifuga a 15000 g durante 40 minutos y el precipitado se desecha. ¿Qué orgánulos celulares había en el precipitado que se ha desechado? ¿Qué orgánulos celulares se quieren estudiar?*
- d *Si inyectamos glucosa radiactiva (marcada con ^{14}C) en la vena de una rata, ¿dónde y en qué molécula podríamos medir la cantidad de carbono radiactivo procedente del metabolismo de la glucosa?*

Soluciones:

- a A que a bajas temperaturas se ralentizan mucho las reacciones celulares. Hay que tener en cuenta que durante el fraccionamiento se produce la rotura de muchos orgánulos y por tanto la liberación de enzimas que podrían llevar a cabo reacciones no deseadas.

- b Tomando muestras y observándolas al microscopio electrónico para determinar los orgánulos que contiene.
- c En el precipitado que se desecha hay mitocondrias y lisosomas. Se quieren estudiar los orgánulos que quedan en el sobrenadante que son RE rugoso y ribosomas.
- d En sangre o en las vías respiratorias se podría medir la cantidad de $^{14}\text{CO}_2$ procedente del catabolismo de la glucosa.

6 El paso de las células procarióticas a eucarióticas

Actividades pág. 105

- a Ordena los siguientes seres vivos según su orden de aparición: bacterias aeróbicas, células eucarióticas anaeróbicas, cianobacterias, células eucarióticas fotosintéticas, bacterias anaeróbicas, células eucarióticas aeróbicas, plantas y animales. Indica de estos seres vivos los que contienen mitocondrias y los que contienen cloroplastos. Construye ahora el árbol filogenético de estos organismos, señalando el origen de sus orgánulos energéticos.

Soluciones:

- a 1. Bacterias anaeróbicas; 2. Cianobacterias; 3. Bacterias aeróbicas; 4. Células eucarióticas anaeróbicas; 5. Células eucarióticas aeróbicas (mitocondrias); 6. Células eucarióticas fotosintéticas (mitocondrias y cloroplastos); 7. Animales (mitocondrias); 8. Plantas (mitocondrias y cloroplastos).

B. ACTIVIDADES DE AUTOEVALUACIÓN

- 1 Señala las semejanzas y diferencias entre las células procariotas y las eucariotas.

Solución:

Semejanzas entre las células procariotas y las eucariotas

Las dos presentan todas las funciones propias de un ser vivo. Estructuralmente están rodeadas por una membrana y contienen material genético, DNA, y ribosomas que son los orgánulos donde se sintetizan las proteínas.

Diferencias entre las células procarióticas y las eucarióticas.

Las células procarióticas no tienen núcleo definido por carecer de membrana nuclear, su material genético está

formado por una molécula de DNA circular dispersa en el citoplasma y carecen de la mayoría de los orgánulos citoplasmáticos, a excepción de los ribosomas.

En las células eucarióticas podemos distinguir tres partes fundamentales: membrana, citoplasma y núcleo. El citoplasma es la parte de la célula que está comprendida entre la membrana plasmática y la membrana nuclear, y contiene un gran número de orgánulos: ribosomas, retículo endoplasmático, complejo de Golgi, lisosomas, vacuolas, mitocondrias, cloroplastos y centríolos. El núcleo es el orgánulo más voluminoso de la célula, está rodeado por una doble membrana y en su interior se encuentran varios cromosomas formados por largas moléculas de DNA lineales y asociadas a proteínas.

Otras diferencias entre los dos tipos de células se recogen en el cuadro de la página 106.

- 2 Enumera las semejanzas y diferencias entre las células animales y las vegetales. Realiza un esquema de ambas indicando sus componentes.

Solución:

Semejanzas entre las células animales y vegetales

Ambos tipos de células son eucarióticas y por tanto en ellas podemos distinguir tres partes fundamentales: membrana, citoplasma y núcleo.

Diferencias entre las células animales y vegetales

Las células vegetales poseen una pared celular formada de celulosa por encima de la membrana plasmática, cloroplastos encargados de realizar la fotosíntesis y grandes vacuolas que ocupan casi todo el citoplasma desplazando el núcleo hacia un lado.

Las células animales poseen centríolos que no tienen las células vegetales.

Para realizar un esquema de la célula eucariótica animal y otro de la vegetal se pueden utilizar los de la figura 5.1, página 101, del libro del alumno.

- 3 Indica a qué corresponden los siguientes esquemas y señala las funciones de sus componentes.

Solución:

El esquema de la izquierda corresponde a un microscopio óptico y el de la derecha a uno electrónico.

El microscopio óptico consta de una fuente de luz visible que pasa en primer lugar por una lente que hace de condensador concentrando la luz sobre la muestra y a continuación después de atravesar dicha muestra pasa por un sistema de lentes, objetivo y ocular, responsables de la ampliación final que es observada por el ojo.

El microscopio electrónico se basa en la propiedad que tienen los electrones de ser desviados por un campo electromagnético, de la misma forma que un rayo de luz es desviado al atravesar una lente. Está formado por un tubo o columna en la que se ha hecho el vacío y que contiene en su parte superior un cátodo que al calentarse emite electrones. Dado que la emisión de electrones desde el cátodo es multidireccional, mediante un electroimán que hace de condensador los electrones se concentran sobre el plano donde se encuentra la muestra a estudiar. A continuación, un segundo electroimán actúa como objetivo y da una imagen agrandada del objeto, la cual a su vez es recibida por un tercer electroimán que actúa como ocular y vuelve a aumentar la imagen procedente del objetivo, proyectándola sobre una pantalla fluorescente o una placa fotográfica para su observación. Mediante este microscopio se puede conocer la ultraestructura celular debido a que su poder de resolución es muy superior al del microscopio óptico.

- 4** Señala las semejanzas y diferencias entre el microscopio óptico y el electrónico. ¿Qué ventajas presenta el uso del microscopio electrónico?

Solución:

Semejanzas entre el microscopio óptico y el electrónico:

Los principios básicos son los mismos. Un haz de luz o de electrones se dirige por medio de una lente condensadora a la muestra y se amplifica con la lente del objetivo y la del ocular en el microscopio óptico y con la lente del objetivo y la del proyector en el microscopio electrónico.

La observación y el estudio de las células al microscopio requiere que los órganos o tejidos a estudiar sean lo suficientemente finos, por lo que se utilizan microtomos para conseguir finas secciones de las muestras. Previamente los órganos o tejidos han de ser fijados e incluidos en parafina (microscopía óptica) o en resinas (microscopía electrónica).

Diferencias entre el microscopio óptico y el electrónico:

La fuente de luz en el microscopio óptico es la luz visible y en el electrónico es un haz de electrones.

La imagen se enfoca en el microscopio óptico mediante lentes y en el electrónico mediante electroimanes que desvían los haces de electrones.

La imagen ampliada se ve en el microscopio óptico directamente por el ojo mientras que en el electrónico la imagen se forma en una pantalla fluorescente o en una placa fotográfica.

Se pueden hacer observaciones de células vivas y de células muertas con el microscopio óptico, mientras que con el electrónico resulta imposible el estudio de células vivas.

El poder de resolución del microscopio electrónico es unas 100 veces mayor que el del microscopio óptico para los objetos biológicos.

Con el microscopio electrónico de barrido se pueden obtener imágenes tridimensionales de la superficie de la muestra.

- 5** Con el microscopio electrónico no se pueden obtener imágenes de células vivas. ¿A qué es debido?

Solución:

No se pueden observar células vivas al microscopio electrónico por los siguientes motivos:

- En primer lugar por la preparación o manipulación a la que deben ser sometidas las muestras y que consiste en: la fijación para preservar la morfología y la composición química celular, la inclusión en resinas duras, la obtención de cortes ultrafinos y la tinción con metales pesados (osmio y plomo).
- En segundo lugar porque la muestra se coloca en el interior de una columna en la que se produce el vacío, para evitar que los electrones sean dispersados al chocar con las moléculas de aire.
- En tercer lugar porque la muestra es bombardeada por un haz de electrones, uno de cuyos efectos es la elevación de temperatura.

- 6** Analiza el desarrollo de la teoría celular y haz una valoración de su importancia como teoría básica de la biología.

Solución:

En 1839, cuando no contaba todavía 30 años, el fisiólogo alemán Theodor Schwann publicó una obra importante: *Investigaciones microscópicas sobre la concordancia de estructura y de desarrollo de los animales y las plantas*. Se presentaba en ellas, por primera vez la Teoría celular. La síntesis que realizó Schwann, hace aproximadamente 150 años, marca una etapa especialmente importante. Sus investigaciones definían un marco general para estudiar la naturaleza y el funcionamiento de la célula; este marco sigue siendo reconocible a pesar de haber sufrido algunos cambios. Por la misma época, el botánico alemán Matthias Schleiden sostenía la tesis de que todas las partes de los vegetales estaban formadas por unidades elementales, denominadas células.

La Teoría celular identifica pues la unidad básica de todo organismo vivo. El problema que trata de resolver es el siguiente: ¿qué tipo de bloque de construcción sirve para componer los organismos más complejos? Siguiendo a Schwann y a Schleiden, el embriólogo alemán Oscar Hertwig resumió así lo esencial de esta nueva teoría biológica: los animales y las plantas, por diversa que sea su apariencia externa, concuerdan en la naturaleza fundamental de su estructura anatómica; pues unos y otras están formados por unidades elementales similares que generalmente se pueden observar al microscopio. Estas unidades se llaman células, por lo cual la doctrina de que los animales y las plantas están formados por unidades de esta clase se llama teoría celular. El proceso vital común de un organismo compuesto parece no ser sino la resultante extremadamente compleja de sus múltiples células y de las distintas funciones de éstas.

La Teoría celular ha jugado un papel esencial hasta nuestros días, pues permite estudiar en un mismo marco analítico la diversidad de las células y los mecanismos puestos en juego en su reproducción y en el desarrollo de los organismos.

Es imposible exponer con detalle los innumerables ajustes y revisiones que ha sufrido la Teoría celular desde hace un siglo y medio. Hay que citar la revisión realizada por Virchow, que se expresa en el siguiente axioma: *Omnis cellula e cellula*, toda célula procede de otra célula.

Parece que a lo largo de la historia de la Teoría celular ha habido una cierta continuidad: el concepto de célula se ha modificado y se ha vuelto más complejo; en todas las etapas, sin embargo, ha seguido en pie la idea de una actividad formadora y metabólica de las células. Persiste sin duda también la idea de que el desarrollo de un organismo complejo tiene su razón suficiente en el funcionamiento de la célula como organismo elemental.

Lo más notable de la Teoría celular es que, más allá de la particularidad de los fenómenos morfológicos y fisiológicos de los seres vivos, pretendía describir y explicar la estructura básica de todos los organismos.

- 7** La siguiente secuencia, citosol → ribosomas → RE rugoso, indica la localización de las moléculas de aminoácidos marcadas radiactivamente e introducidas en una célula. Explicala.

Solución:

Los aminoácidos atraviesan la membrana celular y pasan al citosol donde intervendrán en la síntesis de proteínas. Por ello, a continuación se localizan en los ribosomas que son los orgánulos donde se produce la síntesis de dichas

proteínas. Aunque la síntesis de proteínas comienza en los ribosomas libres en el citosol, muchos ribosomas se unen posteriormente a las membranas del RE rugoso donde continúan allí la síntesis. En este caso las proteínas atraviesan las membranas del RE rugoso y se localizan en dicho orgánulo.

- 8** La mayoría de las células de los vertebrados mueren tras un número finito de divisiones en cultivo; por ejemplo, las células cutáneas humanas en cultivo sobreviven durante algunos meses, dividiéndose únicamente entre 50 y 100 veces antes de morir. ¿A qué puede deberse?

Solución:

Se ha sugerido que la vida limitada de las células está relacionada con la vida también limitada del animal del que derivan.

- 9** Observa y analiza las siguientes micrografías de células; Indica: a) Si son micrografías ópticas o electrónicas; b) El tipo de células; c) Los orgánulos y estructuras que se observan en cada una de ellas.

Solución:

La primera es una micrografía óptica de células eucarióticas vegetales y en ellas se observan las paredes celulares y los cloroplastos.

La segunda es una micrografía electrónica de una célula eucariótica vegetal y en ella se observa el núcleo y en su interior la cromatina, ocho cloroplastos y una gran vacuola central.

- 10** ¿Por qué hay un límite en el poder de resolución de los microscopios, tanto si se trata de los ópticos como de los electrónicos?

Solución:

En general se cumple que, una radiación de una longitud de onda determinada no puede utilizarse para observar estructuras mucho más pequeñas que su propia longitud de onda. Por tanto, en todos los microscopios existe una limitación que depende de la longitud de onda de la radiación, haz de fotones o haz de electrones, utilizada para hacer las observaciones.

El límite máximo de resolución del microscopio óptico viene determinado por la longitud de onda de la luz visible, que va desde 0.44 mm (violeta) hasta 0.7 mm (rojo lejano). De ahí que, las bacterias y las mitocondrias, que tienen aproximadamente 0.5 mm de diámetro, sean las estructuras más pequeñas que se pueden observar clara-

mente al microscopio óptico. En las mejores condiciones posibles el poder de resolución del microscopio óptico es de $0.2\ \mu\text{m}$ ($200\ \text{nm}$).

La perfección de las lentes de un microscopio óptico, por elevada que sea, no puede superar la limitación impuesta por la naturaleza ondulatoria de la luz y no sirven para observar detalles de dimensiones inferiores a la longitud de onda de la luz visible.

Los intentos realizados para conseguir una mayor capacidad de resolución mediante el empleo de fuentes luminosas de menor longitud de onda, como la luz ultravioleta, no dieron buenos resultados.

En 1931 se construyó el primer microscopio electrónico lo que supuso un gran avance que permitió el estudio de la estructura fina de la célula. El poder de resolución de dicho microscopio depende de la longitud de onda de los electrones que puede llegar a ser de $0.004\ \text{nm}$ (en un microscopio electrónico que tenga un voltaje de aceleración de 100.000 voltios), por lo que en teoría la resolución podría ser de $0.002\ \text{nm}$. Sin embargo, en la mayoría de los microscopios electrónicos el límite de resolución normal para los objetos biológicos es de unos $2\ \text{nm}$ (unas 100 veces sólo mayor a la resolución de un microscopio óptico), ya que hay que tener en cuenta que las aberraciones de las lentes electrónicas son muy difíciles de corregir y que la preparación de las muestras es muy problemática.

11 Interpreta la siguiente autorradiografía de un núcleo de linfocito marcado con uridina tritiada. El corpúsculo que se observa es el nucléolo.

Solución:

La autorradiografía es una técnica que permite localizar las macromoléculas que han fijado isótopos radiactivos (como el tritio), al poner el corte del tejido en la oscuridad en contacto con una emulsión fotográfica, que queda impresionada por la radiación.

El núcleo de linfocito se marca con uridina tritiada durante 15 minutos. Como la uridina es un precursor del

RNA, pero no del DNA, los depósitos de plata (visibles como filamentos negros) indican el lugar de síntesis de RNA. Puede verse que aunque ocurre en todo el núcleo, la transcripción tiene lugar preferentemente en el nucléolo, ya que los genes ribosomales se transcriben a mayor velocidad que los estructurales.

C. ACTIVIDADES DE LOS DOCUMENTOS

EL PLANCTON BACTERIANO DE LOS OCÉANOS

1 *¿Qué ventajas tienen las bacterias para sobrevivir en el medio oceánico que es muy pobre en nutrientes?*

Solución:

Su pequeño tamaño. El tamaño reducido constituye una ventaja porque la proporción entre la superficie y el volumen es mayor cuanto menor es el tamaño. En las bacterias una mayor superficie en relación con el volumen optimiza el flujo de nutrientes hacia el interior.

2 *Hasta finales de los años 1970, poco después de introducirse la microscopía por epifluorescencia en oceanografía marina, no se empezó a tener datos sobre la abundancia del bacterioplancton. Comenta la importancia de los métodos de trabajo en Biología.*

Solución:

Las células son muy pequeñas y además complejas, de ahí que resulte difícil tanto observarlas como determinar sus características: composición química, funciones de sus componentes, etc. El estudio de la célula depende pues de los instrumentos de trabajo que se puedan utilizar. De hecho, los mayores avances en la biología celular han sido el resultado del descubrimiento de nuevas herramientas y métodos de estudio.

LA ENVOLTURA CELULAR



1. INTRODUCCIÓN

Todas las células tienen que mantener un medio interno adecuado para poder llevar a cabo las reacciones químicas necesarias para la vida. Por ello están rodeadas por una fina membrana plasmática que define su extensión y mantiene las diferencias esenciales entre su contenido y el del entorno.

Se considera que la aparición de la membrana fue un paso crucial en el origen de las primeras formas de vida, pues sin ella la vida celular es imposible.

Este tema, envoltura celular, se inicia explicando la estructura y función de la membrana plasmática, hasta llegar

al modelo de mosaico fluido de las membranas, propuesto por Singer y Nicolson. Seguidamente, se estudian los distintos mecanismos por los cuales las moléculas, ya sean pequeñas o macromoléculas, atraviesan la membrana. También se revisan dentro de las especializaciones de la membrana plasmática, las uniones intercelulares. A continuación, se dedica especial atención a la composición y sobre todo a la función del glicocáliz o cubierta celular. Finaliza el tema con el estudio de la composición, estructura y funciones de la pared celular de las células vegetales.

2. TEMPORALIZACIÓN

El presente tema puede desarrollarse en 8 sesiones.

3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Explicar qué es y cuáles son las funciones de la membrana celular.
2. Identificar y tipificar los componentes bioquímicos de la membrana celular.
3. Analizar la estructura, la función y las implicaciones del modelo de *mosaico fluido*.
4. Caracterizar los distintos tipos de los distintos tipos de transporte de moléculas y partículas a través de la membrana.
5. Estudiar la estructura y función de uniones intercelulares y establecer la necesidad de las mismas en los organismos pluricelulares.
6. Definir qué entendemos por glicocaliz, analizar su estructura y explicar sus funciones.
7. Estudiar la pared celular, analizando su composición estructura, origen especializaciones, funciones y tipos celulares en los que se presenta.
8. Profundizar en el conocimiento de la envoltura celular mediante el estudio de los dos documentos finales sobre “La matriz extracelular” y “Acuaporinas”.

4. CONTENIDOS CONCEPTUALES

1. La membrana celular
 - Lípidos
 - Proteínas
 - Modelo de mosaico fluido de las membranas
 - Funciones
2. Especializaciones de la membrana plasmática: uniones intercelulares
3. Transporte de pequeñas moléculas a través de la membrana
 - Transporte pasivo
 - Transporte activo
4. Transporte de macromoléculas y partículas
 - Endocitosis
 - Fagocitosis
 - Pinocitosis
 - Endocitosis mediada por receptor
 - Exocitosis
5. Glicocaliz o cubierta celular
 - Funciones
6. Pared celular
 - Composición de la pared celular
 - Capas de la pared celular
 - Origen de la pared celular
 - Funciones

5. SOLUCIONES Y COMENTARIOS

A. ACTIVIDADES VINCULADAS AL TEXTO

1 La membrana plasmática

■ Actividades pág. 113 ■

- a *¿Por qué es tan poco frecuente la difusión transversal de los lípidos de membrana de una monocapa a otra? Razónala tu respuesta.*
- b *En las proteínas no se ha observado nunca la difusión transversal o movimiento denominado "flip-flop". ¿A qué puede ser debida esta diferencia con respecto a los lípidos de la bicapa?*
- c *Las proteínas transmembrana son antipáticas, tienen regiones que son hidrofóbicas y regiones hidrofílicas. Representa una de estas proteínas incluida en la bicapa y señala las diferentes regiones de la misma. Razónalo.*

Soluciones:

- a Porque para que una molécula de lípido pase de una monocapa de la membrana a otra su extremo hidrofílico tiene que atravesar la parte hidrofóbica de la bicapa lo que es energéticamente desfavorable.
- b A que el tamaño de las proteínas es mucho mayor que el de los lípidos de membrana y por tanto también son más voluminosas sus regiones hidrofílicas e hidrofóbicas. De ahí que sea energéticamente imposible que uno de sus extremos hidrofílicos atraviese la parte hidrofóbica de la bicapa.
- c Las proteínas transmembrana tienen tres regiones diferentes: una región central hidrofóbica, que interacciona con la parte hidrocarbonada de la bicapa que también es hidrofóbica y dos regiones hidrofílicas, una a cada lado de la bicapa, que interaccionan con las partes polares de la bicapa y con los medios acuosos del citosol o del espacio extracelular.

Para realizar el esquema de una proteína transmembrana ver en el libro del alumno la figura 1.5, página 113, de este tema (proteínas transmembrana de paso único y de paso múltiple).

■ Actividades pág. 114 ■

- a *¿Realizan las mismas funciones las superficies externa e interna de una membrana? Razónalo.*

- b *¿Podría vivir, crecer y reproducirse una célula si sus membranas no fueran fluidas? Razónalo.*

Soluciones:

- a No, porque las membranas son asimétricas y todos sus componentes (lípidos y proteínas) se orientan y distribuyen de diferente forma en cada una de las superficies de la membrana.
- b No. Ya que la estructura fluida de la bicapa lipídica hace posible la distribución de los componentes de la membrana desde los puntos de la bicapa donde se insertan, después de su síntesis, hasta otras regiones de la misma. Además, permite que las membranas se fusionen entre sí y que sus componentes se repartan uniformemente; también asegura que las moléculas de las membranas queden distribuidas por igual entre las células hijas en el momento de la división celular. Por todo ello, resulta difícil imaginar cómo podría vivir, crecer y reproducirse una célula si sus membranas no fueran fluidas.

2 Especializaciones de la membrana plasmática: uniones intercelulares

■ Actividades pág. 115 ■

- a *Si las células epiteliales que revisten las paredes del intestino delgado están unidas entre sí mediante uniones herméticas, ¿cómo pasan las sustancias necesarias para el organismo desde la cavidad intestinal a la sangre para ser repartidas a todas las células del cuerpo?*
- b *Señala las semejanzas y diferencias entre los tres tipos de uniones intercelulares.*

Soluciones:

- a Atravesando las células epiteliales. Así, las sustancias pasan desde la cavidad intestinal al interior de las células epiteliales atravesando su membrana apical y luego vuelven a salir de las células epiteliales por su membrana basal para pasar a la sangre. Algunas sustancias atraviesan la membrana de las células epiteliales por simple difusión (agua, ácidos grasos,...) y otras por difusión facilitada o por transporte activo (glucosa, aminoácidos).

La ventaja fisiológica de las uniones herméticas entre las células epiteliales es que las capas de células epiteliales

se convierten en barreras selectivas de permeabilidad que pueden separar líquidos de diferente composición. Normalmente estas capas recubren todas las cavidades de los mamíferos.

b Semejanzas entre los distintos tipos de uniones intercelulares

- Son regiones especializadas de la membrana plasmática.
- Son esenciales para la supervivencia de las células en los organismos pluricelulares, permitiendo a las células adyacentes de un tejido unirse entre sí o intercambiar pequeñas moléculas.

Diferencias entre los distintos tipos de uniones intercelulares

- Cada uno de ellos tiene una estructura y como consecuencia de ello una función diferente.

3 Transporte de pequeñas moléculas a través de la membrana

■ Actividades pág. 117 ■

- a** La bacteria *Staphylococcus aureus*, causante de infecciones, segrega proteínas que forman poros en la membrana de sus células diana. Estos poros tienen un diámetro de 2 nm, suficiente para el paso de moléculas como la sacarosa. ¿Podrá funcionar normalmente una célula con estos poros en su membrana? Razona la respuesta.
- b** ¿Qué consecuencias tendría para una célula que su membrana plasmática no tuviera una permeabilidad selectiva? Razónalo.
- c** Señala las semejanzas y diferencias entre la difusión simple y la difusión facilitada.
- d** ¿Por qué los iones y las moléculas polares grandes, como la glucosa y los aminoácidos, no pueden atravesar la bicapa lipídica? ¿Sería beneficioso o perjudicial para la célula que pudieran hacerlo?

Soluciones:

- a** No. Las proteínas bacterianas formadoras de poros en las membranas celulares producen no sólo la lesión sino en ocasiones también la muerte de la célula a consecuencia de tales perforaciones.
- La membrana externa de la célula no se limita a encerrar su variado contenido, sino que actúa también y de

manera muy eficaz, como guardián de todo lo que entra y sale. Permite el paso de los nutrientes y otros compuestos necesarios; las moléculas que no se precisan permanecen en el exterior. Da salida de la célula a los productos de desecho. La formación de poros en la membrana de una célula rompe el equilibrio de entradas y salidas a través de la membrana, provocando la entrada de materiales extraños hacia el interior de la célula y la salida de algunos de sus componentes.

- b** Si la membrana plasmática no tuviera una permeabilidad selectiva, la célula no podría mantener su medio interno constante y diferente del medio extracelular.

En respuesta a cambios en las condiciones ambientales o en las necesidades celulares, la membrana plasmática puede impedir el paso de una sustancia dada en un momento y promover de modo activo su paso en otro instante. De esta forma, la célula regula el paso de sustancias a través de la membrana y controla su propia composición interna, que puede ser muy diferente de la del medio extracelular.

c Semejanzas entre la difusión simple y la difusión facilitada:

- Son dos procesos de transporte pasivo a través de la membrana, por tanto, no requieren energía, ya que las moléculas se desplazan espontáneamente a favor de su gradiente.

Diferencias entre la difusión simple y la difusión facilitada:

- Las moléculas que pasan por difusión simple atraviesan la bicapa lipídica. Sin embargo, en el caso de la difusión facilitada se requieren proteínas transmembrana para que las moléculas puedan pasar a través de las membranas biológicas.
- Por difusión simple atraviesan la bicapa lipídica las moléculas no polares y algunas moléculas polares sin carga de tamaño suficientemente reducido (H_2O , CO_2 ,...). Por difusión facilitada pasan los iones y la mayoría de las moléculas polares (glucosa, aminoácidos,...).

- d** Porque la bicapa lipídica tiene una parte central hidrofóbica que los iones (que tienen carga) y la mayoría de las moléculas polares grandes (glucosa, aminoácidos,...) no pueden atravesar. Sería perjudicial para la célula que pudieran atravesar la bicapa por difusión simple, ya que en este caso la célula no ejercería ningún control sobre su transporte a través de la membrana.

Los iones y las moléculas polares grandes (glucosa, aminoácidos,...) atraviesan la membrana por difusión facilitada o por transporte activo; estos transportes se reali-

zan mediante proteínas que forman canales (que pueden estar abiertos o cerrados) o mediante proteínas transportadoras específicas que sólo permiten el paso de determinadas sustancias. De esta forma, la permeabilidad de la membrana plasmática es selectiva y le permite a la célula mantener un medio interno constante y diferente del medio extracelular.

Actividades pág. 118

- a *¿En qué son semejantes la difusión facilitada y el transporte activo? ¿En qué se diferencian?*
- b *¿Por qué se considera transporte activo el transporte de glucosa que se realiza simultáneamente con los iones Na^+ al interior de las células del epitelio intestinal? ¿Qué energía se gasta en dicho proceso?*

Soluciones:

- a La difusión facilitada y el transporte activo son semejantes en que son procesos de transporte a través de la membrana que necesitan proteínas transmembrana para llevarse a cabo. Se diferencian en que la difusión facilitada es un proceso de transporte pasivo en el que las moléculas se desplazan a favor de su gradiente y no requiere energía, mientras que el transporte activo se realiza en contra de gradiente y requiere energía.
- b Porque el transporte de glucosa se realiza en contra de su gradiente de concentración aunque los iones Na^+ pasen simultáneamente por difusión.

La energía que se gasta en el transporte activo de glucosa es la almacenada en el gradiente de concentración de Na^+ generado por la bomba de Na^+/K^+ .

4 Transporte de macromoléculas y partículas

Actividades pág. 121

- a *¿Qué función tiene la clatrina que recubre las depresiones y las vesículas revestidas?*
- b *Señala las semejanzas y diferencias entre pinocitosis y fagocitosis.*
- c *Razona si es verdadera o falsa la siguiente afirmación: la endocitosis mediada por receptor permite captar macromoléculas específicas en grandes cantidades, aunque sean componentes minoritarios del líquido extracelular.*

- d *Señala las semejanzas y diferencias entre la endocitosis y la exocitosis.*

Soluciones:

- a La función de la clatrina es la de formar una especie de armazón poliédrico responsable de la invaginación y estrangulamiento de la membrana para formar vesículas intracelulares.

- b Semejanzas entre pinocitosis y fagocitosis

- Son procesos de endocitosis por el cual las células ingieren macromoléculas y partículas del medio externo.

Diferencias entre pinocitosis y fagocitosis

- La pinocitosis consiste en la ingestión de líquidos y solutos mediante pequeñas vesículas, mientras que la fagocitosis consiste en la ingestión de grandes partículas que se engloban en grandes vesículas.

- c Es verdadera. La endocitosis mediada por receptor tiene dos ventajas fundamentales sobre la simple pinocitosis:

- Es un proceso específico. Los distintos tipos de células poseen diferentes receptores y por ello ingieren diferentes macromoléculas por este proceso.
- Incrementa la eficacia de la incorporación de estas macromoléculas, ya que permite captar en grandes cantidades componentes minoritarios del líquido extracelular, sin incorporar el volumen correspondiente de líquido extracelular.

- d Semejanzas entre endocitosis y exocitosis

- Son procesos de transporte de macromoléculas y partículas a través de la membrana.
- Ambos procesos suponen la formación y fusión de vesículas rodeadas de membrana.

Diferencias entre endocitosis y exocitosis

- La endocitosis es el proceso por el cual las células ingieren macromoléculas y partículas del medio externo y la exocitosis es el proceso inverso mediante el cual las células segregan macromoléculas al exterior.

5 Glicocáliz o Cubierta Celular

Actividades pág. 122

- a *¿Qué moléculas poseen más información por unidad de peso, los azúcares o los ácidos nucleicos y las proteínas? Razónalo.*

- b** ¿Por qué hay bacterias que producen bronquitis, otras gastroenteritis, otras amigdalitis, etc.? Razona la respuesta.
- c** ¿Cuál es la causa de que se produzca el rechazo de injertos y trasplantes? Razónalo.

Soluciones:

- a** Poseen más información por unidad de peso los azúcares que los ácidos nucleicos y las proteínas. En el lenguaje de las proteínas las palabras se escriben teniendo en cuenta la secuencia de aminoácidos y en el lenguaje de los ácidos nucleicos las palabras se escriben teniendo en cuenta la secuencia de nucleótidos. Sin embargo, en el lenguaje de los azúcares, las palabras se escriben teniendo en cuenta no sólo la secuencia de los monosacáridos sino también los diferentes enlaces que los unen y la presencia o ausencia de ramificaciones.
- b** Porque los azúcares de la superficie celular, esto es, los del glicocáliz, actúan como receptores o lugares de anclaje de bacterias y virus, y dichos azúcares varían de las células de un tejido a otro de un individuo. Es, por tanto, la especificidad de los azúcares del glicocáliz, lo que hace que haya bacterias que se asienten en las vías respiratorias, otras en las vías digestivas, etc.
- c** La causa del rechazo de injertos y trasplantes se debe a que los azúcares del glicocáliz de las células del individuo receptor son diferentes a las del donante. Por ello, las células del donante son reconocidas como células extrañas por el sistema inmunológico del receptor lo que provoca el rechazo de injertos y trasplantes.
- Conviene recordar que los azúcares del glicocáliz se comportan como antígenos (moléculas que inducen la producción de anticuerpos), ya que son característicos de cada individuo.

B. ACTIVIDADES DE AUTOEVALUACIÓN

- 1** ¿Poseen biomembranas y paredes celulares todas las células? Razónalo.

Solución:

Todas las células tienen biomembranas; al menos todas tienen una membrana plasmática que las envuelve y les confiere su extensión y su individualidad al separarlas de su entorno. Las células eucarióticas poseen también una

serie de endomembranas o membranas internas que delimitan diferentes compartimentos u orgánulos en el interior del citoplasma. Sin embargo, no todas las células poseen paredes celulares; solamente las bacterias y las células vegetales poseen por encima de la membrana plasmática una gruesa pared. La función de la pared es la de dar soporte mecánico y forma a las células, además de permitir que éstas puedan vivir en un medio hipotónico y no estallen.

- 2** Una glicoproteína de membrana tiene tres regiones diferentes: en el extremo amino-terminal tiene 15 monosacáridos, en la parte central contiene muchos aminoácidos hidrofóbicos y en el extremo carboxilo-terminal abundan los aminoácidos polares con carga. ¿Cómo se sitúan cada una de estas regiones de la glicoproteína en la membrana plasmática? Representala.

Solución:

El extremo amino-terminal que tiene 15 monosacáridos y es polar se situará en la superficie externa de la membrana. La parte central que contiene muchos aminoácidos hidrofóbicos se dispondrá en el centro de la bicapa interaccionando con la región hidrocarbonada de la misma. El extremo carboxilo-terminal que es polar se situará en la superficie interna de la membrana.

Para realizar el esquema de una glicoproteína transmembrana ver en el libro del alumno la figura 5.1, página 122, de este tema.

- 3** Semejanzas y diferencias entre los transportes activo y pasivo a través de membranas. Explica los diferentes tipos de transporte pasivo.

Solución:

Semejanzas entre el transporte pasivo y activo a través de la membrana

- Son dos procesos de transporte de pequeñas moléculas a través de la membrana.

Diferencias entre el transporte pasivo y activo a través de la membrana

- El transporte pasivo es un proceso de difusión a través de la membrana que no requiere energía, mientras que el transporte activo se realiza con consumo de energía metabólica.
- En el transporte pasivo las moléculas se desplazan espontáneamente, a favor de su gradiente de concentración; es decir, desde una zona de concentración elevada a una de concentración baja. El transporte activo se realiza en contra de gradiente.

El transporte pasivo a través de la membrana puede tener lugar por difusión simple o por difusión facilitada.

1. **Difusión simple.** Por difusión simple pasan a través de la bicapa lipídica las moléculas no polares, tales como el oxígeno, nitrógeno, benceno, éter, cloroformo, hormonas esteroideas, etc.

Las moléculas polares sin carga también atraviesan la bicapa lipídica, si su tamaño es suficientemente reducido. Éste es el caso, por ejemplo, del agua, el CO_2 , la urea y el etanol que se difunden rápidamente a través de la bicapa lipídica.

2. **Difusión facilitada.** Los iones y la mayoría de las moléculas polares tales como glucosa, aminoácidos, nucleótidos y otros muchos metabolitos celulares no pueden atravesar la bicapa y se transportan a través de las membranas biológicas mediante proteínas transmembrana que pueden ser: proteínas de canal y proteínas transportadoras específicas.

Las proteínas de canal forman poros acuosos que atraviesan la bicapa y permiten el paso de iones de tamaño y carga adecuados. Estos canales iónicos se abren sólo de manera transitoria y son por ello canales regulados. Algunos de estos canales se abren mediante interacción con un ligando y se denominan canales regulados por ligando; otros se abren en respuesta a un cambio del potencial de membrana y se denominan canales regulados por voltaje. Estos últimos son los responsables de la excitabilidad eléctrica de las células nerviosas y musculares.

Las proteínas transportadoras específicas o permeasas, se unen a la molécula a transportar y sufren un cambio conformacional que permite la transferencia de la molécula a través de la membrana. Cada proteína transporta sólo un tipo de ión o molécula o un grupo de moléculas estrechamente relacionadas. Existe una velocidad máxima de transporte que se alcanza cuando el transportador está saturado.

- 4 *Si en una célula se inhibe la síntesis de ATP, ¿podrá llevar a cabo procesos de transporte pasivo? ¿Y activo? ¿Por qué?*

Solución:

Si en una célula se inhibe la síntesis de ATP sólo podrá llevar a cabo procesos de transporte pasivo que son los que no requieren un consumo de energía metabólica para llevarse a cabo.

En el transporte pasivo no se requiere energía porque las moléculas se desplazan espontáneamente, a favor de su gradiente de concentración; es decir, desde una zona de

concentración elevada a una de concentración baja. Lo contrario ocurre en el transporte activo que se realiza en contra de gradiente.

- 5 *Las células vegetales son capaces de soportar variaciones de la presión osmótica del medio que las rodea mucho mayores que las células animales. Razona la respuesta.*

Solución:

Las células vegetales son capaces de soportar variaciones de la presión osmótica del medio que las rodea mucho mayores que las células animales debido a la presencia de la pared celular situada sobre la membrana plasmática.

Al entrar agua en una célula vegetal, ésta se hincha y presiona contra la pared celular que es rígida, evitando así la entrada posterior de agua. La pared celular permite a las células vegetales vivir en el medio hipotónico de la planta.

- 6 *¿Por qué la pared secundaria de la célula vegetal está por dentro de la pared celular primaria? ¿Dónde está la membrana celular en relación con las dos paredes celulares?*

Solución:

Porque la célula segrega primero la pared primaria y luego la secundaria. La membrana celular o membrana plasmática está situada por debajo de la pared secundaria.

- 7 *¿Cuál es la misión primordial de la bomba de $\text{Na}^+\text{-K}^+$ de la membrana plasmática? ¿Consume energía la bomba? ¿Qué le ocurrirá a una célula animal si se inhibe el funcionamiento de la bomba de $\text{Na}^+\text{-K}^+$? Razona la respuesta.*

Solución:

Las principales funciones de la bomba de $\text{Na}^+\text{-K}^+$ son:

- Controla el volumen celular.
- Permite que las células nerviosas y musculares sean eléctricamente excitables.
- Impulsa el transporte activo de glucosa y aminoácidos hacia el interior de algunas células.

La bomba de $\text{Na}^+\text{-K}^+$ requiere energía metabólica para bombear los iones en contra de su gradiente. El balance es el siguiente: se bombean tres Na^+ hacia el exterior de la célula y dos K^+ hacia el interior, con la hidrólisis acoplada de un ATP.

Si se inhibe el funcionamiento de la bomba de $\text{Na}^+\text{-K}^+$, las células animales que no poseen paredes celulares se

hinchon y revientan. Puesto que se bombean tres Na^+ hacia el exterior y dos K^+ hacia el interior, el medio interno celular se hace más hipotónico y se evita así la entrada de agua a la célula. De ahí que la expulsión de Na^+ sea necesaria para mantener el balance osmótico y estabilizar el volumen celular en las células animales.

- 8** Señala las diferencias estructurales y funcionales entre la membrana plasmática y la pared celular.

Solución:

Diferencias estructurales entre la membrana plasmática y la pared celular

La membrana plasmática, al igual que todas las membranas biológicas, está formada por una bicapa lipídica en la que se incluyen proteínas y glúcidos. Los lípidos y proteínas son los dos componentes mayoritarios de las membranas; los glúcidos presentes en la membrana están unidos a lípidos o a proteínas.

La pared celular de las células vegetales está formada por microfibrillas de celulosa englobadas en una matriz entrecruzada de moléculas no celulósicas. Los principales componentes de la matriz son: los polisacáridos hemicelulosa y pectinas; glicoproteínas, elementos minerales (particularmente Ca^{2+}) y agua.

Diferencias funcionales entre la membrana plasmática y la pared celular

Las principales funciones de la membrana plasmática de la célula son: confiere a la célula su individualidad al separarla de su entorno y controla el intercambio de sustancias regulando la composición iónica y molecular del medio interno; también controla el flujo de información entre las células y su entorno, ya que contiene receptores específicos para los estímulos externos. A su vez, algunas membranas juegan un papel central en las comunicaciones biológicas ya que generan señales, que pueden ser químicas o eléctricas.

En cuanto a la pared celular sus principales funciones son: constituye una especie de exoesqueleto que protege y da forma a la célula vegetal; permite a las células vegetales vivir en el medio hipotónico de la planta.

- 9** ¿Cuál es el componente más abundante de la pared celular? ¿Cómo se dispone este componente en la pared primaria? ¿Y en la secundaria? ¿Cómo afecta dicha disposición al crecimiento celular?

Solución:

El componente más abundante de la pared celular es la celulosa.

En la pared primaria las microfibrillas de celulosa se disponen en forma reticular por lo que dicha pared se puede estirar permitiendo el crecimiento celular.

En la pared secundaria las microfibrillas de celulosa se orientan paralelamente con lo que la pared se vuelve rígida y difícilmente deformable impidiendo el crecimiento celular.

- 10** ¿Para qué sirven los plasmodesmos de las células vegetales? ¿Existen estructuras semejantes en las células animales?

Solución:

Para que las células vegetales vecinas puedan intercambiar pequeñas moléculas.

Las uniones de comunicación o tipo gap de las células animales son estructuras semejantes a los plasmodesmos. Se trata también de canales intercelulares que ponen en comunicación a las células vecinas, a través de las cuales pasan iones y pequeñas moléculas.

- 11** Razona si son verdaderas o falsas las siguientes afirmaciones:

- El mantenimiento de la bicapa de lípidos en la membrana plasmática requiere enzimas especiales y la hidrólisis del ATP.
- La movilidad de las proteínas de la membrana puede ser limitada por interacciones con estructuras fuera de la célula o dentro de la célula.
- La membrana plasmática es muy impermeable a todas las moléculas cargadas.

Solución:

- Falsa. La estructura bipolar de los lípidos que componen la bicapa (tiene un extremo hidrófilo y otro hidrófobo) hace que en un medio acuoso se dispongan espontáneamente en bicapa dejando sus extremos hidrófobos (apolares) fuera del contacto con el agua y sus extremos hidrófilos (polares) en contacto con el agua.
- Verdadera.
- Falso. La bicapa lipídica por tener su parte central hidrofóbica sí que es muy impermeable a todas las moléculas cargadas, pero la membrana contiene también proteínas y a través de algunas de ellas sí que pueden pasar moléculas cargadas.

- 12** En el transporte a través de la membrana plasmática de una molécula cargada eléctricamente intervienen las proteínas. Explica a qué se debe este hecho y rela-

ciónalo con la estructura y la composición de la membrana plasmática.

Solución:

Las moléculas cargadas eléctricamente son hidrófilas y no pueden atravesar el interior de la bicapa que es hidrófobo. Por ello, atraviesan la membrana a través de proteínas que forman canales o aberturas cuyo interior es hidrófilo.

- 13** Algunos autores han llegado a afirmar que los vegetales están formados por un único cuerpo celular compartimentado en estructuras que llamamos células. ¿Que es lo que han querido decir?

Solución:

Mediante los plasmodesmos están interconectados los citoplasmas de todas las células vegetales de la planta, excepto unas pocas muy especializadas. De ahí que se pueda decir que los plasmodesmos hacen que una planta pase de ser una serie de células individuales a ser una gran comunidad interconectada de células o que los vegetales están formados por un único cuerpo compartimentado en estructuras que llamamos células.

- 14** Interpreta la siguiente micrografía electrónica:
- ¿Qué procesos se están desarrollando?
 - ¿Qué ocurrirá a continuación en el interior de la célula?

Solución:

- En la micrografía electrónica de la membrana plasmática, se observan claramente dos regiones en las que se está produciendo la invaginación de la membrana para formar vesículas de pinocitosis. Se observan también las partículas que se van a incorporar a las vesículas de pinocitosis.
- En la mayoría de los casos las macromoléculas ingeridas por procesos de endocitosis o pinocitosis terminan en los lisosomas. Dado que los lisosomas contienen enzimas hidrolíticas, el material ingerido se digiere y pasa al citosol donde puede ser utilizado por la célula.

- 15** Ross C. Bean y sus colaboradores, en dos artículos que publicaron en 1969 y 1970, pusieron de manifiesto que las membranas lipídicas artificiales en su forma pura son aislantes eléctricos, mientras que si se insertaban ciertas proteínas en dichas membranas, éstas se hacían conductoras de electricidad. Explica qué tipo de proteínas confieren a la membrana dicha propiedad.

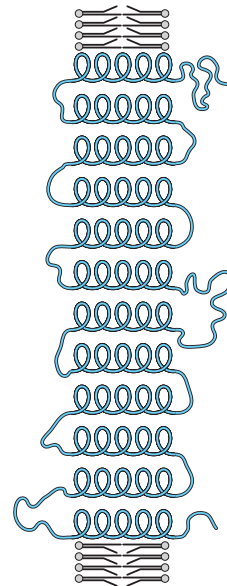
Solución:

Las proteínas que forman canales semejantes a poros que pueden abrirse o cerrarse y permiten el paso de iones. De esta forma los iones cargados pueden atravesar la membrana cuando los canales están abiertos generando corrientes o señales eléctricas a través de dicha membrana.

- 16** En 1977 se aisló una proteína de membrana transportadora de glucosa y 8 años más tarde se dilucidó su secuencia de aminoácidos. Dicha proteína está formada por una cadena de 492 aminoácidos, organizada en 25 segmentos. Trece de ellos muy hidrofílicos con afinidad por el agua; estos segmentos se alternan con otros doce fundamentalmente hidrofóbicos. ¿De qué tipo de proteína de membrana se trata? Representa la estructura de dicha proteína en una bicapa lipídica. ¿Cómo puede conseguir tal estructura transportar la glucosa hacia el interior celular?

Solución:

Se trata de una proteína transmembrana de paso múltiple (12 segmentos hidrofóbicos atraviesan la bicapa). Los 13 segmentos hidrofílicos muestran inclinación por los medios acuosos del interior y del exterior celular; estos segmentos se alternan con otros doce fundamentalmente hidrofóbicos, que prefieren el medio lipídico de la membrana.



Para poder transportar la glucosa esta proteína forma un poro a través de la membrana. Se ha descubierto que cada segmento de la proteína se enrolla en hélice (hasta el 80 % de la cadena polipeptídica adquiere esta disposición helicoidal) y resulta que en cinco segmentos transmembrana -los números 3, 5, 7, 8 y 11-, las cadenas laterales de los aminoácidos son hidrofílicas a un lado de la hélice e hidrofóbicas en el otro; dichos segmentos se disponen con sus caras hidrofóbicas orientadas hacia fuera -hacia los restantes segmentos transmembrana y el entorno lipídico de la membrana-, y las partes hidrofílicas hacia el interior de un poro por el que pasa la glucosa.

C. ACTIVIDADES DE LOS DOCUMENTOS

LA MATRIZ EXTRACELULAR

1 ¿Cómo se forma la MEC?

Solución:

En los organismos pluricelulares las células se organizan en tejidos y éstos están formados por células y por una matriz extracelular (MEC). Las células fabrican los componentes de matriz (glicoproteínas) en el RER y luego dichos componentes pasan en vesículas al Aparato de Golgi donde termina su síntesis y, a continuación, son segregados al exterior depositándose alrededor de las células.

2 Los proteoglicanos tienen hasta un 95 % de polisacáridos. ¿Qué función desempeñan éstos últimos?

Solución:

Los polisacáridos de los proteoglicanos son muy hidrófilos y proporcionan un espacio hidratado alrededor de las células.

3 Explica las funciones de la MEC.

Solución:

La matriz además de unir las células y tejidos influye sobre la organización y el comportamiento de las células que rodea.

ACUAPORINAS

1 ¿Qué son las acuaporinas? ¿En qué dirección se transporta el agua a través de ellas?

Solución:

Las acuaporinas son canales proteicos que permiten el transporte rápido de moléculas de agua a través de la membrana plasmática. El agua se mueve a través de estos canales en la dirección dictada por el gradiente osmótico, o sea desde la zona hipotónica a la hipertónica.

2 ¿En qué células son más abundantes? Razónalo.

Solución:

Abundan sobre todo en las células vegetales y en las células del riñón de los animales, ya que son células en las que se realizan abundantes intercambios de agua.

CITOSOL Y CITOESQUELETO

8

1. INTRODUCCIÓN

El citosol es el medio acuoso del citoplasma en el que se encuentran inmersos los orgánulos celulares. Representa un poco más de la mitad del volumen total de la célula.

Posee una consistencia de gel y su composición es compleja. También contiene una gran variedad de filamentos proteicos que le proporcionan una compleja estructura interna. El conjunto de estos filamentos constituye el citoesqueleto.

Este tema, **Citosol y citoesqueleto**, trata en primer lugar del citosol, medio acuoso del citoplasma en el que se encuentran inmersos los orgánulos y en el que se realizan numerosas reacciones celulares. Seguidamente, se explica la necesidad del citoesqueleto en las células eucarióticas y se estudian las funciones de sus componentes: filamentos de actina, filamentos intermedios y microtúbulos. También se estudia la estructura y el movimiento de cilios y flagelos. El tema finaliza con el estudio del centrosoma, centro organizador de microtúbulos.

2. TEMPORALIZACIÓN

El presente tema puede desarrollarse en 5 sesiones.

3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Definir y caracterizar el citosol y señalar las diferencias entre este y el citoplasma.
2. Definir y caracterizar el citoesqueleto, indicar los tipos de filamentos que lo componen, analizar su estructura y relacionarla con funciones que realiza cada uno de ellos.
3. Caracterizar estructural y funcionalmente el centrosoma y los cilios y flagelos.
4. Definir el papel del centrosoma en la organización del citoesqueleto.
5. Diseñar y realizar experimentos para observar el movimiento de los cilios.
6. Estudiar el fenómeno de la contracción muscular a nivel molecular con la intervención de los filamentos de actina y miosina.

4. CONTENIDOS CONCEPTUALES

1. Citosol
2. Citoesqueleto
3. Filamentos de actina
 - Estructura
 - Funciones
4. Filamentos intermedios
5. Microtúbulos
 - Estructura
 - Funciones
6. Cilios y flagelos
 - Estructura
 - Movimiento
7. Centrosoma: centro organizador de microtúbulos
 - Localización y estructura
 - Función

5. SOLUCIONES Y COMENTARIOS

A. ACTIVIDADES VINCULADAS AL TEXTO

2 Citoesqueleto

Actividades pág. 133

- a Señala las diferencias entre citoplasma y citosol.
- b En el citoplasma de las células musculares se encuentran gránulos o inclusiones de glucógeno. Razona por qué se almacena la glucosa de esta forma y en estas células.
- c Las bacterias carecen, aparentemente, de citoesqueleto, lo que podría haber sido un factor decisivo en la evolución de las células eucarióticas. Razona la importancia o necesidad del citoesqueleto en las células eucarióticas.
- d ¿Qué relación hay entre el citosol y el citoesqueleto?
- e En las células cancerosas el citoesqueleto está alterado. ¿Cómo se verán afectadas por este hecho dichas células?

Soluciones:

- a Diferencias entre citoplasma y citosol
El citoplasma ocupa el espacio comprendido entre la membrana plasmática y la membrana nuclear; está formado por un medio acuoso, el citosol, y por un gran número de orgánulos. Por tanto, el citosol es una parte del citoplasma, el medio acuoso en el que están inmersos los orgánulos celulares.
- b La glucosa se almacena en forma de glucógeno (polisacárido) para evitar el problema osmótico que se generaría si en el interior de la célula hubieran miles de moléculas de glucosa disueltas.
En las células musculares hay gránulos de glucógeno para que puedan disponer de glucosa, esto es de una fuente de energía, rápidamente en caso de necesidad.
- c Las células eucarióticas son mayores y mucho más complejas que las bacterias de ahí la necesidad de un citoesqueleto interno. Hay que tener en cuenta que, cuanto mayor es una célula y cuanto más complejas y especializadas son sus estructuras internas, tanto mayor es la necesidad de mantener estas estructuras en sus lugares adecuados y de controlar sus movimientos.
El citoesqueleto confiere a la célula su forma y su capacidad de movimiento, y le proporciona un entramado in-

terno que le permite tanto disponer sus orgánulos en los lugares adecuados como transportarlos de una parte a otra de la célula.

- d Al principio se pensaba que el citosol era una disolución más o menos homogénea en la que flotaban todos los orgánulos; actualmente se sabe que el citosol es un gel muy organizado y que gran parte de su organización interna se debe a la acción del citoesqueleto, formado por una compleja red de filamentos proteicos.
- e Se verán afectadas en su forma y en su capacidad de movimiento.

3 Filamentos de actina

Actividades pág. 135

- a La faloidina es un tóxico producido por el hongo *Amanita phalloides*, que se une específicamente a los microfilamentos y bloquea su despolimerización. La citocalasina es otra toxina producida por el hongo *Helminthosporium dematoidium* que bloquea la polimerización de microfilamentos a partir de los monómeros de actina. ¿Cómo quedarán los microfilamentos tras la acción de uno u otro tóxico? ¿Cómo se verá afectada la célula por la acción de dichos venenos?
- b Un investigador necesita obtener actina para llevar a cabo una experiencia. Si trabaja con células hepáticas, ¿de qué zona de su citoplasma podrá conseguir mayor cantidad de esta proteína? Razónalo.
- c Los filamentos de actina pueden formar en las células estructuras estables y estructuras lábiles. Cita ejemplos de ambas estructuras indicando su función en la célula.

Soluciones:

- a Tras la acción de la faloidina los microfilamentos se quedan como estaban y no se destruyen aunque las necesidades de la célula lo requieran. Sin embargo, tras la acción de la citocalasina no se forman nuevos microfilamentos ni crecen los que había.

La célula se verá afectada por la acción de la faloidina y de la citocalasina en sus movimientos, en la emisión de pseudópodos y en la división celular (no se forma el anillo contráctil).

Hay que recordar que los filamentos de actina son estructuras dinámicas que pueden formarse y destruirse en función de las necesidades de la célula y estos procesos son bloqueados por los tóxicos anteriores.

b En un hepatocito, la zona del citoplasma de donde se podrán obtener más filamentos de actina es de la que está situada justo por debajo de la membrana plasmática, constituyendo el córtex celular. Dicho córtex celular está formado por una densa red de filamentos de actina que da fuerza mecánica a la superficie de la célula, permitiéndole cambiar de forma y moverse.

c Estructuras estables formadas por microfilamentos son:

- Las de las células musculares; su función es intervenir en el proceso de contracción muscular y por tanto en el movimiento.
- Las que están formando como una especie de andamiaje en el interior de las microvellosidades de las células intestinales; su función es mantener la estructura de dichas microvellosidades.

Estructuras lábiles formadas por microfilamentos son:

- Todas las demás estructuras formadas por dichos filamentos que le permiten a la célula cambiar de forma y moverse, así como también aquellas que forman el anillo contráctil durante la división celular.

5 Los microtúbulos

Actividades pág. 137

a *¿Qué propiedades caracterizan a los filamentos de actina y a los microtúbulos? Relaciónalas con la función que desempeñan estos componentes del citoesqueleto.*

b *Señala las semejanzas y diferencias entre los filamentos de actina y los microtúbulos.*

c *El tratamiento de células con colchicina, un alcaloide venenoso del azafrán de otoño, inhibe los procesos celulares que dependen de los microtúbulos, incluyendo la mitosis. Da una explicación razonada sobre la acción de este veneno. Todos los microtúbulos, incluidos los de los cilios y flagelos, son estructuras dinámicas.*

d *Razona si son verdaderas o falsas las siguientes afirmaciones:*

- La tubulina requiere ATP para su polimerización.

— *El movimiento dirigido de las células está organizado por los microtúbulos en unas células y por los filamentos de actina en otras.*

— *Los microfilamentos y los microtúbulos pueden formarse y destruirse rápidamente, mientras que los filamentos intermedios son estructuras estables.*

— *La mayoría, si no todas, de las enzimas del citosol están unidas al citoesqueleto.*

Soluciones:

a Las dos propiedades que caracterizan a los filamentos de actina y a los microtúbulos son: que son estructuras dinámicas que pueden formarse o destruirse, por adición o pérdida de las proteínas que los forman y que presentan polaridad, es decir, sus dos extremos son diferentes, tendiendo a polimerizarse o alargarse por un extremo (llamado "+") y a despolimerizarse o acortarse por el otro (extremo "-").

Estas propiedades son esenciales para la función que desempeñan estos filamentos del citoesqueleto en la motilidad celular.

b Semejanzas entre los filamentos de actina y los microtúbulos

- Son componentes del citoesqueleto.
- Forman parte de una gran variedad de estructuras de la célula y además participan en diversos movimientos celulares.
- Son estructuras dinámicas que pueden formarse o destruirse, en función de las necesidades de la célula.
- Presentan polaridad, es decir, sus dos extremos son diferentes.

Diferencias entre los filamentos de actina y los microtúbulos

- Los filamentos de actina son las fibras más delgadas que componen el citoesqueleto, con un diámetro de 8 nm. Los microtúbulos miden 25 nm de diámetro.
- Los filamentos de actina están formados por la proteína globular actina, que polimeriza y forma un filamento doble helicoidal. Los microtúbulos están formados por la proteína tubulina y son cilindros huecos.
- c** La acción de la colchicina es despolimerizar los microtúbulos, esto es destruirlos. De ahí que este veneno inhiba los procesos celulares que dependen de los microtúbulos, como por ejemplo la mitosis, ya que no se formará el huso mitótico.
- d** — Falso. Los microtúbulos citoplasmáticos sí son estructuras dinámicas que pueden formarse o destruirse, en

función de las necesidades de la célula, pero los de los cilios y flagelos son estructuras estables.

- Falso. La tubulina polimeriza en presencia de GTP formando estructuras cilíndricas y huecas.
- Verdadero.
- Verdadero.
- Verdadero.

6 Cilios y flagelos

Actividades pág. 139

- a Señala las semejanzas y diferencias entre los cilios y los flagelos.
- b Observa en las figuras 6.3 c y d, el corte transversal del axonema de un cilio y el de un corpúsculo basal e indica las diferencias entre ellos.

Soluciones:

a Semejanzas entre cilios y flagelos

- Son prolongaciones móviles presentes en la superficie celular de muchos tipos de células.
- Su función es permitir el desplazamiento de una célula aislada a través de un líquido o desplazar el líquido extracelular sobre la superficie de la célula.
- Presentan la misma estructura.

Diferencias entre cilios y flagelos

- Los cilios son cortos y numerosos y los flagelos largos y en número de uno o dos por célula.
 - Presentan distinto tipo de movimiento. El movimiento del cilio es semejante al de un látigo. El movimiento ondulante del flagelo es por propagación de ondas casi sinusoidales.
- b Diferencias entre el corte transversal de un corpúsculo basal y del axonema de un cilio
 - La pared del corpúsculo basal está formada por nueve tripletes de microtúbulos, mientras que la del axonema está formada por nueve dobletes de microtúbulos.
 - En el axonema hay un par de microtúbulos centrales (estructura $9 + 2$) que faltan en el corpúsculo basal (estructura $9 + 0$).
 - En el corpúsculo basal los tripletes adyacentes de microtúbulos están unidos mediante puentes. En el axo-

nema, cuya estructura es más compleja, hay fibras de nexina uniendo los dobletes de microtúbulos adyacentes y además otras estructuras como: los brazos de dineína y las fibras radiales.

7 Centrosoma: centro organizador de microtúbulos

Actividades pág. 140

- a ¿Cómo se produce el movimiento de los cilios y flagelos? ¿Tiene algo que ver con el movimiento de contracción muscular?
- b Señala las semejanzas y diferencias entre el corpúsculo basal y el centriolo. ¿Qué relación existe entre ellos?
- c ¿Cuál es el centro organizador de microtúbulos más importante de las células animales? ¿Qué otros centros organizadores de microtúbulos puede haber en las células animales? ¿De qué lugar de los centros organizadores parten los microtúbulos?

Soluciones:

- a El movimiento del axonema de los cilios y flagelos se produce por el deslizamiento de unos dobletes periféricos con respecto a otros. La dineína tiene actividad ATPasa y es la responsable del deslizamiento; en presencia de ATP, los brazos de dineína de un doblete contactan con el doblete adyacente y hacen que los dobletes se muevan uno respecto del otro. Los puentes de nexina, muy elásticos, mantienen unidos los dobletes de microtúbulos y limitan su deslizamiento. Como resultado, el deslizamiento de los dobletes periféricos se convierte en la flexión del axonema.

Sí tiene que ver el movimiento del axonema con el de contracción muscular, ya que este último se produce también por deslizamiento, pero en este caso de los filamentos de actina y de miosina entre sí; debido a este movimiento de deslizamiento, el sarcómero se contrae y disminuye la longitud de las miofibrillas y, por tanto de la fibra muscular. La miosina posee actividad ATPasa y produce la energía necesaria para la contracción muscular.

b Semejanzas entre el corpúsculo basal y el centriolo

- Presentan la misma estructura ($9 + 0$).
- Desempeñan funciones similares, pues ambos son centros organizadores de microtúbulos. El centrosoma es el centro organizador de microtúbulos, ya que actúa co-

mo núcleo de formación a partir del cual crecen los microtúbulos; durante la interfase organiza los microtúbulos citoplasmáticos y durante la mitosis se encarga de la disposición de los microtúbulos del huso mitótico. Los corpúsculos basales también actúan como centros organizadores de microtúbulos, pues intervienen en la formación del axonema de los cilios y flagelos.

Diferencias entre el corpúsculo basal y el centriolo

- Por su localización. El corpúsculo basal se localiza en la base del axonema del cilio o flagelo y el centriolo forma parte del centrosoma o centro celular que se localiza cerca del núcleo.
 - Por el lugar de donde parten los microtúbulos. En el caso del centriolo, los microtúbulos crecen a partir del material pericentriolar. En el caso del corpúsculo basal, los microtúbulos del axonema crecen directamente a partir de los del corpúsculo basal.
- c El centro organizador de microtúbulos más importante de las células animales es el centrosoma.
- Otros centros organizadores de microtúbulos en las células animales son los corpúsculos basales de cilios y flagelos.
- En el caso del centrosoma, los microtúbulos crecen a partir del material pericentriolar. En el caso del corpúsculo basal, los microtúbulos del axonema crecen directamente a partir de los del corpúsculo basal.

B. ACTIVIDADES DE AUTOEVALUACIÓN

- 1** Establece las semejanzas y diferencias entre los tres tipos de fibras que componen el citoesqueleto.

Solución:

Semejanzas entre microfilamentos, filamentos intermedios y microtúbulos

- Son componentes del citoesqueleto de las células eucarióticas.
- Están formados por proteínas globulares.
- Intervienen en la estructura y organización del citoplasma y dan forma a la célula.

Diferencias entre microfilamentos, filamentos intermedios y microtúbulos

- Por su grosor. Los microfilamentos tienen un grosor de 8 nm, los filamentos intermedios de 10 nm y los microtúbulos de 25 nm.
- Por su función. Los filamentos intermedios desempeñan únicamente funciones estructurales en la célula, mientras que los otros dos forman parte de una gran variedad de estructuras de la célula y además participan en diversos movimientos celulares.
- Los microfilamentos y los microtúbulos son estructuras dinámicas, mientras que los filamentos intermedios no lo son.

- 2** ¿Qué relación hay entre el citosol y el citoesqueleto?

Solución:

Al principio se pensaba que el citosol era una disolución más o menos homogénea en la que flotaban todos los orgánulos; actualmente se sabe que el citosol es un gel muy organizado y que gran parte de su organización interna se debe a la acción del citoesqueleto, formado por una compleja red de filamentos proteicos.

- 3** Relaciona los términos: cilios, flagelos y centriolos. ¿En qué función biológica están implicados?

Solución:

En un cilio o flagelo se pueden distinguir las siguientes partes: el eje o axonema cuya flexión produce el movimiento, la zona de transición y el corpúsculo basal o centriolo que interviene en la formación del axonema.

También sería válida: En la base de cada cilio o flagelo hay un corpúsculo basal o centriolo.

La función de cilios y flagelos es permitir el desplazamiento de una célula aislada a través de un líquido o desplazar el líquido extracelular sobre la superficie de la célula.

La función de los centriolos es la de ser centros organizadores de microtúbulos.

- 4** a. Completa en tu cuaderno el siguiente cuadro, indicando el tipo de fibra del citoesqueleto que predomina en cada caso:
- b. Indica la función que desempeñan los filamentos del citoesqueleto que predominan en cada una de las partes de la célula o de los tipos de células citados en la tabla.

Solución:

a. y b.

	Microfilamentos	Filamentos intermedios	Microtúbulos
Microvellosidades	Sí. Función estructural	No	No
Axonema de un cilio	No	No	Sí. Movimiento
Córtex o corteza celular	Sí. Refuerzan la membrana	No	No
Axón de una neurona	No	Sí. Función estructural	Sí. Transporte de orgánulos
Huso mitótico	No	No	Sí. Movimiento de cromosomas
Lámina nuclear	No	Sí. Refuerzan la envoltura	No
Pseudópodos	Sí. Movimiento	No	No
Célula muscular	Sí. Construcción muscular	No	No
Célula epitelial	No	Sí. Función estructural	No

- 5** Cita ejemplos de células que presenten cilios y de otras con flagelos, indicando la función que desempeñan estos orgánulos en cada tipo de células.

Solución:

Algunos protozoos presentan cilios y los utilizan tanto para su desplazamiento como para capturar partículas alimenticias. En los vertebrados, las células epiteliales del tracto respiratorio, utilizan los cilios para trasladar hacia la boca el mucus, junto con partículas de polvo o células muertas. Los cilios de las células que revisten las trompas de Falopio, ayudan a trasladar las ovocélulas desde los ovarios al útero. Los espermatozoides poseen un flagelo que les permite su desplazamiento.

- 6** Observa la siguiente micrografía electrónica de un corte transversal de un flagelo:

- a. Haz un dibujo de la micrografía anterior y señala en él los siguientes componentes de un flagelo: microtúbulo a, microtúbulo b, brazo interno de dineína, brazo externo de dineína, vaina interna, nexina, fibra radial y microtúbulo completo.
- b. ¿Qué estructuras están formadas por tubulina?
- c. ¿Cuáles de las estructuras anteriores, si hay alguna, son continuas con los componentes del corpúsculo basal?

Solución:

- a. Para la realización del dibujo ver la figura 6.3 de la página 139 del libro del alumno.
- b. Los microtúbulos, tanto los periféricos como los centrales.
- c. Los microtúbulos a y b de los dobletes periféricos.

- 7** ¿Es indispensable el centrosoma para la organización de los microtúbulos durante la división celular?

Solución:

No, ya que no todos los centros organizadores de microtúbulos contienen centriolos; en las células de los vegetales superiores, los microtúbulos del huso mitótico se organizan y parten de una región difusa (mal definida) que carece de centriolos.

- 8** Por qué los inhibidores de la actina afectan a la división celular?

Solución:

Porque una de las funciones de los filamentos de actina es la de formar el anillo contráctil durante la división celular.

- 9** ¿En qué células el citoesqueleto puede estar alterado? ¿Cómo se verán afectadas por este hecho dichas células?

Solución:

En las células cancerosas. Se verán afectadas en su forma y en su capacidad de movimiento.

- 10** ¿Sería correcto decir que el centrosoma dirige la organización de todo el citoesqueleto? Razona tu respuesta.

Solución:

Dado que el centrosoma organiza los microtúbulos y éstos a su vez participan en la distribución de los demás filamentos del citoesqueleto, el centrosoma dirige la organización de todo el citoesqueleto. Por ello, el

centrosoma controla la forma y movimiento de las células, y además interviene en el transporte de orgánulos y en la división celular.

- 11** *Observa la siguiente micrografía electrónica e indica qué estructuras se observan. ¿Cómo se han formado dichas estructuras?*

Solución:

Se observan dos centrosomas cada uno de ellos formados por dos centriolos. Los centriolos se forman por duplicación de los centriolos preexistentes. Primero se separan los dos centriolos del centrosoma y a continuación se forma un centriolo hijo perpendicular a cada centriolo original.

- 12** *Durante el proceso de extracción y aislamiento de las enzimas citosólicas, generalmente se rompen las células en presencia de sacarosa 0.2 M para evitar el hinchamiento osmótico y la explosión de los orgánulos intracelulares. Si las enzimas que se quieren obtener se hallan en el citosol, ¿por qué se evita dañar a los orgánulos?*

Solución:

Se evita dañar los orgánulos para que no se liberen sus enzimas y se mezclen con las del citosol.

- 13** *Los individuos que, debido a un problema genético, tienen defectuosa la dineína presentan una tos característica y son estériles. ¿Cuál es la base molecular para estos síntomas clínicos? Razónalo.*

Solución:

La dineína es una proteína componente de los cilios y flagelos que es indispensable para el movimiento de los mismos.

Si un individuo tiene defectuosa la dineína se verá afectado el movimiento de sus cilios y flagelos. Por ello, es estéril ya que sus espermatozoides no tienen movilidad y presenta una tos característica debido a que las células ciliadas que recubren las vías respiratorias no son capaces de realizar su función (trasladando hacia la boca el mucus junto con partículas de polvo o células muertas).

C. ACTIVIDADES DE LOS DOCUMENTOS

LA CONTRACCIÓN MUSCULAR

Cuestiones:

- 1** *¿Qué función tienen las proteínas motoras? Cita ejemplos de este tipo de proteínas.*

Solución:

Las proteínas motoras son proteínas especializadas que utilizan la energía del ATP para cambiar de forma o moverse. Los filamentos de actina y los microtúbulos actúan como rieles para las proteínas motoras que ayudan a la célula a moverse o a mover vesículas dentro de ella. Entre las proteínas motoras están: la miosina, la dineína y la kinesina.

- 2** *¿Qué significa que las cabezas de miosina tienen actividad ATPasa?*

Solución:

Que hidrolizan el ATP y utilizan la energía que se libera para cambiar de forma.

- 3** *Describe ordenadamente los procesos que tienen lugar en el músculo cuando recibe una señal del sistema nervioso.*

Solución:

Se produce un aumento repentino de Ca^{2+} en el citosol; estos iones Ca^{2+} son liberados de las cisternas del retículo sarcoplasmático (una región especializada del RE). A continuación, las cabezas de miosina comienzan a desplazarse a lo largo del filamento de actina en ciclos repetidos de unión y separación.

Durante cada uno de los ciclos, una cabeza de miosina se une a una molécula de ATP y la hidroliza. Este proceso induce un cambio de conformación en la molécula de miosina que hace que se desplace el extremo de su cabeza alrededor de 5 nm a lo largo del filamento de actina (hacia el extremo más). Este desplazamiento se repite con cada ciclo de hidrólisis del ATP y los filamentos de actina y de miosina se deslizan unos sobre otros sin acortarse.

RIBOSOMAS Y SISTEMAS DE ENDOMEMBRANAS

9

1. INTRODUCCIÓN

Una de las características básicas de las células eucarióticas es su complejo sistema de membranas internas que delimitan diferentes orgánulos dentro del citoplasma. Cada orgánulo está especializado en una función concreta para lo cual contiene sus propias enzimas y otros compuestos.

La ventaja de esta compartimentación es que la célula puede realizar a la vez numerosas reacciones químicas es-

pecíficas y al mismo tiempo transportar los productos de dichas reacciones a sus lugares de destino.

Este tema, **Ribosomas y sistema de endomembranas**, estudia la composición, localización, estructura y función de los ribosomas y de los orgánulos celulares que forman parte del denominado sistema de endomembranas y que son los siguientes: retículo endoplasmático, complejo de Golgi, lisosomas, vacuolas y peroxisomas.

2. TEMPORALIZACIÓN

El presente tema puede desarrollarse en 8 sesiones.

3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Identificar y caracterizar los ribosomas: cuál es su estructura, cómo aparecen al microscopio, dónde se forman y cuál es su función.
2. Caracterizar morfológica y funcionalmente los diferentes tipos de retículo endoplasmático, dónde se forma, cuál su función y cómo nos los revelan las micrografías electrónicas.
3. Caracterizar morfológica y funcionalmente los lisosomas, su origen, estructura y contenido y su función. Diferenciar autofagia de heterofagia.
4. Analizar la estructura y la función de las vacuolas, identificando las células que las poseen.
5. Analizar la estructura y localización y explicar en qué consisten las principales funciones de los peroxisomas.
6. Diseñar y realizar experimentos para observar los cambios morfológicos que se producen en las vacuolas a lo largo del proceso de diferenciación de las células vegetales y para observar diferentes formas de cristalización del oxalato cálcico en las vacuolas de las células vegetales.
7. Leer y analizar de un documento de ampliación sobre “El destino de las proteínas”.

4. CONTENIDOS CONCEPTUALES

1. Ribosomas
 - Origen
 - Función
2. Retículo endoplasmático
 - RE rugoso
 - RE liso
3. Complejo de Golgi
 - Estructura
 - Funciones
4. Lisosomas
 - Función
5. Vacuolas
 - Funciones
6. Peroxisomas
 - Funciones

5. SOLUCIONES Y COMENTARIOS

A. ACTIVIDADES VINCULADAS AL TEXTO

1 Ribosomas

Actividades pág. 147

- a *Razona si es o no correcta la siguiente frase: los ribosomas son orgánulos exclusivos del citoplasma de las células animales y vegetales.*
- b *Analiza la siguiente información: El rRNA desempeña un papel catalítico en el proceso de la síntesis proteica.*
- c *Determinadas sustancias que inhiben la síntesis de proteínas actúan sobre los ribosomas impidiendo su normal funcionamiento. Algunas de ellas, por ejemplo, la estreptomicina y la neomicina, se utilizan como antibióticos en enfermedades producidas por bacterias. Razona por qué estos antibióticos atacan a las bacterias y, sin embargo, no atacan a las células eucarióticas.*

Soluciones:

- a Falsa. Los ribosomas son orgánulos celulares presentes tanto en el citoplasma de las células procarióticas como en las eucarióticas, ya sean estas últimas animales o vegetales.
- b Aunque la mayoría de las enzimas son de naturaleza proteica, algunas moléculas de RNA también desempeñan una función catalítica.

Fue a principios de los ochenta, con los descubrimientos de Cech y los de Altman en la Universidad de Yale que los hizo merecedores del Premio Nobel de Química en 1989, cuando se descubrió por primera vez que había moléculas de RNA con función enzimática, denominadas ribozimas.

Así, el rRNA actúa como enzima durante la síntesis de proteínas que tiene lugar en los ribosomas. El descubrimiento de este hecho lo realizó en 1992 H. Noller, de la Universidad de California en Santa Cruz. Según H. Noller la actividad enzimática responsable de la unión de un aminoácido con el siguiente (formación del enlace peptídico) durante la síntesis de una proteína reside en el RNA del ribosoma y no en sus proteínas.

El descubrimiento de la catálisis del RNA apoya la idea de una vida primitiva basada en el RNA (una biosfera de seres que usaban RNA como material genético y como enzimas) y que precedió a la vida basada en el DNA.

- c Porque dichos antibióticos reconocen y se unen solamente a los ribosomas bacterianos que son diferentes a los de las células eucariotas

Los ribosomas de las bacterias se diferencian tanto por su composición como por su menor tamaño (coeficiente de sedimentación 70S) de los de las células eucariotas (coeficiente de sedimentación 80S).

2 El complejo de Golgi

Actividades pág. 151

- a *Si a una célula acinar del páncreas (secretora) se le suministra una pequeña cantidad de aminoácidos radiactivos y luego se incubaba en un medio normal, se puede observar cómo la radiactividad aparece a los tres minutos en el RE. Da una explicación razonada a este hecho.*
- b *Cuando las células secretoras del páncreas, marcadas con aminoácidos radiactivos y luego incubadas en un medio no marcado (véase Act. anterior), se observan a los 20 minutos, la radiactividad ya no aparece en el RE sino en el AG. Si se observan a los 90 minutos la radiactividad ya no aparece ni en el RE ni en el AG sino en las vesículas secretoras. Un poco más tarde la radiactividad aparece fuera de la célula. Explica razonadamente lo que ha ocurrido y deduce las etapas sucesivas en la síntesis y secreción de las proteínas enzimáticas.*
- c *¿Por qué los azúcares de los glicolípidos y de las glicoproteínas nunca se encuentran en el lado citoplasmático de las membranas?*

Soluciones:

- a La célula acinar del páncreas sintetiza las proteínas, que luego segregará al exterior, en los ribosomas unidos al RE. Por ello, si se le suministran a la célula secretora del páncreas aminoácidos radiactivos éstos a los tres minutos están en el RE.
- b La célula secretora del páncreas sintetiza las proteínas, que luego segregará al exterior, en los ribosomas unidos al RE y a continuación dichas proteínas pasan mediante vesículas de transporte al AG, donde son empaquetadas en las vesículas de secreción; finalmente, las vesículas de secreción se fusionan con la membrana plasmática y vierten su contenido al exterior por exocitosis. Por ello,

si se le suministran a la célula secretora del páncreas aminoácidos radiactivos éstos a los tres minutos están en el RE, a los 20 minutos en el AG, a los 90 minutos y un poco más tarde en el exterior.

- c La distribución de los azúcares en las membranas celulares es asimétrica debido a que todos los oligosacáridos son añadidos en el interior del RE y del complejo de Golgi. En las membranas intracelulares los azúcares están encarados hacia el interior del orgánulo, mientras que en la membrana plasmática están dispuestos hacia el exterior de la célula. La cara luminal de las membranas del RE y de otros orgánulos corresponde a la cara externa de la membrana plasmática.

3 Lisosomas

Actividades pág. 153

- a *Una bacteria es ingerida por fagocitosis por un macrófago (célula de nuestro sistema defensivo) y después es digerida en su interior. Indica los orgánulos que participan en la ingestión y digestión de la bacteria y cuáles son sus funciones específicas. Dibuja un esquema aclaratorio.*
- b *Señala dos razones por las cuales las enzimas lisosómicas no degradan las macromoléculas localizadas en el citosol de una célula.*
- c *Explica la relación que existe entre el retículo endoplasmático, el complejo de Golgi y los lisosomas.*
- d *Cuando tiene lugar el fenómeno de exocitosis se produce la fusión de la membrana de la vesícula secretora con la membrana plasmática. ¿Qué hace la célula con el exceso de membrana?*

Soluciones:

- a Los orgánulos que participan en la ingestión y digestión de una bacteria por fagocitosis son: el fagosoma, los lisosomas y los cuerpos residuales.
Para que se dé la fagocitosis deben existir en la superficie celular receptores específicos para las sustancias a englobar. Así, cuando una bacteria se une a los receptores de la superficie del fagocito, induce a éste a emitir pseudópodos que engloban a dicha bacteria, formando un fagosoma. A continuación, el fagosoma se fusiona con 1 o más lisosomas y su contenido es digerido y utilizado posteriormente como alimento por la célula. Si la digestión es incompleta, quedan en el interior de los lisosomas sustancias no digeridas

formando los cuerpos residuales. En los protozoos y en muchos invertebrados inferiores, los cuerpos residuales vierten los desechos al exterior por exocitosis, proceso denominado defecación celular. En los animales superiores los cuerpos residuales permanecen en el interior de la célula. El esquema sería similar al de la parte superior de la figura 4.2 en la página 153 del libro del alumno.

- b Las enzimas lisosómicas no degradan las macromoléculas localizadas en el citosol por dos razones:
 - La membrana del lisosoma mantiene las enzimas hidrolíticas fuera del contacto con el citosol.
 - Las enzimas lisosómicas tienen un pH óptimo de actividad ácido (pH próximo a 5) que es el que se mantiene en el interior del lisosoma, mientras que el pH del citosol es aproximadamente 7.2. Por ello, si se produce alguna fuga de enzimas lisosomales al citosol éstos no serán activos.
- c Las proteínas y lípidos de los lisosomas se fabrican en el RE. A continuación, dichas moléculas pasan del RE al AG mediante vesículas de transporte. En el complejo de Golgi las moléculas se desplazan a través del dictiosoma, en la dirección cis a trans, y a medida que pasan desde una cisterna a otra sufren una serie de modificaciones. Finalmente, de la cara trans del AG surgen vesículas que formarán los lisosomas.
- d La membrana de las vesículas secretoras se incorpora a la membrana plasmática y luego se recupera por endocitosis. Es decir, existe un equilibrio entre exocitosis y endocitosis que asegura el volumen celular.

5 Vacuolas

Actividades pág. 155

- a *¿Necesitan las células vegetales disponer de enzimas digestivas? Razona la respuesta.*
- b *Las vacuolas desempeñan funciones homeostáticas en las células vegetales que están sujetas a amplias variaciones de su medio ambiente. ¿Qué ocurrirá en una célula vegetal cuando el pH del medio descienda?*
- c *¿Por qué se acumula agua en el interior de la vacuola? ¿Qué ventaja tiene dicha acumulación para la célula?*
- d *Interpreta la micrografía electrónica de la figura 5.1 a, indicando los orgánulos que se distinguen en el interior de las células, así como el número de los mismos.*

Soluciones:

- a. Sí. En las células vegetales las enzimas hidrolíticas están implicadas en la degradación de macromoléculas y en el reciclaje de los componentes celulares.
- b. Que los protones se acumularán en el interior de la vacuola, evitando así que el descenso de pH afecte a la célula vegetal.
- c. Porque el medio interno de la vacuola está más concentrado que el del citosol y el agua penetra por ósmosis. La acumulación de agua en las vacuolas supone un sistema muy económico para el crecimiento de las células vegetales.
- d. En la micrografía electrónica de la figura 5.1 a, página 154 del libro del alumno, se observa una célula vegetal casi completa y porciones de otras seis. Los orgánulos o partes de las células que se distinguen con claridad son: la pared celular, una gran vacuola central, el citoplasma reducido a una fina capa alrededor de la vacuola, los cloroplastos y pequeñas vesículas.

B. ACTIVIDADES DE AUTOEVALUACIÓN

- 1** Indica los procesos bioquímicos o fisiológicos con los que están relacionados los siguientes orgánulos: a) ribosomas; b) lisosomas; c) retículo endoplasmático liso; d) peroxisomas; e) aparato de Golgi, f) retículo endoplasmático rugoso y g) vacuolas.

Solución:

a) Síntesis de proteínas; b) Digestión intracelular; c) Síntesis de lípidos, interviene en reacciones de detoxificación; d) Reacciones degradativas de oxidación de ácidos grasos y aminoácidos, procesos de detoxificación; e) Procesos de secreción, formación de lisosomas, reciclaje de la membrana plasmática; f) Síntesis y glicosilación de proteínas; g) Almacén de una gran variedad de sustancias; poseen actividad digestiva; regulan la presión de turgencia.

- 2** Señala las semejanzas y diferencias entre el RER y el REL.

Solución:

Semejanzas entre el RER y el REL

- Están formados por una compleja red de membranas interconectadas que delimitan cavidades.

Diferencias entre el RER y el REL:

- El RER posee ribosomas adheridos a su membrana y el REL no posee ribosomas.
- La membrana del RER forma sáculos y cisternas, mientras que la del REL forma una fina red de túbulos.
- El RER está relacionado con la síntesis de proteínas y el REL con la de lípidos.
- El RER está muy desarrollado en las células secretoras y el REL está muy desarrollado en las células especializadas en el metabolismo lipídico.

- 3** a. Al complejo de Golgi se le ha descrito como una “planta de procesamiento” o “una línea de montaje”. ¿Por qué son apropiados estos términos?
- b. ¿De dónde proceden y cómo se incorporan las proteínas y los lípidos al complejo de Golgi? ¿Cómo atraviesan estos compuestos el dictiosoma? Explica el proceso que sufren mientras lo atraviesan.
- c. ¿Cómo se liberan las proteínas del complejo de Golgi? ¿Qué ocurre después de que sean liberadas?

Solución:

- a. Porque en el complejo de Golgi las moléculas (proteínas y lípidos) procedentes del RE son modificadas, clasificadas y finalmente empaquetadas en vesículas que las dirigen hacia sus destinos finales, como si se tratara de una cadena de montaje.
- b. Las proteínas y lípidos se incorporan al complejo de Golgi mediante vesículas de transporte procedentes del RE.

Las moléculas se desplazan a través del dictiosoma, en la dirección cis a trans. El paso de una cisterna a la siguiente se realiza mediante vesículas que se forman por gemación en los extremos de una cisterna y se fusionan con la siguiente.

A medida que las moléculas pasan desde una cisterna a otra sufren una serie de modificaciones, que permiten luego clasificarlas y empaquetarlas en diferentes vesículas de transporte que las dirigirán a sus destinos finales. Entre las reacciones que se realizan en el complejo de Golgi destacan las de glicosilación; el complejo de Golgi contiene numerosas enzimas glicosil-transferasas que realizan reacciones de glicosilación, tanto en moléculas de lípidos como de proteínas, a medida que éstas van pasando a través del complejo de Golgi. En estas reacciones se eliminan algunos de los azúcares del oligosacárido añadido en el RE y se adicionan otros.

- c. Del complejo de Golgi las proteínas salen empaquetadas en vesículas de transporte que se dirigen a sus destinos finales. Después, dichas vesículas de secreción se fusionan con una membrana plasmática y vierten su contenido la exterior por exocitosis.

4 Agrupa de 3 en 3 (total 5 grupos) y haz una frase con aquellos términos que consideres relacionados, teniendo en cuenta que cada término sólo se puede reagrupar una vez: ribosoma, digestión intracelular, agua oxigenada, vacuolas, proteínas, AG, enzimas hidrolíticas, almacén, lisosomas, peroxisomas, vegetales, secreto-
ra, síntesis, dictiosomas, catalasa.

Solución:

- Los ribosomas son los orgánulos donde se realiza la síntesis de proteínas.
- Los lisosomas contienen enzimas hidrolíticas encargadas de la digestión intracelular.
- Los peroxisomas contienen la enzima catalasa que descompone el agua oxigenada en agua y oxígeno, según la reacción:



- El AG está formado por dictiosomas y tiene una función secretora.
- Las vacuolas de las células vegetales son almacén de una gran variedad de sustancias.

5 ¿Qué orgánulos intervienen en procesos de destoxificación? ¿Existe alguna relación entre el desarrollo de estos orgánulos y la ingestión de determinadas sustancias?

Solución:

Los orgánulos que intervienen en procesos de destoxificación son: el retículo endoplasmático liso y los peroxisomas.

Sí que existe una clara relación entre el desarrollo de los orgánulos que intervienen en procesos de destoxificación y la ingestión de sustancias tóxicas. Así, cuando la sangre recibe sustancias tóxicas liposolubles, los hepatocitos sintetizan grandes cantidades de enzimas de destoxificación y su RE liso aumenta en unos pocos días. Una vez eliminada la sustancia tóxica, el exceso de RE liso se destruye por autofagia en los lisosomas.

6 El esquema siguiente representa una actividad fisiológica propia de las células eucarióticas

- a. ¿De qué actividad se trata?

- b. Identifica las estructuras señaladas con los números.

- c. Explica brevemente lo que ocurre en cada una de las estructuras señaladas en el esquema.

Solución:

- a. Se trata de una célula en proceso de digestión intracelular de una bacteria ingerida por fagocitosis.

- b. y c. 1. Bacteria que está siendo ingerida por fagocitosis; 2. Lisosoma que contiene enzimas hidrolíticas; 3. Fagosoma o gran vesícula que contiene la bacteria ingerida; 4. Fagolisosoma formado por fusión del fagosoma con uno o más lisosomas; 5. Fagolisosoma en proceso de digestión; los productos resultantes de la digestión atraviesan la membrana y pasan al citosol, donde pueden ser utilizados por la célula; 6. Cuerpo residual que contiene las sustancias no digeridas; 7. El cuerpo residual se aproxima a la membrana plasmática y vierte los productos de desecho al exterior por exocitosis, proceso denominado defecación celular; 8. Complejo de Golgi donde se forman los lisosomas; 9. Retículo endoplasmático rugoso donde se sintetizan las enzimas hidrolíticas de los lisosomas.

7 ¿Cómo “sabe” una proteína recién sintetizada a qué lugar de la célula debe dirigirse para llevar a cabo su función? ¿Y los ribosomas cómo “saben” si deben permanecer en el citosol o unirse a la membrana del RE?

Solución:

La información para que las proteínas lleguen a su destino en la célula, está contenida en ciertas secuencias de aminoácidos de la propia proteína. Estas secuencias se denominan péptidos señal y son reconocidas por receptores que hay en el orgánulo al que va destinada la proteína.

Los ribosomas saben si deben permanecer en el citosol o unirse a la membrana del RE por la secuencia señal que tiene la proteína al comienzo de su cadena de aminoácidos. Así, cuando un ribosoma comienza a sintetizar una proteína con un péptido señal para el RE, la propia señal dirige al ribosoma a la membrana del RE.

8 La catalasa es la enzima más abundante en los peroxisomas, constituyendo aproximadamente el 40% de su contenido enzimático. Da una explicación razonada a este hecho.

Solución:

Los peroxisomas poseen enzimas oxidativas, denominadas oxidasas, que generan peróxido de hidrógeno. Dado

que el peróxido de hidrógeno es un agente oxidante muy tóxico, hay que eliminarlo rápidamente y la catalasa es la enzima encargada de ello, de ahí su abundancia en dichos orgánulos.

- 9** a. Explica el recorrido de una glicoproteína de la membrana plasmática desde que comienza su síntesis hasta que llega a la membrana.
- b. Señala el camino que siguen todas las proteínas destinadas a ser secretadas por la célula.
- c. ¿En que se diferencia el recorrido de ambos tipos de proteínas desde que comienza su síntesis hasta que llegan a su destino final?
- d. Una vez incorporada a la membrana, ¿puede la glicoproteína cambiar de orientación (quedando la parte glicídica hacia dentro de la célula)? Razónalo.

Solución:

- a. Los ribosomas unidos a la membrana del RE se dedican a la síntesis de proteínas que son simultáneamente translocadas a través de la membrana del RE; por tratarse de una proteína de membrana sólo será parcialmente translocada a través de la membrana del RE y, por tanto, se mantendrá en ella. En el RE se producen las reacciones de glicosilación que consisten en la incorporación de cadenas de oligosacáridos a la proteína. A continuación, la glicoproteína que está en la membrana del RER pasará a formar parte de una vesícula de transporte y así llegará al complejo de Golgi. Una vez en la membrana del AG irá pasando de una cisterna a otra del dictiosoma hasta que finalmente pasará a formar parte de la membrana de una vesícula secretora y cuando ésta se fusione con la membrana plasmática pasará a formar parte de la misma.

Esquema del recorrido:

Síntesis en los ribosomas unidos al RE → Translocación parcial a través de la membrana del RE, permaneciendo en la membrana del RE → Membrana de vesícula de transporte → Membrana del complejo de Golgi → Membrana de vesícula secretora → Membrana plasmática

- b. Las proteínas destinadas a ser secretadas se sintetizan en los ribosomas unidos a la membrana del RE y son totalmente translocadas a través de la membrana del RE pasando al lumen de este orgánulo. A continuación pasarán vía vesículas al lumen del AG y luego al interior de las vesículas secretoras y de ahí al exterior.

Esquema del recorrido:

Síntesis en los ribosomas unidos al RE → Translocación a través de la membrana del RE y paso al lumen del RE → Vesícula de transporte (lumen) → Complejo de Golgi (lumen) → Vesícula secretora (lumen) → Medio extracelular

- c. La glicoproteína de membrana y la proteína que es secretada siguen el mismo camino desde su síntesis hasta su destino, pero la glicoproteína va pasando desde la membrana de un orgánulo a otro y la proteína que es secretada va pasando desde el interior (lumen) de un orgánulo a otro.
- d. No. Las proteínas transmembrana no experimentan el movimiento de flip-flop y si es una glicoproteína la parte glicídica que es polar supone un impedimento mayor para que la proteína cambie de orientación en la membrana.

- 10** En el esquema se muestra una sección de una célula secretora de rata según se observa al microscopio electrónico.

- a. Identifica las estructuras que se observan en la micrografía.
- b. Como puede observarse, existe un abundante sistema de endomembranas. ¿Qué funciones desempeñan estos orgánulos? ¿Crees que existe alguna relación entre estos sistemas? Puedes observar el tráfico de vesículas entre orgánulos. Explica lo que observas.

Solución:

- a. Se observan los siguientes orgánulos: el núcleo y en su interior el nucléolo y la cromatina; las mitocondrias; el RE rugoso y liso; vesículas de secreción.
- b. Los orgánulos que forman parte del sistema de endomembranas de las células eucarióticas son: el RE, el AG, los lisosomas y las vacuolas.

Las principales funciones de estos orgánulos son:

- El RE tiene diversas funciones, siendo las más importantes las relacionadas con la síntesis de los lípidos y de las proteínas de muchos orgánulos, así como de las proteínas que son segregadas al exterior.
- En el complejo de Golgi, las moléculas procedentes del RE son modificadas, clasificadas y finalmente empaquetadas en vesículas que las dirigen hacia sus destinos finales: la membrana plasmática, los lisosomas y las vesículas de secreción.
- En los lisosomas se realizan las digestiones intracelulares.

- En las vacuolas se almacenan una gran variedad de sustancias.

Todos estos orgánulos están relacionados unos con otros. Así, las proteínas y los lípidos sintetizados en el RE pasan al AG mediante vesículas de transporte y del AG surgen vesículas que los dirigen a su destino, como pueden ser los lisosomas o las vacuolas de las células vegetales.

En la micrografía electrónica se observan numerosas pequeñas vesículas pero no se ve claramente el tráfico de vesículas entre orgánulos.

C. ACTIVIDADES DE LOS DOCUMENTOS

EL DESTINO DE LAS PROTEÍNAS

- 1 *¿Qué es un péptido señal y para qué sirve? ¿Lo tienen todas las proteínas?*

Solución:

La información para que las proteínas lleguen a su destino en la célula, está contenida en ciertas secuencias de aminoácidos de la propia proteína. Estas secuencias se denominan péptidos señal y son reconocidas por recepto-

res que hay en el orgánulo al que va destinada la proteína. Una proteína puede tener uno o varios péptidos señal.

- 2 *Cita las proteínas que llegan a su destino vía vesículas.*

Solución:

Las proteínas del RE, aparato de Golgi, lisosomas, membrana plasmática y las destinadas a ser secretadas por la célula.

- 3 *¿A qué orgánulos se dirigen las proteínas que no viajan vía vesículas? ¿Cómo penetran estas proteínas en el orgánulo adecuado?*

Solución:

Las proteínas del citosol, núcleo, peroxisomas, mitocondrias y cloroplastos (en plantas).

- 4 *Algunas proteínas pueden tener más de un péptido señal, ¿podrías indicar algunas?*

Solución:

Las proteínas que viajan vía vesículas tienen al menos dos señales, la que hace que el ribosoma libre se una al RE y luego otra que hace que esa proteína vaya al AG, a los lisosomas, a la membrana plasmática o al exterior.

ORGÁNULOS ENERGÉTICOS

10

1. INTRODUCCIÓN

Las mitocondrias y los cloroplastos, estos últimos exclusivos de las células vegetales, son los orgánulos energéticos de las células eucarióticas. Poseen una característica que los diferencia de los otros orgánulos: la gran cantidad de membrana interna que contienen. En ella se llevan a cabo los procesos necesarios para la obtención de energía en forma de ATP; y estos procesos son muy parecidos en ambos orgánulos.

Actualmente se acepta que los orgánulos energéticos evolucionaron a partir de bacterias, que fueron fagocitadas por

células eucarióticas primitivas con las que establecieron una relación simbiótica, denominada endosimbiosis, hace unos 1500 millones de años.

Este tema, **Orgánulos energéticos**, se inicia con el estudio de la estructura, composición y función de las mitocondrias y de los cloroplastos. A continuación, se revisa el grado de autonomía de mitocondrias y cloroplastos, comparando dichos orgánulos con las bacterias, y se cita la Teoría endosimbiótica sobre el origen bacteriano de los orgánulos energéticos.

2. TEMPORALIZACIÓN

El presente tema puede desarrollarse en 8 sesiones.

3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Describir y analizar la estructura y función de los orgánulos energéticos de las células eucariotas.
2. Localizar en esquemas de mitocondrias y cloroplastos dónde se realizan las funciones bioquímicas de estos orgánulos.
3. Explicar las semejanzas de las mitocondrias y cloroplastos con las bacterias.
4. Estudiar la teoría endosimbionte y analizar críticamente las pruebas de la misma.
5. Estudiar los procesos de respiración y de fotosíntesis y analizar su repercusión en el balance energético celular.
6. Diseñar y realizar un experimento para observar los cloroplastos de las células vegetales y localizar en ellos los gránulos de almidón (CIT).
7. Diseñar una investigación sobre los factores que influyen en el movimiento de los cloroplastos en las células de *Elodea*.
8. Estudiar la estructura y función de los plástidos mediante la lectura del documento de ampliación final.

4. CONTENIDOS CONCEPTUALES

1. Mitocondrias
 - Estructura
 - Composición
 - Número y localización
 - Funciones
2. Cloroplastos
 - Estructura
 - Composición
 - Funciones
3. Autonomía de mitocondrias y cloroplastos

5. SOLUCIONES Y COMENTARIOS

A. ACTIVIDADES VINCULADAS AL TEXTO

1 Mitochondrias

Actividades pág. 163

- a *¿Cómo se explica que el espacio intermembranoso tenga una composición química similar al citosol?*
- b *¿Por qué la membrana mitocondrial interna tiene un contenido proteico superior al de otras membranas? Razónalo.*
- c *El número de crestas de las mitocondrias de las células del músculo cardíaco es tres veces mayor que el de las mitocondrias de una célula hepática. Da una explicación razonada a este hecho.*

Soluciones:

- a Porque la membrana mitocondrial externa es muy permeable a la mayor parte de las moléculas pequeñas e iones; dicha membrana posee numerosos canales acuosos a través de la bicapa lipídica formados por porina, una proteína transmembrana.
- b Porque es una membrana muy activa en la que se realizan procesos muy importantes para la célula (cadena respiratoria, síntesis de ATP, etc.). Hay que recordar que las proteínas llevan a cabo la mayoría de las funciones específicas de las membranas.
- c Se debe a que la demanda de ATP de las células del músculo cardíaco es mayor que la de los hepatocitos.

Actividades pág. 164

- a *Si sólo el H_2O , el CO_2 y el O_2 son capaces de difundirse a través de la membrana mitocondrial, ¿cómo penetran en la mitocondria metabolitos e intermediarios energéticos, tales como el piruvato, ADP y ácidos grasos? ¿Y cómo sale el ATP?*
- b *A la mitocondria se le denomina con frecuencia “la central energética” de las células eucarióticas. Razona por qué es apropiado este término.*
- c *¿Cuáles son las principales moléculas que utiliza la mitocondria como combustibles metabólicos? ¿Por qué etapas pasan estas moléculas en el interior de la mitocon-*

dria hasta su oxidación completa? ¿Son completamente diferentes las dos rutas catabólicas o coinciden en algunas etapas?

Soluciones:

- a Atravesando las membranas mitocondriales mediante proteínas transportadoras específicas (membrana mitocondrial interna) y mediante proteínas que forman canales (membrana mitocondrial externa).
En la membrana mitocondrial interna hay proteínas transportadoras específicas, que regulan el paso de los metabolitos que son necesarios en la matriz (ADP, piruvato, ácidos grasos...) y en el exterior (ATP...). La membrana mitocondrial externa contiene grandes proteínas (porinas) que forman canales que hacen que esta membrana sea permeable a las pequeñas moléculas.
- b Es apropiado aplicar ese término a las células eucarióticas animales porque en la mitocondria se produce la mayor parte del ATP que se forma en dichas células. Las células eucarióticas vegetales tienen además de las mitocondrias otros orgánulos energéticos, los cloroplastos.
- c La mitocondria utiliza principalmente como combustibles al piruvato (procedente de la glucosa) y a los ácidos grasos. El piruvato sigue los siguientes pasos: Descarboxilación oxidativa, ciclo de Krebs, cadena respiratoria y fosforilación oxidativa.
Los ácidos grasos siguen los siguientes pasos: β -oxidación, ciclo de Krebs, cadena respiratoria y fosforilación oxidativa.
Las dos rutas se diferencian solo en su etapa inicial hasta que dan lugar al acetil-CoA y a partir de aquí las rutas coinciden.

2 Cloroplastos

Actividades pág. 167

- a *¿Cuál es la importancia del proceso de la fotosíntesis en la Biosfera?*
- b *¿Cuál es el objeto de la fase luminosa de la fotosíntesis? Si las plantas obtienen energía en los cloroplastos, ¿qué utilidad pueden tener, entonces, las mitocondrias en éstas?*

Soluciones:

a La fotosíntesis es un proceso anabólico fundamental para todos los seres vivos. Mediante la fotosíntesis, las plantas verdes fabrican materia orgánica para ellas y para casi todos los organismos heterótrofos que dependen de ellas, a través de las cadenas alimenticias de la biosfera.

b El objeto de la fase luminosa de la fotosíntesis es absorber la energía luminosa y transformarla en energía química útil para la célula (ATP).

Las células vegetales que realizan la fotosíntesis fabrican en los cloroplastos la materia orgánica que necesitan, utilizando para ello materia inorgánica y la energía de la luz; pero necesitan producir energía para sus actividades vitales. Esto lo consiguen mediante la oxidación de una parte de ese alimento, proceso que se denomina respiración celular y que se produce en las mitocondrias.

3 Autonomía de mitocondrias y cloroplastos

■ Actividades pág. 168 ■

- a a. Señala las semejanzas de las mitocondrias y cloroplastos con las bacterias.
- b. ¿Pueden las mitocondrias y los cloroplastos fabricar todas sus proteínas? ¿Por qué?
- c. Los antibióticos estreptomycin y cloranfenicol que impiden el crecimiento bacteriano paralizando la síntesis de proteínas, también paralizan dicha síntesis en las mitocondrias. ¿Qué sugiere este hecho?

Soluciones:

a. Semejanzas de mitocondrias y cloroplastos con las bacterias:

Las mitocondrias y los cloroplastos se consideran orgánulos semiautónomos que en algunos aspectos se parecen a las bacterias.

- Poseen varias copias de una misma molécula de DNA circular.
- El DNA no está asociado a las histonas.
- Poseen ribosomas 70S.
- Se reproducen por división binaria, y por tanto, transmiten información genética.

b. No. Cada orgánulo contiene varias copias de una pequeña molécula de DNA circular, sin embargo estos or-

gánulos han perdido gran parte de su genoma y su información genética es insuficiente para codificar todas las proteínas del orgánulo.

Se cree que en las primeras fases de la evolución eucariótica se produjo una transferencia desde el DNA de estos orgánulos al DNA del núcleo. Por ello, la mayoría de las proteínas de estos orgánulos están codificadas por el DNA nuclear y, después de ser sintetizadas en el citosol, son transportadas al orgánulo.

Por tanto, las mitocondrias y los cloroplastos crecen y se dividen mediante la acción coordinada de dos sistemas genéticos diferentes: el del orgánulo y el del núcleo celular.

c. Sugiere que los ribosomas de las células bacterianas son semejantes a los de las mitocondrias y diferentes de los de las células eucarióticas. De ahí que, dicho hecho constituya una prueba del origen bacteriano de las mitocondrias.

B. ACTIVIDADES DE AUTOEVALUACIÓN

- 1 Señala las semejanzas y diferencias entre mitocondrias y cloroplastos.

Solución:

Semejanzas entre mitocondrias y cloroplastos

- Son los orgánulos energéticos de las células eucarióticas.
- Poseen una característica que los diferencia de los demás orgánulos celulares: la gran cantidad de membrana interna que contienen. En dicha membrana se llevan a cabo los procesos de transporte de electrones necesarios para la obtención de energía en forma de ATP y estos procesos son muy parecidos en ambos orgánulos.
- Son orgánulos semiautónomos pues contienen los componentes necesarios (DNA, RNA y ribosomas) para la síntesis de algunas de sus propias proteínas.
- Se reproducen por división binaria, como las bacterias.
- Tanto las mitocondrias como los cloroplastos han evolucionado a partir de células procarióticas primitivas (teoría endosimbiótica).

Diferencias entre mitocondrias y cloroplastos:

- En cuanto al tamaño, el cloroplasto es mucho mayor que la mitocondria.

- Por su estructura se diferencian en que el cloroplasto tiene tres membranas distintas y por tanto tres compartimentos internos separados, mientras que la mitocondria sólo tiene dos membranas y dos compartimentos.
- La función de la mitocondria es la respiración celular y la del cloroplasto la fotosíntesis. Los cloroplastos contienen los pigmentos clorofílicos necesarios para realizar la fotosíntesis, que le dan el color verde.
- Las mitocondrias se encuentran tanto en las células animales como en las vegetales, mientras que los cloroplastos son exclusivos de las células vegetales.
- Las mitocondrias proceden de primitivas bacterias aeróbicas y los cloroplastos proceden de primitivas cianobacterias.

2 De las alternativas siguientes, escoge la correcta:

El proceso de la fotosíntesis	Consume	Produce
Alternativa 1	Clorofila	H_2O
Alternativa 2	H_2O	CO_2
Alternativa 3	CO_2	Clorofila
Alternativa 4	H_2O	O_2
Alternativa 5	Glucosa	O_2

Solución:

Alternativa 4. El proceso de fotosíntesis consume agua y produce oxígeno.

3 La respiración celular:

- Es un proceso catabólico del que se obtiene energía directamente utilizable por la célula para su desarrollo y productos más simples.
- Es un proceso que sólo ocurre en las células animales, pues las vegetales tienen otros mecanismos para conseguir lo mismo.
- Consiste en una combustión incompleta de la materia orgánica lo que permite que la energía liberada se fraccione en pequeños paquetes que pueden ser convertidos en enlaces de alta energía, como el ATP y el NADH.

¿Cuál de las tres opciones es la verdadera y por qué?

Solución:

- Verdadera. La respiración celular es un proceso catabólico, por tanto, es un proceso mediante el cual se rompen y degradan biomoléculas para la obtención de energía útil para las actividades celulares; los produc-

tos finales son compuestos sencillos de desecho que se eliminan al medio.

- Falsa. Las mitocondrias son orgánulos energéticos presentes en todas las células eucarióticas, tanto animales como vegetales. Las células vegetales tienen además cloroplastos.
- Falsa. La respiración es una combustión completa de la materia orgánica, mientras que la fermentación es una combustión incompleta.

4 ¿Qué características estructurales del cloroplasto son esenciales para la fotosíntesis?

Solución:

La existencia de varias membranas delimitando espacios de diferente composición, lo que permite crear gradientes de concentración.

La gran cantidad de membrana interna que contienen. En dicha membrana se llevan a cabo los procesos de transporte de electrones necesarios para la obtención de energía en forma de ATP.

5 Indica en qué orgánulo y en qué zona del mismo tienen lugar los siguientes procesos metabólicos: cadena de transporte de electrones, fosforilación oxidativa, ciclo de Krebs, fase luminosa, fase oscura y β -oxidación de los ácidos grasos.

Solución:

Cadena de transporte de electrones - En ambos orgánulos, en la membrana interna mitocondrial y en la membrana tilacoidal del cloroplasto.

Fosforilación oxidativa → En la membrana interna de la mitocondria.

Ciclo de Krebs → En la matriz mitocondrial.

Fase lumínica → En la membrana tilacoidal del cloroplasto.

Fase oscura → En el estroma del cloroplasto.

β -oxidación de los ácidos grasos → En la matriz mitocondrial.

6 ¿Qué relación guardan la fotosíntesis y la respiración? ¿Y ambas con el proceso de crecimiento del organismo que realiza ambos procesos?

Solución:

Las células fotosintetizadoras fabrican en los cloroplastos su propia materia orgánica utilizando materia inorgánica y energía luminosa, pero necesitan energía para realizar

sus funciones vitales (crecimiento, movimiento, reproducción, síntesis de moléculas, etc.). La energía que necesitan la consiguen mediante la oxidación de una parte de la materia orgánica que fabrican mediante la fotosíntesis; este proceso de obtención de energía se denomina respiración celular y se realiza en las mitocondrias.

Por tanto, mediante la fotosíntesis un organismo fabrica su propio alimento, es decir, materia orgánica y mediante la respiración obtiene energía de dicha materia orgánica para llevar a cabo sus funciones vitales.

- 7** ¿Cómo se relaciona el hecho de que los cloroplastos y las mitocondrias tengan más de una membrana con la teoría endosimbiótica sobre el origen de estos orgánulos?

Solución:

La membrana externa de los orgánulos energéticos sería la membrana de la célula primitiva que fagocitó bacterias y estableció con ellas una relación de simbiosis. La membrana interna de dichos orgánulos es la de las bacterias de las cuales proceden.

- 8** Explica las características de las mitocondrias y los cloroplastos que los diferencian y, además, los sitúan en una categoría especial, en relación con los orgánulos del sistema de endomembranas (RE, Aparato de Golgi, lisosomas y vacuolas).

Solución:

Poseen una característica que los diferencia de los otros orgánulos: la gran cantidad de membrana interna que contienen. En ella se llevan a cabo los procesos necesarios para la obtención de energía en forma de ATP; y estos procesos son muy parecidos en ambos orgánulos.

Actualmente se acepta que los orgánulos energéticos evolucionaron a partir de bacterias, que fueron fagocitadas por células eucarióticas primitivas con las que establecieron una relación simbiótica, denominada endosimbiosis, hace unos 1500 millones de años.

- 9** ¿Qué es la ATP-sintasa? ¿Donde se localiza y qué orientación tiene? ¿Qué membranas y qué espacios son equivalentes en la mitocondria y en el cloroplasto?

Solución:

La ATP-sintasa es un complejo enzimático que cataliza la formación de ATP a partir de ADP y Pi, tiene dos componentes: una pequeña esfera proteica que es la parte que cataliza la síntesis de ATP y un canal de protones que atraviesa la membrana.

La ATP-sintasa se localiza en la membrana mitocondrial interna y en la membrana tilacoide del cloroplasto. Está orientada de forma que su parte esférica queda expuesta en la membrana mitocondrial interna hacia la matriz y en la membrana tilacoide hacia el estroma.

La membrana mitocondrial interna es equivalente a la membrana tilacoidal. La matriz mitocondrial es equivalente al estroma del cloroplasto.

- 10** Indica si los siguientes datos son compatibles o incompatibles con la teoría de que las mitocondrias proceden de primitivas bacterias que viven en simbiosis en el interior de las células eucarióticas:

- a. Una célula eucariótica típica contiene del orden de 2 000 mitocondrias, cuyo tamaño es semejante al de las bacterias.
- b. Las mitocondrias poseen varias copias de una molécula de DNA circular, sin histonas.
- c. Los ribosomas mitocondriales son 70S y no 80S como los citosólicos y
- d. Las mitocondrias poseen dos membranas: una externa lisa y otra interna plegada que contiene las enzimas de la cadena respiratoria.

Solución:

- a. Compatible. El tamaño de las mitocondrias es semejante al de las bacterias.
- b. Compatible. El DNA mitocondrial es circular y no está asociado a las histonas al igual que en las bacterias.
- c. Compatible. Los ribosomas mitocondriales son similares a los bacterianos.
- d. Compatible. La membrana externa de la mitocondria podría proceder de la de la célula eucariótica ancestral que la fagocitó y la membrana interna de la mitocondria sería la de la bacteria primitiva; las bacterias tienen en su membrana las enzimas de la cadena respiratoria y las mitocondrias las tienen en su membrana interna (la que sería la membrana de la bacteria primitiva).

- 11** Las siguientes micrografías electrónicas corresponden a dos orgánulos celulares muy característicos.

- a. Identifica los orgánulos de la micrografías A y B y razona en qué tipo de células (procariotas, eucariotas, animales y vegetales) se encuentran.
- b. Haz un esquema de estos orgánulos e indica las diferencias estructurales entre ellos.

- c. Explica los procesos metabólicos básicos en los que están implicados cada uno de estos orgánulos y relaciona y compara estos procesos.
- d. Se sabe que estos orgánulos poseen en el interior su propio DNA y ribosomas. ¿Qué deduces de ambos hechos? Justifica tu respuesta y diseña cómo la comprobarías.

Solución:

- a. La micrografía A es una mitocondria y la micrografía B un cloroplasto.

Las mitocondrias están presentes en todas las células eucarióticas, tanto animales como vegetales. Los cloroplastos sólo se encuentran en las células eucarióticas vegetales.

- b. Las diferencias estructurales son que el cloroplasto tiene tres membranas distintas y por tanto tres compartimentos internos separados, mientras que la mitocondria sólo tiene dos membranas y dos compartimentos.

- c. La principal función de las mitocondrias es la respiración celular, proceso que consiste en la oxidación de las moléculas combustibles por el oxígeno molecular para obtener energía en forma de ATP. En los organismos aeróbicos esta energía es fundamental para llevar a cabo todas las actividades celulares.

La mitocondria utiliza como combustibles mayoritarios los ácidos grasos y el piruvato producido en el citosol a partir de la glucosa. En la matriz de la mitocondria se realizan: el ciclo de Krebs y la β -oxidación de los ácidos grasos. En la membrana interna mitocondrial tiene lugar la síntesis de ATP por un proceso denominado fosforilación oxidativa. Mediante la fosforilación oxidativa se sintetiza la mayor parte del ATP que se produce en las células aeróbicas.

La principal función de los cloroplastos es la fotosíntesis, proceso en el que la energía de la luz se transforma en energía química que puede utilizarse para convertir el CO_2 (un compuesto inorgánico) en compuestos orgánicos, principalmente hidratos de carbono. Se trata de un proceso anabólico fundamental para todos los seres vivos. Mediante la fotosíntesis, las plantas verdes fabrican materia orgánica para ellas y para casi todos los organismos heterótrofos que dependen de ellas, a través de las cadenas alimenticias de la biosfera.

Este proceso global se puede separar en dos fases: luminosa y oscura.

Las reacciones luminosas de la fotosíntesis se localizan en la membrana tilacoidal y comprenden procesos similares al transporte electrónico y la fosforilación oxidativa mitocondrial.

Las reacciones oscuras de fijación y reducción del CO_2 tienen lugar en el estroma del cloroplasto y se llevan a cabo mediante una secuencia de reacciones conocida como ciclo de Calvin.

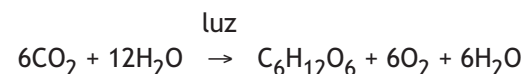
Comparación entre respiración y fotosíntesis:

- La respiración es un proceso catabólico y la fotosíntesis anabólico.
- En la respiración se parte de biomoléculas orgánicas, como la glucosa, y se obtienen moléculas inorgánicas y energía. En la fotosíntesis se utiliza la energía de la luz para transformar la materia inorgánica en orgánica, como glucosa.
- En la respiración se utiliza el O_2 y en la fotosíntesis se obtiene O_2 .
- En la respiración se obtiene CO_2 y en la fotosíntesis se parte de CO_2 .

La reacción global de la respiración es:



La reacción global de la fotosíntesis es:



- d. Que estos orgánulos fueron en un principio células procarióticas independientes. Actualmente se acepta la teoría endosimbiótica que supone que las mitocondrias y los cloroplastos evolucionaron a partir de bacterias que fueron fagocitadas por una célula eucariótica ancestral.

- 12** ¿Por qué el DNA mitocondrial se hereda sólo a través de la madre? Razónalo.

Solución:

Porque en los animales superiores, incluido el hombre, cuando tiene lugar la fecundación el óvulo aporta todo su citoplasma al cigoto, mientras que el espermatozoide no aporta casi citoplasma a dicho cigoto. Por tanto, las mitocondrias del cigoto proceden del óvulo y no del espermatozoide, con lo que únicamente la madre contribuye a la herencia del DNA mitocondrial.

C. ACTIVIDADES DE LOS DOCUMENTOS

LOS PLÁSTIDOS

- 1 Señala las semejanzas y diferencias entre los distintos tipos de plástidos.

Solución:

Semejanzas entre los distintos tipos de plastidios

- Son un grupo de orgánulos presentes en todas las células vegetales.
- Contienen varias copias del mismo genoma.
- Están rodeados por dos membranas concéntricas.

Diferencias entre los distintos tipos de plastidios

- Los proplastos son pequeños plastos indiferenciados que carecen de tilacoides y clorofila.
- Los cloroplastos, plastos de color verde, se forman a partir de los proplastos durante el proceso de maduración celular.
- Los cromoplastos son plastos pigmentados. Carecen de clorofila pero contienen pigmentos carotenoides, que son responsables del color amarillo, anaranjado o rojo de muchas flores, hojas viejas, algunos frutos y algunas raíces.
- Los leucoplastos son plastos sin pigmentos. Algunos sintetizan almidón (amiloplastos), y otros diversas sustancias tales como, aceites y proteínas. Si se exponen a la luz se pueden transformar en cloroplastos.

- 2 Indica el tipo de plástidos que poseen las siguientes células de una planta: células de la epidermis de una hoja, células de los estomas, células del parénquima de una hoja, células del parénquima de un tallo, células de la raíz, células meristemáticas y células de los vasos conductores.

Solución:

Células de la epidermis de una hoja → Leucoplastos.

Células de un estoma → Cloroplastos.

Células del parénquima de una hoja → Cloroplastos y cromoplastos.

Células del parénquima de un tallo → Cloroplastos (si son tallos tiernos) y leucoplastos (si son tallos de más de un año).

Células de la raíz → Leucoplastos y cromoplastos en algunos casos.

Células meristemáticas → Proplastos.

Células de los vasos conductores Leucoplastos.

- 3 Señala cuáles de los siguientes grandes grupos de organismos poseen cloroplastos: algas, angiospermas, cianobacterias (algas verdeazuladas), helechos y hongos.

Solución:

Poseen cloroplastos los siguientes grupos de organismos: algas, angiospermas, y helechos.

No poseen cloroplastos: cianobacterias y hongos.

NÚCLEO. MITOSIS Y MEIOSIS



1. INTRODUCCIÓN

Una célula contiene una serie de instrucciones destinadas a asegurar su funcionamiento y su reproducción. Estas instrucciones están contenidas en los genes, constituidos por DNA. En los organismos eucarióticos el DNA junto con proteínas denominadas histonas, forma los cromosomas, que se encuentran protegidos y separados del citoplasma por la membrana nuclear.

Este tema, **Núcleo. Mitosis y meiosis**, plantea en primer lugar el estudio de la morfología, composición y estructura del núcleo celular. Seguidamente se explica la reproducción o división celular, encuadrándola dentro del ciclo vital de la célula; se estudia con detalle la mitosis como el proceso de división de las células eucarióticas. A continuación, se explica la meiosis como un proceso necesario en todos los ciclos vitales de los organismos con reproducción sexual y diferenciándolo de la mitosis, estudiada antes.

2. TEMPORALIZACIÓN

El presente tema puede desarrollarse en 8 sesiones.

3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Estudiar las características estructurales y funcionales de los componentes del núcleo celular.
2. Identificar y caracterizar las diferentes fases del ciclo vital de una célula.
3. Definir qué es la mitosis e identificar y caracterizar cada una de sus fases.
4. Explicar las diferencias entre el proceso de división celular en células animales y vegetales.
5. Explicar qué función cumple la mitosis tanto en organismos unicelulares como en pluricelulares
6. Definir qué es la meiosis e identificar y caracterizar cada una de sus fases
7. Explicar los ciclos biológicos haplontes, diplontes y diplohaplontes, y situar sobre ellos el momento de la meiosis.
8. Analizar y explicar el papel de la autofagia y la apoptosis.
9. Analizar e interpretar una investigación clásica sobre el núcleo celular.

4. CONTENIDOS CONCEPTUALES

1. El núcleo
 - Morfología y composición
 - Estructura
2. La cromatina y los cromosomas
 - Cariotipo
3. El ciclo celular
 - El ciclo celular
 - Interfase
 - División celular
4. La mitosis
5. Citocinesis
 - Células animales
 - Células vegetales
 - Significado de la mitosis
 - Anomalías en la división celular
6. La meiosis
 - Primera división de la meiosis
 - Segunda división de la meiosis
 - Significado de la meiosis
7. Los ciclos vitales

5. SOLUCIONES Y COMENTARIOS

A. ACTIVIDADES VINCULADAS AL TEXTO

1 El núcleo

Actividades pág. 175

- a *¿Qué significa que un núcleo es activo? ¿Qué tipos de RNA se encuentran en el núcleo? Razona tu respuesta.*
- b *¿Por qué en las células eucarióticas el DNA se organiza y se estructura como cromatina y ésta a su vez se dispone en el interior de un orgánulo bien definido, el núcleo?*
- c *¿Qué moléculas o partículas entran o salen del núcleo a través de los poros nucleares? Razónalo.*
- d *¿A qué otro componente de la célula se parece la matriz nuclear? ¿En qué se diferencian?*

Soluciones:

- a El núcleo es el centro de control de la célula eucariótica, ya que contiene la mayoría del DNA celular y, por lo tanto, la información genética para casi todas las funciones celulares; en él tienen lugar procesos tan importantes como la replicación del DNA y la transcripción del RNA. Se dice que un núcleo es activo cuando en él se están transcribiendo genes; en determinados momentos del ciclo celular se realiza al mismo tiempo también la replicación del DNA.
En el núcleo se pueden encontrar todos los tipos de RNA puesto que se forman en él. Hay siempre RNA asociado al DNA que se está transcribiendo y RNA en tránsito hacia el citoplasma (los RNA precursores del RNA mensajero, del RNA ribosómico y del RNA transferente).
- b Porque la longitud del DNA nuclear de una célula eucariótica es muy grande. Una célula humana tiene alrededor de 2 metros de DNA. Sin embargo, el núcleo tiene sólo 5 nm de diámetro. La forma de solucionar o superar este problema a lo largo del proceso de evolución de la célula ha sido empaquetar el DNA alrededor de proteínas constituyendo la cromatina. La cromatina se dispone en el interior del núcleo porque de esta manera se separa del resto de orgánulos del citoplasma y la información genética que contiene está más protegida.
- c Entran al núcleo a través de los poros: los ribonucleósidos trifosfato necesarios para la síntesis de RNA, los de-

soxirribonucleósidos trifosfato necesarios para la síntesis de DNA, ATP, diferentes proteínas entre ellas: proteínas ribosomales, enzimas (DNA polimerasa, RNA polimerasa,...), las histonas y otras proteínas asociadas al DNA, y las de la matriz nuclear.

Salen del núcleo a través de los poros: moléculas de RNA mensajero y de RNA transferente, y partículas de riboproteínas (precursoras de los ribosomas).

- d La matriz nuclear se parece al citoesqueleto de la célula. Se diferencian en que el citoesqueleto interviene en los movimientos celulares y la matriz nuclear no tiene una función equivalente en el núcleo.

2 La cromatina y los cromosomas

Actividades pág. 177

- a *¿Si el núcleo celular se incubaba con nucleasas, enzimas que digieren el DNA, se observa que las secuencias que antes se digieren son las que corresponden a los genes expresados por la célula. Explica por qué.*
- b *¿Las células embrionarias parece que presentan muy poca cantidad de heterocromatina facultativa. Da una explicación a este hecho.*
- c *¿Qué proporción de heterocromatina facultativa presentarán las células muy especializadas? Relaciona tu explicación con la cuestión anterior.*
- d *Durante las primeras fases de la mitosis (profase y prometafase) los cromosomas están menos condensados que en la metafase. Si teñimos los cromosomas humanos de células en mitosis durante la profase y durante la metafase, ¿en cuáles de ellos se observarán más bandas? Razónalo.*

Soluciones:

- a Porque las nucleasas digieren primero la cromatina poco condensada (eucromatina) que es la que corresponde a los genes que se están expresando; la cromatina de las regiones que no se expresan (heterocromatina) está más condensada y por ello se digiere más tarde.
- b En un organismo, hay regiones de la cromatina que están muy condensadas durante la interfase en algunos tipos

de células, pero no en otros; estas regiones que contienen genes, aunque no se transcriben, corresponden a la heterocromatina facultativa. La cantidad total de esta heterocromatina facultativa es pues muy diferente en los distintos tipos celulares. Así, las células embrionarias, que son células muy poco especializadas, tienen muy poca cantidad de esta heterocromatina, mientras que algunas células muy especializadas presentan mayor cantidad. La razón es porque conforme la célula se va desarrollando y especializando, algunos genes se empaquetan en forma condensada con lo que ya no pueden ser transcritos.

- c Las células muy especializadas tienen una gran proporción de heterocromatina facultativa porque esta región de la cromatina corresponde a genes que no se expresan en ellas. Por el contrario, las células poco especializadas, como las embrionarias, no tienen casi heterocromatina facultativa. Parece ser que a medida que una célula se va especializando se van empaquetando las regiones de la cromatina que contienen los genes que no es necesario que se expresen en ellas.
- d Se observan más bandas en los cromosomas de las células que están en profase que en los que están en metafase. La razón es porque el grado de condensación de la cromatina es menor en los cromosomas profásicos que en los metafásicos. Conforme los cromosomas profásicos se van condensando hasta llegar a la máxima condensación en metafase, algunas bandas se juntan con otras con lo que se reduce el número total de las mismas.

3 El ciclo celular

Actividades pág. 179

- a *¿En qué se diferencian los cromosomas anteriores a la fase S del ciclo celular de los posteriores a dicha fase? ¿Cuál es la estructura de un cromosoma individual?*
- b *¿Qué hechos ocurren al final de la interfase, en G₂, relacionados con la división celular? ¿En qué se diferencian estos hechos en las células animales y vegetales?*
- c *¿Qué estructuras del núcleo interfásico pueden verse con el microscopio electrónico?*
- d *Suponiendo que al inicio de la fase M del ciclo celular se bloquea la división de la célula madre en dos células hijas, ¿qué tipo de mutación se produciría?*
- e *Explica por qué los cromosomas pueden verse al microscopio óptico cuando la célula está dividiéndose pero no en el período entre dos divisiones.*

Soluciones:

- a Los cromosomas anteriores a la fase S del ciclo celular están formados por una sola cromátida (una molécula de DNA), mientras que los posteriores a dicha fase están formados por dos cromátidas (dos moléculas de DNA). Ello se debe a que durante la fase S se produce la duplicación del DNA.

En un cromosoma se puede distinguir un estrechamiento llamado centrómero, el cual divide al cromosoma en dos partes, que pueden ser iguales o desiguales, denominadas brazos. En cada centrómero hay una estructura, llamada cinetocoro, a la que se pueden unir los microtúbulos y que desempeña un papel importante en el movimiento de los cromosomas durante la mitosis. Los extremos del cromosoma se denominan telómeros y están formados por secuencias de DNA muy repetitivas que son necesarias para su replicación.

Dado que antes de dividirse una célula duplica su DNA, cuando se observan los cromosomas, cada uno está formado por una pareja de cromátidas hermanas idénticas unidas por sus centrómeros.

- b Al final de la fase G₂ del ciclo celular, los cromosomas comienzan el largo proceso de condensación y se ensamblan los microtúbulos del huso mitótico; una vez formados los microtúbulos, éstos comienzan a organizarse para formar el huso mitótico. La diferencia entre las células animales y las vegetales es que en las primeras intervienen los centriolos en la formación del huso mitótico, mientras que en las segundas no.
- c Con el microscopio electrónico, en el núcleo interfásico se pueden ver: la doble membrana que constituye la envoltura nuclear, los poros de la membrana, el nucléolo y la cromatina.
- d Se produciría una poliploidía por duplicación del número de cromosomas. Si la célula era diploide pasaría a ser tetraploide, esto es, en vez de tener dos series de cromosomas tendría cuatro.
- e Porque al comienzo de la división celular la cromatina que se encuentra dispersa en la interfase, se condensa progresivamente formando los cromosomas. Dicha condensación es necesaria para la posterior separación de los cromosomas en las células hijas.

4 La mitosis

Actividades pág. 181

- a ¿Qué ocurre con la síntesis de ribosomas al comienzo de la profase? Razona tu respuesta.
- b ¿Qué función desempeñan los cinetocoros de un cromosoma? ¿Y los microtúbulos cinetocóricos?
- c ¿Qué procesos se producen en los microtúbulos del huso mitótico durante la anafase? ¿Cómo afectan estos movimientos a las cromátidas hermanas?

Soluciones:

- a Que se detiene. Los ribosomas (pequeños orgánulos formados por RNA y proteínas) se forman en el nucléolo, que es la parte del núcleo donde se concentran los genes ribosomales; durante la profase, conforme la cromatina se condensa para formar los cromosomas, el nucléolo comienza a descondensarse y desaparece progresivamente. Además, la síntesis de ribosomas continúa detenida durante toda la división celular.
- b Los cinetocoros desempeñan un papel importante en el movimiento de los cromosomas durante la mitosis. Al comienzo de la prometafase, se rompe la envoltura nuclear y los microtúbulos del huso mitótico interactúan con los cromosomas a través del cinetocoro. La unión de los microtúbulos al cinetocoro es decisiva para el alineamiento de los cromosomas en la metafase y para su desplazamiento en la anafase.
Los microtúbulos cinetocóricos orientan a los cromosomas haciendo primero que se vayan concentrando en el plano ecuatorial de la célula y luego que se desplacen hacia los polos.
- c Que los microtúbulos cinetocóricos se desensamblan y se acortan; como consecuencia de ello se produce el desplazamiento de las cromátidas hermanas hacia polos opuestos del huso mitótico. Además, al mismo tiempo los microtúbulos polares se alargan por el ensamblaje de moléculas de tubulina en sus extremos, con lo que los dos polos del huso mitótico se separan entre sí.
El resultado es que al final de la anafase las cromátidas hermanas se han separado en dos grupos iguales, cada uno de los cuales se halla situado en un polo del huso.

5 Citocinesis

Actividades pág. 183

- a En los núcleos de una neurona y de una célula epitelial de un mismo individuo, ¿existen los mismos genes? Razona la respuesta.
- b ¿Cuál es el hecho principal de cada una de las fases de la mitosis?
- c Señala las diferencias entre la división celular en células animales y en vegetales.
- d ¿La división celular supone siempre un proceso de reproducción de los organismos? Razónalo.
- e ¿Cuáles son las ventajas y los inconvenientes que presenta la reproducción asexual?

Soluciones:

- a Sí, ya que ambas células se han formado tras la división por mitosis sucesivas del huevo o cigoto. La mitosis es el proceso de división celular mediante el cual se garantiza que las células hijas tengan los mismos cromosomas que la célula madre y, por tanto, la misma información genética.
- b Profase - Los cromosomas se hacen visibles y se observa que cada uno de ellos está formado por dos cromátidas hermanas idénticas. El nucléolo empieza a descondensarse y desaparece progresivamente. Se forma el huso mitótico.
Prometafase - Se rompe la envoltura nuclear, con lo que los microtúbulos del huso mitótico se unen a los cromosomas a nivel del cinetocoro.
Metafase - Los cromosomas se disponen en el plano ecuatorial del huso.
Anafase - Se acortan los filamentos del huso y se separan las cromátidas de cada cromosoma, que se dirigen a polos opuestos de la célula.
Telofase - Se reconstruyen los núcleos de las células hijas y se divide el citoplasma.
- c La división en células animales y vegetales se diferencia en dos hechos: la formación del huso mitótico y la división del citoplasma.
 - Formación del huso mitótico.En las células animales, la formación del huso está relacionada con el centrosoma que consta de dos pares de

centríolos, que se duplicaron durante la interfase. En la profase el centrosoma se divide y cada centrosoma hijo se dirige hacia un polo de la célula, organizándose entre ellos un haz de microtúbulos que constituyen el huso mitótico.

En las células de los vegetales superiores, que carecen de centríolos, también se forma un huso mitótico, pero en este caso los microtúbulos se forman a partir de una zona difusa, desprovista de orgánulos y situada alrededor del núcleo.

- La división del citoplasma o citocinesis.

En las células animales, el citoplasma se divide por un proceso denominado segmentación, que comienza con la formación de un surco en la membrana plasmática, que se produce siempre en el plano ecuatorial de la célula. A continuación, el surco de segmentación se va estrechando lo que finalmente conduce a la separación de las células hijas.

En las células vegetales, la pared celular impide la formación del surco de segmentación y el citoplasma se divide mediante la formación de una nueva pared celular dentro de la célula. La nueva pared o placa celular se forma en el plano ecuatorial, a partir de las vesículas del complejo de Golgi.

- d No. La reproducción o división celular sólo es un proceso de reproducción de los organismos cuando éstos son unicelulares, pero no si son pluricelulares. En estos últimos, la división de una o varias células supone el crecimiento del individuo o la renovación de alguna parte de su cuerpo que se hubiera perdido o degenerado.
- e La reproducción asexual en animales y vegetales tiene sus pros y sus contras. Entre las ventajas biológicas que conlleva están su rapidez de división y su simplicidad, pues ni tienen que producir células sexuales ni tienen que gastar energía en la búsqueda de su pareja. De esta forma un individuo aislado y bien adaptado a un medio puede dar lugar a un gran número de descendientes que también están bien adaptados. En cambio, presenta las desventajas de una menor protección a la descendencia y de carecer de variabilidad génica, al permanecer genotípicamente invariables, lo cual conduce a la formación de individuos clonados (es decir, idénticos al que los originó).

6 La meiosis

Actividades pág. 185

- a *¿Cuándo se dice que una célula es diploide? ¿Y haploide? ¿Qué células del cuerpo humano son diploides? ¿Y haploides?*
- b *Durante el entrecruzamiento cromosómico el material genético se intercambia:*
 - *entre cromosomas homólogos o cromosomas no homólogos.*
 - *entre cromátidas hermanas o cromátidas de un cromosoma diferente.*
- c *¿Se producirá entrecruzamiento cromosómico e intercambio de material genético durante la profase II? Razónalo.*
- d *¿Se produce la sinapsis en todos los cromosomas? ¿Y el entrecruzamiento cromosómico? ¿Qué consecuencias tiene para la célula que se produzcan estos fenómenos? ¿Qué pasa si no se producen?*

Soluciones:

- a Se dice que una célula es haploide cuando sólo tiene una sola copia de cada cromosoma. Son células haploides en el cuerpo humano los gametos.
Se dice que una célula es diploide cuando tiene dos copias de cada cromosoma. Son células diploides en el cuerpo humano todas excepto los gametos.
- b El material genético se intercambia entre cromosomas homólogos, por tanto, entre cromátidas no hermanas de una pareja de homólogos (bivalente o tétrada).
- c No, ya que el material genético se intercambia entre cromosomas homólogos y éstos se separan durante la primera división de la meiosis, yendo cada uno de ellos a una de las células hijas.
- d Sí, se produce la sinapsis o apareamiento en todos los cromosomas.
También se produce el entrecruzamiento en todos los bivalentes o tétradas (pareja de cromosomas homólogos apareados); en los cromosomas humanos se suelen producir 2 ó 3 entrecruzamientos por cada bivalente o tétrada. En cada bivalente, las cromátidas contiguas de los dos cromosomas homólogos se rompen e intercambian fragmentos, de forma que en los bivalentes hay dos cromátidas mixtas (poseen fragmentos de los dos cromosomas homólogos) y otras dos que no lo son. Por tanto, si

consideramos las cromátidas como cromosomas sólo se ha producido el entrecruzamiento en la mitad de ellas. Como consecuencia del entrecruzamiento cromosómico, que tiene lugar durante la profase de la primera división de la meiosis, se produce la recombinación o intercambio de segmentos entre los cromosomas homólogos paternos y maternos. Dado que en los animales los gametos se forman por meiosis, el número de gametos diferentes que puede formar un individuo es enorme. Si no se produjera el entrecruzamiento, el número de gametos diferentes que produciría un individuo sería mucho menor. La variabilidad de dichos gametos dependería únicamente del reparto al azar de los cromosomas homólogos paternos y maternos, que se produce durante la primera división de la meiosis.

Actividades pág. 187

- a *Las cuatro células hijas que se obtienen tras la meiosis son haploides, ¿pero son genéticamente idénticas? Razónala tu respuesta.*
- b *¿En qué momento de la meiosis tiene lugar la reducción cromosómica? Razónalo.*
- c *Una célula con 12 cromosomas comienza una meiosis. ¿Cuántas cromátidas tiene cada cromosoma de la célula al comienzo del proceso? ¿Cuántas células hay al final de la 1ª división? ¿Cuántos cromosomas tiene cada célula? ¿Cuántas cromátidas tiene cada cromosoma? ¿Cuántas células hay al final de la segunda división? ¿Cuántos cromosomas tiene cada célula? ¿Cuántas cromátidas tiene cada cromosoma? ¿Cuántas cromátidas hay al principio? ¿Y al final? ¿Son iguales las cromátidas iniciales y las finales?*

Soluciones:

- a No, ya que debido al entrecruzamiento cromosómico, que tiene lugar durante la profase de la primera división de la meiosis, se produce la recombinación o intercambio de segmentos entre los cromosomas homólogos paternos y maternos y además durante la primera división de la meiosis se produce el reparto al azar de los cromosomas homólogos paternos y maternos. Por estos dos motivos las células obtenidas tras la meiosis son genéticamente diferentes.
- b En la primera división de la meiosis, ya que las células hijas tienen n cromosomas como resultado de la separación de los cromosomas homólogos durante la anafase.

- c — Cada cromosoma tiene dos cromátidas al comienzo de la meiosis.
- Hay dos células. Cada célula tiene seis cromosomas. Cada cromosoma está formado por dos cromátidas.
- Hay cuatro células. Cada célula tiene seis cromosomas. Cada cromosoma está formado por una cromátida.
- Al principio del proceso hay veinticuatro cromátidas. Al final hay también veinticuatro cromátidas. No son iguales las cromátidas iniciales y las finales debido a que durante la profase de la primera división de la meiosis los cromosomas homólogos se aparean e intercambian fragmentos de material hereditario.

7 Los ciclos vitales

Actividades pág. 188

- a *¿Es válida la definición de meiosis como proceso reduccional del número de cromosomas? ¿En qué organismos?*
- b *¿Es válida la definición de meiosis como proceso formador de gametos? ¿En qué organismos?*
- c *¿En qué momento del ciclo vital de un organismo puede producirse la meiosis?*
- d *¿Qué fases se distinguen en el ciclo vital de los organismos con reproducción sexual? Razónalo. ¿En qué organismos se diferencian más claramente estas fases?*
- e *¿Qué funciones desempeñan la mitosis y la meiosis en cada uno de los ciclos vitales de los organismos con reproducción sexual?*

Soluciones:

- a Sí, es válida en todos los organismos que presentan reproducción sexual en algún momento de su ciclo vital.
- b No es válida en todos los casos. Sólo es válida esa definición en los organismos diplontes.
- c En los organismos haplontes la meiosis tiene lugar en la primera división del cigoto (meiosis cigótica). En los organismos diplontes la meiosis tiene lugar durante la formación de los gametos (meiosis gametogénica). En los organismos diplohaplontes la meiosis tiene lugar al formarse las esporas (meiosis esporogénica).
- d Se distinguen dos fases: una haplonte como resultado de la meiosis y otra diplonte como resultado de la fecundación.

Se diferencian más claramente las fases haplonte y diplonte en los organismos diplohaplontes.

- e En los organismos pluricelulares es importante que, durante su crecimiento y desarrollo, las nuevas células que se forman tengan la misma información genética (los mismos cromosomas) que el resto de células del organismo. La función de la mitosis es la de garantizar que las células hijas tengan los mismos cromosomas que la célula madre.

En los organismos con reproducción sexual se impone la necesidad de otra modalidad de división celular, la meiosis, para que los gametos sean haploides. Según el momento en que se realice la meiosis, se distinguen los siguientes tipos de ciclos biológicos: haplontes, diplontes y diplohaplontes.

B. ACTIVIDADES DE AUTOEVALUACIÓN

- 1 Representa el ciclo biológico de un organismo diplohaplonte, situando en el lugar correspondiente: mitosis, meiosis, esporas, gametos, fecundación, cigoto, esporofito, gametofito.

Solución:

El ciclo biológico diplohaplonte es el que corresponde a la figura 7.1 c, página 188, del libro del alumno.

- 2 Describe mediante un esquema la estructura de la cromatina. Haz otro esquema de un cromosoma metafásico señalando sus constituyentes. ¿Cuáles son las principales diferencias entre la cromatina interfásica y el cromosoma metafásico?

Solución:

Los esquemas de la cromatina y del cromosoma metafásico son los de las figuras 6 y 7 de la página 197 del libro del alumno.

La principal diferencia entre la cromatina y el cromosoma metafásico es el grado de condensación del material genético, del DNA. Durante la interfase el material genético está poco condensado en forma de cromatina y cuando la célula va a dividirse, la cromatina se condensa para formar el cromosoma.

- 3 Ordena los términos de la columna izquierda en su secuencia correcta y relaciónalos con los de la derecha:

Citocinesis	Se condensan los cromosomas.
Metafase	Se forma una nueva envoltura nuclear.
Profase	División del citoplasma.
Telofase	Los cromosomas en el plano ecuatorial.
Anafase	Duplicación de cromosomas
Interfase	Se separan las cromátidas

Solución:

Interfase	→ Duplicación de los cromosomas
Profase	→ Se condensan los cromosomas y se forma el huso mitótico
Metafase	→ Los cromosomas se alinean en el plano ecuatorial del huso mitótico
Anafase	→ Los cromosomas se disponen en los polos opuestos del huso
Telofase	→ Se forma una nueva envoltura nuclear y desaparece el huso mitótico
citocinesis	→ División del citoplasma

- 4 Señala las diferencias entre cromosomas homólogos y cromátidas hermanas. ¿Es igual el material genético de los cromosomas homólogos? ¿Y el de las cromátidas hermanas? Razónalo.

Solución:

Diferencias entre cromosomas homólogos y cromátidas hermanas:

- Los cromosomas homólogos son las dos copias de cada cromosoma que hay en las células diploides, mientras que las cromátidas hermanas son cada una de las dos mitades idénticas del cromosoma duplicado.
- Solamente hay cromosomas homólogos en las células diploides.

No es igual el material genético de los cromosomas homólogos, ya que uno de ellos procede del padre y el otro de la madre. Si es igual el material genético de las cromátidas hermanas, ya que una cromátida se forma por duplicación o copia idéntica (replicación del DNA) de la otra.

- 5 ¿Cuándo se dice que una célula es diploide? ¿Y haploide? ¿Qué células del cuerpo humano son diploides? ¿Y haploides?

Solución:

Se dice que una célula es haploide cuando sólo tiene una sola copia de cada cromosoma. Son células haploides en el cuerpo humano los gametos.

Se dice que una célula es diploide cuando tiene dos copias de cada cromosoma. Son células diploides todas las del cuerpo humano excepto los gametos.

6 ¿En qué seres vivos es necesaria la meiosis?

Solución:

La meiosis es necesaria en los organismos con reproducción sexual.

En la reproducción sexual, el gameto masculino se une con el gameto femenino para formar una nueva célula, el cigoto o huevo, cuyo material genético es suma de las dos células sexuales o gametos. Si las células sexuales no tuvieran la mitad de cromosomas que las células normales del organismo, el número de cromosomas se iría duplicando en una especie dada de generación en generación.

7 Enumera las semejanzas y diferencias entre el proceso de división celular por mitosis y por meiosis.

Solución:

Semejanzas entre mitosis y meiosis

- Son dos procesos de división celular.

Diferencias entre mitosis y meiosis

- La mitosis garantiza que las células hijas tengan los mismos cromosomas que tenía la célula madre. Mediante la meiosis se obtienen células hijas con la mitad de cromosomas que tenía la célula madre.
- La mitosis consta de una sola división mediante la cual se obtienen dos células hijas y la meiosis consta de dos divisiones consecutivas mediante las cuales se obtienen cuatro células hijas.
- La profase de la primera división de la meiosis es más larga y compleja que la de la mitosis. En ella, los cromosomas homólogos se aparean e intercambian fragmentos de material hereditario. Este proceso no ocurre en la mitosis.
- En la metafase de la mitosis los cromosomas, cada uno de ellos formados por dos cromátidas, se disponen en el plano ecuatorial. En la metafase de la primera división de la meiosis los cromosomas homólogos apareados (tétradas de cromátidas) se alinean en el plano ecuatorial del huso, constituyendo la placa metafásica.
- En la anafase de la mitosis se separan las cromátidas de cada cromosoma que se desplazan a polos opuestos de la célula. En la anafase de la primera división de la meiosis se separan los cromosomas homólogos, desplazándose hacia los polos opuestos de la célula.

8 ¿Cuál es la diferencia esencial entre la profase de la mitosis y la profase I de la meiosis?

Solución:

Que en la profase I de la meiosis, los cromosomas homólogos se aparean e intercambian fragmentos de material hereditario.

9 Copia en tu cuaderno la siguiente tabla y complétala para comparar los hechos que tienen lugar durante la mitosis y la meiosis.

Hechos	Mitosis	Meiosis I	Meiosis II
Cromosomas formados por dos cromátidas hermanas			
Los cromosomas homólogos se aparean			
Se forman quiasmas			
Los cromosomas homólogos se separan			
Las cromátidas hermanas se separan			

Solución:

Hechos	Mitosis	Meiosis I	Meiosis II
Cromosomas formados por dos cromátidas hermanas	Si	Si	Si
Los cromosomas homólogos se aparean	No	Si	No
Se forman quiasmas	No	Si	No
Los cromosomas homólogos se separan	No	Si	No
Las cromátidas hermanas se separan	Si	No	Si

10 Observa la micrografía adjunta e identifica las estructuras que aparecen en la misma. ¿Qué fase de la meiosis representa?

Solución:

La micrografía electrónica corresponde a la profase I de la meiosis, concretamente a la subfase diploteno.

Se observan los cromosomas homólogos apareados y cada uno de ellos formados por dos cromátidas. Cada par cromosómico se denomina bivalente o tétrada (está formado por cuatro cromátidas). Ya se ha producido el entrecruzamiento cromosómico entre los cromosomas homólogos y comienza la desinapsis o separación de los dos cromosomas homólogos de cada bivalente; los cromosomas homólogos están unidos mediante uno o más puntos, denominados quiasmas, que corresponden a los puntos en los que se han producido los entrecruzamientos.

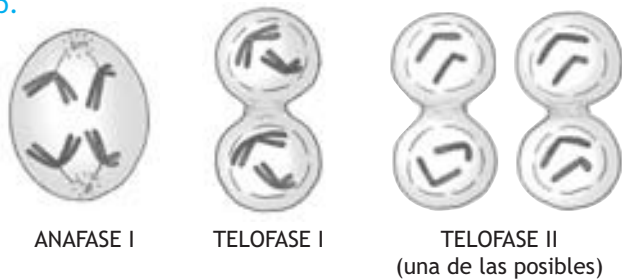
11 La figura adjunta representa el esquema de una célula que va a dividirse por meiosis.

- ¿Cuál es el número diploide de cromosomas de la célula representada? ¿Cuántos pares de cromosomas homólogos y cuántas cromátidas contiene?
- Representa mediante esquemas: el resultado de la formación de un quiasma entre cada pareja de homólogos, la anafase I, la telofase I y la telofase II. Sólo hay que realizar uno de los posibles resultados hasta obtener las 4 células finales.
- ¿Que hechos de la meiosis dan como resultado gametos con diferentes cromosomas?

Solución:

- El número diploide de cromosomas es $2n = 4$. La célula tiene dos pares de cromosomas homólogos y ocho cromátidas.

b.



- Los hechos de la meiosis que dan lugar a la formación de gametos con diferentes cromosomas son dos:

- El reparto al azar de los cromosomas homólogos paternos y maternos que se produce durante la primera división de la meiosis.
- El entrecruzamiento cromosómico, que tiene lugar durante la profase de la primera división de la meiosis; debido a ello se produce la recombinación o intercambio de segmentos entre los cromosomas homólogos paternos y maternos.

12 La siguiente gráfica representa la variación del contenido de DNA durante el ciclo vital de una célula:

- ¿Qué ocurre en el intervalo de tiempo de 2 a 3?
- ¿Cómo se denomina la fase que transcurre entre 3 y 4?
- ¿La gráfica corresponde a un ciclo mitótico o a uno meiótico?
- Si la cantidad de DNA no se ha modificado al final del ciclo, ¿qué utilidad tiene este proceso?

Solución:

- Que se duplica el material genético, el DNA.
- Subfase G_2 de la interfase, es una fase de preparación para la mitosis.
- La gráfica corresponde a un ciclo mitótico, ya que tras la división celular las células hijas tienen la misma cantidad de DNA.
- La utilidad del proceso de división por mitosis es que garantiza que las células hijas tengan la misma información genética que la célula madre.

INTRODUCCIÓN AL METABOLISMO. ATP Y ENZIMAS



12

1. INTRODUCCIÓN

Todos los seres vivos necesitan un suministro continuo de materia y energía para poder crecer, mantenerse y reproducirse. La materia que captan del exterior ha de sufrir un conjunto de transformaciones o cambios químicos para poder ser útil a las células en forma de nutrientes. Llamamos metabolismo al conjunto de reacciones químicas que se realizan en el interior de las células.

Este tema, Introducción al Metabolismo. ATP y Enzimas, pretende ser una presentación de las características generales del metabolismo celular que permitan la asimilación de conceptos que se van a utilizar en el posterior estudio descriptivo de las rutas metabólicas: metabolismo, anabolismo, catabolismo, autotrofo, heterótrofo, tipos de reacciones metabólicas, papel de las enzimas como catalizadores de las reacciones metabólicas, función del ATP como intermediario de energía, papel de las coenzimas de oxidación-reducción...

2. TEMPORALIZACIÓN

En total 6 sesiones, incluyendo una de evaluación.

3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Definir y analizar el concepto de metabolismo. Distinguir entre anabolismo y catabolismo.
2. Estudiar las características de las reacciones metabólicas.
3. Diferenciar y caracterizar los organismos autótrofos y los heterótrofos.
4. Definir qué entendemos por enzima y analizar la variación de energía libre en una reacción enzimática.
5. Estudiar las propiedades de las enzimas y clasificarlas y nombrarlas según las normas internacionales.
6. Analizar las gráficas de actividad enzimática y tipificar los factores que la afectan.
7. Estudiar el fenómeno de la inhibición enzimática y el de regulación enzimática.
8. Estudiar la estructura química del ATP y su función biológica.
9. Estudiar qué son y cómo funcionan las coenzimas de oxidación reducción. Relacionar estas coenzimas con las vitaminas.

4. CONTENIDOS CONCEPTUALES

1. Concepto de metabolismo
2. Características de las reacciones metabólicas
3. Organismos autótrofos y heterótrofos
4. Las enzimas
 - Nomenclatura y clasificación
 - Propiedades
 - Cinética enzimática
 - Factores que afectan la actividad enzimática
 - Inhibición de la actividad enzimática
 - Enzimas reguladoras
5. El ATP
6. Coenzimas de oxidación-reducción
 - Vitaminas

5. SOLUCIONES Y COMENTARIOS

A. ACTIVIDADES VINCULADAS AL TEXTO

2 Características de las reacciones metabólicas

■ Actividades pág. 196 ■

- a ¿A qué se llama energía libre en una reacción?
- b Explica las diferencias entre las reacciones exergónicas y las endergónicas.
- c ¿Qué significa ΔG en una reacción? Si los reactivos tienen más energía libre que los productos finales, ¿cómo es el ΔG ?
- d ¿Cómo es la variación de energía libre en una reacción exergónica? ¿Y en una endergónica?

Soluciones:

- a La energía libre, se representa con el símbolo G, y es la energía que está contenida en las sustancias que participan en una reacción.
- b En una reacción exergónica hay una disminución de energía libre, mientras que en una reacción endergónica dicha variación es positiva.
- c En una reacción ΔG representa la variación de energía libre. Si los reactivos tienen más energía libre que los productos finales el ΔG es positivo.
- d En las transformaciones químicas espontáneas, los productos finales contienen menos energía libre que los reactivos iniciales, es decir, la variación de energía libre que representamos como ΔG , es negativa $G < 0$; estas reacciones son las que denominamos exergónicas (desprenden energía libre). En cambio, en una reacción endergónica (requiere un aporte de energía) la variación de energía libre es positiva.

4 Las enzimas

■ Actividades pág. 203 ■

- a Observa las figuras 4.7 y 4.8 que muestran la influencia de la temperatura y el pH del medio sobre la actividad enzimática. ¿Qué diferencias de comportamiento encuentras en los dos casos?

- b La glicolisis es una ruta del catabolismo en la que la glucosa se degrada para que pueda obtenerse ATP. La presencia de elevadas concentraciones de ATP inhibe una de las primeras enzimas que intervienen en la ruta (la fosfofructoquinasa). ¿Qué utilidad representa para el organismo este tipo de regulación de la actividad enzimática?
- c ¿Qué utilidad biológica tiene la activación de una enzima alostérica por el sustrato?
- d Los inhibidores competitivos no afectan a la V_m y sí a la K_m . Los no competitivos actúan al revés. ¿Por qué?

Soluciones:

- a La actividad enzimática aumenta y disminuye rápidamente alrededor de un determinado valor de pH (normalmente entre 7 y 8 con destacadas excepciones como la pepsina o la fosfatasa alcalina, según se indica en la gráfica de la figura 4.8, página 202 del libro del alumno). El efecto de la temperatura, sin embargo, es diferente por debajo y por encima de un determinado valor de la temperatura al que corresponde una máxima actividad enzimática. Así por debajo del valor de T con máxima actividad ésta decrece lentamente a medida que disminuye la temperatura. Cuando la temperatura aumenta y sobrepasa el valor T de máxima actividad, ésta disminuye rápidamente a medida que la enzima se desnaturaliza.
- b La inhibición de la fosfofructoquinasa por parte del ATP permite a nuestro organismo un ahorro de glucosa y de grupos fosfato. Así, la glucosa que no se consume en la glucólisis como consecuencia de los elevados niveles de ATP puede almacenarse en forma de glucógeno hepático y de glucógeno muscular. Además, también puede usarse como sustrato en rutas anabólicas como la síntesis de pentosas y la síntesis de nucleótidos.
- c La activación de una enzima alostérica por el sustrato permite regular la velocidad de la actividad enzimática y ajustarla al máximo a los niveles variables de sustrato, principalmente cuando éste procede del exterior de la célula.
- d Los inhibidores competitivos no afectan a la V_m y sí a la K_m , porque se unen al centro activo de la enzima y dicha unión es reversible, de modo que para concentraciones elevadas de sustrato, éste puede desplazar al inhibidor y así alcanzarse la V_m . Al contrario, los inhibidores no competitivos se unen a la enzima en una zona diferente del centro activo y no compiten con el sustrato por dicho centro activo. Sin embargo, sí modifican la capa-

cidad máxima de transformación del enzima (su V_m) puesto que un cierto número de moléculas de enzima están bloqueadas por el inhibidor y ese bloqueo no puede eliminarse aumentando la concentración de sustrato.

B. ACTIVIDADES DE AUTOEVALUACIÓN

- 1** Define los siguientes conceptos: *metabolismo, metabolito, ruta metabólica, anabolismo, catabolismo, energía de activación, reacción exergónica, reacción endergónica, holoenzima, apoenzima, coenzima, inhibición reversible e inhibición irreversible.*

Solución:

Metabolismo = Llamamos metabolismo al conjunto de reacciones químicas que se realizan en el interior de las células.

Metabolito = Sinónimo de nutriente, de sustrato, de reactivo del metabolismo o producto del mismo.

Ruta metabólica = Conjunto de reacciones metabólicas encadenadas que normalmente transcurren en un mismo orgánulo o estructura celular.

Anabolismo = Conjunto de procesos metabólicos cuya finalidad es la biosíntesis de moléculas o de macromoléculas.

Catabolismo = Conjunto de reacciones metabólicas que liberan energía degradando biomoléculas orgánicas en otras más sencillas.

Energía de activación = Energía libre necesaria para que se inicie una reacción química.

Reacción exergónica = Reacción química en la cual los productos poseen menos energía libre que los reactivos.

Reacción endergónica = Reacción química en la cual los productos poseen más energía libre que los reactivos.

Holoenzima = Complejo macromolecular formado por la enzima y el cofactor o la coenzima.

Apoenzima = Parte proteica de la holoenzima.

Inhibición reversible = Los inhibidores reversibles se unen de modo no covalente a la enzima. Hay dos tipos principales de inhibidores reversibles atendiendo a su mecanismo de actuación.

Inhibición irreversible = Los inhibidores irreversibles reaccionan químicamente con la enzima, inactivando las moléculas de enzima a las que se hayan unido. En la inhibición irreversible, el inhibidor se une fuertemente a

la enzima, en la mayoría de los casos mediante un enlace covalente.

- 2** Clasifica a los seres vivos según la fuente de carbono y de energía que utilizan. ¿En qué grupo o grupos se incluyen las bacterias? ¿Qué te sugiere este hecho?

Solución:

Los organismos que utilizan como fuente de carbono el CO_2 se denominan **autótrofos**. Aquellos que emplean como fuente de carbono biomoléculas orgánicas se denominan **heterótrofos**. Según la fuente que les suministra energía, los organismos se clasifican en **fotótrofos** (la luz) o **quimiótrofos** (reacciones químicas).

Las bacterias se incluyen en todos los grupos. Esto indica que a lo largo de la evolución las bacterias han tenido un éxito extraordinario gracias a la multiplicidad de adaptaciones fisiológicas y metabólicas que han desarrollado frente a la gran diversidad de ambientes que hay en la Tierra.

- 3** Indica los mecanismos que utilizan las enzimas para acelerar la conversión del sustrato en producto.

Solución:

Son muy variados los mecanismos que emplean las enzimas para acelerar la conversión del sustrato en producto una vez formado el complejo enzima-sustrato. En casi todos los casos se trata de mecanismos que existen en las reacciones catalíticas no enzimáticas, pero mucho más perfeccionados. La correcta orientación del sustrato y, en su caso, del cofactor en el centro activo -misión en la que de alguna manera interviene la totalidad de la estructura de la enzima- es un factor esencial para esa perfección.

- 4** Escribe una reacción enzimática y explica sus fases.

Solución:



Según Koshland, el centro activo de la enzima, posee de antemano una cierta complementariedad con el sustrato y se adapta totalmente a él después de un primer contacto. Esta unión cambia el sustrato y el complejo enzima-sustrato (ES) se transforma en el complejo enzima-producto (EP). A continuación se separan la enzima y el producto (P).

- 5** Observa el siguiente esquema y responde las cuestiones:

a. ¿Qué es el centro activo de una enzima?

- b. ¿Qué tipos de aminoácidos se distinguen en él y qué función desempeñan?
- c. En una holoenzima, ¿dónde se sitúa el cofactor y en qué fase interviene?

Solución:

- a. Las enzimas tienen una concavidad llamada centro activo o centro catalítico. Este centro activo está formado por unos determinados segmentos de la cadena de aminoácidos de la enzima (E) que determinan una superficie tridimensional complementaria a la molécula del reactivo o sustrato (S). El centro activo tiene dos funciones: unir el sustrato (o sustratos) y transformarlo químicamente para dar los productos. Ambas funciones están caracterizadas por una gran especificidad.
- b. En el centro activo, además de existir unos aminoácidos de unión encargados de reconocer el sustrato para la formación del complejo ES, existen otros (aminoácidos catalíticos) encargados de la auténtica fase catalítica, es decir, de la conversión de S en P.
- c. En las holoenzimas, el cofactor forma parte del centro activo e interviene algunas veces en la unión del sustrato, pero fundamentalmente lo hace en la fase catalítica.
- 6** Agrupa de 3 en 3 (total 6 grupos) y haz una frase con aquellos términos que estén relacionados, teniendo en cuenta que cada término sólo se puede reagrupar una vez: holoenzima, metabolismo, consume energía, degradación, sustrato, enzima, catabolismo, célula, biosíntesis, apoenzima, anabolismo, libera energía, cofactor, energía de activación, reacciones químicas, acelera.

Solución:

El **metabolismo** es el conjunto de reacciones químicas que se realizan en el interior de las células.

El **anabolismo** es una ruta metabólica que consume energía para llevar a cabo la síntesis de biomoléculas orgánicas complejas a partir de otras más simples.

El **catabolismo** es una ruta metabólica que libera energía mediante la degradación de biomoléculas orgánicas complejas.

Una **holoenzima** es una enzima conjugada que tiene una parte polipeptídica, la apoenzima, y otro componente llamado cofactor.

La **enzima** acelera una reacción química disminuyendo la energía de activación de la reacción.

- 7** Explicar el significado de la expresión “las enzimas tienen actividad catalítica”.

Solución:

La expresión “las enzimas tienen actividad catalítica” significa que se trata de moléculas o macromoléculas capaces de acelerar la velocidad de una reacción química al disminuir la energía de activación. Así es como funcionan los catalizadores.

- 8** Clasifica a las enzimas señaladas en las siguientes reacciones:

- glucosa + ATP → glucosa 6-fosfato + ADP
- ácido cítrico → ácido isocítrico
- triacilglicérido + H₂O → 3 ácidos grasos + glicerina

Solución:

La enzima que cataliza la primera reacción es una ligasa.

La enzima que cataliza la segunda reacción es una isomerasa.

La enzima que cataliza la tercera reacción es una hidrolasa.

- 9** Siguiendo el esquema de tres pasos en las reacciones enzimáticas, escribe la reacción de transformación de la lactosa en glucosa y galactosa a cargo de la enzima lactasa.

Solución:

Lactosa + Agua + Lactasa → Complejo Lactasa-Lactosa (enzima-sustrato) + Agua → Glucosa + Galactosa + Lactasa

- 10** Ordena las siguientes enzimas según su especificidad e indica el tipo de reacción que catalizan: maltasa, amilasa y lipasa.

Solución:

Las tres enzimas catalizan reacciones de hidrólisis. La más específica de las tres es la maltasa que hidroliza a la maltosa. La amilasa y la lipasa son menos específicas. La amilasa rompe enlaces O-glicosídicos α (1-4) del almidón y la lipasa rompe los enlaces éster de los triacilglicéridos.

- 11** ¿Qué significado tiene que un alimento tenga un “valor energético” de 240 kcal / 100mg?

Solución:

Si el “valor energético” de un alimento es de 240 kcal/100mg, significa que este alimento puede llegar a

proporcionar en los procesos catabólicos celulares una cantidad total de energía equivalente a la energía necesaria para elevar 1° C de temperatura 240 litros de agua.

12 En la figura siguiente se representa la relación entre el pH y la actividad catalítica de tres enzimas: pepsina, tripsina y fosfatasa alcalina.

- ¿Cuál es el pH óptimo de cada una de las enzimas?
- Indica los valores de pH para los cuales dos enzimas tienen la misma actividad.
- Determina el intervalo del pH para el cual tiene actividad catalítica cada una de las enzimas.
- A pH ácido, alrededor de 3, ¿cuál es la enzima con mayor actividad catalítica? ¿Y a pH básico alrededor de 10?
- Si el pH de la sangre es 7,35 - 7,45, razona ¿qué enzimas podrían presentar actividad catalítica en el plasma sanguíneo?

Solución:

- El pH óptimo para la pepsina es alrededor de 2, para la tripsina es próximo a 7 y para la fosfatasa alcalina es alrededor de 9.
- Aproximadamente, para un valor de pH = 4,5 la velocidad de reacción de la pepsina es igual a la de la tripsina.
Alrededor del pH = 7,25 la velocidad de la tripsina coincide con la de la fosfatasa alcalina.
- Entre valores de pH del 5,5 a 6 son activas las tres enzimas.
- A pH ácido la pepsina y a pH básico la fosfatasa alcalina.
- La tripsina y la fosfatasa alcalina, como hemos visto anteriormente ambas enzimas tienen la misma velocidad de reacción en pH = 7,25.

13 En una holoenzima, ¿de quién depende la especificidad de la reacción, de la apoenzima o del cofactor? ¿Y de quién depende el tipo de reacción?

Solución:

La especificidad depende de la apoenzima y el tipo de reacción de la coenzima (cofactor).

14 Los nucleótidos ATP, CTP, GTP y UTP además de ser intermediarios energéticos del metabolismo, ¿qué otra función pueden tener en el anabolismo de los ácidos nucleicos?

Solución:

Son los precursores para la biosíntesis o anabolismo del RNA.

15 Investiga en la red el papel de las vitaminas B₈ (biotina) y B₁₂ (cianocobalamina).

Solución:

Se trata de un trabajo a realizar por el alumno en el que se valorará, además del propio trabajo, el tipo de páginas Webs consultadas.

C. ACTIVIDADES DE LOS DOCUMENTOS

BIOLUMINISCENCIA

1 Explica cómo emiten las luciérnagas un destello de luz.

Solución:

La generación de un destello de luz requiere la activación de la luciferina por una reacción enzimática en la que se produce una escisión de pirofosfato del ATP formando luciferil adenilato. En presencia de oxígeno molecular y luciferasa, la luciferina experimenta una descarboxilación oxidativa en varios pasos a oxiluciferina. Este proceso va acompañado por la emisión de luz.

2 ¿De qué depende el color del destello?

Solución:

El color del destello de luz difiere según la especie de luciérnaga y parece estar determinado por diferencias en la estructura de la luciferasa. La luciferina se regenera a partir de la oxiluciferina en una serie posterior de reacciones.

3 Se han conseguido plantas transgénicas de tabaco con el gen de la luciferasa. ¿Cómo se consigue que estas plantas brillen en la oscuridad?

Solución:

Cuando se riegan con una disolución que contiene luciferina, las plantas brillan en la oscuridad.

4 Busca información sobre otros seres vivos en los que se produzca el fenómeno de bioluminiscencia.

Solución:

Trabajo a realizar por el alumno buscando información en la red.

RESPIRACIÓN Y FOTOSÍNTESIS

13

1. INTRODUCCIÓN

Este tema, **Respiración y Fotosíntesis**, hace una descripción detallada, al nivel del alumnado de la etapa, de las rutas metabólicas de mayor interés por su universalidad, como son las rutas catabólicas y las del anabolismo autótrofo, citando algunas otras rutas metabólicas que faciliten la visión de conjunto del metabolismo en seres autótrofos y heterótrofos.

2. TEMPORALIZACIÓN

7 sesiones, incluyendo uno de evaluación.

3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Definir qué entendemos por respiración aerobia y comparar la combustión gradual de la glucosa con su combustión rápida.
2. Estudiar el catabolismo de glúcidos: glicolisis, ciclo de Krebs y fosforilación oxidativa. Determinar el rendimiento energético del proceso.
3. Estudiar el catabolismo de lípidos. Determinar el rendimiento energético del proceso.
4. Explicar el catabolismo de las proteínas.
5. Estudiar el catabolismo anaerobio y los principales tipos de fermentaciones.
6. Analizar el concepto de interconversión anabólica.
7. Analizar en qué consiste la fotosíntesis y cuales son los mecanismos celulares y bioquímicos que protagonizan las fases luminosa y oscura de la misma. Diferenciar fotofosforilación cíclica, bacteriana y no cíclica.
8. Analizar comparativamente el proceso de quimiosíntesis.

4. CONTENIDOS CONCEPTUALES

1. Respiración aerobia
2. Catabolismo de glúcidos
 - Glicolisis.
 - Formación de acetil-CoA
 - Ciclo de Krebs.
 - Fosforilación oxidativa. La cadena respiratoria.
 - Rendimiento energético de la oxidación total de la glucosa.
3. Catabolismo de lípidos
 - Activación de los ácidos grasos.
 - β -oxidación.
 - Rendimiento energético.
4. Catabolismo de proteínas
5. Catabolismo anaerobio
 - Fermentación alcohólica.
 - Fermentación láctica.
 - Otras fermentaciones.
 - Importancia fisiológica de la glicólisis.
6. Anabolismo
 - Interconversiones.
 - Anabolismo autótrofo
7. Fotosíntesis
8. Fase luminosa de la fotosíntesis. Fotofosforilación
 - Los fotosistemas: estructura y función.
 - Fotofosforilación no cíclica.
 - Fotofosforilación cíclica.
 - Fotofosforilación bacteriana.
9. Fase oscura. Ciclo de Calvin
 - Fase 1: fijación del CO_2 .
 - Fase 2: reducción.
 - Fase 3: regeneración de la ribulosa-1,5-bisfosfato.
 - Ecuaciones de la fotosíntesis.
 - Factores que afectan al rendimiento de la fotosíntesis.
10. Quimiosíntesis

5. SOLUCIONES Y COMENTARIOS

A. ACTIVIDADES VINCULADAS AL TEXTO

2 Catabolismo de glúcidos

Actividades pág. 215

- a *¿Cuáles son los sustratos del ciclo de Krebs? ¿Y los productos finales?*
- b *¿Cuáles son las funciones de la coenzima A en el metabolismo?*
- c *¿Por qué es necesaria la regeneración del NAD⁺? ¿Cómo se realiza?*

Soluciones:

- a Los sustratos del ciclo de Krebs son el acetil-CoA y el oxalacetato o ácido oxalacético. También podríamos considerar como sustratos los nucleótidos NAD⁺ y FAD, y el GDP + Pi, aunque en realidad no son sustratos de la reacción, sino coenzimas e intermediario energético respectivamente. Los productos finales son, el mismo ácido oxalacético, el dióxido de carbono y los nucleótidos NADH, FADH₂ y GTP.
- b La coenzima A es un nucleótido que se enlaza a los ácidos orgánicos activándolos, facilitando la transferencia de grupos acilo (acetilo en el ciclo de Krebs) de unos compuestos a otros.
- c En la glicolisis y en el ciclo de Krebs las moléculas de NAD⁺ son reducidas a NADH. A medida que se consume el NADH en las cadenas transportadoras de electrones se regenera el NAD⁺, útil de nuevo como oxidante en la glicolisis y en el ciclo de Krebs. Este ciclo de reducción-oxidación del NAD⁺ contribuye a la transferencia de energía de las moléculas de glucosa al ATP.

Actividades pág. 217

- a *Si consideramos la cadena transportadora de electrones como una vía metabólica, indicar los sustratos y los productos.*
- b *Durante la respiración celular aeróbica tiene lugar un transporte de electrones a través de una cadena de transportadores situados en la membrana interna de la mitocondria: ¿De dónde proceden esos electrones y cuál es su destino? ¿Qué consigue la célula con este proceso? ¿Qué*

relación mantiene el transporte de electrones con el consumo respiratorio de oxígeno?

Soluciones:

- a Los sustratos de la cadena transportadora de electrones serían los nucleótidos reducidos NADH y FADH₂, el oxígeno molecular, el ADP y el ácido fosfórico. Los productos serían los nucleótidos oxidados NAD⁺ y FAD, agua y ATP.
- b Los electrones de la cadena transportadora proceden principalmente de la oxidación de las moléculas de glucosa u otras hexosas que actúan como sustratos de la glicolisis; también proceden, en menor cantidad, de las cadenas hidrocarbonadas de ácidos grasos y de aminoácidos; estas oxidaciones producen la reducción de las coenzimas NADH y FADH₂, que son las que aportan directamente los electrones a la cadena transportadora.

Con este transporte de electrones la célula consigue bombear protones de la matriz mitocondrial al espacio intermembranoso y a su vez, este bombeo permite la síntesis de ATP a partir de ADP y ácido fosfórico.

Los electrones transportados facilitan la síntesis de agua a partir de oxígeno; así, a mayor transporte de electrones, mayor consumo respiratorio de oxígeno.

3 Catabolismo de lípidos

Actividades pág. 219

- a *¿Cuáles son las semejanzas entre la β-oxidación de ácidos grasos y el ciclo de Krebs?*
- b *Calcula la cantidad de ATP que se obtiene de la oxidación completa de una molécula de palmitato.*
- c *¿Por qué la oxidación de los ácidos grasos proporciona más energía a la célula que la oxidación de una cantidad idéntica de glucosa?*
- d *Compara los procesos de activación de la glucosa y de los ácidos grasos para que puedan ser oxidados.*
- e *Algunos animales poseen un tejido adiposo marrón (grasa parda) en cuyas células la respiración mitocondrial está desacoplada con la síntesis de ATP. ¿Cómo puede desacoplarse en la mitocondria la síntesis de ATP del*

proceso de transporte electrónico? ¿Qué pasará con la mayor parte de la energía procedente de la oxidación de las grasas en dichas células?

- f ¿Para qué sirve el tejido adiposo marrón? ¿Qué animales lo poseen?

Soluciones:

- a La β -oxidación y el ciclo de Krebs son rutas metabólicas cíclicas y en ambas participa el acetil-CoA. Sin embargo, en la primera ruta el acetil-CoA es un producto mientras que en la segunda es el sustrato.
- b Si la oxidación de una molécula de estearil-CoA con una cadena de 18 C da lugar a 9 moléculas de acetil-CoA, 8 moléculas de FADH_2 y 8 moléculas de NADH, una molécula de palmitil-CoA con 16 C dará lugar a 8 moléculas de acetil-CoA, 7 moléculas de FADH_2 y 7 moléculas de NADH; por consiguiente, el número de ATP formados será: 96 a partir del acetil-CoA, 14 a partir de las 7 FADH_2 y 21 a partir de los 7 NADH. En total, 131 moléculas a las que deberemos restar los 2 enlaces (de ATP a AMP) que proporcionan la energía de activación.
- c Porque la cantidad de enlaces tipo H-C en ácidos grasos es superior a los que hay en monosacáridos, por ser los ácidos grasos compuestos más reducidos que los monosacáridos.
- d La activación de los ácidos grasos requiere la desfosforilación de una molécula de ATP en AMP por cada molécula de ácido lo que equivale a un gasto energético de 2ATP que es lo mismo que requiere la activación de la glucosa (2ATP).
- e Las mitocondrias de la grasa parda poseen poros especiales en su membrana interna que permiten que los iones H^+ refluyan hacia la matriz de la mitocondria por dichos poros, en lugar de hacerlo a través de la ATP-asa. Como consecuencia, la energía liberada en el transporte electrónico desacoplado se desprenderá en forma de calor, necesario para el mantenimiento de la temperatura corporal en los seres humanos recién nacidos y en otros mamíferos que nacen sin pelo, así como en animales endotermos o de "sangre caliente" (aves y mamíferos) que viven en climas fríos y polares.
- f Para la producción de calor. Lo poseen los seres humanos recién nacidos y en otros mamíferos que nacen sin pelo, así como en animales endotermos o de "sangre caliente" (aves y mamíferos) que viven en climas fríos y polares.

4 Catabolismo de las proteínas

Actividades pág. 220

- a ¿Qué es la respiración celular?
- b ¿Qué rutas o vías catabólicas son propias de las mitocondrias?
- c ¿Cuáles son los productos finales del catabolismo?
- d En las células vegetales también se producen las vías catabólicas estudiadas hasta aquí. Razonar cuál debe ser la finalidad del catabolismo en dichas células.
- e Explica en qué molécula o ruta central converge el catabolismo de los glúcidos, los ácidos grasos y los aminoácidos.
- f Relaciona el catabolismo de glúcidos, lípidos y proteínas localizándolo en la célula.

Soluciones:

- a La expresión "respiración celular" es lo mismo que catabolismo. También se usa como sinónimo de catabolismo aerobio, frente al concepto de fermentación o de respiración anaerobia.
- b La transformación del piruvato en acetil-CoA, el ciclo de Krebs, la cadena transportadora de electrones y la fosforilación oxidativa.
- c Los productos finales del catabolismo (aerobio) son: ATP, agua, dióxido de carbono y NAD^+ y FAD
- d En las células vegetales el catabolismo aerobio produce ATP necesario para la síntesis de determinadas biomoléculas derivadas de los productos de la fotosíntesis, para la síntesis de polímeros y para el transporte activo de membranas. En las plantas superiores, hay muchas células que no pueden realizar la fotosíntesis (las de la raíz, las del interior del tallo, las de los frutos y otras partes que carecen de clorofila y no tienen acceso a la luz); esas células, precisan el ATP del catabolismo aerobio.
- e Converge en acetil-CoA, que se introduce en el ciclo de Krebs.
- f La primera parte del catabolismo de los glúcidos transcurre en el citosol (la glicólisis) así como una buena parte del catabolismo de proteínas: hidrólisis de proteínas, pérdida de grupos amino de los aminoácidos y la incorporación de determinadas cadenas carbonadas residuales a la glicólisis, mientras que otras cadenas de carbonos se incorporan al ciclo de Krebs.

La activación de los ácidos grasos y transformación en los correspondientes acil-CoA se produce en el citosol, mientras que la mayor parte de la β -oxidación transcurre en la matriz mitocondrial.

El ciclo de Krebs, común a los tres procesos, tiene lugar en la matriz mitocondrial. Finalmente, la última etapa del catabolismo común para glúcidos, lípidos y prótidos, la cadena transportadora de electrones, transcurre en la membrana mitocondrial interna.

5 Catabolismo anaerobio

Actividades pág. 222

- a Señala la importancia biológica del piruvato en el metabolismo anaerobio.
- b ¿Quién es el aceptor final de los electrones del NADH en las fermentaciones láctica y alcohólica?
- c Las levaduras crecen, en presencia de glucosa, tanto con oxígeno como sin él. ¿Por qué la velocidad de consumo de la glucosa decrece cuando levaduras que han crecido en condiciones anaeróbicas son expuestas al oxígeno?
- d ¿Cuál es el motivo de que haya células de nuestro organismo con catabolismo anaerobio?

Soluciones:

- a En el metabolismo anaerobio el piruvato es un metabolito que permite la oxidación del NADH para que este nucleótido pueda participar de nuevo en la glicolisis.
- b En la fermentación alcohólica el aceptor final de los electrones del NADH es el acetaldehído y en la fermentación láctica es el piruvato.
- c En condiciones aeróbicas las levaduras aprovechan al máximo las moléculas de glucosa para la obtención de energía, es decir, las degradan completamente hasta dióxido de carbono y agua, o sea, obtienen más energía por molécula de glucosa oxidada. Por el contrario, en condiciones anaeróbicas, al realizar solamente la glicolisis, las levaduras deben consumir constantemente moléculas de glucosa dado que aprovechan solamente una parte de su energía libre disponible.
- d En primer lugar, en nuestro organismo existen células con catabolismo anaerobio porque no poseen o poseen muy pocas mitocondrias. En segundo lugar, hay células que son capaces de realizar el catabolismo anaerobio cuando no reciben suficiente oxígeno.

7 Fotosíntesis

Actividades pág. 225

- a ¿Se dice que la clorofila transforma la luz en energía química durante la fase luminosa? ¿Dónde se guarda, o en qué se manifiesta esa energía química?
- b ¿Puede realizarse la fase oscura de la fotosíntesis en ausencia de luz de forma indefinida, o tendría algún límite dicha reacción? ¿A qué se debe ese límite?
- c La denominación fase oscura de la fotosíntesis, ¿indica que la luz interfiere con dicho proceso o simplemente que éste es relativamente independiente de la misma?
- d Algunas biomoléculas orgánicas nitrogenadas se sintetizan a partir de la energía química obtenida al transformar la energía luminosa. ¿Esto es también fotosíntesis?

Soluciones:

- a En los tejidos vegetales donde se realiza la fotosíntesis la energía química se guarda o se acumula en forma de biomoléculas, principalmente glúcidos.
- b La fase oscura o fase biosintética se realiza a partir del momento en que el cloroplasto dispone de niveles elevados de NADPH y de ATP, que provienen de la fase fotoquímica. Así, el ciclo de Calvin tendrá lugar mientras estén disponibles estos reactivos; cuando la mayor parte del NADPH esté oxidado y el ATP se haya transformado en ADP y ácido fosfórico se interrumpirá la fase biosintética de la fotosíntesis.
- c Se denomina fase oscura porque se trata de un conjunto de reacciones químicas que no dependen directamente de la luz solar.
- d Sí.

8 Fase luminosa de la fotosíntesis. Fotofosforilación

Actividades pág. 228

- a Escribe los nombres o las iniciales de los compuestos que intervienen en la ruta que siguen los electrones desde el agua hasta el NADP^+ , e indica qué pasos se dan a favor de la diferencia de potencial de oxidación-reducción y qué pasos se dan en contra de dicha diferencia.

- b** *Compara la fosforilación oxidativa y la fotofosforilación y contesta las siguientes cuestiones: ¿Cuál es el medio rico en protones y el medio pobre en protones en cada caso? ¿Qué procesos químicos provocan el desfase de la concentración de protones en los dos casos? ¿Quién es el dador inicial y el receptor final de electrones en el transporte electrónico en cada caso?*

Soluciones:

- a** Agua → Clorofila P680 → (*) Clorofila P680 excitada → PQ (plastoquinona) → Complejo citocromo bf → PC (plastocianina) → Clorofila P700 → Clorofila P*700 excitada → Fd (ferredoxina) → NADP⁺

Todos los pasos anteriores se realizan a favor de la diferencia de potencial de oxidación-reducción excepto los indicados con un asterisco, que se realizan en contra.

- b** **Fosforilación oxidativa:** el medio rico en hidrogeniones es el espacio intermembranoso de las mitocondrias, y el medio pobre en hidrogeniones es la matriz; el desfase de la concentración de hidrogeniones es provocado por la oxidación del NADH a través de la cadena respiratoria; el dador inicial de los electrones es el NADH y el receptor o aceptor final es el oxígeno.

Fotofosforilación: el medio rico en hidrogeniones es el estroma de los cloroplastos, y el medio pobre es el espacio tilacoidal o interior de las vesículas de los grana; el desfase de la concentración de hidrogeniones es provocado por la excitación lumínica de las moléculas de clorofila y el transporte electrónico que genera dicha excitación; el dador inicial de los electrones es el agua y el receptor o aceptor final es el NADP⁺.

9 Fase oscura. El ciclo de Calvin

Actividades pág. 230

- a** *Razona el origen de los nombres que recibe la segunda etapa de la fotosíntesis: fase oscura, fase biosintética y ciclo de Calvin.*
- b** *Las células fotosintetizadoras de las hojas de las plantas verdes forman unos tejidos, los parénquimas clorofílicos. Estos tejidos durante el día desprenden oxígeno*

y consumen dióxido de carbono. ¿Qué procesos realizan durante el día? ¿Y durante la noche?

Soluciones:

- a** Fase oscura porque se trata de un conjunto de reacciones químicas que no dependen directamente de la luz solar.

Fase biosintética porque durante esta etapa se sintetizan las moléculas de monosacáridos que, a su vez, serán utilizadas en la síntesis de las restantes biomoléculas.

El nombre de ciclo de Calvin se debe al carácter cíclico del proceso metabólico, es decir, a la regeneración de la ribulosa 1,5-bisfosfato y a su descubridor Melvin Calvin.

- b** Los procesos metabólicos que realizan las células de los parénquimas clorofílicos son como en cualquier célula, procesos catabólicos y procesos anabólicos; sin embargo, en estas células durante el día el principal proceso metabólico que realizan es la fotosíntesis cuyo rendimiento dependerá de la temperatura y de la concentración de dióxido de carbono, mientras que los procesos catabólicos suceden con unos rendimientos más bajos. Durante la noche y una vez finalizada la fase biosintética, solamente persisten los procesos catabólicos que suministran energía a procesos de biosíntesis dependientes de ATP.

10 Quimiosíntesis

Actividades pág. 231

- a** *Explica las principales diferencias entre el anabolismo quimiosintético y el anabolismo fotosintético.*
- b** *¿Son abundantes los organismos quimiosintéticos? Si tuvieras que traer una muestra de ellos al laboratorio en 10 minutos, ¿dónde buscarías? ¿Tendrías tiempo?*

Soluciones:

- a** La fuente de energía para el anabolismo autótrofo es la luz en el caso de la fotosíntesis y la energía química en el caso de la quimiosíntesis.
- b** Si, abundan en el suelo donde hay sales amoniacales resultantes de la descomposición de cadáveres y excrementos.

B. ACTIVIDADES DE AUTOEVALUACIÓN

1 Razonar si es cierta o falsa la siguiente frase: “En el cuerpo humano todas las células obtienen el ATP a partir de la respiración mitocondrial”.

Solución:

No es cierta. En nuestro organismo existen células que obtienen solamente el ATP de la glicolisis, proceso metabólico que ocurre en el citosol. Dichas células son: las fibras musculares de contracción rápida, los eritrocitos, los leucocitos, las células de la médula renal, las células de la córnea y del cristalino en el ojo.

2 Establecer correspondencias entre los conceptos de las listas A y B como, por ejemplo, glicólisis → citosol.

A	B
Fosforilación	Reducción del NAD
Ciclo de Calvin	Síntesis de ATP
Crestas mitocondriales	Ácidos grasos
Ciclo de Cori	Lactato
Glicolisis	Citosol
Ventilación pulmonar	Nivel de organismo
Oxidación	Eliminación de nitrógeno
Fase fotoquímica	Cadenas transportadoras de electrones
Enzima	Reducción del dióxido de carbono
Urea	Clorofilas
Ambiente anóxico	Nucleótido
Cloroplastos	Anaerobiosis
FAD	Piruvato deshidrogenasa

Solución:

- Lista A → Lista B
- Fosforilación → Síntesis de ATP.
- Ciclo de Calvin → Reducción del dióxido decarbono.
- Crestas mitocondriales → Cadenas transportadoras de electrones.
- Ciclo de Cori → Lactato.
- Ventilación pulmonar → Nivel de organismo
- β-oxidación → Ácidos grasos
- Fase fotoquímica → Reducción del NADPH.
- Enzima → Piruvato deshidrogenasa.
- Urea → Eliminación de nitrógeno.

- Ambiente anóxico → Anaerobiosis.
- Cloroplastos → Clorofilas.
- FAD → Nucleótido.

3 Indicar los productos finales de las siguientes rutas metabólicas: ciclo de Calvin, glicólisis, β-oxidación, fase fotoquímica, cadenas transportadoras de electrones, ciclo de Krebs, fermentación láctica.

Solución:

- Ciclo de Calvin → Gliceraldehido, glucosa.
- Glicolisis → Piruvato, ATP, NADH.
- β-oxidación → Acetil-CoA, NADH, FADH₂
- Fase fotoquímica → NADPH, ATP.
- Cadenas transportadoras de electrones → H₂O, ATP, FAD, NAD⁺.
- Ciclo del ácido cítrico → CO₂, NADH, FADH₂, GTP.
- Fermentación láctica → Lactato, NAD⁺

4 Explica cuál es la función de las mitocondrias en las células de los parénquimas clorofílicos.

Solución:

Las moléculas de ATP sintetizadas en el interior de los cloroplastos durante la fase fotoquímica se “consumen” en la fase biosintética de la fotosíntesis. Así, los procesos celulares de síntesis (procesos anabólicos como la síntesis de proteínas o de ácidos nucleicos) o el transporte activo de membranas, por ejemplo, que ocurren en el citoplasma y en el núcleo y que requieren energía libre deben disponer de las moléculas de ATP de origen mitocondrial.

5 Una de las enzimas más abundantes de la naturaleza es la Rubisco: más de la mitad del total de las proteínas de las hojas de las plantas superiores corresponden a esta enzima. ¿Cómo explicarías un hecho tan singular?

Solución:

La Rubisco cataliza un proceso fundamental en la fotosíntesis del carbono: la fijación del CO₂ (inorgánico) en ácido 3-fosfoglicérico (orgánico). De la importancia de esa reacción se deduce la abundancia de esta enzima en las hojas, hecho favorecido por la evolución de las plantas.

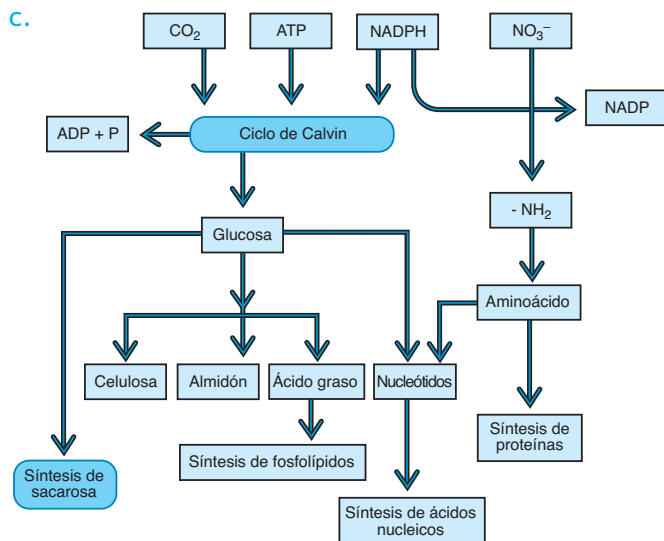
6 Fíjate en el esquema siguiente y contesta las cuestiones que hay a continuación:

- a. Indicar en qué lugar de la célula sucede el ciclo de Calvin.

- b. De las siguientes reacciones metabólicas: fosforilación, reducción del nitrógeno, oxidación del nitrógeno, fermentación, fijación reductora de carbono, señalar aquellas que están relacionados con dicho esquema.
- c. Situar en el esquema los siguientes procesos: síntesis de fosfolípidos, síntesis de proteínas, síntesis de sacarosa y síntesis de ácidos nucleicos.
- d. Subrayar aquellos organismos en los cuales se producen los procesos metabólicos representados: delfín, haya, moho, maíz, levadura, paramecio, musgo, escorpión, alga verde, liebre, abeto, dátil de mar, mochuelo, pólipo, cachalote, gorrión, posidonia, jurel, lechuga de mar, salamandra, coscoja.

Solución:

- a. En el estroma de los cloroplastos.
- b. Están representadas en el esquema las reacciones: la reducción del nitrógeno y la asimilación reductora del carbono.



- d. Delfín, haya, moho, maíz, levadura, paramecio, musgo, escorpión, fitoplancton, liebre, abeto, dátil de mar, mochuelo, pólipo, cachalote, gorrión, posidonia, jurel, lechuga de mar, salamandra, coscoja.

- 7 Las plantas tienen cantidades de grasa muy inferiores a las de los animales. ¿A qué se debe este hecho?

Solución:

Las plantas son seres vivos que no requieren energía para los movimientos corporales, ni para desplazarse ni poseen aparatos o sistemas de coordinación de las diferentes partes del organismo. Por este motivo necesitan mucha

menos energía que los animales y no les importa que los "depósitos de biomoléculas" para almacenar "energía libre" sean más o menos densos, por eso tienden a almacenar la energía en forma de polisacáridos. Precisamente los órganos donde suelen almacenarse grasas, que son las semillas, son las partes de la planta que han de ser transportadas (por el viento, los animales u otros mecanismos).

- 8 Si se hace un agujero en las membranas externa e interna de una mitocondria, ¿podrá seguir realizando la fosforilación oxidativa? ¿Pueden los fragmentos de una mitocondria llevar a cabo la fosforilación oxidativa? Razona la respuesta.

Solución:

En su mayor parte, la fosforilación oxidativa depende de la desigual concentración de protones o hidrogeniones a un lado y al otro de la membrana mitocondrial interna. Cualquier cambio en el sentido de favorecer la comunicación de los medios acuosos de la matriz mitocondrial y del espacio intermembranoso equilibraría las concentraciones de protones e impediría la fosforilación oxidativa. Sin embargo, es posible (como demostraron por primera vez Racker y colaboradores) reconstruir microvesículas de membrana interna a partir de fragmentos mitocondriales. Estas microvesículas tienen ATP-asa y transportadores electrónicos y sí pueden acoplar el transporte electrónico y el bombeo protónico con la síntesis de ATP.

- 9 Las cuatro primeras reacciones de la glicólisis son:
 Glucosa → glucosa 6-fosfato → fructosa 6-fosfato → fructosa 1,6-bisfosfato → gliceraldehído 3-P + dihidroxiacetona-P

Sin embargo, la glucosa 6-P también puede seguir la ruta de las "hexosas monofosfato" oxidándose a 6-fosfogluconolactona y a continuación, las reacciones siguientes:

6-fosfogluconolactona → ribulosa 5-P → ribosa 5-P
 Razonar cuál debe ser la finalidad de la ruta de las hexosas monofosfato y en qué reacción se produce desprendimiento de dióxido de carbono.

Solución:

La ruta de las hexosas monofosfato es una ruta metabólica de síntesis de nucleótidos, monómeros precursores de los ácidos nucleicos y de síntesis de moléculas indispensables para el metabolismo como el ATP, el NAD o el FAD entre otras. El desprendimiento de dióxido de carbono se produce en la reacción:

6 - fosfogluconolactona → ribulosa 5 - P.

10 Tanto el cianuro como el monóxido de carbono se unen fuertemente a uno de los complejos enzimáticos de la cadena respiratoria y bloquean el transporte de electrones. Ambos son venenos de acción letal que con frecuencia han producido la muerte de personas y animales. ¿Qué efectos producen estos venenos sobre el metabolismo celular? Razona la elevada toxicidad de estos venenos.

Solución:

Al bloquearse la cadena respiratoria, se bloquea la principal fuente de obtención de ATP en la célula, con lo que ésta difícilmente podrá seguir realizando funciones que requieran el consumo de este intermediario energético. Además, las coenzimas FADH_2 y NADH quedarán sin reoxidar, con lo que se detendrán los procesos de oxidación de materia orgánica previos a la cadena respiratoria: glicolisis, ciclo de Krebs, beta-oxidación de los ácidos grasos...

LAS LEYES DE LA HERENCIA

14

1. INTRODUCCIÓN

El presente tema, repasa los conceptos elementales de Genética y la relación de la distribución de los genes con la distribución de los cromosomas en la reproducción celular, que ya fueron tratados en cuarto curso de la ESO, pero introduciendo una materia que no fue desarrollada en aquel nivel, como es la recombinación genética que precede a la formación de los gametos. Se recuerdan también los conceptos de herencia del sexo y de herencia ligada al sexo, como caso concreto de la relación de la herencia biológica con la transmisión de cromosomas, y dado el interés que despierta esta materia en el alumnado.

El tema sirve así de puente para introducirnos posteriormente, en los siguientes temas, en los mecanismos molecu-

lares que explican la transmisión de caracteres y la expresión del mensaje genético, así como la manipulación genética de los organismos que permiten las modernas tecnologías.

El tema aborda pocos contenidos conceptuales, pero es rico en sus posibilidades de transmitir contenidos procedimentales, con el dominio de las cuestiones prácticas de Genética, que permiten además asimilar mejor los conceptos adquiridos.

También puede aprovechar este tema para que el alumnado aprenda a valorar el trabajo científico de los pioneros de las ciencias biológicas, como es el caso de Gregor Mendel.

2. TEMPORALIZACIÓN

El presente tema puede desarrollarse en siete sesiones, de las cuales tres pueden dedicarse a la resolución de cuestiones de Genética. Dada la variedad de cuestiones prácticas que se pueden abordar, el presente tema puede evaluarse de forma separada de los demás temas.

3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Recordar las leyes elementales de transmisión de los genes y su relación con los mecanismos de transmisión de cromosomas.
2. Recordar los mecanismos de determinación genética del sexo en nuestra especie y en algunas otras.
3. Conocer los mecanismos de recombinación genética que acompañan a la meiosis y por tanto a la reproducción sexual.
4. Relacionar los fenómenos de recombinación genética con la variabilidad de caracteres en los organismos.
5. Valorar las aportaciones a la Ciencia de los pioneros de las ciencias biológicas, como es el caso de Gregor Mendel.

4. CONTENIDOS CONCEPTUALES

1. Conceptos básicos de herencia biológica.
2. Las leyes de Mendel.
3. Ejemplos de herencia mendeliana.
4. Ligamiento y recombinación cromosómicos.
5. Herencia y sexo.
6. Herencia ligada al sexo.
7. Caracteres influidos por el sexo.

5. SOLUCIONES Y COMENTARIOS

A. ACTIVIDADES VINCULADAS AL TEXTO

1 Conceptos básicos de la herencia

Actividades pág. 237

- a Un individuo tiene los ojos azules. ¿Cuántos genes tiene para determinar el color de los ojos? ¿Qué han aportado cada uno de sus padres en la determinación del color de sus ojos?
- b Consideremos ahora un individuo de ojos pardos. Su padre aportó en la concepción del individuo un gen que determina el color pardo de los ojos, y su madre aportó un gen que determina el color azul de los ojos. Indica si este segundo individuo será puro o híbrido para el color de los ojos.
- c Indica cómo serán los alelos para el color de los ojos de los dos individuos descritos anteriormente.
- d La herencia del color de los ojos en la especie humana, ¿será de tipo dominante o intermedia?
- e Recuerda los individuos de ojos azules y de ojos pardos descritos en las cuestiones de la actividad anterior. Indica cómo será el genotipo y el fenotipo de dichos individuos para el color de sus ojos, y representa simbólicamente el genotipo de los dos individuos.

Soluciones:

- a Un individuo de ojos azules tiene dos genes para determinar el color de los ojos. Cada uno de sus padres ha aportado un gen para el color de los ojos. Si los dos padres aportaron un gen para los ojos azules, el individuo es homocigótico o puro para el color de los ojos.
- b El segundo individuo es híbrido para el color de los ojos porque los dos genes que determinan la coloración son alelos diferentes, el uno determina el color pardo y el otro el azul.
- c Los alelos para el color de los ojos del individuo de los ojos azules son iguales: determinan el color azul. Los alelos para el color de los ojos del individuo de ojos pardos son diferentes: uno determina el color pardo y el otro el color azul.
- d La herencia será de tipo dominante, pues el individuo híbrido solamente manifiesta el carácter de uno de los dos alelos que posee; el alelo dominante será el que deter-

mina el color pardo, y el recesivo el que determina el color azul. Elegimos la letra P para representar el gen del color de los ojos.

- e Individuo de ojos azules: Genotipo: pp
Fenotipo: ojos azules
Individuo de ojos pardos: Genotipo: Pp
Fenotipo: ojos pardos

2 Las leyes de Mendel

Actividades pág. 238

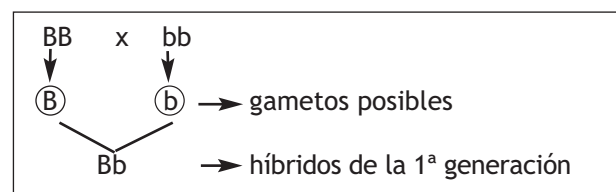
- a El color de la lana blanca de las ovejas está determinado por el gen dominante B; su alelo recesivo b produce la lana negra. Cuando una oveja de lana blanca de línea pura se cruza con un carnero de lana negra, ¿qué proporción de la descendencia será de lana blanca? ¿Y de lana negra?
- b Existen variedades de lino que tienen las flores blancas y variedades que tienen las flores violetas. Al cruzar entre sí plantas de las dos variedades, se obtiene una descendencia con las flores de color violeta claro. Explica el tipo de herencia y realiza el cruzamiento usando la notación genética.

Soluciones:

- a Oveja de lana blanca de línea pura. Genotipo: BB

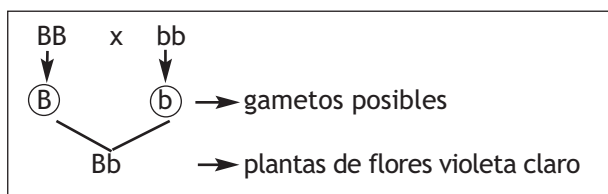
Carnero de lana negra. Genotipo: bb

Aunque no se indica la condición de homocigótico del carnero de lana negra, ya que estamos en un caso de herencia dominante, el único genotipo posible es el escrito, pues un individuo heterocigótico, Bb, sería de lana blanca.



Como no se obtiene descendencia de otro tipo: 100 % de lana blanca y 0 % de lana negra.

- b Plantas de flores blancas. Genotipo = BB
Plantas de flores violetas. Genotipo = bb



Como el híbrido tiene una coloración intermedia entre los colores de los progenitores, se trata de herencia intermedia.

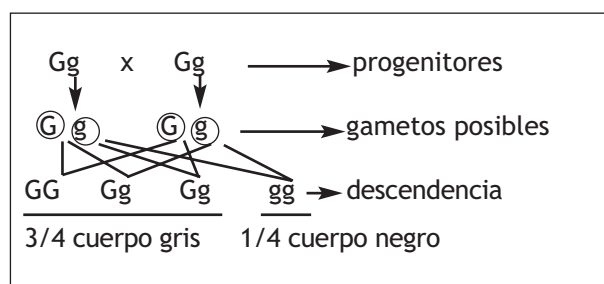
Actividades pág. 241

- a En la mosca del vinagre, el color gris del cuerpo domina sobre el color negro. Cruzando dos moscas de cuerpo gris entre sí, se obtienen 152 moscas grises y 48 negras. ¿Cuál será el genotipo de los progenitores?
- b La forma de los rábanos puede ser alargada, redondeada y ovalada. Cruzando plantas de rábano alargado con plantas de rábano redondeado, se obtiene una descendencia formada por todas las plantas con rábanos ovalados. Cruzando plantas con rábanos ovalados con plantas con rábanos redondeados, se obtienen 404 plantas. Decir el fenotipo que se puede esperar en esta descendencia.
- c El color del cuerpo de la mosca del vinagre viene determinado por los alelos G y g. Los individuos de cuerpo gris pueden tener el genotipo GG o Gg, y los individuos con cuerpo negro tienen el genotipo gg. Si cruzamos una mosca de cuerpo gris con otra de sexo contrario y cuerpo negro, se obtienen 60 moscas de cuerpo gris y 54 de cuerpo negro. Determinar cuál es el genotipo de los progenitores.
- d Resuelve la siguiente cuestión genética teniendo en cuenta lo aprendido sobre la Tercera Ley de Mendel: Una planta de sandías de color verde liso y alargadas, se cruza con una planta de sandías de color a rayas y achatadas, obteniéndose todas las plantas con sandías de color verde liso y achatadas. Predecir cómo serán los caracteres de la F₂.

Soluciones:

- a N.º total de moscas en la descendencia del cruzamiento: 152 + 48 = 200 moscas
Proporción de moscas grises: 152/200, 3/4
Proporción de moscas negras: 48/200, 1/4
Las proporciones nos indican que estamos en un caso de cruce entre dos moscas híbridas para el color del cuer-

po, que el carácter dominante es el gris, que podemos representar por G, y el carácter recesivo es el negro, que podemos representar por g.



Lo comprobamos haciendo el cruzamiento:

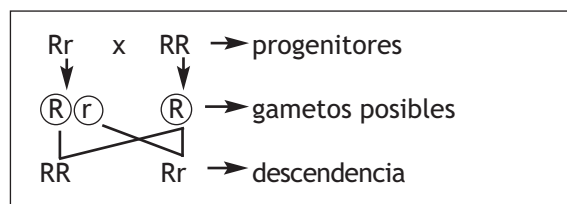
Respuesta a la cuestión: los progenitores tienen un genotipo Gg, adjudicando la letra G al alelo para el color gris, y la letra g al alelo para el color negro.

- b El hecho de que al cruzar plantas de rábano alargado con plantas de rábano redondeado se obtengan plantas de rábano ovalado, nos hace pensar que estamos ante un caso de herencia intermedia.

Por tanto, podemos asignar los siguientes genotipos a los tres fenotipos posibles:

- Rábano redondeado: RR
- Rábano ovalado: Rr
- Rábano alargado: rr

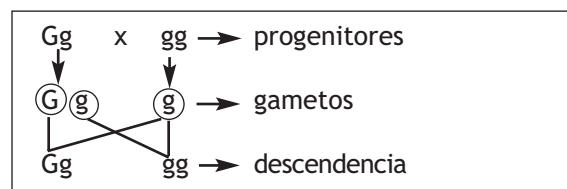
Representamos el cruce que se indica en la cuestión:



Es decir, 50 % de plantas con rábano redondeado y 50 % de plantas con rábano ovalado.

Por tanto, aproximadamente 200 de las plantas obtenidas serán de rábano redondeado y aproximadamente 200 serán de rábano ovalado.

- c La descendencia de 60 moscas de cuerpo gris y 54 de cuerpo negro se ajusta aproximadamente a una frecuencia del 50 % de cada clase fenotípica, lo cual nos indica que se debe haber hecho un cruzamiento del mismo tipo que los retrocruzamientos. Por tanto,



La respuesta a la cuestión es el genotipo de los progenitores: Gg el de cuerpo gris y gg el de cuerpo negro.

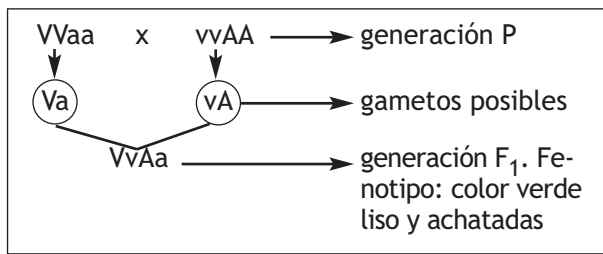
d Asignamos letras a los diferentes alelos; para ello, consideramos el comportamiento de cada carácter por separado en el primer cruzamiento:

- Del cruce entre plantas de sandía color verde liso con otras de color a rayas, se obtienen plantas de color verde liso; por tanto, este último será el carácter dominante: V = verde liso; v = color a rayas.
- Del cruce de plantas de sandía alargada con plantas de sandía achatada se obtienen plantas de sandía achatada; por tanto, este último será el carácter dominante: A = achatada; a = alargada.

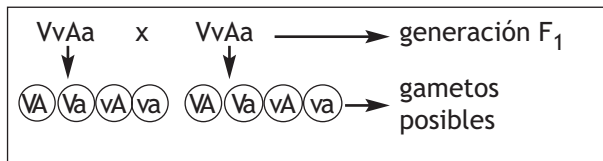
Obtención de la F₁:

plantas de sandías color verde liso y alargadas: VvAa

plantas de sandías color a rayas y achatadas: vvAA



Obtención de la F₂:



Para obtener la F₂ construimos un tablero de Punnet:

	VA	Va	vA	va
VA	VVAA	VVAa	VvAA	VvAa
Va	VVAa	VVaa	VvAa	Vvaa
vA	VvAA	VvAa	vvAA	vvAa
va	VvAa	Vvaa	vvAa	vvaa

Fenotipos:

VA (color verde liso y achatadas): 9/16

Vaa (color verde liso y alargadas): 3/16

vvA (color a rayas y achatadas): 3/16

vvaa (color a rayas y alargadas): 1/16

3 Ejemplos de herencia mendeliana

Actividades "LOS ÁRBOLES GENEALÓGICOS"

En la figura adjunta se presenta un árbol genealógico de una familia en que se presenta la sordomudez. Estúdialo y razona qué se puede predecir sobre la descendencia del matrimonio señalado en la fila III.

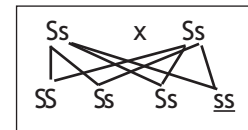


Soluciones:

Se ofrece una explicación de la utilidad de los árboles genealógicos en aquellas especies en las que se obtiene escasa descendencia en cada apareamiento.

Se plantea un problema concreto en un árbol genealógico: En el matrimonio de la fila III, la Sra. X es hija de un sordomudo, pero ella no es sordomuda. Esto no significa que no sea portadora del gen de la sordomudez, pues se trata de un alelo recesivo, como puede deducirse del matrimonio de la primera fila entre los individuos 3 y 4, que no siendo sordomudos ninguno de los dos, tienen dos hijos sordomudos, de donde se deduce que los dos individuos eran portadores del alelo de la sordomudez, aunque no se manifestara:

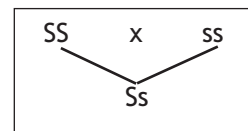
- Cruzamiento de la fila I entre los individuos 3 y 4:



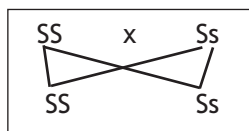
Los individuos 3 y 4 de la fila II se corresponden con el genotipo subrayado.

Como el individuo 2 de la fila II y el 1 de la fila III descienden de otras familias diferentes de las que no se dan noticias sobre la presencia de casos de sordomudez, hay que imaginar en principio que no serán portadores de dicho gen.

- Cruzamiento de la fila II entre los individuos 2 y 3:



— Cruzamiento de la fila III entre los individuos 1 y 2:



Por tanto, la descendencia del matrimonio problema no padecerá la sordomudez, pero hay un 50 % de probabilidades de que sean portadores del alelo de la sordomudez aunque no manifiesten el carácter.

Actividades pág. 242

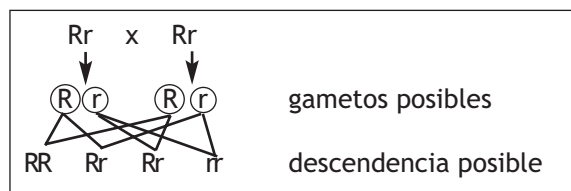
- a Un varón de cabello rizado se casó con una mujer también de pelo rizado. Tuvieron dos hijos: uno de pelo rizado y otro de pelo liso. Decir cuáles serán los genotipos de los padres y de los hijos.
- b Un cerdo con orejas peludas se cruza con dos cerdas, una de orejas desnudas y otra de orejas peludas. Del cruce con la cerda de orejas desnudas se obtiene un 50 % de la descendencia de orejas peludas y un 50 % de orejas desnudas. Predecir cómo será la descendencia del cruce con la cerda de orejas peludas.

Soluciones:

- a La aparición de descendencia con el carácter de pelo liso de unos padres que no presentan dicho carácter nos hace pensar que dicho carácter permanecerá oculto en los padres, por tanto, el alelo dominante para el tipo de pelo será el que determina el pelo rizado (R) y el alelo recesivo será el que determina el pelo liso (r).

Genotipo de los padres: Rr

Cruzamiento:

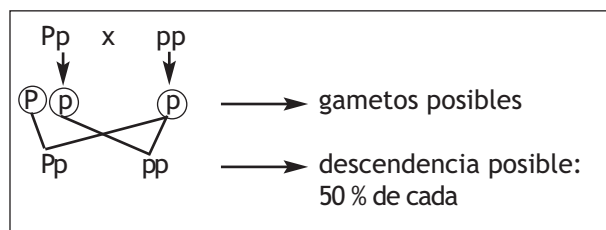


El hijo de pelo liso tendrá el genotipo rr.

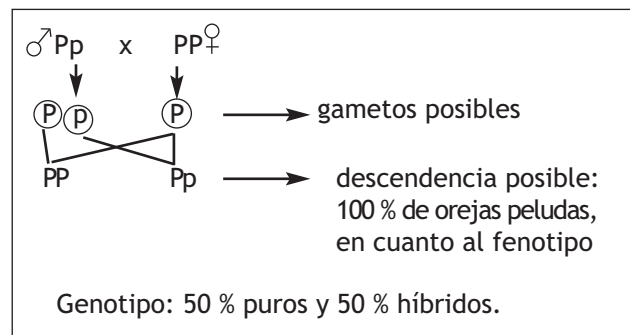
El hijo de pelo rizado puede tener cualquiera de los dos genotipos posibles para el cabello rizado que aparecen en la descendencia: RR o Rr.

- b Del cruce entre el cerdo y la cerda de orejas desnudas de raza pura se obtiene un 50 % de cada tipo en la descendencia, lo cual nos hace pensar que estamos ante un caso similar al del cruzamiento prueba. Sabemos, por el cuadro de ejemplos de herencia mendeliana en los ani-

males, que el alelo para la oveja peluda domina sobre el alelo para la oveja desnuda. Por tanto:



Cruzamiento del mismo cerdo con la cerda de orejas peludas de raza pura:



4 Ligamiento y recombinación cromosómicos

Actividades pág. 245

- a Los granos de maíz pueden ser coloreados o blancos, lisos o rugosos. Cada una de estas características está determinada por un par de genes situados en el mismo cromosoma. Al cruzar una cepa homocigótica coloreada y rugosa (CCss) con una cepa homocigótica blanca y lisa (ccSS) se obtiene una F_1 coloreada y lisa. Se hace un cruzamiento prueba de esta F_1 con una cepa blanca y rugosa y se obtiene una F_2 con los siguientes caracteres: 21.370 plantas coloreadas y rugosas; 21.096 plantas blancas y lisas; 638 plantas coloreadas y lisas, y 672 plantas blancas y rugosas. ¿Qué frecuencia de recombinación existe entre estos dos genes?
- b Dados dos genes ligados con un 20 % de recombinación, determina los genotipos y su proporción en la descendencia del siguiente cruzamiento: $AB/ab \times ab/ab$ (la notación " AB/ab " significa que un cromosoma homólogo tiene los dos alelos dominantes y el otro cromosoma homólogo tiene los dos alelos recesivos; en el caso " ab/ab ", los dos cromosomas homólogos son idénticos en cuanto a esta dotación genética).

Soluciones:

- a Como en la generación P las plantas de granos coloreados eran rugosos (CCss) y las plantas de granos blancos eran lisos (ccSS), las formas recombinantes de la F₂ serán las de granos coloreados y lisos y las de granos blancos y rugosos. Por tanto:

frecuencia de recombinación (p) =

$$= \frac{\text{N.º de recombinantes}}{\text{N.º total}} =$$
$$= \frac{638 + 672}{21.370 + 21.096 + 638 + 672} = 0,03$$

b

$$\begin{array}{ccc} AB/ab & \times & ab/ab \\ \downarrow & & \downarrow \\ (AB)(ab)(Ab)(aB) & & (ab) \end{array}$$

Se señalan los diferentes tipos de gametos que pueden producir los progenitores. En el caso del progenitor heterocigótico, los gametos (Ab) y (aB) son recombinantes, pues presentan alelos tomados de cromosomas diferentes. Por tanto, los individuos formados a partir de dichos gametos serán también recombinantes.

En un tablero de Punnet efectuaremos el cruzamiento indicado, colocando junto a cada gameto la frecuencia con que se presentan, obteniéndose directamente por multiplicación de frecuencias, la proporción en que se presenta cada clase genotípica.

Como nos dice el enunciado que hay un 20 % de recombinación entre los dos genes, eso significa que el 20 % de los gametos producidos por el heterocigótico, serán recombinantes, y el 80 % sin recombinar. Estos porcentajes habrá que repartirlos entre los dos tipos de recombinantes y los dos tipos de no recombinantes:

	0,4 AB	0,4 ab	0,1 Ab	0,1 aB
1 ab	0,4 AB/ab	0,4 ab/ab	0,1 Ab/ab	0,1 aB/ab

5 Herencia y sexo

Actividades pág. 247

- a En los invertebrados, el mecanismo de determinación del sexo es muy variado. En la mosca *Drosophila*, los machos son XY, pero el cromosoma Y es más grande que el X; en las arañas, hay varias parejas de cromosomas sexuales; en las abejas y hormigas, los machos tienen la mitad de

cromosomas (número haploide) que las hembras (número diploide), y no se aprecia diferencia entre cromosomas sexuales y autosomas. Observa el esquema explicativo de este último caso en la figura 25 y trata de explicar la ventaja que puede suponer para estos insectos el hecho de que con este mecanismo los sexos no se distribuyan automáticamente al 50 %.

Solución:

Abejas, hormigas, avispas y demás insectos sociales, viven en poblaciones en las que una sola hembra fértil pone miles de huevos de los que aparecen diferentes tipos de individuos según las necesidades de la población: hembras fértiles (reinas), hembras estériles (obreras), machos fértiles o machos estériles (soldados). Por eso, el mecanismo de distribución de sexos no ha de centrarse en la igualdad de frecuencias de los dos sexos, sino en la posibilidad de variar dicha frecuencia teniendo en cuenta las necesidades de la población. Si la población necesita más hembras, la reina pondrá más huevos fecundados, y si necesita más machos, podrán más huevos sin fecundar (el que machos y hembras sean fértiles o no, depende de la alimentación que se suministre a las larvas en desarrollo). En el caso de abejas y avispas, el mecanismo por el que la reina consigue que los huevos puestos sean fecundados o no, consiste en la elección de la celdilla donde se depositan los huevos: si la celdilla es estrecha, al introducir el abdomen en ella, las paredes de la celdilla presionarán sobre él y la bolsa donde se reservan los espermatozoides depositados por el macho en el apareamiento liberará espermatozoides para fecundar al óvulo durante su salida; si la celdilla es ancha, la hembra deposita su óvulo en la celdilla sin que sea fecundado, pues no es presionada la bolsa donde se reservan los espermatozoides.

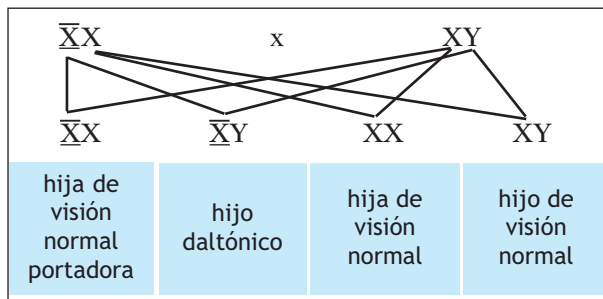
6 Herencia ligada al sexo

Actividades pág. 249

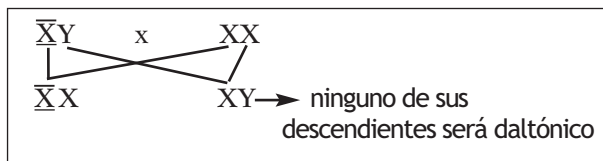
- a Dos personas con visión normal tienen una hija con visión normal y un hijo daltónico. Si cada uno de estos individuos de la primera generación filial forma una familia con otra persona de visión normal, ¿en cuál de las dos familias hay probabilidades de que aparezcan hijos con daltonismo? Justifica la respuesta.
- b Si una mujer cuyo padre sufre de hemofilia se casa con un hombre normal, ¿cuál es la probabilidad de que los hijos de este matrimonio sean hemofílicos?

Soluciones:

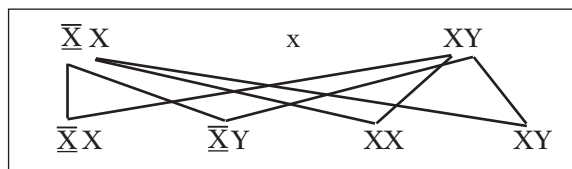
- a Si aparece un caso con daltonismo es porque su madre es portadora del alelo responsable:



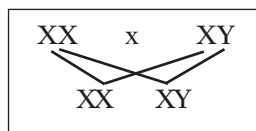
Veamos primero la descendencia del hijo daltónico:



En cuanto a la hija, no sabemos si es portadora o no del daltonismo, pues en los dos casos tendría visión normal. Pero según el cruzamiento correspondiente a sus padres, la probabilidad de que sea portadora es del 50 % (se obtiene una hija portadora por cada hija no portadora). Veremos los dos casos por separado y multiplicaremos la probabilidad de cada caso por 0,5:



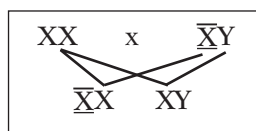
25 % de hijos daltónicos, por tanto: $25 \times 0,5 = 12,5$ % de probabilidad de que la hija tenga un hijo daltónico.



No aparecen hijos daltónicos.

En resumen, hay un 12,5 % de probabilidad de que la hija tenga hijos daltónicos.

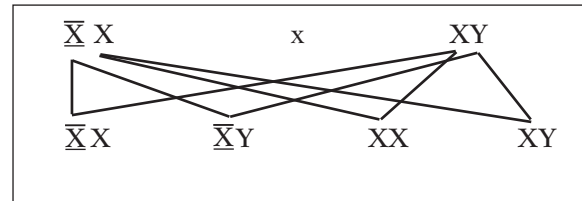
- b El cruzamiento de los padres de la mujer sería:



En este cruzamiento hemos interpretado que la madre de la mujer no es portadora de la hemofilia, pues tratán-

dose de un defecto genético que se da en muy baja frecuencia, a no ser que se nos dé un indicio de su presencia, hay que suponerlo ausente.

Así pues, la mujer del enunciado del problema es portadora del gen de la hemofilia, y por tanto su descendencia:



Aparece un varón hemofílico entre los cuatro posibles genotipos de la descendencia. Probabilidad: 25 %.

B. ACTIVIDADES DE AUTOEVALUACIÓN

- Señala cuáles de las siguientes frases son verdaderas o falsas, y justifica tu respuesta:
 - Los genes fueron observados por primera vez por Gregor Mendel.
 - Morgan fue el primero que afirmó que los genes se encontraba en los cromosomas.
 - Los genes están compuestos químicamente de proteínas.
 - Mendel publicó sus estudios sobre la genética del guisante en 1866.
 - Los alelos son genes que están presentes en distinta cromosoma.
 - Los alelos son genes que están presentes en distinta célula.
 - Los alelos son genes que determinan el color de los ojos.
 - Los alelos son genes que determinan un mismo carácter pero de diferente manera.
 - En la llamada herencia dominante, solamente se manifiesta uno de los dos alelos diferentes presentes en un individuo.

Solución:

- Los genes.... FALSO, ya que Mendel dedujo su existencia, pero ni los visualizó ni supo cuál era su naturaleza.
- Morgan... VERDADERO
- Los genes... FALSO, porque son fragmentos de DNA.

- d. Mendel... VERDADERO
- e. Los alelos... cromosoma. FALSO, porque es incompleto, ya que muchos genes que están en diferente cromosoma no son alelos entre sí.
- f. Los alelos... célula. FALSO, no todos los genes que están en distinta célula son alelos entre sí.
- g. Los alelos... ojos. FALSO, eso es simplemente un ejemplo de los que se han ofrecido en el tema.
- h. Los alelos... manera. VERDADERO
- i. En la llamada... VERDADERO.

- 2** Una vaca de pelo rojo, de raza pura, se cruza con un toro de pelo negro cuyos padres tienen pelo negro uno de ellos y pelo rojo el otro. ¿Cuál es el genotipo de los animales que se cruzan? ¿Y el fenotipo de la descendencia?

Solución:

El toro de pelo negro tiene un progenitor de pelo negro y otro de pelo rojo, por tanto, en principio podemos pensar que el alelo para el color negro domina sobre el alelo para el color rojo.

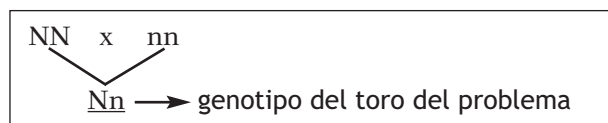
Asignemos letras a los alelos: Negro: N; rojo: n

Los animales de pelo rojo sólo pueden tener como genotipo: nn

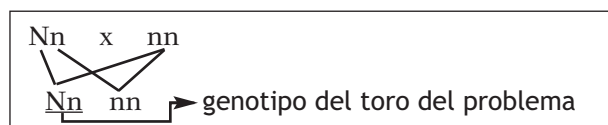
Los de pelo negro pueden ser puros o híbridos: NN o Nn

Progenitores del toro del problema:

– Primer caso:



– Segundo caso:



Animales que se cruzan:



- Genotipo de los animales que se cruzan: toro Nn, vaca nn.
- Fenotipo de la descendencia: 50 % de pelo negro y 50 % de pelo rojo.

- 3** Un hombre de cabello rizado y miope y una mujer también de pelo rizado pero de visión normal, tuvieron dos hijos: uno de pelo rizado y miope, y otro de pelo rizado y visión normal. Decir los genotipos de los padres y de la descendencia.

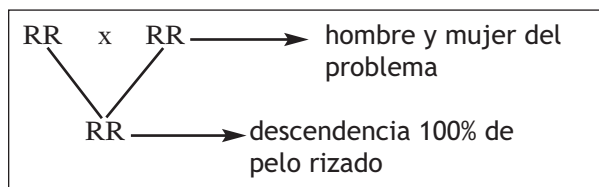
Solución:

Como según la tercera ley de Mendel los genes se heredan de forma independiente unos de otros, podemos hacer por separado el razonamiento para cada uno de los caracteres.

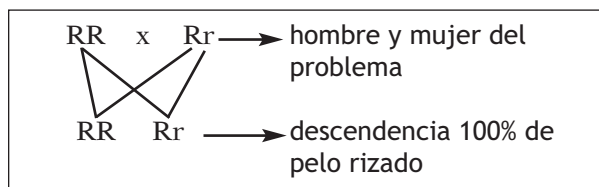
- Para el tipo de pelo:

Según el cuadro de caracteres mendelianos en la especie humana, el cabello rizado domina sobre el liso. Luego el hombre y la mujer que se cruzan pueden tener de genotipo RR o Rr. En los dos casos pueden tener descendencia de pelo rizado, como indica el problema:

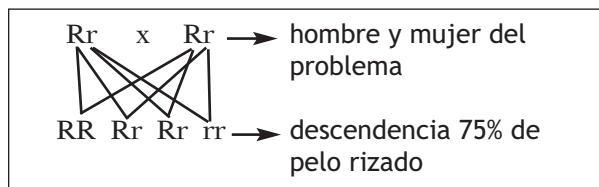
– primer caso:



– segundo caso:



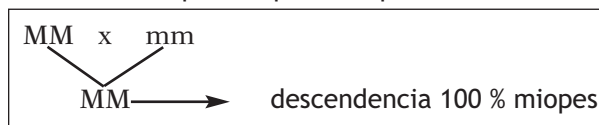
– tercer caso:



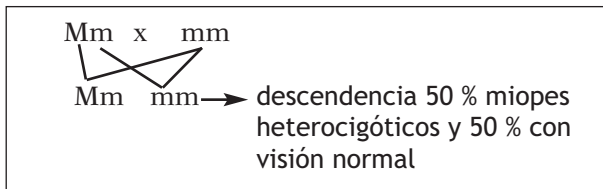
- Para el tipo de visión.

En el cuadro de caracteres mendelianos se dice que la miopía domina sobre la visión normal. Por tanto:

- Varón miope: MM o Mm
- Mujer de visión normal: mm
- Descendencia para el primer tipo de varón:



Como en el enunciado del problema se dice que tienen un hijo con visión normal, se desecha esta posibilidad. Por tanto, contemplamos cómo será la descendencia para el segundo tipo de varón:



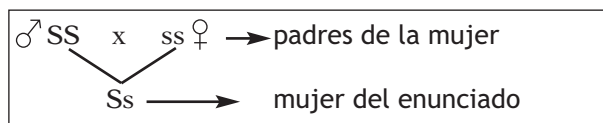
- Genotipo de los padres:
padre: RRMm o bien RrMm
madre: RRmm o bien Rrmm
- Genotipo de la descendencia:
hijo miope: RRMm o bien RrMm
hijo con visión normal: RRmm o bien Rrmm

- 4** Un varón sordomudo se casa con una mujer normal para dicho carácter. La madre de la mujer era sordomuda y el padre normal. Del matrimonio nace un hijo normal. Razona como será el genotipo de todos los individuos citados.

Solución:

Según el cuadro de caracteres mendelianos en la especie humana, la sordomudez es recesiva respecto al carácter normal. Por tanto, el varón sordomudo tendrá como genotipo ss. Mientras que la mujer puede ser pura o híbrida (SS o bien Ss).

Pero se dice que la madre de la mujer era sordomuda, por tanto ella ha de ser híbrida, según se deduce del siguiente cruzamiento:



Obtención de la descendencia del matrimonio indicado en el problema:



De los genotipos que aparecen en la descendencia, el que responde al fenotipo normal es Ss, y por tanto éste será el genotipo del hijo.

- 5** Un cruzamiento entre dos plantas de calabaza con frutos blancos ha dado en la siguiente generación: 38 plantas con calabazas blancas y 14 plantas con calabazas

amarillas. ¿Cuáles son los genotipos de las plantas progenitoras?

Solución:

Obtenemos la proporción en que se presentan los caracteres en la descendencia:

calabazas blancas: 38/(38+14), 3/4

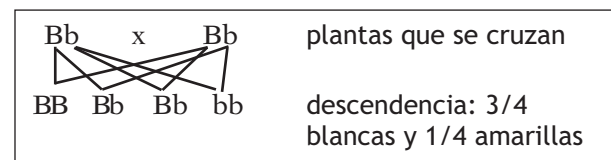
calabazas amarillas: 14/(38+14), 1/4

Estas proporciones son las propias de un cruzamiento entre híbridos como los de los experimentos de Mendel:

color blanco: B; color amarillo: b

plantas de calabaza blanca: BB y Bb; plantas de calabaza amarilla: bb.

Cruzamiento:

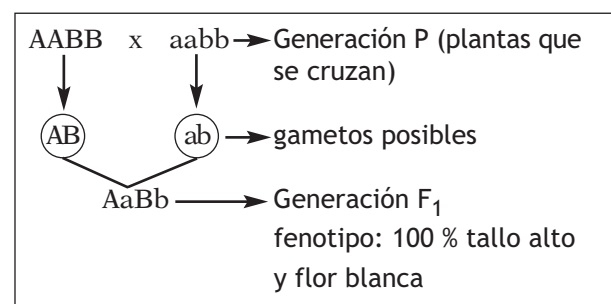


- 6** Se cruzaron plantas puras de guisante con longitud de tallo alto y flor blanca con plantas de longitud de tallo enano y flor roja. Sabiendo que el carácter de tallo alto es dominante sobre el tallo enano y la flor blanca es dominante sobre la roja, predecir como será el fenotipo de la F₁ y de la F₂.

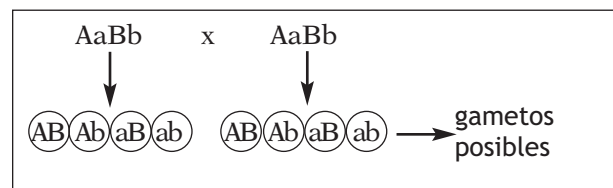
Solución:

Asignamos letras a los alelos: Tallo alto: A; tallo enano: a; flor blanca: B; flor roja: b

Obtención de la generación F₂:



Construimos un tablero de Punnet:



	AB	Ab	aB	ab
AB	AABB	AABb	AaBB	AaBb
Ab	AABb	AAbb	AaBb	Aabb
aB	AaBB	AaBb	aaBB	aaBb
ab	AaBb	Aabb	aaBb	aabb

Fenotipos: Tallo alto, flor blanca (AB): 9/16

Tallo alto, flor roja (Abb): 3/16

Tallo enano, flor blanca (aaB): 3/16

Tallo enano, flor roja (aabb): 1/16

- 7** En la mosca del vinagre, el tipo normal dominante presenta el cuerpo gris y las alas normales, existiendo formas mutantes de tipo recesivo con el cuerpo negro y las alas vestigiales. Al cruzar dos moscas dihíbridas de caracteres normales, se obtienen 324 individuos. Predecir cuántos serán de cada clase fenotípica.

Solución:

Asignamos letras a los alelos: Cuerpo gris: G; cuerpo negro: g; alas normales: V; alas vestigiales: v.

Las moscas dihíbridas de caracteres normales tendrán como genotipo: GgVv

Por tanto estamos en un caso de aplicación directa de la tercera ley de Mendel, como en el problema anterior. Al realizar el cruzamiento con el tablero de Punnett, obtendremos las siguientes frecuencias fenotípicas en la descendencia:

Cuerpo gris, alas normales (GV): 9/16

Cuerpo gris, alas vestigiales (Gvv): 3/16

Cuerpo negro, alas normales (ggV): 3/16

Cuerpo negro, alas vestigiales (ggvv): 1/16

Multiplicando la frecuencia de cada fenotipo por el número total de descendientes, obtendremos el número aproximado de cada clase fenotípica:

$324 \times 9/16 = 182$ moscas de cuerpo gris y alas normales

$324 \times 3/16 = 61$ moscas de cuerpo gris y alas vestigiales

$324 \times 3/16 = 61$ moscas de cuerpo negro y alas normales

$324 \times 1/16 = 20$ moscas de cuerpo negro y alas vestigiales

- 8** En el ganado bovino, la falta de cuernos C, domina sobre la presencia de cuernos c. Un toro sin cuernos se cruza con tres vacas:

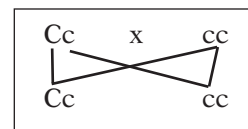
- La vaca 1, que tiene cuernos, pare un ternero con cuernos.

- La vaca 2, que tiene cuernos, pare un ternero sin cuernos.
- La vaca 3, que no tiene cuernos, pare un ternero con cuernos.

Indica cuál es el genotipo de las vacas, del toro y de los terneros que se citan en los cruzamientos.

Solución:

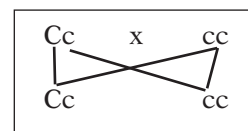
Primer cruzamiento. Como en la descendencia aparece un ternero con carácter recesivo (con cuernos) es lógico pensar que el toro tiene el factor para ese carácter, aunque permanezca oculto: genotipo del toro: Cc; genotipo de la vaca 1: cc; cruzamiento:



El 50 % de la descendencia puede tener cuernos, que es el carácter que presenta el ternero del planteamiento del problema.

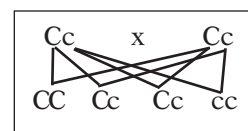
Segundo cruzamiento. Ya sabemos el genotipo del toro, que es el mismo del anterior cruzamiento, y también el de la vaca, pues presenta el carácter recesivo:

genotipo del toro: Cc; genotipo de la vaca 2: cc; cruzamiento:



El 50 % de la descendencia puede no tener cuernos, que es el carácter que presenta el ternero del planteamiento del problema.

Tercer cruzamiento. Ya sabemos que el toro es heterocigótico; si en la descendencia aparece un ternero con carácter recesivo, la vaca también ha de ser heterocigótica: genotipo del toro: Cc; genotipo de la vaca 3: Cc; cruzamiento:



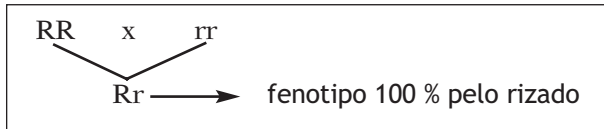
El 25 % de la descendencia puede tener cuernos, que es el carácter que presenta el ternero del planteamiento del problema.

- 9** Un cruzamiento entre un cobaya de pelo rizado y otro de pelo liso ha dado ocho crías todas de pelo rizado. En otro cruzamiento entre un cobaya de pelo rizado con otro de pelo liso se han obtenido seis crías de pe-

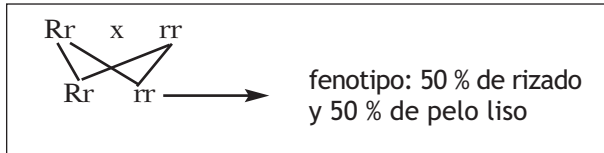
lo rizado y una de pelo liso. ¿Cuál es el genotipo de los padres en los dos casos?

Solución:

En el primer cruzamiento, la distribución de fenotipos en los animales que se cruzan y en la descendencia coincide con lo estudiado en la primera ley de Mendel, por tanto los dos progenitores serán homocigóticos. Adjudicando la letra R al alelo para el pelo rizado y la letra r al alelo para el pelo liso, el cruzamiento sería el siguiente:



En el segundo cruzamiento, la distribución de fenotipos en la descendencia se aparta de las propias de las leyes de Mendel, pero en todo caso, aparecen los dos tipos de fenotipos, lo cual sólo es posible si el progenitor de carácter dominante es heterocigótico; el cruzamiento sería el siguiente:



Recuérdese que las frecuencias teóricas solamente coinciden con las reales cuando la descendencia es muy numerosa.

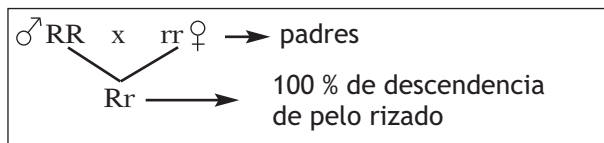
- 10** El pelo rizado en los perros domina sobre el pelo liso. Una pareja de pelo rizado tuvo un cachorro de pelo también rizado, del que se quiere saber si es heterocigótico. ¿Con qué tipo de hembras tendrá que cruzarse? Razónese dicho cruzamiento.

Solución:

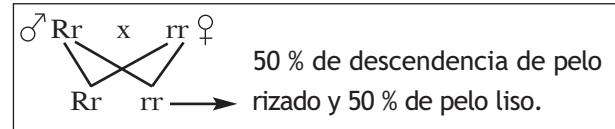
El planteamiento del problema coincide con lo explicado sobre la prueba del retrocruzamiento, por tanto, habrá que cruzar el individuo problema con una perra de carácter recesivo, es decir, de pelo liso.

Si el perro es homocigótico, toda la descendencia tendrá el pelo rizado:

R: pelo rizado; r: pelo liso



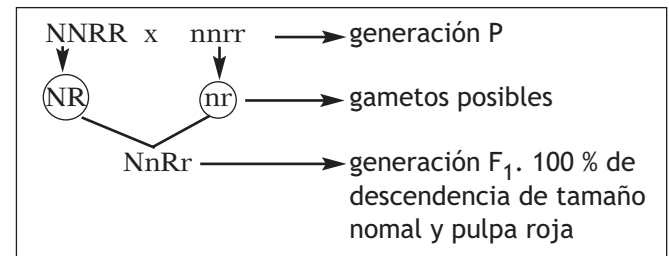
Si el perro es heterocigótico, habrá un 50 % de probabilidad para cada tipo de descendencia, con lo cual es muy probable que aparezcan cachorros con los dos caracteres:



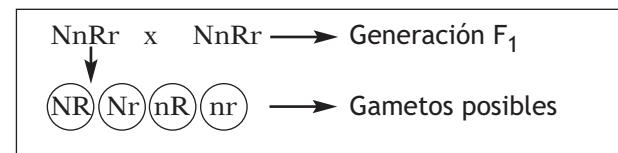
- 11** Un agricultor pretende obtener una variedad de plantas de tomate de tallo enano y fruto con pulpa de color rojo. Para hacerlo, cruza una planta de tamaño normal y fruto con pulpa de color rojo, homocigótica dominante para los dos caracteres, con otra planta de tamaño enano y fruto con pulpa de color amarillo, homocigótica recesiva para los dos caracteres. ¿Conseguirá obtener dicha variedad? ¿En qué generación se producirá? ¿Con qué proporción aparecerá?

Solución:

Tamaño normal: N; tamaño enano: n; pulpa de color rojo: R; pulpa de color amarillo: r



Segundo cruzamiento:



Hacemos el cruzamiento con el tablero de Punnett:

	NR	Nr	nR	nr
NR	NNRR	NNRr	NnRR	NnRr
Nr	NNRr	NNrr	NnRr	Nnrr
nR	NnRR	NnRr	<u>nnRR</u>	<u>nnRr</u>
nr	NnRr	Nnrr	<u>nnRr</u>	nnrr

Observamos en la descendencia 3/16 de individuos de tamaño enano y pulpa roja, que es el fenotipo deseado; se trata de los genotipos subrayados: nnRR y dos de nnRr.

Respuesta: Se obtiene el fenotipo deseado en la 2ª generación filial y en una proporción de 3/16 de la descendencia.

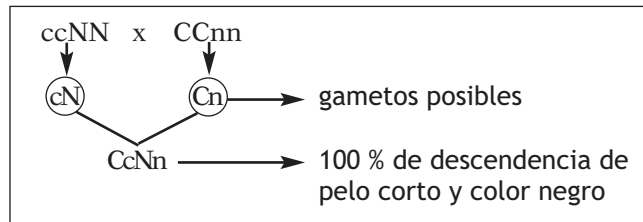
- 12** El pelo corto de los gatos siameses domina sobre el pelo largo de los gatos persas, pero el color negro de estos gatos persas domina sobre el rojizo de los gatos sia-

meses. Si cruzamos un ejemplar de gato persa con uno siamés, los dos de raza pura para los caracteres que hemos considerado, ¿Qué aspecto tendrían los animales obtenidos en la F_1 ? Si dos de estos animales de la F_1 se cruzaran, ¿qué probabilidad habría de obtener un gato de pelo largo y rojizo?

Solución:

Pelo corto: C; pelo largo: c; pelo negro: N; pelo rojo: n.
Gato persa puro: ccNN; gato siamés puro: CCnn.

Obtención de la generación F_1 :



Obtención de la generación F_2 : CcNn x CcNn

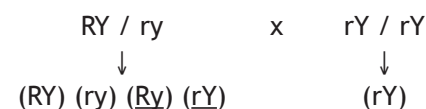
	CN	Cn	cN	cn
CN	CCNN	CCNn	CcNN	CcNn
Cn	CCNn	CCnn	CcNn	Ccnn
cN	CcNN	CcNn	ccNN	ccNn
cn	CcNn	CcNn	ccNn	<u>ccnn</u>

Sólo hay 1/16 de probabilidad de obtener gatos de pelo largo y color rojizo (genotipo subrayado).

- 13** En el maíz, la aleurona coloreada (R) es dominante sobre la incolora (r) y el color amarillo de las plantas (Y) es recesivo respecto al verde (Y). Si los dos genes se encuentran en el mismo cromosoma y la frecuencia de recombinación es 0,2, ¿qué fenotipos, y en qué proporciones, se esperan en un cruzamiento de plantas RY/ry con plantas homocigóticas de aleurona incolora y verdes?

Solución:

Las plantas homocigóticas de aleurona incoloras y verdes presentarán el genotipo rY / rY.



Los gametos subrayados son los recombinantes. Efectuamos el cruzamiento con un tablero de Punnett en que se indique la frecuencia con que se presentará cada tipo de gameto, teniendo en cuenta que el total de recombinantes tiene una frecuencia de 0,2. Junto con cada genoti-

po de la descendencia, obtenemos directamente la frecuencia con que se presenta:

	0,4 RY	0,4 ry	0,1 Ry	0,1 rY
1 rY	0,4 RY/rY	0,4 ry/rY	0,1 Ry/rY	0,1 rY/rY

0'4 RY / rY: 40 % de plantas de aleurona coloreada y planta verde.

0'4 ry / rY: 40 % de plantas de aleurona incolora y planta verde.

0'1 Ry / rY: 10 % de plantas de aleurona coloreada y planta verde.

0'1 rY / rY: 10 % de plantas de aleurona incolora y planta verde.

$$p = \frac{26 + 23}{26 + 144 + 157 + 23} = \frac{49}{350} = 0,14 \text{ de frecuencia de recombinación (14 \%)}$$

En resumen, 50 % de individuos de aleurona coloreada y color de la planta verde, y 50 % de individuos de aleurona incolora y color de la planta verde.

- 14** En los conejos, el alelo para la piel moteada es dominante sobre el alelo para color uniforme, y el alelo para pelo corto es dominante sobre el alelo para pelo largo. Se aparea una coneja de Angora de pelo largo y color uniforme con un conejo inglés moteado de pelo corto, y a continuación se efectúa el retrocruzamiento de los animales de la F_1 con la cepa de Angora de color uniforme. Si en la F_2 se obtienen 26 moteados de Angora, 144 de color uniforme de Angora, 157 moteados de pelo corto y 23 de color uniforme y pelo corto, ¿cuál es la frecuencia de recombinación entre ambos genes?

Solución:

Determinamos las letras para representar los diferentes alelos:

M: piel moteada.

m: color uniforme.

C: pelo corto.

c: pelo largo.

Representamos los cruces efectuados:

- Coneja de Angora, de pelo largo y color uniforme (se entiende que de raza pura): cm / cm.
- Conejo inglés, de pelo corto y moteado (de raza pura): CM / CM.

P: cm / cm x CM / CM

F₁: cm / CM

Retrocruzamiento:

cm / CM x cm / cm

↓ ↓

(cm) (CM) (cM) (Cm) (cm)

Los gametos subrayados son los recombinantes.

Los genotipos subrayados son los recombinantes, que corresponden a los fenotipos:

cM/cm: pelo largo, color moteado.

Cm/cm: pelo corto, color uniforme.

El enunciado del problema nos da el número de descendientes de cada clase fenotípica. Realizamos el cociente entre el número de recombinantes y el número total de descendientes:

$$P = \frac{26 + 23}{144 + 157 + 26 + 23} = \frac{49}{350} = 0,14$$

O también, 14 % de recombinación.

- 15** La ceguera para los colores se debe a un gen recesivo situado en el cromosoma X. Dos personas con visión normal tienen cuatro hijos: la primera es una hija con visión normal que tiene tres hijos, dos de ellos con ceguera para los colores; la segunda es una hija con visión normal que tiene cinco hijos, todos con visión normal; el tercero es un hijo con ceguera para los colores que tiene dos hijos, todos con visión normal; el cuarto es un hijo con visión normal que tiene cuatro hijos, todos con visión normal. ¿Cuáles son los genotipos probables de los progenitores originales, los hijos, las esposas de los hijos y de los nietos?

Solución:

Los progenitores originales tienen un hijo con ceguera para los colores, luego la madre es portadora del gen recesivo para la ceguera de los colores, que representaremos por X, según el cruzamiento:

progenitores originales:

XX x XY

hijos: (1)XX (2)XX (3)XY (4)XY

(1) es la primera hija, pues tiene visión normal (el gen para la ceguera de los colores es recesivo) y tiene dos hijos con ceguera para los colores. Hemos de suponer al padre de sus hijos como genéticamente normal, pues no siendo de la familia de los progenitores originales, y no dándose ningún otro indicio de que portara el gen, te-

niendo en cuenta que se trata de un gen de escasa frecuencia en nuestra especie, en principio se supone que el individuo no lo presentará. Por tanto, el cruzamiento entre la primera hija y su marido será igual que el representado anteriormente; los hijos daltónicos serán del tipo (3), y el hijo con visión normal será de tipo (4).

(2) es la hija con visión normal que tiene cinco hijos también con visión normal, pues si fuera portadora, la probabilidad de tener cinco hijos varones y ninguno de ellos daltónico es muy baja, por tanto hay que suponer que se trata de una mujer no portadora.

(3) es el hijo con ceguera para los colores, y si la madre de sus hijos no es portadora del gen estudiado, lo cual hemos de suponer, por no ser de la familia y tratarse de un gen con escasa frecuencia en la especie, los hijos serán genéticamente normales, pues el padre no pasa el cromosoma X a los hijos varones:

Hijo (3) y su mujer:

XY x XX

nietos: (a)XX (b)XX (c)XY (d)XY

Los hijos nacidos serían del tipo (c) o (d) indistintamente, y si hubieran tenido hijas, habrían sido portadoras del gen (a y b).

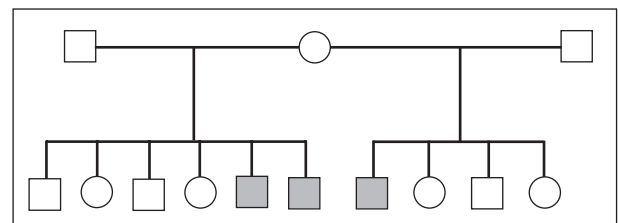
(4) es el hijo con visión normal, y la madre de sus hijos, que tienen visión normal, tendrá que ser no portadora, pues sería ella la que transmitiera a los hijos el daltonismo.

Los cruzamientos para la hija (2) y el hijo (4) con sus respectivos cónyuges serían:

XX x XY

XX XY XX XY

- 16** El siguiente árbol genealógico representa la herencia de la distrofia muscular (símbolos sombreados) en una familia formada por dos matrimonios consecutivos de una misma mujer. Describe qué tipo de gen es responsable de dicho defecto: dominante o recesivo, ligado al sexo o autosómico.

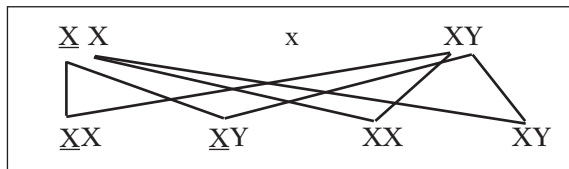


Solución:

Respecto de la cuestión de si es dominante o recesivo, hay que advertir que el carácter aparece en la descendencia sin que sea patente en los progenitores, o sea,

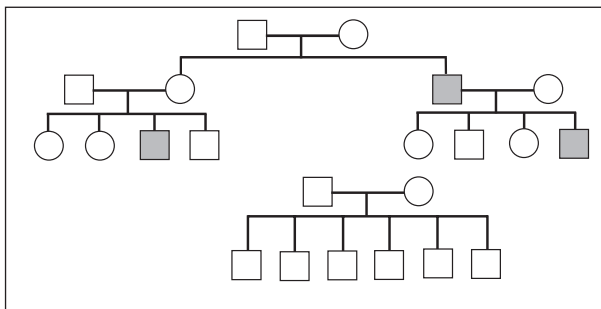
que el alelo correspondiente permanecía oculto en la generación paterna, luego se trata de un gen recesivo.

Respecto de la cuestión de si es ligado al sexo o autosómico, hay que advertir que el defecto sólo aparece en los varones de la 2ª generación, y que el elemento común a los dos cruzamientos es la mujer, de quien se debe suponer que es la transmisora, pues tratándose de un defecto genético poco frecuente, es poco probable que dos varones de la 1ª generación, no emparentados, lo presenten. Por tanto, parece tratarse de un gen recesivo presente en el cromosoma X de la madre, que se trasmite según el siguiente mecanismo:



Siendo $\underline{X}X$ y XX los genotipos correspondientes a las mujeres representadas por símbolos no sombreadas de la 2ª generación, $\underline{X}Y$ el genotipo de los varones representados por símbolos sombreados de la 2ª generación y XY el genotipo de los varones representados por símbolos no sombreados de la 2ª generación.

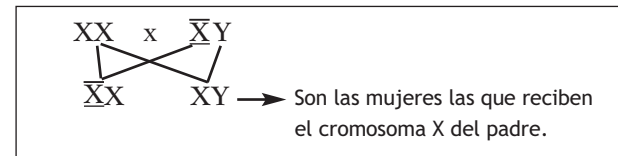
- 17** El siguiente árbol genealógico representa la herencia de un carácter poco frecuente (símbolos sombreados). Interpreta si se trata de un gen recesivo ligado al sexo o de un gen autosómico dominante que sólo se expresa en los varones.



Solución:

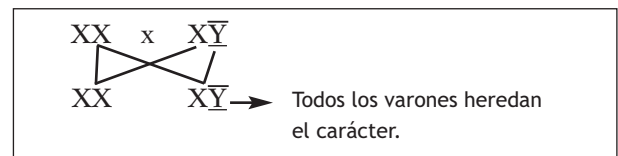
Veamos si puede tratarse de un gen recesivo ligado al sexo.

Para eso nos fijamos en el cruzamiento de la 1ª generación de la parte derecha del árbol genealógico. Un varón trasmite el carácter a un hijo varón. Por tanto no puede tratarse de un gen presente en el cromosoma X.



Tampoco es probable que el gen esté presente en un cromosoma X de la mujer que participa en el cruzamiento, pues como hemos dicho en el problema anterior, tratándose de un problema genético poco frecuente, hay pocas probabilidades de que se dé a la vez en dos personas no emparentadas.

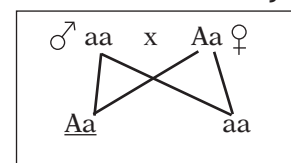
También hemos de desechar que se trate de un gen ligado al cromosoma Y, porque en el cruzamiento que consideramos aparece un hijo varón que no hereda el carácter, cosa imposible en el caso de un gen presente en el cromosoma Y.



También en el cruzamiento de 1ª generación de la parte izquierda se ve imposibilitado, pues ni el padre ni uno de los hijos varones presenta el carácter en cuestión.

Sobre la posibilidad de que se trate de un gen autosómico dominante que sólo se exprese en varones, observamos lo siguiente:

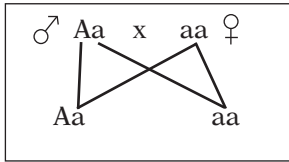
En el cruzamiento de la generación paterna, como el varón no presenta el carácter, tratándose de un gen dominante hay que pensar que es la mujer la portadora del gen y que se lo transmite a los dos hijos:



Siendo Aa el genotipo de los dos hijos, pero el carácter A sólo se manifiesta en el varón.

El cruzamiento de la izquierda se corresponde con el mismo que hemos escrito arriba, por lo que sólo el 50% de la descendencia hereda el gen A , lo cual explica que aparezca un varón con el carácter y otro sin el carácter; las mujeres aparecen las dos sin el carácter genético en cuestión, pues suponemos que solamente se manifiesta en varones.

El cruzamiento de la derecha en la 1ª generación filial se correspondería al siguiente:



El 50% de la descendencia hereda el gen, pero solamente se manifiesta en los varones, lo cual explica que las dos mujeres de la siguiente generación no manifiestan el carácter y que sí lo haga uno de los dos hijos varones y no el otro.

El cruzamiento de 2ª generación filial ninguno de los hijos varones hereda el carácter, lo que nos hace pensar que la mujer que se cruza corresponde al 50% de los posibles hijos del cruzamiento anterior que no ha heredado el carácter.

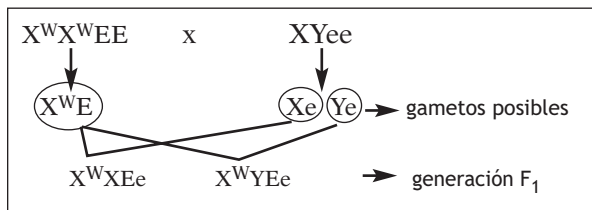
Por tanto, todos los datos que ofrece el árbol genealógico son compatibles con el hecho de que se trate de un gen autosómico dominante que solo se expresa en las varones.

18 El color de los ojos de tipo salvaje de *Drosophila* es rojo, y existe una mutación de ojos blancos (*w*). El gen para el color de los ojos se halla situado en el cromosoma X. El color del cuerpo se rige por un gen autosómico, y la mutación de cuerpo negro (*e*) es recesiva respecto al color salvaje. Realiza un cruzamiento entre una hembra homocigótica de ojos blancos y cuerpo normal y un macho homocigótico de ojos normales y cuerpo negro, determinando las proporciones de los genotipos y fenotipos resultantes. Realiza a continuación un cruce $F_1 \times F_1$.

Solución:

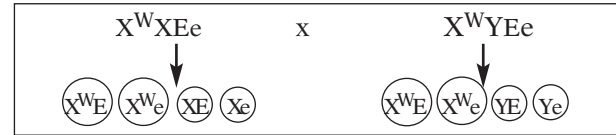
Se trata de hacer un cruzamiento entre individuos portadores de los caracteres independientes entre sí, uno de los cuales está ligado al cromosoma X. Los genotipos de los individuos que se cruzan serían los siguientes.

- hembra homocigótica de ojos blancos y cuerpo normal X^wX^wEE
- macho homocigótico de ojos rojos y cuerpo negro X^WYe



Fenotipos: 1/2 hembras de ojos rojos y cuerpo normal, 1/2 machos de ojos blancos y cuerpo normal

Realizamos ahora el cruce entre un macho y una hembra de la 1ª generación



El cruzamiento lo realizamos ayudados de un tablero de Punet:

	X^WE	X^we	X^YE	X^Ye
X^WE	X^WX^WEE	X^WX^wEe	X^WX^YE	X^WX^Ye
X^we	X^WX^wEe	X^WX^wee	X^WX^YE	X^WX^Ye
X^YE	X^WXYE	X^wXYE	X^YEE	X^Yee
X^Ye	X^WXYe	X^wXYe	X^Yee	X^Yee

Fenotipos:

- 3/16 de hembras con los ojos rojos y cuerpo normal ($X_E_$).
- 3/16 de hembras con los ojos blancos y cuerpo normal ($X^wX^wE_$).
- 1/16 de hembras con los ojos blancos y cuerpo negro (X^wX^wee).
- 1/16 de hembras con los ojos rojos y cuerpo negro (X_ee).
- 3/16 de machos con los ojos rojos y cuerpo normal ($X^Y_$).
- 3/16 de machos con los ojos blancos y cuerpo normal ($X^wY_$).
- 1/16 de machos con los ojos rojos y cuerpo negro (X^Yee).
- 1/16 de machos con los ojos blancos y cuerpo negro (X^wYee).

19 En *Drosophila*, las alas vestigiales (*v*) son recesivas con respecto a las alas normales (*V*), y los genes para este carácter no están en el cromosoma X. El cuerpo amarillo (*y*) es recesivo con respecto al color normal del cuerpo (*Y*), y este gen está ligado al sexo. Si una hembra homocigótica amarilla vestigial se cruza con un macho normal, ¿cuál será el aspecto de las progenies F_1 y F_2 ?

Solución:

alas vestigiales: *v*

alas normales: *V*

cuerpo amarillo: X^y

cuerpo color normal: X^Y

Cruzamiento propuesto:

$$vvX^YX^Y \quad \times \quad VVX^yX^y$$

$$F_1: \quad VvX^YX^y \quad \times \quad VvX^YX^y$$

Fenotipos: hembras de alas normales y cuerpo de color normal, y machos de alas normales y cuerpo amarillo

Cruzamiento entre los machos y hembras de la F_1 :

Óvulos: VX^Y , VX^y , vX^Y , vX^y

Espermatozoides: VX^Y , VY , vX^Y , vY

F₂:

	VX ^y	VX	vX ^y	vX
VX ^y	VVX ^y X ^y	VVX ^y X	VvX ^y X ^y	VvX ^y X
VY	VVX ^y Y	VVXY	VvX ^y Y	VvXY
vX ^y	VvX ^y X ^y	VvX ^y X	vvX ^y X ^y	vvX ^y X
vY	VvX ^y Y	VvXY	vvX ^y Y	vvXY

Fenotipos:

hembras:

3/8 (VX^yX^y) alas normales cuerpo amarillo

3/8 (VX^yX) alas normales cuerpo color normal

1/8 (vvX^yX^y) alas vestigiales cuerpo amarillo

1/8 (vvX^yX) alas vestigiales cuerpo color normal

machos:

3/8 (VX^yY) alas normales cuerpo amarillo

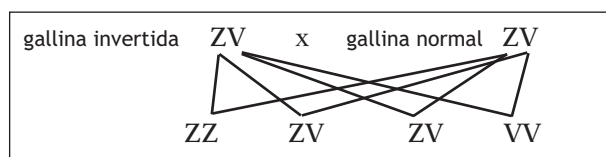
3/8 (VXY) alas normales cuerpo color normal

1/8 (vvX^yY) alas vestigiales cuerpo amarillo

1/8 (vvXY) alas vestigiales cuerpo color normal

- 20** Ocasionalmente, el ovario de una gallina no llega a desarrollarse o pierde su función y en su lugar se desarrollan testículos. Se sabe de "gallinas" de sexo invertido que han producido descendencia como gallos. ¿Qué tipo de progenie se espera cuando una gallina de sexo invertido se cruza con una gallina normal?. Si los huevos VV no se desarrollan, ¿cuál será la progenie de los sexos?

Solución:



Fenotipos: 1/3 gallos (ZZ)
2/3 gallinas (ZV)

- 21** En el pepinillo del diablo, las plantas monoicas (hermafroditas) son clasificadas en la variedad elaterium, y las plantas dioicas (masculinas o femeninas) en la va-

riedad dioicum. ¿Qué clases de plantas, y en qué proporción, se pueden producir en los siguientes cruces:

hembra	x	macho
var. dioicum	x	var. elaterium
var. elaterium	x	var. elaterium
var. dioicum	x	var. dioicum

Solución:

Recordamos la distribución de alelos para los diferentes sexos del pepinillo del diablo:

Sexo	Genotipos
masculino	a ^D a ^d a ^D a ⁺
femenino	a ^d a ^d
plantas monoicas	a ⁺ a ⁺ a ⁺ a ^d

Para simplificar el problema, consideramos las plantas elaterium con el genotipo a⁺a⁺, y las plantas macho de variedad dioicum con el genotipo a^Da^d

Cruce 1:

$$\begin{array}{ccc} a^D a^d & \times & a^+ a^+ \\ & & a^+ a^d \end{array}$$

O sea, toda la descendencia de variedad elaterium.

Cruce 2:

$$\begin{array}{ccc} a^+ a^+ & \times & a^+ a^+ \\ & & a^+ a^+ \end{array}$$

O sea, toda la descendencia de variedad elaterium.

Cruce 3:

$$\begin{array}{ccc} a^D a^d & \times & a^D a^d \\ a^D a^d & & a^d a^d \end{array}$$

O sea, 50 % machos y 50 % hembras de la variedad dioicum.

LOS GENES Y SU FUNCIÓN

15

1. INTRODUCCIÓN

En el presente tema se estudian los mecanismos, a nivel molecular, que garantizan tanto la transmisión de los caracteres de una generación celular a la siguiente, como la expresión de los caracteres codificados en la molécula portadora del mensaje genético: el DNA.

Dilucidar cómo se llevan a cabo los complejos procesos que pasan de la composición química de los genes a la multiplicidad de caracteres del organismo, ha supuesto una rica y variada actividad investigadora. Por eso el desarrollo del presente tema incluye referencias a los principales hitos en el descubrimiento de estos mecanismos.

Concluye el tema intentando relacionar los conceptos adquiridos en él con aquellos que se adquirieron en el tema anterior, donde se estudian los efectos de la transmisión de los genes, sin hacer referencia a los mecanismos de acción de los mismos; o sea, lo que se ha dado en llamar Genética clásica.

La expresión de los caracteres genéticos es reducible a procesos metabólicos del tipo de los estudiados en los temas anteriores: anabolismo de ácidos nucleicos y proteínas. Por eso el presente tema enlaza también con los conceptos adquiridos en los temas 12 y 13.

2. TEMPORALIZACIÓN

El presente tema puede desarrollarse en siete sesiones. La evaluación del tema puede realizarse conjuntamente con el siguiente tema, sobre mutaciones y manipulaciones genéticas.

3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Describir las funciones de los ácidos nucleicos: replicación, transcripción y traducción.
2. Relacionar la estructura química de los ácidos nucleicos con sus mecanismos de acción.
3. Relacionar la replicación, transcripción y traducción con la transmisión de caracteres biológicos y con su expresión.
4. Relacionar la replicación, transcripción y traducción con el anabolismo heterótrofo de ácidos nucleicos y proteínas.
5. Comprender el carácter universal de los mecanismos de transmisión y expresión de los genes.
6. Conocer las principales diferencias que pueden darse en los mecanismos de transmisión y expresión genética en los diferentes modelos de organización de los organismos.

4. CONTENIDOS CONCEPTUALES

1. La replicación semiconservativa del DNA.
2. El mecanismo de la replicación.
 - Modo de acción de las DNAPolimerasas
 - Mecanismo de la replicación en procariotas
 - La replicación en eucariotas
 - Reparación del DNA
3. La expresión del mensaje genético.
4. El mecanismo de la transcripción.
 - La transcripción en procariotas
 - La transcripción en eucariotas
 - Diferencias entre la transcripción y la replicación
5. El mecanismo de la traducción.
 - El código genético
 - Biosíntesis de proteínas
 - Procesamiento de proteínas
6. Regulación de la expresión del mensaje genético.
7. Los genes y los caracteres del organismo.
 - Un gen - una enzima
 - El proteoma y la proteómica

5. SOLUCIONES Y COMENTARIOS

A. ACTIVIDADES VINCULADAS AL TEXTO

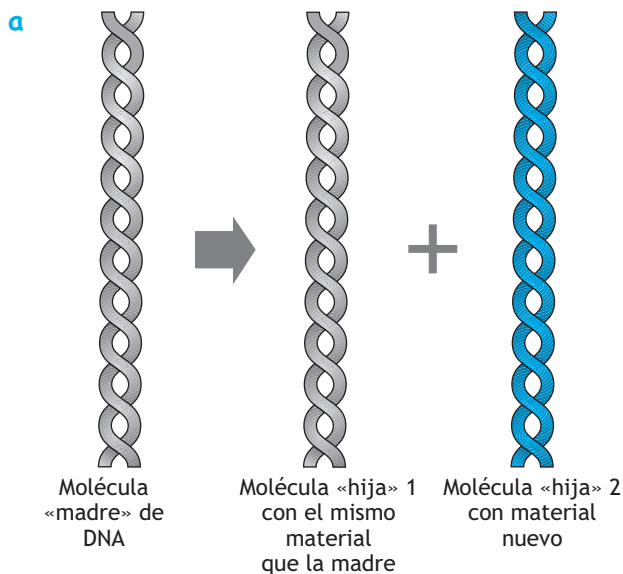
1 La replicación semiconservativa del DNA

Actividades pág. 257

Otros investigadores sugirieron una hipótesis conservativa, según la cual, cuando la molécula de DNA se duplica lo que hace es producir una molécula completamente nueva, de manera que una de las células hijas heredaría la misma molécula de DNA que la célula madre, y la otra célula hija heredaría una nueva molécula de DNA cuyo mensaje genético sería copia del mensaje de la molécula originaria.

- a Dibuja un esquema similar al de la figura 1.2 para explicar esta hipótesis conservativa.
- b Indica qué resultados de los experimentos de Meselson y Stahl te parecen definitivos para desechar esta hipótesis (fíjate en los datos sobre la densidad del DNA de bacterias cultivadas en medios con ^{14}N).
- c Tal como se explica en el recuadro de ampliación de esta página, antes de 1944, año de los experimentos de Avery y compañeros, la comunidad científica suponía que los genes debían estar compuestos por proteínas. ¿Qué propiedades de las proteínas son adecuadas para suponer que pueden constituir el material hereditario?

Soluciones:



- b Si la duplicación del DNA fuera conservativa, el DNA de las bacterias de la primera generación del experimento (tras crecer en un medio con ^{14}N) se dividiría en dos bandas: unas moléculas conservarían la densidad de los compuestos con ^{15}N , y otras tendrían la densidad propia de los compuestos con ^{14}N . En la segunda generación, se seguirían obteniendo dos tipos de DNA: una cuarta parte tendría la densidad propia de los componentes con ^{15}N , y tres cuartas partes tendrían la densidad de los compuestos con ^{14}N .

Los resultados del experimento de Meselson y Stahl no responden a este modelo.

- c Las células no pueden funcionar sin proteínas, pues todas las reacciones químicas son catalizadas por enzimas (proteínas), y las proteínas constituyen la base principal de las estructuras celulares: microtúbulos y fibrillas del citoesqueleto, proteínas estructurales de membrana, ribosomas, etc. Incluso en algunos casos las proteínas pueden servir de molde para la síntesis de otras proteínas, aunque esta no es una propiedad generalizada.

2 El mecanismo de la replicación

Actividades pág. 258

- a Explica las diferencias que encuentras entre el modo de actuación de las DNA polimerasas y la hipótesis inicial de Watson y Crick sobre el mecanismo de replicación del DNA.
- b La replicación del DNA es un proceso endergónico, pues se pasa de compuestos sencillos (nucleótidos) a compuestos complejos (ácidos nucleicos). ¿Cuál es la fuente de energía para llevar a cabo esta reacción?

Soluciones:

- a La hipótesis de Watson y Crick decía que la molécula madre se abría inicialmente en sus dos hebras, y frente a cada nucleótido de la hebra antigua se colocaría un nucleótido con la base complementaria, produciéndose posteriormente los enlaces fosfodiéster que unen los nucleótidos de la hebra nueva.

Según veremos a continuación, las dos hebras no se separan previamente a la replicación, sino que se van separando conforme avanza ésta. Y, según se ha estudiado

ya, los nucleótidos sueltos se añaden a una cadena de polinucleótido ya preexistente, y a la nueva cadena alargada, se añade otro nucleótido, y así sucesivamente.

- b** Los nucleótidos que se añaden al polinucleótido cebador entran en su forma trifosfato, y quedan en la forma monofosfato; la pérdida del pirofosfato es un proceso suficientemente exoergónico para suministrar la energía necesaria para la polimerización.

Actividades pág. 260

- a** La siguiente secuencia de bases nitrogenadas corresponde a un fragmento de DNA monocatenario recién liberado por las enzimas girasa y helicasa. Escribe, frente a ella, la secuencia de cinco nucleótidos del cebador que ensamblaría la primasa:

5'-CGGCTACGGATTACGGA-3'

- b** Escribe, a continuación del cebador, la secuencia de nucleótidos que ensamblaría la Pol III.
- c** Efectúa la sustitución de nucleótidos que realizaría la Pol I.
- d** Observa la siguiente secuencia de un fragmento de DNA recién formado por replicación. Una de las dos hebras es nueva y la otra es la hebra molde de la molécula madre. ¿Qué necesitas saber para proceder a la reparación de los errores que observes? Explícalo.

—ATTCGGTACGTTGCA—

—TAAACCGTGCAGCGT—

- e** La siguiente secuencia de un fragmento de DNA también contiene errores, pero no se han producido en una reciente replicación, sino por reacciones químicas de las bases nitrogenadas. ¿Cómo puedes reconocer los errores y repararlos?

—ATTUCGGCUTCG—

—TAAGGCCMGAGC— M = metilguanina

Soluciones:

- a** 5'- CGGCTACGGGATTACGGA -3'
3'- UGCCU -5'
- b** 5'- CGGCTACGGATTACGGA -3'
3'- GCCGATGCCTAAUGCCU -5'
- c** 5'- CGGCTACGGATTACGGA -3'
3'- GCCGATGCCTAATGCCT -5'

- d** Los errores observados son varios pares de bases no complementarias:

C.....T.....T.....

A.....G.....G.....

Es preciso saber cuál es la hebra molde, pues si, por ejemplo es la superior, las bases que hay que cambiar son las de la hebra inferior (de A a G, de G a A y de G a A, respectivamente), pero si la hebra molde es la inferior, entonces son las bases de la hebra superior las que hay que cambiar (de C a T, de T a C y de T a C, respectivamente).

- e** En la secuencia de bases se descubren tres bases atípicas en el DNA: dos uracilos en la hebra superior y una metilguanina en la hebra inferior. El complejo enzimático reconocería esas bases como errores y procedería a sustituirlas por las bases complementarias de las de la otra hebra: los dos uracilos por citosinas, y la metilguanina por guanina.

4 El mecanismo de la transcripción

Actividades pág. 262

En los genes muy activos, la transcripción puede efectuarse simultáneamente por varias moléculas de RNA polimerasa. La visualización de esos genes al microscopio electrónico presenta un aspecto de pluma de ave (Fig. 10).

- a** Interpreta qué representa el eje de la "pluma", las "barbas" y los puntos de la base de las barbas.
- b** ¿En qué parte de la pluma se encuentran las moléculas de RNA más modernas y en qué parte están las más antiguas?

Soluciones:

- a** El eje de la pluma es la molécula de DNA, las barbas son las moléculas de RNA recién transcritas o en formación, y la base de las barbas es la enzima RNA polimerasa.
- b** Las barbas más largas son las moléculas de RNA más antiguas, y las barbas más cortas son las moléculas de RNA más modernas.

Actividades pág. 264

- a** Un investigador consigue averiguar la secuencia de bases nitrogenadas del gen responsable de la producción de una

enzima en una bacteria, pero ha perdido los datos correspondientes a los nucleótidos centrales y sólo conserva los de los extremos, según se indica a continuación:

TTACACTAACGTATTAGATGCTTTTGCA—1682 nucleótidos—AAAAGCCATAAAGCC

¿Qué datos podemos suministrar para reconstruir el mRNA que codifique la enzima en cuestión?

- b** Para reconocer el fragmento de DNA responsable de la síntesis de una proteína, se procede al aislamiento del mRNA productor de la misma, muy abundante en las células especializadas en la producción de dicha proteína; posteriormente, se mezclan las soluciones de DNA y mRNA, y las moléculas de mRNA se fijan sobre las de DNA en la región en que las bases nitrogenadas sean complementarias, que será lógicamente la que haya servido de molde para la producción del mRNA.

Al realizar esta prueba con el mRNA de una proteína de una célula animal, se obtuvo el siguiente apareamiento imperfecto:

AATTACGGGGCCCCCTACAAAATTTGAGGCGCCATTT
UGCCCCGGAUGUUUUAAAGCUUAAA

Explica a qué se debe este resultado y reconstruye al máximo la secuencia del gen productor de este mRNA.

Soluciones:

- a** Al estudiar el mecanismo de la transcripción en procariontes se ha dicho que el gen propiamente dicho va precedido de un fragmento promotor y otro terminador que no se transcriben; por tanto, los nucleótidos conservados pueden pertenecer a esos fragmentos, y en ese caso, no podríamos suministrar ninguna información sobre el mRNA, que sería transcrito mayoritariamente a partir de los nucleótidos perdidos.

- b** Podemos colocar las bases nitrogenadas del mRNA frente a bases complementarias del DNA:

DNA: AATTACGGGGCCCCCTACAAAATTTGAGGCGCCATTT
mRNA: AUGCCCC GGAUGUUUUAAAGCU UAAA

El segundo y tercer fragmento de DNA que carecen de correspondencia en la secuencia del mRNA pueden ser intrones del gen, que han sido eliminados del mRNA durante su maduración.

El primer fragmento de DNA sin correspondencia, podría ser un intrón o tratarse de una porción del fragmento promotor de la transcripción.

Por tanto, el gen que se transcribe en mRNA presenta, como mínimo, la siguiente secuencia (sólo eliminamos las bases que podrían corresponder al promotor):

ACGGGGCCCCCTACAAAATTTGAGGCGCCATTT

5 El mecanismo de la traducción

Actividades pág. 268

Observa la secuencia de bases nitrogenadas de la siguiente molécula de mRNA (se trata de una simulación simplificada, pues dijimos en su momento que un mRNA puede estar formado por miles de nucleótidos) y contesta las cuestiones que se proponen a continuación:

ACAG AUGUUACAUAUCGGGCGCAUUAACGUAAAGU

- a** Haciendo uso del código genético, escribe la secuencia de aminoácidos del polipéptido (que puedes escribir haciendo uso solamente de las iniciales que aparecen en el código genético) que resulta de la traducción de dicha molécula.
- b** Escribe los anticodones de los tRNA que intervendrán en la traducción de dicho mRNA.

Soluciones:

- a** ACAG AUG UUA CAU AUC GGG CGC AUU ACG UAA AGU
Met -Leu -His -Ile - Gly -Arg -Ile - Thr

Volvemos a escribir el mRNA y subrayamos los tripletes de bases nitrogenadas con sentido.

El primer triplete subrayado es AUG, pues en el apartado correspondiente al mecanismo de la Traducción, se ha estudiado que las subunidades del ribosoma no se acoplan hasta que descubren este triplete, y por tanto el primer tRNA que se acoplará será el complementario al codón AUG.

El último triplete subrayado es UAA, pues en el código puede leerse que significa "FIN", ya que al llegar a él, las subunidades del ribosoma se desacoplan y no continúan la traducción.

Debajo de cada codón se han escrito las iniciales del aminoácido que codifica, según el código genético. Debajo del codón de terminación no se escribe nada, pues a dicho codón no se une ningún tRNA, ni por tanto se añade ningún aminoácido al polipéptido.

La sucesión de iniciales de aminoácidos representa el polipéptido codificado por este mRNA, que es lo que pedía la cuestión.

- b** Frente a cada codón se escribirán las bases complementarias, y el triplete resultante será el anticodón del tRNA que transportará el aminoácido codificado por el codón:

AUG•UUA•CAU•AUC•GGG•CGC•AUU•ACG
UAC/AAU/GUA/UAG/CCC/GCG/UAA/UGC

Como se ve, no se escribe ningún anticodón frente al codón UAA, pues este codón marca el desamblaje de las subunidades del ribosoma, y no existen tRNA con anticodones complementarios a dicho codón.

6 Regulación de la expresión del mensaje genético

Actividades pág. 270

Un gen de una célula eucariótica tiene la región del operador en el fragmento de DNA que envuelve al octámero de histonas del nucleosoma.

- a *¿Afectará esta situación a la acción de la RNA polimerasa para transcribir el gen?*
- b *¿Qué paralelismo hay entre la proteína represora del modelo del operón y el octámero de histonas de este caso?*
- c *¿Por qué Jacob y Monod no citaron a las histonas en su modelo del operón extraído de un ejemplo en *E. coli*?*

Soluciones:

- a Para que la RNA polimerasa transcriba el gen, antes ha de desmontarse el octámero de histonas que estabiliza esa región del DNA, si no, la enzima no tendrá acceso a la molécula de DNA.
- b En los dos casos, la proteína impide la unión entre la RNA polimerasa y el fragmento promotor de la transcripción.
- c *E. coli* es una bacteria, o sea, un procariota; por tanto, no presentará cromatina, ni octámeros de histona, sino una única molécula de DNA, más pequeña que un cromosoma de célula eucariota, estabilizada por proteínas que no forman la compleja estructura de la cromatina.

7 Los genes y los caracteres del organismo

Actividades pág. 272

- a *Mendel trabajó con genes que determinan caracteres morfológicos del guisante, como el color y la forma de la semilla, el color de la flor, o la longitud del tallo. Explica cómo podrían relacionarse estos caracteres con la presencia de determinadas proteínas.*

Soluciones:

- a El color amarillo de las semillas del guisante puede deberse a un pigmento carotenoide, que queda enmasca-

rado por la clorofila cuando la semilla es inmadura. Con la maduración, una enzima degrada la clorofila y se hace patente la presencia del pigmento amarillo. En las variedades de guisantes verdes puede faltar, o ser inactiva, la enzima que degrada la clorofila, y la semilla permanecerá verde en la madurez.

El color de la flor roja puede deberse a la presencia de un pigmento en las vacuolas de la epidermis de la flor; este pigmento será sintetizado en una reacción química, catalizada por una enzima. En las variedades de flor blanca puede faltar, o ser inactiva, dicha enzima, con lo que no se producirá el pigmento rojo; las vacuolas de la epidermis de la flor, hinchadas de un contenido incoloro, pueden dar la apariencia de color blanco.

El crecimiento en longitud del tallo puede deberse a la acción de dos fitohormonas: las auxinas y las giberelinas. Las variedades altas y las enanas se diferencian en la cantidad de alguna de las dos hormonas, producidas por la yema apical en el caso de las auxinas, y por las yemas axilares en el caso de las giberelinas. En el proceso de síntesis de dichas hormonas intervienen numerosas enzimas; la mayor o menor producción de dichas enzimas o el hecho de que sean más o menos activas, producirá una mayor o menor longitud del tallo.

B. ACTIVIDADES DE AUTOEVALUACIÓN

- 1 Define los siguientes conceptos:
duplicación semiconservativa, horquilla de replicación, gen estructural, gen regulador, operón, intrón, exón, codón, anticodón, polisoma.

Solución:

- **Duplicación semiconservativa:** Se aplica este término a la replicación del DNA, porque cuando una molécula origina dos moléculas hijas, en cada una de las hijas hay una hebra de polinucleótido que estaba ya presente en la molécula madre, mientras que la otra hebra ha sido formada de nuevo por ensamblaje de nucleótidos.
- **Horquilla de replicación:** En una molécula de DNA en replicación se llama así la zona donde se sitúa el complejo enzimático, que va avanzando progresivamente abriendo la molécula madre en sus dos hebras y produciendo las dos moléculas hijas. A partir de cada punto de iniciación de la replicación (Ori-C) se forman dos horquillas que avanzan en sentidos opuestos.

- **Gen estructural:** Es un gen que codifica una proteína cuya acción se manifiesta en la producción de caracteres en el organismo.
- **Gen regulador:** Es un gen que codifica una molécula de RNA que no se traduce en proteínas, o que codifica proteínas reguladoras que se unen a segmentos del DNA, y que por tanto no intervienen directamente en la producción de un carácter del organismo
- **Operón:** Modelo de regulación de la transcripción basado en las observaciones de Jacob y Monod sobre el funcionamiento de genes conocidos en bacterias.
Según este modelo, un conjunto de genes estructurales, responsables de la síntesis de varias proteínas relacionadas con la expresión de un mismo carácter, verían regulada su transcripción por un mismo gen operador, el cual sería activado o desactivado por la acción de una proteína cuya forma activa o inactiva dependería de la presencia del producto sintetizado por las proteínas codificadas por el conjunto de genes estructurales.
- **Intrón:** Es una región del DNA que puede ser transcrita en RNA, pero los nucleótidos de RNA correspondientes a esa región serán eliminados durante la maduración del mRNA, de manera que su mensaje no se traduce en forma de un polipéptido.
- **Exón:** Los intrones suelen estar intercalados entre los fragmentos de DNA que serán transcritos y traducidos, que constituyen los exones.
- **Codón:** Triplete de bases nitrogenadas del mRNA al que corresponde un aminoácido determinado o una acción determinada en la síntesis de proteínas (inicio o finalización del proceso).
- **Anticodón:** Triplete de bases nitrogenadas del tRNA que se une específicamente a algún codón de bases complementarias y que es la parte de la molécula de tRNA que determina qué tipo de aminoácido se enlazará con dicho tRNA, que será por tanto el correspondiente al codón con el que se una el tRNA.
- **Polisoma:** Conjunto de ribosomas unidos por un filamento de RNA. El significado de esta estructura es un grupo de ribosomas que en un momento dado están recorriendo una molécula de mRNA, uno detrás de otro, realizando la traducción y por tanto produciendo cada ribosoma una molécula de polipéptido.

2 ¿Qué quiere decir que las DNA polimerasas son enzimas procesivas? ¿Lo son todas las enzimas que intervienen en la replicación y en la transcripción? Cita, si hay alguna, un ejemplo de enzima no procesiva que intervenga en estos procesos.

Solución:

Las enzimas procesivas van enlazando nucleótidos progresivamente, añadiendo cada nuevo nucleótido a la cadena preexistente siempre por el mismo extremo, y colocando precisamente el nucleótido cuya base nitrogenada es complementaria de la del nucleótido de la cadena que actúa de molde, que es la cadena que la enzima va recorriendo progresivamente de un extremo a otro, leyendo su mensaje genético para formar una cadena complementaria.

No todas las enzimas que intervienen en la replicación son procesivas; no lo son las girasas (que desenrollan la doble hélice), helicasas (que separan las hebras complementarias) y ligasas (que enlazan los fragmentos de Okazaki).

3 ¿Tiene el ser humano el mismo código genético que una bacteria? ¿Y el mismo mensaje genético?

Solución:

El código genético, o sea, la correspondencia entre los codones o tripletes de mRNA y los aminoácidos, es universal, por tanto el ser humano tiene el mismo que una bacteria.

Esta afirmación tiene una ligera excepción que no se ha subrayado en el libro del alumnado por no complicar la cuestión: en procariotas, frente al codón AUG no se coloca el aminoácido metionina, sino un derivado suyo, la formil-metionina.

El mensaje genético, o sea, la indicación de las proteínas que ha de sintetizar un organismo, es diferente en cada individuo, no solamente en cada especie, y eso es lo que determina la especificidad de las proteínas: que cada individuo presente en sus proteínas una estructura primaria diferente, o sea, una diferente secuencia de aminoácidos.

Naturalmente, el mensaje genético será tanto más parecido cuanto mayor sea el grado de parentesco entre dos organismos, y entre un ser humano y una bacteria, el parentesco es mínimo

4 Observa el cuadro del código genético. ¿Qué significa el codón GCU? ¿y el codón GCG? ¿cuántos codones significan el mismo aminoácido que el codón GCU? ¿Por qué se da esa repetición de significados?

Solución:

El codón GCU significa el aminoácido alanina ("Ala"). El codón GCG también significa alanina. Son cuatro los codones que significan "alanina". Se da esta repetición por-

que hay más tripletes de bases nitrogenadas (variaciones con repetición de cuatro elementos tomados de tres en tres = $4^3 = 64$) que aminoácidos diferentes (20).

- 5** Según el código genético, el codón AAA significa "Lys", que son las iniciales del aminoácido lisina. Indica el triplete de bases nitrogenadas del DNA que producirá el codón AAA (al que se le suele denominar codógeno). Indica también el anticodón del tRNA que transportará lisina para colocarlo frente al codón AAA. ¿Existe algún otro tRNA con anticodón diferente que pueda transportar al aminoácido lisina? Explicalo.

Solución:

- El codógeno de la lisina será TTT
- El anticodón del tRNA que transportará lisina será UUU
- Observando el código genético, se ve que hay dos codones que significan lisina: AAA y AAG. Por tanto existirá otro tRNA que puede transportar lisina, que será aquel cuyo anticodón es UUC.

- 6** Observa la secuencia de bases nitrogenadas del siguiente fragmento de DNA, y su orden de colocación:

5'-AAATTATGCCCCGTTAATCTGAT-3'

3'-TTTAATACGGGGCAATTAGACTA-5'

- Suponiendo que el punto OriC (inicio de la replicación) se encuentra a la izquierda de la secuencia escrita, indica cuál de las dos hebras (superior o inferior) dará lugar, durante la replicación, a la hebra conductora y a la hebra retardada. (Has de recordar el sentido en el que avanzan las enzimas procesivas de la replicación).
- Indica el nombre de algunas enzimas que intervengan en la replicación de este fragmento de DNA.
- Suponiendo que el promotor de un gen presente en el fragmento escrito esté a la izquierda de la secuencia, ¿cuál de las dos hebras se podrá transcribir? (también aquí has de recordar el sentido de avance de las enzimas procesivas de la transcripción).
- Indica el nombre de la enzima que podrá realizar la transcripción en el caso de tratarse de una célula procariótica y en el caso de tratarse de una célula eucariótica.
- Escribe la secuencia del RNA producido por la transcripción de este fragmento de DNA, suponiendo que el promotor del gen está a la izquierda de la secuencia escrita.
- Suponiendo que se trata de una célula procariótica, escribe ahora la secuencia de aminoácidos codifica-

da por el gen transcrito anteriormente. Habrás de hacer uso del código genético y tener en cuenta lo estudiado sobre el modo de inicio de la traducción.

- Si se tratara de una célula eucariótica, ¿qué más cosas necesitarías conocer para obtener la secuencia del polipéptido codificado por el gen transcrito anteriormente? (recuerda lo estudiado sobre la maduración del mRNA).
- Escribe los anticodones de las moléculas de tRNA que intervienen en la traducción del gen transcrito.
- ¿Qué compuestos suministran la energía necesaria para la polimerización de los aminoácidos que componen el polipéptido? ¿en qué momentos de la traducción actúan?

Solución:

- Al estudiar el mecanismo de la replicación, se ha visto que la DNA pol III añade nucleótidos al extremo 3' de una cadena preexistente.

La copia de la cadena inferior representada tendría una orientación (de izquierda a derecha) de 5' a 3', o sea, antiparalela a la cadena copiada, y por tanto, habría de crecer hacia la derecha (hacia 3'). Si el punto Ori C se encuentra a la izquierda del fragmento representado, la copia indicada será continua, sin interrupciones: la cadena inferior es la hebra conductora.

La copia de la cadena superior representada tendría una orientación (de izquierda a derecha) de 3' a 5', y por tanto, habría de crecer hacia la izquierda (hacia 3'). Si el punto Ori C está a la izquierda, esta cadena nueva no podrá crecer de forma continua, sino a saltos, siempre y cuando la cadena a copiar se doble en bucles que permitan a la pol III copiar de 5' a 3': la cadena superior es la hebra retardada.

- El alumnado no tiene por qué conocer el nombre de todas las enzimas implicadas, sino simplemente el tipo de enzimas necesarias. Pero para poder explicar el mecanismo de Replicación, habría de saber nombrar algunas enzimas. Nosotros escribimos a continuación una lista de enzimas, pero las respuestas del alumnado no tienen por qué ser tan extensas: girasa, helicasa, primasa, Pol III, Pol I, ligasa.
- Las RNA polimerasas añaden nucleótidos también al extremo 3' de una cadena de RNA (en este caso, sin necesidad de cebador).

Si el RNA crece hacia el extremo 3', como es copia antiparalela de una cadena de DNA, la cadena de DNA habrá de ser recorrida por la enzima hacia el extremo 5'.

Si el promotor está a la izquierda, sólo la cadena inferior representada podrá ser leída, de izquierda a derecha, en el sentido de 3' a 5': podrá transcribirse la hebra inferior.

- d. En procariotas actuará la enzima RNA polimerasa.
En eucariotas, según el tipo de RNA que se haya de sintetizar, pueden actuar la RNA polimerasa I, la RNA polimerasa II y la RNA polimerasa III.
- e. La secuencia de bases nitrogenadas del RNA que resulta de la transcripción de la cadena inferior representada será:
5'- AAAUUAUGCCCCGUUAAUCUGAU-3'
- f. Se procede a señalar el primer codón AUG, a señalar los codones hasta hallar uno que signifique "FIN", y a escribir frente a ellos el aminoácido codificado según el código genético:
..... AUG CCC CCG UUA AUC UGA
Met/Pro/Pro/Phe/Ile
- g. Se necesitará conocer la localización de los posibles intrones, que aunque sean transcritos, son eliminados durante la maduración del mRNA, antes de la Traducción.
- h. Serán las bases complementarias de los codones utilizados:
UAC / GGG / GGC / AAU / UAG
No se coloca ningún anticodón correspondiente al codón de finalización, pues en ese lugar no se une ningún tRNA, sino que ese lugar marca el punto donde las dos subunidades del ribosoma se desacoplan.
- i. El ATP y el GTP.
El ATP se consume en la unión de los aminoácidos al tRNA (formación del aminoacil-tRNA).
El GTP se consume en la fase de elongación de la síntesis del polipéptido, principalmente en el desplazamiento del ribosoma a lo largo de la cadena de mRNA.

- 7** Al principio del apartado correspondiente a la transcripción se hace una comparación entre la replicación y la transcripción. Siguiendo un esquema semejante, redacta tú una comparación entre la transcripción y la traducción.

Solución:

Semejanzas

Tanto la transcripción como la traducción son reiterativas, es decir, pueden tener lugar muchas veces en la vida de una célula.

En la transcripción, un mismo fragmento de DNA puede sintetizar muchas moléculas idénticas de RNA. En la traducción, una misma molécula de mRNA puede sintetizar muchas moléculas idénticas de polipéptido.

En la transcripción no se transcribe toda la molécula de DNA, sino solamente un gen estructural. En la traducción no se traduce toda la molécula de mRNA, sino desde el primer triplete AUG hasta un codón de finalización.

En la transcripción, un fragmento de molécula de DNA puede contener varios genes estructurales, por lo que puede originar varias moléculas diferentes de RNA. En la traducción, un mRNA puede significar varios polipéptidos, por lo que puede originar varias moléculas diferentes de polipéptido (RNA policistrónico).

Diferencias

En la transcripción actúa una enzima, la RNA-polimerasa, ayudada en la iniciación por una proteína, la subunidad σ . En la traducción intervienen los ribosomas ayudados por numerosos factores proteicos y por el GTP.

En procariotas, la molécula molde de la transcripción (DNA) es muy estable, y la molécula molde de la traducción (mRNA) es muy inestable, pues se altera en pocos minutos.

En eucariotas, la transcripción tiene lugar en el núcleo, y la traducción en el citoplasma.

- 8** El año 1935, Ephrussi y Beadle efectuaron unos famosos experimentos con la polilla de la harina (*Ephestia kuehniella*). Esta especie de mariposa presenta individuos albinos, debido a una mutación, que son incoloros en la fase de larva y tienen el cuerpo blanco y los ojos rojos en la fase de adulto, mientras que las larvas normales están pigmentadas y los adultos normales presentan dibujos oscuros en su cuerpo y los ojos negros. Al trasplantar a una larva albina un fragmento del cuerpo de una larva normal, la larva albina desarrolla un adulto normal, mientras que al hacer el trasplante recíproco (un trozo de cuerpo de larva albina en una larva normal), el animal no sufría cambio alguno. Ephrussi y Beadle obtuvieron los mismos resultados cuando inyectaban a la larva albina un extracto del cuerpo de una larva pigmentada, y llegaron a aislar del extracto los compuestos químicos precursores de la pigmentación y las enzimas responsables de las reacciones químicas. Relaciona estos datos con la hipótesis "un gen - una enzima".

Solución:

Los mutantes albinos no presentan pigmentación normal porque carecen de alguna o algunas de las enzimas necesarias para la síntesis de los pigmentos correspondien-

tes; por eso se obtiene pigmentación siempre que se facilite a la polilla albina las enzimas implicadas en la pigmentación (fragmentos de cuerpo o extractos).

Las enzimas son proteínas cuya síntesis viene regida por un gen. La alteración de uno o varios genes puede pro-

ducir la inactivación o ausencia de las enzimas, y esto, a su vez, la ausencia de pigmentación. El gen de la pigmentación produce dicho carácter mediante la síntesis de las enzimas que catalizan la formación de dichos pigmentos.

MUTACIONES Y MANIPULACIONES GENÉTICAS

16

1. INTRODUCCIÓN

El presente tema, estudia los mecanismos que explican la diversidad de caracteres en la especie. Esta idea puede ser como la motivación para el estudio de esta materia: a pesar de que los mecanismos genéticos estudiados en el tema anterior tienden a mantener los caracteres biológicos inalterados de generación en generación, ¿por qué se produce una variabilidad en los caracteres?.

El estudio de los mecanismos de mutación no sólo da respuesta al problema de la variabilidad genética dentro de la especie, sino que ayuda también a comprender otros fenómenos naturales, como el de determinados genes que no parecen

cumplir las predicciones de las leyes de Mendel, la aparición de los procesos cancerosos y la evolución biológica.

Por último, este estudio permite también comprender las técnicas de que dispone la Ciencia para hacer una manipulación de los caracteres de los organismos con el fin de satisfacer alguna necesidad de la especie humana. La ingeniería genética, la obtención de variedades transgénicas, la terapia génica y otras técnicas que hoy se han hecho imprescindibles en la obtención de información sobre la salud de los individuos, constituyen también materia del presente tema.

2. TEMPORALIZACIÓN

El presente tema puede desarrollarse en cinco sesiones. La evaluación del tema puede realizarse conjuntamente con la del tema anterior.

3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Conocer los mecanismos que pueden provocar la aparición de mutaciones en los organismos.
2. Aprender a diferenciar los distintos tipos de mutación y sus consecuencias en la vida de los organismos
3. Relacionar los fenómenos de mutación con la variabilidad de caracteres en los organismos.
4. Conocer la relación que existe entre determinados fenómenos naturales y las mutaciones, como pueden ser los procesos cancerosos y la evolución biológica.
5. Relacionar los fenómenos naturales de recombinación genética con las técnicas que permiten manipular el genoma de los organismos para satisfacer necesidades de la especie humana.
6. Conocer las principales perspectivas que sugiere a la humanidad el dominio de las técnicas de recombinación de genes.

4. CONTENIDOS CONCEPTUALES

1. Concepto de mutación.
2. Mutaciones cariotípicas.
3. Mutaciones cromosómicas.
4. Mutaciones génicas.
5. Frecuencia de las mutaciones naturales.
6. Algunos fenómenos naturales resultado de las mutaciones.
 - Alelos múltiples
 - Genes letales
 - Procesos cancerosos
7. Las mutaciones y la evolución de los seres vivos.
8. Mutaciones experimentales.
9. Los DNA recombinantes y la ingeniería genética.
 - Transformaciones genéticas naturales
 - La ingeniería genética
 - Obtención de DNA recombinantes
 - Aplicaciones de la ingeniería genética
10. Manipulaciones genéticas en eucariotas.
 - Plantas transgénicas
 - Animales transformados genéticamente

5. SOLUCIONES Y COMENTARIOS

A. ACTIVIDADES VINCULADAS AL TEXTO

1 Concepto de mutación

Actividades pág. 278

a Las hortensias son plantas ornamentales que producen flores rosas cuando se cultivan en tierras ácidas y flores azules cuando se cultivan en tierras básicas (fig.1.1.). Cuando se trasplanta una hortensia de flores rosas a una maceta de tierra básica o alcalina, cambia el color de sus flores, que al poco tiempo se hacen azules.

1. Si siembras semillas de una planta de hortensias de flores rosas en una maceta con tierra ácida, ¿de qué color serán las flores?
2. Si siembras semillas de la misma planta en una maceta de tierra básica, ¿de qué color serán las flores?
3. ¿Puede considerarse el cambio del color de las flores de hortensia como una mutación?. Razónalo

b Observa las fotos adjuntas.

1. Señala al menos tres caracteres para los que los dos individuos presentan variantes diferentes. Imaginemos que se debe a que presentan alelos diferentes del mismo gen.
2. Razona si las tres diferencias pueden estar relacionadas con alguna mutación respecto al tipo de perro primitivo.
3. Razona si se puede considerar que ha habido una evolución desde el perro primitivo hasta estos tipos de perro.

Soluciones:

- a
1. Serán de color rosa.
 2. Serán de color azul.
 3. No, porque el cambio de color no es heredable, ya que obedece sólo a factores ambientales, como es la acidez del suelo; unas mismas semillas producen plantas con flores de colores diferentes según el suelo donde se planten.
- b
1. Se propone la simplificación de que las diferencias en los caracteres se deben a un solo alelo diferente para cada carácter, pues requeriría un razonamiento más complicado la consideración de genes que regulan muchos caracteres o de caracteres regidos por multitud de genes.

Si los caracteres diferentes se deben a alelos diferentes del mismo gen, según lo estudiado hasta ahora, se han dado diferentes mutaciones del alelo que presentaba la variedad más primitiva de perro.

2. El alumnado puede consultar libros sobre razas y cría de perros, o hacer una encuesta en establecimientos especializados en cría y cuidados para perros. En principio hay que suponer que se pueden hacer hibridaciones, pues se trata de animales de la misma especie.
3. Puesto que en las hibridaciones pueden dejar de manifestarse algunos de los caracteres peculiares de una raza de perros, los cambios producidos desde el perro primitivo pueden considerarse como diversificaciones de los caracteres de la especie, pero no como evolución biológica en sentido estricto, pues los dos perros siguen siendo de la misma especie; el salto de la barrera de la especie sería lo que permitiría que los nuevos caracteres aparecidos no se ocultaran como consecuencia de una hibridación.

3 Mutaciones cromosómicas

Actividades pág. 280

Observa la figura 3.2 y contesta las siguientes cuestiones:

- a Indica los genes (usando las letras que aparecen en la figura) que estarán presentes en los cuatro gametos que producirá la célula germinal portadora de los cromosomas que se indican en la figura.
- b ¿Cuántos gametos pueden producir individuos viables?
- c ¿Cuántos gametos pueden transmitir la mutación cromosómica a la descendencia?
- d Los individuos que hereden la mutación que se representa en la figura, ¿tendrán a su vez problemas de fertilidad?

Soluciones:

- a En un gameto, A, B, C, D, E y F. En el segundo, A B y C. En el tercero, A, B y D. En el cuarto, A, B, D, C, E y F.
- b Dos gametos, los dos que contengan los cromosomas con todos los genes (A, B, C, D, E y F).
- c Uno, el que posee el cromosoma con todos los genes, pero con el orden cambiado: A, B, D, C, E y F.

- d Si son resultado de la fecundación entre un gameto mutado y otro no mutado, los individuos volverán a presentar problemas de apareamiento entre los cromosomas homólogos cuando las células germinales sufran meiosis.

4 Mutaciones génicas

Actividades pág. 282

El ácido nitroso puede actuar también sobre la adenina produciendo una desaminación y transformándola en la base nitrogenada denominada hipoxantina (H) (fig. 4.3). La hipoxantina se aparea específicamente con la citosina. Explica qué puede suceder si la siguiente secuencia de bases nitrogenadas de DNA sufre una desaminación de sus adeninas de la hebra superior:

TTACGGGACTTGC

AATGCCCTGAACG

Recuerda que para explicar los efectos de la mutación has de hacer uso del código genético.

Soluciones:

- Molécula original: TTACGGGACTTGC
AATGCCCTGAACG
 - Desaminación de las adeninas de la cadena superior:
TTHCGGGHCTTGC
AATGCCCTGAACG
 - Replicación: 1. TTHCGGGHCTTGC
AACGCCCCGAACG
2. TTACGGGACTTGC
AATGCCCTGAACG
 - Reparación de la molécula 1, que será la mutada:
TTGCGGGGCTTGC
AACGCCCCGAACG
 - Traducción de la molécula 2, intacta respecto de la original:
 - x) Cadena superior: Asn-Ala-Leu-Asn-
 - x) Cadena inferior: Leu-Arg-Asp-Leu-
- Recuérdese que las tablas del código genético se construyen respecto del mRNA, por tanto, para leer el significado de los tripletes de DNA (codógenos), hemos de buscar sus complementarios, cambiando además la T por la U.
- Traducción de la molécula 1, mutada:

x) Cadena superior: Asn- Ala- Pro- Asn-

x) Cadena inferior: Leu- Arg- Gly- Leu-

Como puede verse, el efecto de la mutación descrita es el cambio de un aminoácido en el mensaje genético de la cadena superior, y de un aminoácido en el mensaje de la cadena inferior.

5 Frecuencia de las mutaciones naturales

Actividades pág. 283

Se afirma que es mayor la frecuencia de mutaciones en los genes de la especie humana que en los genes de las bacterias. Pero también se ha afirmado que es mayor la frecuencia de mutación en las células que más se reproducen, y es sabido que el ritmo de reproducción de las bacterias es mayor que en nuestra especie. ¿Cómo se pueden compaginar estas dos afirmaciones?

Para responder ten en cuenta que se habla de individuo mutado cuando todas sus células son portadoras de la mutación, porque ésta estaba presente en las células sexuales que dieron lugar al cigoto del que procede el individuo.

Soluciones:

En la aparición de una nueva bacteria solamente es necesaria una división celular. En la aparición de un gameto humano son necesarias miles de divisiones celulares, para conformar el organismo entero con sus órganos sexuales a partir de la célula huevo.

Por eso hay mayor frecuencia de gametos humanos mutados que de bacterias mutadas.

Pero una célula bacteriana producida en la bipartición de una bacteria, es ya una nueva bacteria, un nuevo individuo: la frecuencia de bacterias mutadas coincide con la de aparición de gametos mutados. Mientras que en la especie humana, sólo un bajo porcentaje de gametos intervienen en la formación de un nuevo individuo: ni todos los óvulos son fecundados, ni todos los espermatozoides llegan a fecundar a un óvulo. Por tanto, aunque la frecuencia de gametos mutados sea muy grande, la frecuencia de nuevos individuos portadores de una mutación aportada por los gametos es muy baja.

Por eso, cuanto mayor es la fertilidad de una especie (nº de individuos a partir de uno de la generación paterna) por unidad de tiempo, más probabilidades de que aparezcan individuos mutados, y la fertilidad de las bacterias es mayor que la de la especie humana.

6 Algunos fenómenos naturales resultado de las mutaciones

Actividades pág. 284

- a) Una mujer de grupo sanguíneo A tiene un hijo de grupo B. Se duda de la paternidad entre los dos varones, uno del grupo AB cuyo padre era del grupo B, y otro del grupo O cuyo padre era del grupo B. Resuelve la cuestión.
- b) Una mujer de grupo sanguíneo A tiene un hijo de grupo O. Los abuelos paternos del niño tienen los dos el grupo sanguíneo B. Determinar el grupo sanguíneo del padre.
- c) Se utilizó el polen de una cepa pura de tomates virescentes (amarillos a causa de una deficiencia en clorofila) para fecundar una planta verde normal. Se obtuvieron plantas híbridas de los dos tipos, y al cruzar dos de dichos híbridos de color verde normal se obtuvo una progenie formada por 122 plantas verdes y 62 virescentes.
- ¿Qué fenómeno puede explicar esos resultados?
 - ¿Qué otras pruebas realizarías para probar tu hipótesis?

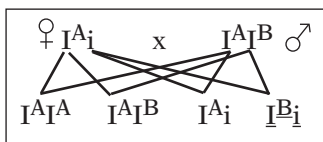
Soluciones:

- a) La madre del grupo A puede tener dos genotipos, $I^A I^A$ o bien $I^A i$. Si tuviera el primero, pasaría a su hijo un alelo I^A , con lo que el hijo podría ser del grupo AB ($I^A I^B$) o del grupo A ($I^A I^A$ o bien $I^A i$), pero nunca del grupo B.

Por tanto deducimos que la madre es heterocigótica ($I^A i$) y le transmite al hijo el alelo i .

Eso quiere decir que el hijo, de grupo B, tiene de genotipo $I^B i$. Como el alelo i lo ha recibido de la madre, el padre ha aportado el alelo I^B .

Pero el varón de grupo O tiene como genotipo ii , o sea, ningún alelo I^B , mientras que el varón de grupo AB tiene como genotipo $I^A I^B$, y por tanto sí que puede aportar un alelo I^B . Así pues, éste último será el padre del niño, y el cruzamiento realizado será el siguiente:



El genotipo subrayado es el que corresponde al hijo del enunciado del problema.

Los datos sobre los padres de los varones no aportan ninguna información importante; simplemente, se puede comprobar que dichos datos son compatibles con lo estudiado sobre la transmisión de los grupos sanguíneos;

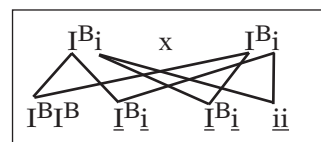
- En el primer caso, el varón del grupo AB, genotipo $I^A I^B$, puede haber recibido el alelo I^B de su padre, cuyo genotipo sería $I^B I^B$ o bien $I^B i$.
- En el segundo caso, el varón del grupo O, genotipo ii , puede haber recibido un alelo i de su padre, aunque sea del grupo B, pues su genotipo puede ser $I^B i$.

- b) El hijo del grupo O tiene como genotipo ii , por tanto ha de recibir un alelo i de cada progenitor.

La madre, de grupo A, puede tener como genotipo $I^A i$, y transmitir al hijo un alelo i .

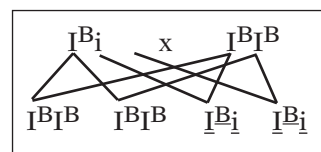
El padre ha de tener en su genotipo al menos un alelo i para transmitir a su hijo. Siendo los dos abuelos paternos del grupo B, caben las siguientes posibilidades:

I) abuelos



Los genotipos subrayados son compatibles con los datos del problema.

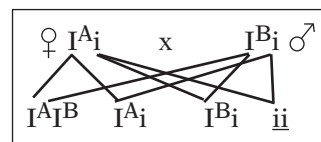
II) abuelos:



Los genotipos subrayados son compatibles con los datos del problema.

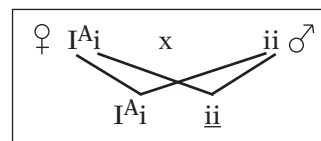
Así pues, el hijo del enunciado del problema es fruto de uno de los dos siguientes cruzamientos:

I)



El genotipo subrayado es el del hijo del enunciado del problema.

II)



El genotipo subrayado es el del hijo del enunciado del problema.

En consecuencia, la respuesta al enunciado del problema es que el padre puede ser del grupo B o del grupo O.

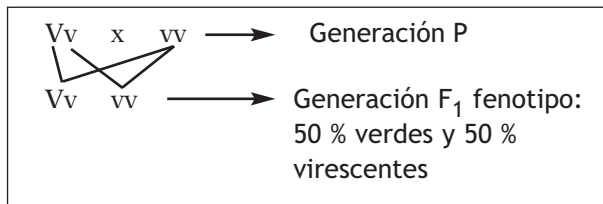
- c) El hecho de que los híbridos de la primera generación más numerosos sean plantas verdes, nos hace suponer que el alelo dominante será el que determina dicho carácter: color verde: V; virescente: v.

Obtenemos ahora la proporción fenotípica de la F_2 :

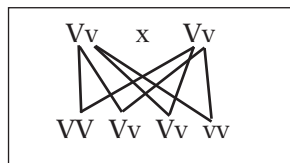
Verdes: $122/(122+62) \approx 2/3$

Virescentes: $62/(122+62) \approx 1/3$

Esta proporción no responde a la segunda ley de Mendel ($3/4, 1/4$), en cambio sí que responde al caso de la presencia de un gen letal, que presumiblemente será el alelo dominante. Por tanto:



Cruzamiento de dos híbridos de color verde:



VV : muere

Vv : color verde ($2/3$)

vv : virescente ($1/3$)

La respuesta al apartado b) puede ser doble:

- Hacer numerosos cruzamientos entre plantas verdes y comprobar que la descendencia corresponde siempre a una frecuencia fenotípica de $2/3$ verdes y $1/3$ virescente.
- Realizar numerosos retrocruzamientos (cruce efectuado en la resolución del problema para obtener la F_1) y comprobar que los individuos verdes son siempre heterocigóticos, lo cual se nota porque en la descendencia se obtienen plantas de los dos caracteres en una proporción aproximada del 50 % de cada tipo.

7 Las mutaciones y la evolución de los seres vivos

Actividades pág. 287

- Existe una corriente dentro del Neodarwinismo, llamada Neutralismo, según la cual no debería hablarse de variantes de alelos favorables y desfavorables, sino que todas serían neutras, es decir, contribuirían por igual al proceso de la evolución biológica. Plantea argumentos a favor y en contra de esta corriente.

- Muchos naturalistas consideran las adaptaciones extremas como auténticas trampas de la evolución. Piensa qué les ocurriría a los insectos-hoja si en su ambiente desaparecieran los árboles de hojas verdes, o en lo que les pasaría a los osos hormigueros si en su medio desaparecieran las hormigas. Redacta una explicación de la teoría de dichos naturalistas.
- Existen tres especies de mosquitos del género *Anopheles* que en estado adulto son morfológicamente idénticos, pero unos transmiten la malaria y otros no. Se ha descubierto que una de las diferencias entre dichas especies radica en el lugar donde se desarrollan sus larvas: una especie necesita agua salobre, otra, agua dulce corriente, y la otra, agua dulce estancada. Elabora una hipótesis sobre el origen de estas tres especies a partir de un *Anopheles* ancestral.

Soluciones:

- A favor del neutralismo se pueden argumentar todos los datos que se han dado sobre el carácter cambiante del ambiente, que puede hacer que un carácter desfavorable en un tiempo (alas oscuras de la esfinge del abedul, por ejemplo) pasen a ser favorables, y al revés con el transcurso de más tiempo.
En contra del neutralismo se puede argumentar que hay variedades alélicas que afectan a la estructura anatómica del animal, o al modo de reproducción, que serán intrínsecamente favorables o desfavorables para la especie, con independencia del ambiente. Por ejemplo, cualquier variación que implicara una mejora en la eficacia de la circulación sanguínea, o en el acoplamiento entre el aparato masculino y femenino que favoreciera la reproducción, sería siempre una variante favorable frente al alelo contrario.
- Los datos que se aportan pueden ser suficientes para que el alumnado se dé cuenta de que las adaptaciones extremas tienen valor en la Evolución cuando el medio ambiente es estable durante mucho tiempo, mientras que en circunstancias cambiantes son las adaptaciones someras del organismo las que permiten sobrevivir con más facilidad en los diversos ambientes en que los organismos se pueden ver obligados a habitar. Por ejemplo, las ratas son animales que no muestran especiales adaptaciones orgánicas a la vida acuática, a la velocidad, a la depredación, y sin embargo pueden adaptarse satisfactoriamente a vivir en medios acuáticos (alcantarillas), terrestres, a comer alimentos vegetales o a funcionar como depredadores de otros animales; esta versatilidad funcional les permite sobrevivir aunque se den cambios bruscos en las condiciones ambientales.

- c Se trata de un mecanismo de especiación homeopátrica o por aislamiento reproductivo. Se trata de una subdivisión del ecosistema en subhábitats con agua salobre, dulce corriente y dulce estancada; los apareamientos de los mosquitos se realizarán preferentemente cerca de los lugares donde se desarrollaron sus larvas, pues los mosquitos no vuelan grandes distancias; las larvas que han prosperado en cada uno de los tres subhábitats, llevarán información genética compatible con el crecimiento en dichas condiciones, con lo que a lo largo del tiempo se creó una barrera genética entre las diferentes poblaciones, hasta divergir en especies diferentes de mosquitos. Los diferentes requerimientos de las larvas pueden deberse a alguna mutación que afecte a la producción de los reguladores del desarrollo embrionario.

8 Mutaciones experimentales

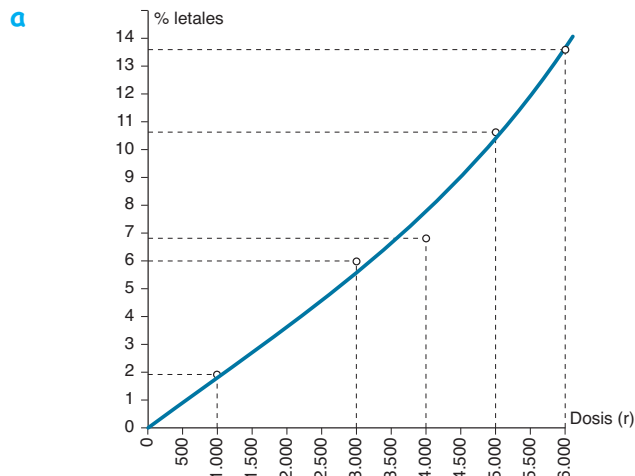
Actividades pág. 289

- a Irradiando machos de una cepa de *Drosophila melanogaster* con distintas dosis de rayos X (expresadas en r = roentgen), se encontró los siguientes porcentajes de genes letales recesivos ligados al sexo:

Representa gráficamente los resultados y calcula la frecuencia de letales que se espera para 6000 r

- b Algunas plagas agrícolas de insectos presentan hembras que sólo se aparean una vez. Considerando que las dosis altas de rayos X producen genes letales dominantes pero que no afectan a la fertilidad de los machos en muchos insectos, ¿Qué tipo de programa sería efectivo para eliminar dichas plagas?

Soluciones:



- b Irradiar con dosis altas de rayos X a un gran número de moscas y liberarlas entre la población natural. Si una hembra normal se aparea con un macho irradiado, no obtendrá descendencia, pues dicha descendencia morirá por ser portadora de una mutación letal. Tampoco habrá descendencia cuando un macho normal fecunde a una hembra irradiada. Ni tampoco si el apareamiento se produce entre hembra irradiada y macho irradiado. Como se indica que el apareamiento de cada hembra se realiza una sola vez, no hay riesgo de que una hembra que no ha tenido descendencia tras una cópula, pueda tenerla en una cópula posterior con un macho no irradiado. Con este procedimiento, descenderá drásticamente la fertilidad del insecto plaga.

Al dibujar una curva que se adapte aproximadamente a los valores de la tabla, y extrapolar para el valor de 6.000 roentgen, obtenemos que el valor de porcentaje de genes letales obtenidos será aproximadamente del 14 %.

9 Los DNA recombinantes y la ingeniería genética

Actividades pág. 294

- a A partir de la siguiente lista de técnicas relacionadas con la ingeniería genética, ordena la secuencia apropiada para la obtención de DNA recombinantes:
- PCR
 - Obtención de mRNA para una determinada proteína.
 - Secuenciación de un gen.
 - Clonación de un gen.
 - Inserción de un gen en un plásmido.
 - Aislamiento de un gen mediante enzimas de restricción.
 - Cultivo de bacterias.
 - Identificación del fragmento de DNA portador de un gen.
 - Obtención de DNA complementarios.
- b ¿Por qué es mejor insertar genes en plásmidos que en moléculas de DNA bacteriano? ¿Qué tipos de organismos son portadores habituales de plásmidos?
- c ¿Qué fenómenos naturales llevaron a pensar en la posibilidad de desarrollar la ingeniería genética?
- d ¿Qué relaciones hay entre la ingeniería genética y el desciframiento del genoma humano?

Soluciones:

- a**
1. **Obtención de mRNA para una determinada proteína.** Como se explica en el texto correspondiente, la células productoras de una determinada proteína son ricas en el mRNA que codifica la síntesis de dicha proteína.
 2. **Obtención de DNA complementarios.** Es la forma más rápida de obtener un segmento de DNA que codifique la proteína en cuestión.
 3. **Identificación del fragmento de DNA portador de un gen.** A partir del DNA complementario, por afinidad química, es posible determinar el fragmento de molécula de DNA donde se ubica el gen.
 4. **PCR.** Es la manera más rápida de obtener muchas copias de un segmento de DNA.
 5. **Secuenciación de un gen.** Una vez obtenidas muchas copias de un segmento de DNA, se las puede someter a las transformaciones químicas necesarias para determinar su secuencia de bases nitrogenadas.
 6. **Aislamiento de un gen mediante enzimas de restricción.** Conocida la secuencia de bases nitrogenadas, se puede cortar el gen por sus extremos para acoplarlo después en una molécula de DNA.
 7. **Inserción de un gen en un plásmido.** Recortados previamente el gen y el plásmido, mediante enzimas de restricción, de manera que queden extremos complementarios por donde pueden empalmarse uno y otro.
 8. **Clonación de un gen.** Una vez se ha conseguido la inserción en un plásmido, lo primero será obtener muchas copias del mismo para repetir el experimento con mayores garantías de éxito.
 9. **Cultivo de bacterias.** Cuando se tiene un buen número de bacterias transformadas, se puede intentar su cultivo para determinar las condiciones óptimas de producción de la sustancia deseada.

- b**
- Los genes deben insertarse en una molécula de DNA que contenga todos los segmentos necesarios para la regulación de la replicación y de la transcripción, o de lo contrario no se duplicarían, y por tanto no pasarían a la descendencia de la bacteria que se pretende transformar, o no se expresarían, y por tanto no se produciría el efecto que se buscaba.

La inserción de un segmento de DNA en una molécula mayor de DNA es un hecho aleatorio, puede ocurrir o puede no ocurrir. Pero experimentalmente se ha visto que este hecho ocurre con mayor frecuencia cuando se intenta la inserción en un plásmido que cuando se intenta en la molécula mayor de DNA de la bacteria, que se llama también "genóforo".

Desde que se ha realizado la secuenciación del genoma de varias especies bacterianas, se sabe que un plásmido es un grupo de genes que intervienen en funciones vegetativas de mantenimiento de la célula, que por la circunstancia que sea se agrupan en una molécula diferente que el resto de genes; se duplican al mismo ritmo que la molécula mayor de DNA bacteriano, aunque en los fenómenos de conjugación se ha descubierto que pueden duplicarse antes de la bipartición para invadir otra bacteria no portadora de plásmido.

Se han descubierto plásmidos tanto en bacterias como en levaduras, aunque son más frecuentes en bacterias. No todas las especies de bacterias presentan plásmidos, pero sí es bastante frecuente.

- c**
- La existencia de los fenómenos naturales de recombinación genética en bacterias (conjugación, transformación y transducción), el descubrimiento de los trasposones o genes capaces de pasar de una célula a otra, los fenómenos naturales conocidos de inoculación de un gen de una célula en otra de diferente especie, como es el caso de la infección de la bacteria *A. tumefaciens* en las células de la raíz de zanahoria.
- d**
- Mediante la ingeniería genética se pretendía obtener a gran escala DNA recombinantes que permitieran la producción rápida y eficaz de determinadas sustancias. Pero en la puesta a punto de estas técnicas, se perfeccionaron procedimientos experimentales que después se pudieron aplicar con otros fines. Así por ejemplo, las técnicas de secuenciación permitieron la secuenciación de genomas completos, comenzando por organismos muy simples, hasta llegar a nuestra especie.

B. ACTIVIDADES DE AUTOEVALUACIÓN

- 1** Define los siguientes conceptos: *mutación, poliploidía, aneuploidía, delección, translocación, mutación inversa, gen estable, gen letal, oncogén, especiación.*

Solución:

Mutación. Cambio producido en el genotipo, y por tanto heredable, que puede manifestarse en el fenotipo produciendo variaciones medibles en los caracteres de los individuos de una especie.

Poliploidía. Mutación cariotípica que se caracteriza porque los individuos son portadores de más de dos series haploides de cromosomas.

Aneuploidía. Mutación cariotípica que se caracteriza porque los individuos poseen algún cromosoma de más o de menos respecto al cariotipo normal de la especie, pero sin que llegue a faltar o a repetirse una serie haploide completa.

Deleción. Mutación cromosómica que se caracteriza porque el individuo mutado carece de un segmento o grupo de genes en alguno de sus cromosomas.

Translocación. Mutación cromosómica que se caracteriza porque el individuo mutado presenta un segmento o grupo de genes en un lugar diferente de sus cromosomas con respecto a la disposición habitual en la especie..

Mutación inversa. En ocasiones, los genes mutados, es decir, alterados en su composición química, sufren una nueva alteración química que restablece la composición química original de los genes.

Gen estable. Gen que tiene poca tendencia a sufrir alteraciones químicas. Esto es más frecuente en los genes en cuya composición química figure una gran abundancia de citosina y guanina, porque el apareamiento entre estas dos bases nitrogenadas es más estable que el apareamiento entre la adenina y la timina.

Gen letal. Gen mutado cuya expresión produce la muerte del individuo que lo presenta. Si el gen es dominante, basta un solo ejemplar del gen para desarrollar la muerte del portador de dicho gen. Si el gen es recesivo, se necesita la presencia de dos ejemplares de dicho gen para producir la muerte del portador del gen.

Oncogén. Gen producido por la mutación de un protooncogén cuyo efecto es el desarrollo de un proceso canceroso. Los protooncogenes son normalmente genes reguladores del ciclo celular, y la mutación que produce un oncogén suele ser una transformación que aumenta la actividad de dicho gen.

Especiación. Mecanismo por el que dos poblaciones de una misma especie pasan a acumular diferencias genéticas hasta llegar a constituir poblaciones de especies diferentes porque ya no se puede conseguir la hibridación entre individuos de las dos poblaciones.

- 2** ¿Por qué se suelen llamar mutaciones verdaderas solamente a las mutaciones génicas?

Solución:

Porque las mutaciones cariotípicas y cromosómicas mantienen inalterada la naturaleza química de los genes, produciéndose simplemente una distribución diferente de los mismos en los cromosomas.

- 3** ¿Por qué se dice que la poliploidía suele ser favorable para la especie mientras que la aneuploidía suele ser desfavorable?

Solución:

La poliploidía es relativamente frecuente en las plantas y se observa que los individuos poliploides desarrollan mayores tamaños, o bien de la planta o bien de sus frutos, lo cual es beneficioso para el provecho humano, por lo que los agricultores seleccionan y protegen las variedades poliploides. Quizás no pudiera decirse lo mismo cuando se trate de evaluar la supervivencia de los individuos de la especie vegetal en cuestión creciendo en condiciones silvestres.

En cuanto a la aneuploidía, son conocidos los casos de síndromes (conjuntos de caracteres patológicos) producidos por este tipo de mutación cromosómica: síndrome de Down, de Klinefelter, de Turner. Quizás estos síndromes se produzcan por un desequilibrio entre el número de genes correspondientes a los cromosomas que se repiten anómalamente y el número de los demás genes de la especie.

- 4** Se dice que las mutaciones cromosómicas suelen afectar principalmente a la fertilidad de los individuos. ¿Por qué ocurre esto?

Solución:

Porque en la sinapsis, o sea, la etapa de la profase I de la meiosis en la que los cromosomas homólogos se colocan pegados el uno al otro, por afinidad química, cada gen busca a su alelo del otro cromosoma homólogo, y si uno de los dos cromosomas homólogos está mutado, estos sufren pliegues y bucles que llevan a que durante la anafase I, o separación de los cromosomas homólogos, se produzcan roturas de los cromosomas o distribuciones anómalas de los genes, y se obtengan gametos inviables porque no son portadores de ejemplares de todos los genes de la especie.

- 5** Tenemos una molécula de DNA que presenta en una región la siguiente secuencia de bases nitrogenadas:

ATTGCCCTA

TAACGGGAT

Sometemos la molécula a la acción del ácido nitroso (recuerda la acción mutagénica sobre la citosina y sobre la adenina explicada en el tema).

- a. Indica cómo quedaría la secuencia de bases nitrogenadas del fragmento de DNA antes de que se produjera ninguna reparación, suponiendo que se han alterado todas las citosinas, pero no las demás bases.
- b. Si después de los cambios que tú has señalado tiene lugar la duplicación del DNA, indica cómo que-

daría la secuencia de bases nitrogenadas de las dos moléculas hijas.

- c. Indica ahora cómo quedarían las secuencias de bases nitrogenadas después de los mecanismos de reparación, y compáralas con la secuencia original.

Solución:

- a. La secuencias mutada solamente en las citosinas sería la siguiente:

ATTGUUUTA

TAAUGGGAT

- b. Después de la duplicación y antes de la reparación, la molécula antes escrita originará estas dos:

ATTGUUUTA ATTACCCTA

TAACAAAAT TAAUGGGAT

Como puede verse, ninguna de las dos moléculas es igual a la molécula madre del enunciado.

- c. Después de la reparación, las dos moléculas quedarían así:

ATTGTTTTA ATTACCCTA

TAACAAAAT TAATGGGAT

- 6** Se obtiene la secuencia de bases nitrogenadas de un fragmento de DNA, que resulta ser la siguiente:

CGCTCGAGC

GCGAGCTCG

Se somete la molécula de DNA a la acción del ácido nitroso, y se averigua que este ácido ha provocado la desaminación de la adenina pero que no ha afectado a la citosina.

- a. Escribe las secuencias de fragmentos de DNA mutados que se obtendrían tras la replicación del fragmento de DNA en cuestión (sin que haya reparación previa).
- b. Determina si las mutaciones que has obtenido pueden afectar significativamente a las proteínas codificadas por la cadena superior y a las determinadas por la cadena inferior del DNA (para eso has de hacer uso del código genético).

Solución:

a.

CGCTCGHGC	CGCTCGGGC
CGCTCGHGC → GCGAGCCCG → GCGAGCCCG	
GCGHGCTCG → CGCCCGAGC → CGCCCGAGC	
GCGHGCTCG	GCGGGCTCG

- b. (Conviene recordar que el código genético está referido a las bases del mRNA)

Mensaje original:

- Cadena superior: CGC TCG AGC: Ala- Ser- Ser
- Cadena inferior: GCG AGC TCG: Arg- Ser- Ser

Mensaje tras la mutación:

- Primer caso:
- Cadena superior: CGC TCG GGC: Ala- Ser- Pro
- Cadena inferior: GCG AGC CCG: Arg- Ser- Gly

En el primer caso cambia uno de los aminoácidos codificados, tanto en la cadena superior como en la inferior.

- Segundo caso:
- Cadena superior: CGC CCG AGC : Ala- Gly- Ser
- Cadena inferior: GCG GGC TCG : Arg- Pro- Ser

También en este caso cambia uno de los aminoácidos codificados, tanto en la cadena superior como en la inferior.

En cuanto al alcance biológico del cambio de un aminoácido por otro, podemos conjeturar que el efecto será grande si se trata del cambio de un aminoácido polar por uno apolar, o del cambio de uno con carga positiva a uno con carga negativa, pues en ese caso se puede afectar a la estabilidad de la estructura de la proteína.

Observemos las estructuras de los aminoácidos en la página 56 del libro del alumnado:

El cambio de serina por prolina (primer caso, cadena superior) es un cambio de cadena lateral polar a cadena lateral apolar. Puede ser significativo.

El cambio de serina por glicina (primer caso, cadena inferior) es un cambio de cadena lateral polar a cadena lateral apolar. También puede ser significativo.

El cambio de serina por glicina (segundo caso, cadena superior) es un cambio de cadena lateral polar sin carga a cadena lateral apolar. También puede ser significativo.

El cambio de serina por prolina (segundo caso, cadena inferior) es también un cambio de cadena lateral polar sin carga a cadena lateral apolar. Por tanto, también puede tratarse de un cambio que afecte significativamente a la estructura de la proteína.

- 7** En el presente tema se ha estudiado el comportamiento de los tres alelos que determinan el grupo sanguíneo del sistema AB0. Con independencia de este grupo, se dan también dos grupos sanguíneos según que los glóbulos rojos presenten o no el factor rh (una glicoproteína) en su membrana; la presencia del factor rh determina el grupo Rh+, y la ausencia del factor rh determina el grupo Rh-. Este sistema de grupos sanguíneos viene determinado por dos alelos: el alelo R determina el grupo Rh+, y el alelo r determina el gru-

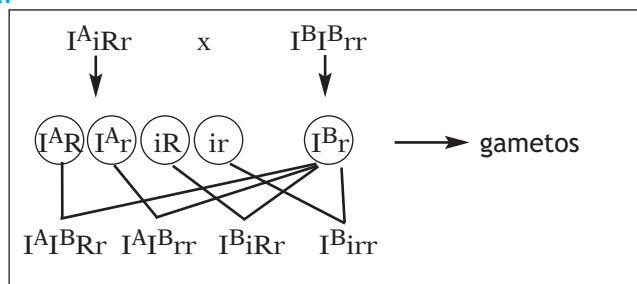
po Rh-, y R domina sobre r. Teniendo en cuenta esta información, y la que proporciona el texto del tema sobre el sistema AB0, determina los fenotipos, y sus proporciones, en los cruzamientos siguientes:

a. $I^A i Rr \times I^B i B rr$; b. $ii Rr \times I^A i rr$

Solución:

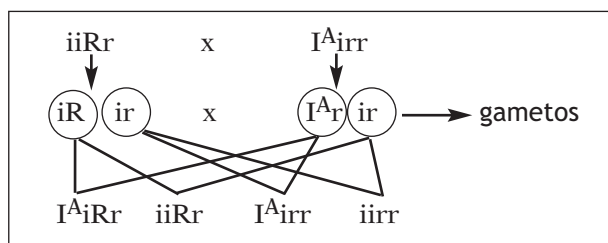
La presente actividad supone que se conoce la herencia de los grupos sanguíneos del sistema AB0, por eso sólo se añade la información correspondiente a la herencia del factor Rh.

a.



- $I^A I^B Rr$: 25 % grupo AB Rh+
- $I^A I^B rr$: 25 % grupo AB Rh-
- $I^B i Rr$: 25 % grupo B Rh+
- $I^B i rr$: 25 % grupo B Rh-

b.



- $I^A i Rr$: 25 % grupo A Rh+
- $ii Rr$: 25 % grupo 0 Rh+
- $I^A i rr$: 25 % grupo A Rh-
- $ii rr$: 25 % grupo 0 Rh-

8 Completa el siguiente cuadro comparativo de los dos mecanismos principales de formación de procesos cancerosos tachando la palabra que no proceda:

Solución:

Tipo de gen responsable	Expresión del gen	Ciclo celular
Oncogenes: mutación de protooncogenes	El gen mutado es dominante sobre el alelo normal	Amplificación de la función del gen normal
Mutación de TSG (genes supresores de tumores)	El gen mutado es recesivo sobre el alelo normal	Desactivación de la función del gen normal

9 Algunos tipos de cáncer se asocian a infecciones de virus. Por ejemplo, el cáncer de cuello de útero puede estar provocado por el virus del papiloma humano. Estos virus se insertan en el DNA humano y pueden provocar la aparición de oncogenes. ¿Puede existir alguna forma de prevenir este tipo de cánceres?

Solución:

Evitando las infecciones de estos virus. Por ejemplo, se está extendiendo la vacuna contra el virus del papiloma humano como manera de prevenir el cáncer de cuello de útero.

10 ¿Qué diferencias encuentras entre la obtención de nuevas variedades de plantas como consecuencia de la inducción de mutaciones y selección de los mutantes, y la obtención de variedades de plantas transgénicas?

Solución:

La obtención de nuevas variedades de plantas por selección de mutantes es un mecanismo que depende del azar: la aparición de mutaciones es impredecible. En cambio, las variedades transgénicas se obtienen con la utilización de genes expresamente deseados, y la incertidumbre estriba solamente en si el nuevo gen se habrá integrado o no en el genotipo de la planta.

11 Se dice que uno de los riesgos de la utilización de variedades transgénicas en agricultura es la disminución de la biodiversidad. ¿Qué significa eso?

Solución:

Si se va a la búsqueda de variedades que concentren todos los caracteres deseables (producción, resistencia a plagas, resistencia a suelos de mala calidad...), se dejarán de cultivar las variedades que reúnen solamente algunos de los caracteres deseables, con lo que al final serán muy pocas las variedades que se cultiven.

Esto es potencialmente peligroso, pues si se cultivan muy pocas variedades y de pronto aparece una plaga específica de esas variedades, la humanidad puede verse en peligro de pasar hambre porque tardará en encontrar va-

riedades alternativas que resistan las nuevas plagas aparecidas.

Frente a este argumento, conviene recordar que la experiencia con los productos industriales es la contraria: la facilidad para obtener productos industriales no ha hecho más que multiplicar la variedad de productos que se ofrecen al consumidor. Por tanto se puede sospechar que lo mismo puede ocurrir con las variedades agrícolas: la facilidad para producir nuevas variedades puede ser ocasión de multiplicación de la oferta de variedades.

12 *En la obtención de un animal transgénico, del tipo de los ratones in, han de pasar tres generaciones hasta obtener una cepa de transgénicos:*

- a. *animal resultante del desarrollo del embrión manipulado*
- b. *descendientes del cruce entre el animal transformado y otro de la misma especie sin transformar, que serán portadores de un ejemplar del gen inculado*
- c. *descendientes del cruce entre dos animales de la generación anterior, que serán ya homocigóticos para dicho gen.*

Indica cuáles de los pasos dependen del azar y cuáles siguen las leyes conocidas en la Genética mendeliana.

Solución:

El primer paso depende del azar: al inocular genes en un embrión de ratón, no sabemos cuántas células van a asimilar el nuevo material genético, ni si van a ser precisamente las células germinales las que asimilen el material genético, para que los nuevos genes pasen a la descendencia.

Los demás pasos siguen las leyes de la Genética mendeliana.

C. ACTIVIDADES DE LOS DOCUMENTOS

CÉLULAS MADRE CANCEROSAS

- 1** *Indica algunos lugares del organismo donde sean abundantes las células madre de adulto o células pluripotentes.*

Solución:

La capa germinal de la piel, la médula ósea roja (células madre sanguíneas), hipocampo (células madre de neuronas).

- 2** *¿Qué diferencia hay entre un célula madre maligna y una célula madre embrionaria? ¿Qué característica tienen en común?*

Solución:

Las células madre malignas tienen activados algunos oncogenes, mientras que las células madre embrionarias no presentan en principio oncogenes. La característica común es su capacidad ilimitada de reproducirse; en el caso de las embrionarias, algunas de las descendientes pierden esa capacidad para diferenciarse en algún tipo celular adulto, y en el caso de las células madre cancerosas, algunas de las descendientes pueden perder capacidad de reproducirse, pero sin diferenciarse en algún tipo celular adulto.

- 3** *El documento habla del reconocimiento de algunas señales moleculares específicas de las células madre cancerosas. ¿En qué lugar de la célula se localizarían esas señales moleculares?*

Solución:

En la membrana plasmática, que es donde radica el CMH (complejo mayor de histocompatibilidad, que se explicará en el tema 19), conjunto de proteínas y glicoproteínas que sirven para el reconocimiento de la identidad celular. También en la membrana plasmática se sitúan las proteínas y glicoproteínas encargadas de la recepción de señales químicas.

BIOLOGÍA DE LOS MICROORGANISMOS

17

1. INTRODUCCIÓN

En el Tema 6 se citó la existencia de células con organización procariótica y a los microorganismos que respondían a dicha estructura, pero no se pasó a describirlos.

En el curso anterior se hizo también esa sucinta referencia a la organización procariótica y a la existencia de microorganismos procariotas. Con anterioridad, en la ESO, el estudio de los microorganismos se hacía principalmente en cuanto incidían en la salud y en las actividades económicas de nuestra especie, y los estudios sobre la organización y sistemática de estos seres microscópicos eran muy elementales.

Con el presente Tema se retoman los estudios sobre Microbiología de la ESO dándoles un nivel adecuado a la maduración intelectual del alumnado, y partiendo de los conocimientos sobre estructura celular que ha adquirido en el presente curso. Se aborda un estudio de la estructura y modo de vida de los principales microorganismos procariotas y de los virus, tratando de compaginar una visión extensa de la diversidad de formas y funciones vitales que pueden darse entre los microbios, con una visión unitaria que permita al alumno extraer ideas fundamentales y de validez general sobre la organización corporal y los requerimientos vitales de los principales microorganismos.

2. TEMPORALIZACIÓN

Para el desarrollo del presente tema se calculan seis sesiones. La sesión de evaluación puede ser conjunta con la del tema siguiente.

3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Conocer las principales formas de vida de los microorganismos procariotas y de los virus.
2. Ordenar de modo sistemático la diversidad de formas del mundo de los microorganismos.
3. Conocer la estructura de los organismos procariotas y de los virus.
4. Relacionar la estructura de los microorganismos con sus formas de vida.
5. Conocer detalles del ciclo vital de los microorganismos que después serán necesarios para comprender los modernos procesos de la Biotecnología.

4. CONTENIDOS CONCEPTUALES

1. Los microorganismos y la Microbiología.
2. Los virus
 - Estructura
 - Clasificación
 - Ciclo vital
 - Origen de los virus
 - Otras formas acelulares
3. Las bacterias
 - Morfología y distribución
 - Estructura
 - Metabolismo
4. La reproducción y la recombinación genética en las bacterias
 - La reproducción
 - Conjugación bacteriana
 - Transformación bacteriana
 - Transducción
5. Otros microorganismos procarióticos
 - Cianobacterias
 - Micoplasmas
 - Archeobacterias

5. SOLUCIONES Y COMENTARIOS

A. ACTIVIDADES VINCULADAS AL TEXTO

1 Los microorganismos y la Microbiología

Actividades pág. 302

A veces de habla de microorganismos beneficiosos y de microorganismos perjudiciales. Pon ejemplos de cada uno de estos tipos.

Soluciones:

La cuestión es abierta a la investigación de alumnas y alumnos, pero a modo de ejemplo, incluimos los siguientes:

Beneficiosos: levaduras de la fermentación alcohólica, bacterias de la fermentación del yogur, bacterias y hongos de la fermentación de los quesos, bacterias y hongos productores de antibióticos, bacterias habitantes del tubo digestivo que suministran vitaminas al organismo (y en el caso de los herbívoros, digieren la celulosa), bacterias y hongos que descomponen los restos orgánicos suministrando nutrientes a las plantas, bacterias nitrificantes que producen nitratos que las plantas aprovechan, bacterias fijadoras del nitrógeno que viven en las raíces de las leguminosas...

Perjudiciales: virus, bacterias y hongos productores de enfermedades, bacterias y hongos que crecen en los alimentos alterándolos, bacterias desnitrificantes que consumen los nitratos del suelo...

2 Los virus

Actividades pág. 303

- a *Qué diferencia hay entre un virus y un virión?*
- b *¿De dónde proceden las proteínas transmembrana de la membrana lipoproteica de los virus?*

Soluciones:

- a El virus es el organismo individual, que puede encontrarse en diversas fases de su ciclo vital: dentro de la célula, fuera de la célula, en plena duplicación, antes de la duplicación, después de la duplicación...

El virión es una fase concreta de la vida del virus: es la partícula que puede pasar de una célula a otra, para lo cual debe poseer todos los componentes típicos del vi-

rus: ácido nucleico, cápsida proteica y, en su caso, envoltura lipoproteica.

- b Proceden de la membrana plasmática de la célula infectada de donde procede el virus, ya que cuando este tipo de virus abandona una célula infectada, lo hace por gemación y arrastra parte de la membrana plasmática de la célula, con sus proteínas transmembrana incluidas. La membrana lipoproteica de un virus puede contener proteínas que no son típicas de las especies celulares que infecta; pero se trata de proteínas que desarrolla la célula hospedadora durante la infección, que en ocasiones sirven para que el sistema inmunitario detecte la infección y se prepare para combatirla.

Actividades pág. 305

- a *¿Piensas que podría hacerse una clasificación de los virus según su modo de vida? Explícalo.*
- b *Después de estudiar la clasificación de los virus, ¿piensas que puede definirse un virus como un ácido nucleico rodeado de proteínas? Piensa en los grupos de virus que no responderían a esta descripción.*

Soluciones:

- a No, porque todos los virus son parásitos intracelulares obligados. No hay virus autótrofos, ni saprofitos, ni simbióticos, ni biofágicos.
- b No responderían a esta definición los virus con envoltura lipoproteica, ni algunos virus, como el de la gripe, que presentan varias moléculas de RNA, ni tampoco los retrovirus, que presentan junto al RNA algunas moléculas de transcriptasa inversa.

Actividades pág. 309

- a *En las células eucarióticas infectadas, ¿dónde se sintetizan las proteínas de la cápsida, en el núcleo o en el citoplasma? ¿Y dónde se producen los ácidos nucleicos víricos?*
- b *Los vectores son necesarios para la entrada de los virus en una planta. ¿Por qué estos vectores no son imprescindibles en el caso de las bacterias y los animales?*

Soluciones:

- a Las proteínas víricas se sintetizan en el citoplasma, por-

que es lo propio de la maquinaria de síntesis de proteínas de la célula eucariótica. Por la misma razón, los ácidos nucleicos víricos se sintetizan en el núcleo, igual que los ácidos nucleicos de la propia célula.

- b En las plantas, las paredes celulares constituyen un entramado esquelético que protege todas las células, y que hay que romper por algún lugar para que penetren los agentes infecciosos externos, cosa que realizan los vectores (por ejemplo, los pulgones, que perforan la epidermis de la planta en busca de los vasos que transportan savia elaborada; en la saliva de estos insectos están los virus que comenzarán a invadir la planta desde la savia elaborada).

En los animales no existe el entramado de paredes celulares, y aunque la piel es una buena protección, por las capas de queratina que la protegen, los microorganismos pueden burlar esa barrera en las heridas o en las aperturas naturales (del tubo digestivo, del aparato urinario, de los oídos...).

En las bacterias, cada bacteria cuenta con una pared celular protectora, pero los virus bacteriófagos presentan mecanismos para producir un orificio e inyectar por él el ácido nucleico.

2 Las bacterias

Actividades pág. 313

- a *Teniendo en cuenta los orgánulos bacterianos estudiados, ¿pueden presentar síntesis de proteínas las bacterias? ¿Y fotofosforilación? Justifica tus respuestas.*
- b *Señala las principales diferencias que observas en la estructura y composición de la pared celular bacteriana y la de las células vegetales.*
- c *Señala las principales diferencias entre los flagelos bacterianos y los flagelos de las células eucarióticas.*

Soluciones:

- a Las bacterias pueden presentar síntesis de proteínas porque presentan ribosomas, moléculas de DNA y moléculas de RNA.
Las bacterias también pueden presentar fotofosforilación, porque las bacterias fotosintéticas presentan fotosistemas, factores de acoplamiento y proteínas transportadoras de electrones en las membranas de los mesosomas, e incluso en muchas especies presentan membranas equivalentes a las tilacoidales de los cloroplastos en la superficie del citosol.

- b En cuanto a la composición, la pared celular vegetal tiene como principal componente la celulosa, acompañada de otros polisacáridos, glicoproteínas, agua e iones de calcio. La pared celular bacteriana tiene como principal componente la mureína, que es una glicoproteína, acompañada de otras glicoproteínas (peptidoglicanos), ácidos teicoicos (de naturaleza glicídica) y, en el caso de las gramnegativas, una segunda membrana lipídica con proteínas intercaladas. En cuanto a la estructura, la pared vegetal crece desde la pared primaria (que se forma en la mitosis por fuera de la membrana plasmática) hacia el interior de la célula (siempre por fuera de la membrana plasmática), y crece en capas en las que se observa un enriquecimiento progresivo en celulosa y un empobrecimiento en agua. En cambio la pared celular bacteriana no tiene crecimiento en grosor en capas, sino que algunas especies desarrollan una cápsula externa por fuera de la pared, formada por polisacáridos, que tiene como función adherirse al sustrato, protegerse de las defensas inmunitarias, o formar esporas de resistencia. También se puede señalar que la pared celular vegetal está interrumpida por poros de menor grosor (punteaduras), y en ocasiones por puentes citoplasmáticos (plasmodesmos), mientras que la pared bacteriana carece de interrupciones.

- c El filamento flagelar bacteriano está constituido básicamente por la proteína flagelina, mientras que el axonema de cilios y flagelos eucarióticos está formado por microtúbulos de tubulina y proteínas anexas, como la nexina, la dineína y las fibras radiales. En la base de los flagelos bacterianos hay unos discos proteicos que les imprimen movimiento giratorio, mientras que en cilios y flagelos eucarióticos está el gránulo basal, de estructura idéntica a los centriolos, con microtúbulos y otras proteínas anejas, y el movimiento del cilio o flagelo es por flexión del axonema debido a la acción de la dineína.

Actividades pág. 315

- a *En el texto aparecen en varias ocasiones asociaciones entre diversos tipos de bacterias, con metabolismos diferentes, de manera que unas bacterias aprovechan los compuestos producidos por otras. Trata de rellenar el siguiente cuadro indicativo de dichas asociaciones, teniendo en cuenta que en muchos casos se pueden citar varios grupos de bacterias en los huecos correspondientes:*
- b *Se han citado grupos de bacterias cuyo metabolismo es beneficioso para las plantas, y grupos de bacterias cuyo metabolismo puede ser perjudicial para las plantas. Escribe a qué grupos de bacterias nos referimos en uno y en otro caso.*

Soluciones:

a

bacterias productoras	compuestos	bacterias consumidoras
fermentadoras	sulfuro de hidrógeno	fotosintéticas del azufre (rojas o verdes) y quimiosintéticas del azufre (incoloras)
quimiosintéticas nitrificantes	nitratos	anaerobias desnitrificantes
aerobias y fermentadoras	dióxido de carbono	autótrofas, tanto fotosintéticas como quimiosintéticas

- b Bacterias beneficiosas para las plantas:
- aerobias, que liberan nutrientes inorgánicos, como sulfatos y fosfatos.
 - quimiosintéticas nitrificantes, que oxidan el amonio a nitratos.
 - fijadoras del nitrógeno, que reducen el nitrógeno atmosférico hasta amonio, o hasta incorporarlo a proteínas.
- Bacterias perjudiciales para las plantas:
- fermentadoras, que producen ácidos perjudiciales para las raíces.
 - anaerobias desnitrificantes, que reducen los nitratos a nitritos o a amonio.
 - otras anaerobias que reducen los sulfatos y fosfatos.

B. ACTIVIDADES DE AUTOEVALUACIÓN

- 1 Define los siguientes conceptos: coco, bacilo, vibrio, espirilo, grampositiva, virión, cápsida, capsómero, bacteriófago, retrovirus.

Solución:

Coco. Bacteria de forma esférica.

Bacilo. Bacteria de forma alargada o de bastoncillo.
Vibrio. Bacteria de forma de coma (bastoncillo un poco curvado)
Espirilo. Bacteria de forma más o menos helicoidal.
Grampositiva. Bacteria cuya pared celular está formada básicamente por mureína y otras glicoproteínas y polisacáridos, situada externamente a la membrana plasmática, sin ninguna membrana lipídica externa. Se llama así porque esta pared se tiñe con la llamada tinción de Gram.
Virión. Es la partícula vírica preparada para la fase extracelular, capaz por tanto de invadir nuevas células, constituida por el ácido nucleico, la cápsida proteica y, en algunas especies, la membrana lipoproteica.
Cápsida. Cada una de las piezas proteicas que constituye la cápsida de un virus. Generalmente las cápsidas poseen uno unos pocos tipos de capsómeros.
Bacteriófago. Virus que infecta células bacterianas.
Retrovirus. Virus que posee RNA como material genético y algunas moléculas de la enzima transcriptasa inversa, capaz de sintetizar DNA a partir de la molécula de RNA.

- 2 Ordena, de menor a mayor tamaño, los siguientes microorganismos: micoplasma, virus de la gripe, cianobacteria, viroide, bacilo, ameba.

Solución:

viroide (forma acelular sin cápsida), virus de la gripe (virus con cápsida), micoplasma (procariota sin pared celular), bacilo (bacteria típica con pared celular), cianobacteria (procariota de mayor tamaño que las bacterias) y ameba (eucariota).

- 3 Rellena, con pocas palabras, el siguiente cuadro comparativo de los tipos de ciclo vital de virus estudiados:

Solución:

FASE	LÍTICO	LISOGÉNICO	RETROVIRUS
FIJACIÓN	Afinidad química entre capsómeros del virus y glicoproteínas de pared celular	Afinidad química entre capsómeros del virus y glicoproteínas de pared celular (en el caso de bacteriófagos) o de la membrana plasmática (en el caso de virus de células animales)	Afinidad química entre proteínas de la envoltura lipoproteica y proteínas de la membrana plasmática
ENTRADA	Solamente el ácido nucleico	Solamente el ácido nucleico (en el caso de los bacteriófagos) o el virión completo	La cápsida y el ácido nucleico, quedando la membrana lipoproteica fundida con la membrana plasmática.
ECLIPSE	Muy breve	Duración indefinida, pudiendo durar durante varias generaciones celulares	Variable, pero generalmente es larga, porque el DNA transcrito desde el RNA ha de integrarse en el DNA celular
LIBERACIÓN	Por lisis o rotura de la célula hospedadora cuando está llena de nuevos virus	En los bacteriófagos, por lisis o rotura de la célula hospedadora. En los virus animales, puede ser una liberación persistente sin que la célula llegue a morir	Liberación persistente; de la célula, aún viva, van saliendo por gemación los nuevos viriones

4 Explica las diferencias en la morfología de un virus en fase extracelular y del mismo virus en fase intracelular.

Solución:

El virus en fase intracelular está formado sólo por el ácido nucleico, en cambio en la fase extracelular, el ácido nucleico está envuelto por la cápsida y, en algunos casos, por la membrana lipoproteica. Por eso, cuando en la fase de entrada penetra el virión completo, o el virus con cápsida, ha de darse un desensamblaje de la envoltura del virus.

5 Explica las principales diferencias entre la pared de las bacterias grampositivas y la de las bacterias gramnegativas. Indica también cuál es la función de la mureína en los dos tipos de pared.

Solución:

La pared grampositiva es más gruesa que la gramnegativa. La pared grampositiva tiene naturaleza glicoproteica, con peptidoglicanos y polisacáridos intercalados. En cambio la pared gramnegativa contiene, además, lípidos y lipoproteínas.

La razón principal de esta diferencia de composición es que, las gramnegativas, por fuera de la capa de mureína (peptidoglicanos) hay una segunda bicapa lipídica con proteínas y lipoproteínas intercaladas.

La mureína, presente en los dos tipos de pared, es la responsable de la resistencia de la pared bacteriana a la presión que puede originarse por fenómenos osmóticos, ya que las moléculas de peptidoglicanos se colocan engarzadas formando una malla muy resistente.

6 Las bacterias anaerobias facultativas y las anaerobias tolerantes, pueden vivir en presencia de oxígeno. ¿En qué se diferencian entre sí?. Pon ejemplos de cada uno de los tipos.

Solución:

Las bacterias anaerobias facultativas presentan metabolismo anaerobio en ausencia de oxígeno y aerobio en pre

sencia de oxígeno. En cambio, las anaerobias tolerantes solamente pueden presentar metabolismo anaerobio, aunque el oxígeno no sea tóxico para ellas ni dificulte su crecimiento.

Son anaerobias facultativas *Escherichia coli*, habitante del intestino grueso humano, y otras especies que habitan fangos. Son anaerobias tolerantes las responsables de las fermentaciones lácticas que producen el yogur (*Lactobacillus acidophilus* y *Streptococcus bulgaricus*) y muchos quesos.

7 Según el procedimiento de reproducción por bipartición, todas las bacterias hijas de una misma bacteria, son genéticamente idénticas: forman un clon o cepa. ¿Por qué se dan diferencias genéticas entre bacterias de la misma especie?

Solución:

Porque con el tiempo se van produciendo mutaciones que generan diferencias genéticas entre las que han sufrido la mutación y las que no la han sufrido.

8 ¿Qué utilidad tiene, para la vida de las bacterias, los fenómenos de recombinación genética?

Solución:

El fenómeno de las mutaciones espontáneas podría producir la aparición de cepas de bacterias inviables porque han acumulado muchas mutaciones desfavorables. Con la recombinación genética, bacterias que carecen de genes activos e interesantes para la supervivencia, adquieren esos genes que habían perdido por mutación.

También puede ser que algunas bacterias hayan adquirido genes especialmente favorables por mutación (por ejemplo, los de resistencia a antibióticos), y mediante la recombinación, traspasan esas ventajas genéticas a otros miembros de la especie.

9 Intenta resumir las diferencias estructurales entre los diferentes tipos de procariotas rellenando el siguiente cuadro:

Solución:

	bacteria	cianobacteria	micoplasma	arqueobacteria
cápsula o vaina	Algunas especies	Todas las especies	No tienen	Algunas especies
pared celular	Todas las especies. Grampositivas o gramnegativas	Todas las especies. Gramnegativas	No tienen	Todas las especies. Más rica en proteínas
membrana plasmática	Todas las especies	Todas las especies	Todas las especies	Todas las especies. Hidrocarburos en vez de fosfolípidos
modo de vida	Autótrofas, saprofitas, parásitas, simbióticas	Autótrofas	Parásitas	Saprofitas, algunas heterótrofas pero con fotofosforilación

- 10** Para cultivar una determinada especie de bacteria se recomienda el siguiente medio de cultivo:

Por litro de agua desionizada:

- extracto de carne bovina, 2,0 g
- hidrolizado ácido de caseína, 17,5 g
- extracto de levadura, 3,0 g
- almidón, 1,5 g
- NAD, 30,0 mg
- hemina, 15,0 mg
- timidina fosforilasa, 100 U.I.
- agar, 17,0 g
- pH = 7,28 a 7,32

Razona si se trata de un microorganismo autótrofo o heterótrofo, aerobio o anaerobio.

Solución:

Se trata de un microorganismo heterótrofo, porque precisa de materia orgánica (carne bovina, caseína, almidón). En cambio, de la lista de requerimientos no podemos deducir si se trata de un microorganismo aerobio o anaerobio, aunque tratándose de un medio de cultivo comercial (la presencia de NAD, hemina y timidina fosforilasa nos hace pensar que no es un medio de cultivo casero) nos inclinamos a pensar que se trata de un microorganismo aerobio, pues la mayoría de los medios de cultivo son para microorganismos aerobios.

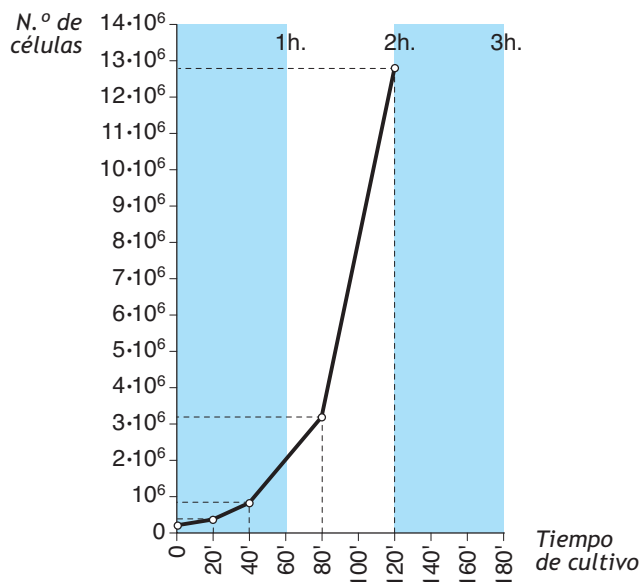
- 11** Observa la siguiente gráfica que representa la evolución típica de un cultivo bacteriano (número de bacterias a lo largo del tiempo) en un medio líquido.

- a. ¿Responde esta curva al crecimiento que se ha indicado en el apartado de la reproducción de las bacterias (una duplicación cada veinte minutos)? Intenta representar gráficamente un crecimiento de un cultivo que duplicara su número de células cada veinte minutos.
- b. ¿A qué se deben las diferencias entre la evolución típica de un cultivo bacteriano y la curva teórica que has intentado construir en la cuestión anterior?

- c. ¿A qué puede deberse la aparición de una fase estacionaria en la que el cultivo no aumenta de número de individuos?

Solución:

- a. La parte de la gráfica señalada como "fase de crecimiento" sí que responde al crecimiento teórico, aunque no totalmente. En cambio la parte de la gráfica señalada como "fase estacionaria" no responde al crecimiento teórico. Se puede comprobar con la gráfica construida por el alumnado que será similar a la que aquí se muestra:



- b. La fase de crecimiento no responde exactamente a la curva teórica por razones de competencia por los nutrientes entre las diferentes bacterias; además, aparece la fase estacionaria cuando el cultivo lleva ya unas tres horas en funcionamiento.
- c. La fase estacionaria se debe a dos factores: algunos nutrientes pueden haberse agotado, y empiezan a acumularse productos tóxicos procedentes del metabolismo de las bacterias. Estos dos factores hacen que las bacterias se reproduzcan más lentamente e incluso que mueran algunas, alcanzándose un equilibrio entre las bacterias que se forman y las que mueren, manteniéndose el número de individuos "estacionario".

C. ACTIVIDADES DE LOS DOCUMENTOS

RECOMBINACIÓN GENÉTICA BACTERIANA EN LA NATURALEZA

- 1 *Comenta la influencia que han podido tener los mecanismos de recombinación genética en bacterias en el ritmo de evolución de estos microorganismos.*

Solución:

La recombinación genética ha podido acelerar el ritmo de evolución de las bacterias al poner a disposición de muchos individuos las mutaciones adquiridas por otros individuos, que de otra manera hubieran quedado restrin-

gidas a la descendencia de los mutantes, que quizás pudieran haber sido eliminados por cualquier factor ambiental.

- 2 *A la vista de la información de este Documento, ¿piensas que son excesivas las cautelas que se tienen a la hora de desarrollar la ingeniería genética, o por el contrario piensas que aún se debería ir más lento en su aplicación?*

Solución:

Cuestión abierta, que tiene como objetivo hacer reflexionar al alumnado sobre los riesgos de la investigación con bacterias.

MICROBIOLOGÍA APLICADA

18

1. INTRODUCCIÓN

Ya en los estudios de la ESO se abordaba la incidencia de los microorganismos en las actividades humanas. No se ha querido abandonar esta vertiente práctica del estudio de la Microbiología en cuanto que los microorganismos se relacionan con nuestra especie, sino más bien ampliar dichos conocimientos, sobrepasando así las ideas elementales adquiridas sobre los microbios beneficiosos y los microbios perjudiciales.

Se estudian en este tema aspectos generales del estudio de los microorganismos en el mundo de la Sanidad, con

un repaso de los conceptos básicos relacionados con las enfermedades infecciosas, y de la producción de alimentos y otros productos industriales; pero también su incidencia en la Biosfera, que de manera directa nos afecta a nosotros. Para que dicho estudio no caiga en una lista interminable de casos concretos, se relacionan las aplicaciones de los microbios con su fisiología y modos de vida, por lo que se comienza el tema con una profundización sobre los hábitats naturales de los microorganismos y sobre su modo de vida.

2. TEMPORALIZACIÓN

Para el desarrollo del presente tema se calculan cinco sesiones. La evaluación se puede hacer conjuntamente con el tema anterior.

3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Conocer la incidencia de la actividad de los microorganismos sobre el buen funcionamiento de la Biosfera.
2. Entender mejor la importancia de la vida de los microorganismos del plancton y del suelo.
3. Dominar conceptos elementales relacionados con la prevención y el tratamiento de las enfermedades infecciosas.
4. Relacionar los problemas cotidianos de salud con la actividad de los microorganismos.
5. Adquirir un conocimiento básico sobre la incidencia de los microorganismos en los procesos industriales que mejoran la calidad de vida de nuestra sociedad.

4. CONTENIDOS CONCEPTUALES

1. Modos de vida de los microorganismos
2. Microorganismos autótrofos y Biosfera
3. Microorganismos del suelo
4. Microorganismos patógenos
 - Conceptos de Microbiología médica.
 - Lucha contra los microorganismos.
 - Infecciones transmitidas por vía respiratoria.
 - Infecciones transmitidas por vía intestinal.
 - Infecciones por contacto directo.
 - Enfermedades contagiadas por vectores
5. Los microorganismos y los alimentos
6. Otras aplicaciones industriales de los microorganismos
 - Obtención de productos quimiofarmacéuticos.
 - Tratamientos de residuos.

5. SOLUCIONES Y COMENTARIOS

A. ACTIVIDADES VINCULADAS AL TEXTO

2 Microorganismos autótrofos y Biosfera

■ Actividades pág. 325 ■

- a Las bacterias fotosintéticas son abundantes en costas con grandes acumulaciones de excrementos de aves y en lagunas de aguas sulfurosas o ferrosas. ¿Qué nutrientes encuentran esas bacterias en esas aguas que sean necesarios para su metabolismo?
- b Las acumulaciones de las bacterias citadas en la cuestión anterior forman muchas veces costras de color rojizo ¿A qué puede deberse esa coloración?

Soluciones:

- a Las bacterias fotosintéticas, tal como se estudió en el tema 13, sobre la fotofosforilación bacteriana, y en el tema 17, sobre el metabolismo de las bacterias, utilizan el sulfuro de hidrógeno como fuente de electrones y protones, o bien otros compuestos reducidos, como el amonio, el metano o ácidos orgánicos. Todos estos compuestos pueden aparecer en las acumulaciones de materia orgánica en descomposición, por acción de las bacterias descomponedoras que liberan los nutrientes inorgánicos al oxidar la materia orgánica, o por acción de las bacterias que producen fermentaciones, y esto sería lo que ocurre en las acumulaciones de excrementos de aves.

En las aguas sulfurosas hay ya abundancia de sulfuro de hidrógeno, y en las aguas ferrosas pueden crecer bacterias quimiosintéticas del hierro que favorezcan la aparición de materia orgánica que nutriría a su vez a las bacterias descomponedoras y fermentadoras.

- b El color rojizo puede deberse a las bacterioclorofilas, pigmentos necesarios para que se realice la fotosíntesis bacteriana.

3 Microorganismos del suelo

■ Actividades pág. 326 ■

- a ¿Podrían vivir las plantas en suelos estériles, o sea, libres de microorganismos? Explícalo.

- b Si en el texto se afirma que en el subsuelo hay bacterias que producen hidrocarburos por fermentaciones anaerobias, ¿por qué hay preocupación por el agotamiento de las reservas de combustibles fósiles?

Soluciones:

- a Muchos microorganismos del suelo, como los heterótrofos aerobios, suministran a las plantas nutrientes inorgánicos procedentes de los restos orgánicos, como los sulfatos y fosfatos. En ausencia de estos microorganismos, habría que suministrar a las plantas esos nutrientes de forma directa, y no son muy abundantes en los suelos.

Otros microorganismos, como los quimiosintéticos nitrificantes, transforman el amonio liberado en la descomposición de la materia orgánica en nitratos que pueden ser absorbidos por las plantas. En ausencia de estos microorganismos, habría que suministrar a las plantas esos nutrientes de forma directa, que tampoco son muy abundantes en los suelos.

La ausencia de micorrizas dificultaría el acceso de agua a las plantas, y habría que garantizar también el suministro de este bien escaso.

En resumen, solamente en medios de cultivo controlados por la actividad humana, podrían desarrollarse las plantas en ausencia de microbios.

- b La velocidad de producción de hidrocarburos por fermentación es mucho menor que la velocidad de consumo de estas reservas naturales. Si se mantiene el ritmo actual de consumo de hidrocarburos, no se puede garantizar en absoluto su regeneración por actividad microbiana.

4 Microorganismos patógenos

■ Actividades pág. 329 ■

- a ¿Se podría curar una enfermedad infecciosa sometiendo al paciente a una radiación ultravioleta? Razónalo.
- b ¿Qué diferencias observas entre los antisépticos, los bacteriostáticos y los antibióticos?
- c ¿Piensas que los médicos deberían recetar antibióticos para curar todo tipo de enfermedades infecciosas? ¿Por qué?

Soluciones:

a Las radiaciones ultravioletas son dañinas para todo tipo de organismos, tanto para los microbios como para las células de los tejidos de la persona infectada. Por tanto, no es viable este tipo de tratamiento contra las infecciones.

b Los antisépticos solamente pueden usarse sobre la piel, pues las células de la piel tienen protección contra la acción de estas sustancias y pueden sobrevivir al tratamiento mejor que los microorganismos; no así las células de los tejidos internos del organismo infectado.

Los bacteriostáticos y los antibióticos, con algunas excepciones, son inocuos contra las células de los tejidos internos y pueden ser usados en infecciones interiores del organismo.

Los bacteriostáticos son sustancias producidas por reacciones químicas dirigidas por los humanos; o sea, son productos sintéticos. En cambio los antibióticos son sustancias producidas por microorganismos, como fruto de su metabolismo, y las personas se limitan a purificarlas y aplicarlas en las dosis adecuadas.

Conviene matizar, por un lado, que muchos antibióticos son en realidad fruto de una transformación química de las sustancias producidas por los microorganismos; con dicha transformación se pretende amplificar los efectos del antibiótico o evitar una posible toxicidad hacia el organismo infectado.

Por otro lado, muchos autores suelen distinguir dos tipos de antibióticos: los que impiden la reproducción del microorganismo, y los que le producen la muerte. Al primer tipo se le llama también “antibióticos bacteriostáticos”. Nosotros, en nuestra cuestión nos referimos a los bacteriostáticos de síntesis.

c Conviene ser restrictivos en el consumo de antibióticos, para no favorecer la aparición de fenómenos de resistencia a los antibióticos entre las cepas de microbios que son habitantes normales del tubo digestivo, o de la piel, o de las vías respiratorias, o de las vías urinarias de las personas, muchas de las cuales, aunque sean normalmente inofensivas, pueden invadir el organismo y convertirse en patógenas cuando la persona pasa por episodios de disminución de sus defensas inmunitarias. Por ejemplo, durante una gripe, muchas de las bacterias de las vías respiratorias pueden invadir el organismo. Si las cepas portadoras por el enfermo son resistentes a los antibióticos, resulta difícil el tratamiento de una enfermedad que en condiciones normales sería leve.

Por otra parte, los antibióticos solamente son efectivos contra bacterias, nunca contra virus o contra hongos.

Actividades pág. 332

a Hay muchas enfermedades bacterianas y víricas que no se han citado en los apartados anteriores, por tratarse de enfermedades de menor incidencia en la población, bien por padecerse una vez en la vida, bien por haberse prácticamente erradicado de las sociedades desarrolladas por las campañas de vacunación, bien por tratarse de enfermedades benignas. Cita un ejemplo de cada uno de estos tres casos y busca información sobre el agente infeccioso y sobre el tratamiento de la enfermedad.

b ¿Cuáles son las principales precauciones que tomarías para evitar una enfermedad transmitida por vía respiratoria? ¿y para prevenir enfermedades transmitidas por vía intestinal?

c La prevención de enfermedades de transmisión sexual requiere en ocasiones el cambio de determinados hábitos sociales. ¿Piensas que esa es una diferencia con las otras enfermedades estudiadas, o se trata del mismo tipo de prevención?

Soluciones:

a Cuestión abierta, sujeta a la labor investigadora del alumnado.

b Contra enfermedades transmitidas por vía respiratoria:

- Evitar ambientes cerrados con muchas personas.
- Evitar la excesiva proximidad y el contacto íntimo (besos, caricias) con personas que presenten síntomas de la enfermedad
- No compartir objetos usados por dichas personas (vasos, platos, cubiertos...).
- Usar mascarillas que eviten la entrada masiva de microbios con el aire que respiramos.

Contra enfermedades transmitidas por vía intestinal:

- Lavar bien los objetos usados para la alimentación.
- Cocer los alimentos, o si se trata de verduras frescas, lavarlas con una solución de lejía u otro desinfectante (sin que la concentración sea excesiva, para evitar intoxicaciones por la ingestión de estas sustancias esterilizantes).
- Asegurar que no hay contacto con los excrementos del enfermo y cuidar la higiene personal del enfermo.
- No compartir con el enfermo alimentos o cubiertos.
- Lavarse las manos antes de comer.

c La cuestión es abierta por sus implicaciones éticas. Conviene hacer reflexionar al alumnado que si en los otros tipos de enfermedades se requiere un cierto cambio de

hábitos sociales (higiene, menos contactos personales, buscar espacios más abiertos, preparación de los alimentos, etc.), también en las relaciones íntimas hace falta cuidar unas normas elementales de higiene, que pueden llevar en muchos casos a ser exigentes consigo mismos y no multiplicar factores de riesgo.

5 Los microorganismos y los alimentos

Actividades pág. 335

- a *¿Por qué la adición de azúcar o de sal impide el crecimiento de los microorganismos?*
- b *¿Qué procedimientos conoces para deshidratar los alimentos?*
- c *Los alimentos refrigerados se estropean cuando se sacan de la nevera. ¿Por qué?*
- d *¿Qué tipos de radiaciones pueden matar microorganismos? ¿Afectarían también a nuestras células?*

Soluciones:

- a El azúcar y la sal son solubles en agua. Si se añaden en gran cantidad, se obtiene disoluciones de gran concentración (“almíbares” con el azúcar, “salmueras” con la sal) en los que la presión osmótica de la disolución es muy grande, pues la presión osmótica depende de la concentración de las partículas disueltas y no de su naturaleza. Con dicha presión, cualquier microorganismo que pretendiera crecer moriría, pues su contenido hídrico saldría de la célula para diluir la disolución de azúcar o de sal.
- b Principalmente dos:
 - el calor, sea en aire caliente forzado, sea por tostado sobre la fuente de calor. Así se conservan el café y las galletas, por ejemplo. Por eso deben conservarse tapados herméticamente, para que no tomen humedad del ambiente.
 - la liofilización, que consiste en congelar los alimentos y después colocarlos en un recipiente al vacío, de manera que el hielo sublima y el alimento queda deshidratado sin que se aumente la temperatura ambiente. Se utiliza para conservar frutas, que son empaquetadas después herméticamente para que no tomen humedad.
- c El frío de la refrigeración no mata a los microbios, sino que simplemente retrasa su metabolismo y su reproducción. Cuando el alimento se saca de la nevera y se ca-

lienta, los microorganismos presentes en él, que no crecían, comienzan a desarrollarse y alteran el alimento.

- d Pueden ser radiaciones gamma, de origen radiactivo, o X, o ultravioletas. Los alimentos irradiados han de ser empaquetados herméticamente para que no tomen contacto posterior con los microorganismos.

Los alimentos irradiados no afectan a nuestras células por razón de la irradiación, pues las radiaciones no permanecen en el alimento después del tratamiento. Pero algunos organismos sanitarios alertan sobre la posibilidad de que las radiaciones provoquen reacciones químicas indeseables en las células de los alimentos irradiados, y se produzcan sustancias nocivas para la salud. Por eso este tipo de conservación de los alimentos no se ha generalizado y se restringe a determinados productos en los que se ha comprobado que no hay riesgo para la salud humana.

B. ACTIVIDADES DE AUTOEVALUACIÓN

- 1 *La mayor parte de las bacterias habitantes del plancton (superficie del mar y de los lagos no contaminados) están adaptadas a vivir en bajas concentraciones de nutrientes. ¿A qué nutrientes nos referimos?, es decir, ¿qué sustancias necesitan dichas bacterias para vivir?*

Solución:

Si se trata de bacterias heterótrofas, los nutrientes que necesitan son la materia orgánica; por eso la vida de dichas bacterias va ligada a la presencia de microorganismos autótrofos o de microorganismos muertos en descomposición.

Si se trata de bacterias fotosintéticas, nos referimos al sulfuro de hidrógeno o cualquier otro dador de electrones y protones para la fotofosforilación, y al dióxido de carbono como fuente de carbono, y en el caso de las cianobacterias, la propia agua es el dador final de electrones y protones para la fotofosforilación, no necesitando más que dióxido de carbono y trazas de iones amonio, sulfuro y fosfato para completar la síntesis de todas las biomoléculas.

- 2 *Las bacterias fotosintéticas (diferentes a las cianobacterias) sólo son abundantes en aguas enriquecidas en sulfuros o en sales ferrosas, sea en el litoral, sea en lagos interiores. ¿Qué microorganismos fotosintéticos ocupan su lugar en mar abierto o en lagos no contaminados?*

Solución:

Las cianobacterias y las algas unicelulares eucariotas, o protofitas, que son capaces de utilizar el agua como dador de electrones para la fotofosforilación.

- 3** *En el suelo abundan muchos microorganismos beneficiosos para los ecosistemas y para la especie humana en particular, por beneficiar a las plantas o por ser fuente de productos farmacéuticos. Indica de qué grupos de microorganismos estamos hablando y qué medicamentos pueden proceder de microorganismos del suelo.*

Solución:

Son beneficiosos para las plantas:

- Los hongos y bacterias aerobios, que consumen la materia orgánica y liberan los iones metálicos y los sulfatos y fosfatos, que pueden ser absorbidos por las raíces de las plantas.
- Las bacterias nitrificantes, que transforman el amonio procedente de la descomposición de la materia orgánica en nitratos, que pueden ser absorbidos por las raíces de las plantas.
- Las bacterias fijadoras del nitrógeno, tanto las asociadas a las raíces de leguminosas (del género *Rhizobium*) o de otras plantas (del grupo de los actinomicetos), como las que viven libres en el suelo (del género *Azotobacter*), porque transforman el nitrógeno atmosférico en sales de amonio o incluso en proteínas.
- Los hongos del grupo de la micorrizas, porque facilitan la absorción de agua por las raíces.

Son beneficiosos por producir productos farmacéuticos, los microorganismos productores de antibióticos. Por ejemplo, *Streptomyces*, bacteria filamentosa productora de la estreptomicina, es un microorganismo del suelo, y también la mayoría de los hongos productores de antibióticos.

- 4** *Define los siguientes conceptos: microorganismo patógeno, infección, contagio, toxemia, asepsia, antisepsia, virulencia, vector.*

Solución:

Microorganismo patógeno. Capaz de producir una enfermedad en el organismo que invade.

Infección. Invasión de un organismo por microorganismos parásitos.

Contagio. Traspaso de microorganismos patógenos desde un organismo enfermo a uno sano.

Toxemia. Acumulación de toxinas en un organismo, procedentes de la acción de algún microorganismo patógeno.

Asepsia. Eliminación de microorganismos de cualquier artefacto o habitación; se eliminan tanto los patógenos como los inocuos.

Antisepsia. Eliminación de microorganismos en el cuerpo de los organismos infectados; aunque se pretende eliminar los microorganismos patógenos, también resultan eliminados muchos otros inocuos.

Virulencia. Es la intensidad de la enfermedad producida por un microorganismo patógeno.

Vector. Es un animal o un objeto responsable de la introducción de los microorganismos patógenos en un organismo.

- 5** *¿Qué es la resistencia a los antibióticos? ¿Por qué preocupa este fenómeno a las autoridades sanitarias?*

Solución:

Es la capacidad que adquieren algunas bacterias de producir enzimas que inactivan a los antibióticos. Estas enzimas son producidas por genes que han sufrido una mutación espontánea; dichos genes pueden transmitirse rápidamente entre las bacterias, tanto por razón de la reproducción (las bacterias hijas heredan el gen mutado) como por los fenómenos de recombinación genética entre bacterias vecinas: conjugación, transformación y transducción.

Este fenómeno preocupa a las autoridades sanitarias porque podrían aparecer cepas de bacterias resistentes a todos los antibióticos conocidos, con lo que se dificultaría la lucha contra las enfermedades producidas por dichas cepas.

- 6** *La lepra es una enfermedad de la piel producida por la bacteria *Mycobacterium leprae* o bacilo de Hansen. Fue importante y temida en la antigüedad, pero hoy día su extensión se restringe a países poco desarrollados y con deficientes políticas sanitarias, especialmente la India. Busca información sobre esta enfermedad y contesta las siguientes cuestiones:*

- ¿En qué grupo de enfermedades, según la vía de transmisión, colocarías la lepra?*
- ¿Qué medidas sanitarias piensas que han favorecido su erradicación de los países desarrollados y de muchos otros lugares?*

Solución:

- Es una enfermedad transmitida por contagio directo, especialmente si el contacto se realiza con las zonas de la piel afectadas por la enfermedad. En la antigüedad la enfermedad era temida porque se creía que también se podía transmitir por la proximidad de la persona enferma, como si se tratara de una enfermedad transmitida por vía respiratoria. También se igno-

raba que es necesaria una cierta predisposición genética para adquirir la enfermedad, lo cual explica que haya personas que no son infectadas a pesar del contacto repetido con los enfermos, y que existan grupos sociales emparentados donde la frecuencia de la enfermedad es mucho mayor.

- b. Tanto la higiene personal, que elimina muchos de los microorganismos presentes en la piel, como el diagnóstico precoz de la enfermedad, pues un tratamiento adecuado con antibióticos impide el desarrollo de la enfermedad.

7 Clasifica las siguientes enfermedades según que sean producidas por bacterias o por virus, y según la vía de contagio:

Solución:

Enfermedad	bacteriana / vírica	vía de contagio
tuberculosis	bacteriana	respiratoria
poliomelitis	vírica	intestinal
cólera	bacteriana	intestinal
neumonía	bacteriana	respiratoria
meningitis	bacteriana o vírica	respiratoria
varicela	vírica	contacto directo
gripe	vírica	respiratoria
tétanos	bacteriana	contacto directo (heridas profundas)
salmonelosis	bacteriana	intestinal
fiebre tifoidea	bacteriana	intestinal
tifus exantemático	bacteriana	vectores (piojos)
resfriado	vírica	respiratoria
herpes	vírica	contacto directo
hepatitis	vírica	intestinal (A) y por jeringuillas o transfusiones (B y C)
peste	bacteriana	vectores (pulgas)
rabia	vírica	vectores (mordeduras de perros o lobos)
gangrena	bacteriana	contacto directo (heridas profundas)
sífilis	bacteriana	contacto directo (transmisión sexual)
SIDA	vírica	transmisión sexual y por jeringuillas o transfusiones

8 Haz una clasificación de los alimentos obtenidos por fermentación, según si el alimento incluye el microorganismo vivo, o si el alimento ya no incluye el microorganismo que lo ha producido:

Solución:

alimento	con / sin microorganismo vivo
pan	sin
queso Roquefort	con
yogur	con
cerveza	las artesanales con, las industriales sin
vino	los artesanales con, los industriales sin
queso Emmental	con
encurtido	sin
sidra	las artesanales con, las industriales sin
aguardiente	sin
cuajada	sin

9 Se denomina biogás al metano producido por microorganismos que fermentan residuos orgánicos. Este producto constituye una de las fuentes de energía renovable y existen ya plantas de producción de electricidad a partir de la combustión de biogás. ¿Qué ventajas tiene, para el cuidado del medio ambiente, el consumo de biogás sobre el consumo de gas natural, que es metano fósil, acumulado en yacimientos?

Solución:

La combustión del biogás devuelve a la atmósfera el dióxido de carbono que las plantas acaban de absorber mediante la fotosíntesis para producir la materia orgánica que será objeto de fermentación. Hay un cierto equilibrio entre el carbono que entra y sale de la atmósfera en un año o en ciclos ligeramente mayores. En cambio, el gas natural procede de la acumulación del producto de fermentaciones ocurridas durante miles y millones de años; por tanto, se devuelve en un año lo que las plantas tardaron en hacer desaparecer de la atmósfera durante miles de años, y por eso no hay equilibrio entre el carbono que sale y el que entra en la atmósfera: entra mucho más que sale y se propicia el efecto invernadero.

C. ACTIVIDADES DE DE LOS DOCUMENTOS

BACTERIAS OCEÁNICAS Y REGULACIÓN DEL CLIMA

- 1 *En el ciclo del DMS (sulfuro de dimetilo) descrito en el artículo, intervienen otros microorganismos además de las bacterias. ¿A cuáles nos referimos?*

Solución:

Las algas unicelulares, que son las productoras del DMSP que después las bacterias transformarán en DMS.

- 2 *Se dice que las bacterias Roseobacter y Bacteroidetes son heterótrofas, porque consumen carbono orgánico y no pueden fijar el carbono inorgánico, y sin embargo tienen un mecanismo para producir ATP a partir de la energía lumínica. Podríamos decir que presentan solamente una de las dos fases de la fotosíntesis. ¿Qué fase de la fotosíntesis poseen y qué fase no poseen?*

Solución:

Poseen la fotofosforilación o fase luminosa, y no poseen el ciclo de Calvin o fase oscura.

INMUNOLOGÍA

19

1. INTRODUCCIÓN

Aprovechando los conceptos que el alumnado adquirió sobre el funcionamiento del organismo pluricelular en el curso anterior, en este tema, Inmunología, se aborda el estudio de los mecanismos que nuestro organismo posee para defenderse de la invasión de los microorganismos, y se

relaciona dicho estudio con la función más compleja que los investigadores han deducido del conocimiento de dichos mecanismos de defensa, que es la tendencia del organismo a mantener un equilibrio entre todos sus tipos celulares.

2. TEMPORALIZACIÓN

El tema podría desarrollarse en 10 sesiones.

3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Reconocer las funciones defensivas contra las infecciones de los componentes del sistema inmunitario.
2. Adquirir conceptos generales sobre los mecanismos de defensa del organismo que permitan la comprensión de otros problemas de salud relacionados con la inmunidad, como las alergias y el cáncer.
3. Relacionar los procesos de vacunación y de autoinmunidad, y ser conscientes de los peligros que comportan las alergias para la salud del ser humano.
4. Conocer las principales vías de investigación en el campo de la Microbiología y la Inmunología que pueden desembocar en importantes mejoras en el campo industrial o de la sanidad.

4. CONTENIDOS CONCEPTUALES

1. Concepto y tipos de inmunidad.
2. Defensas innatas.
 - Externas: barreras físicas y químicas.
 - Internas: respuesta inflamatoria.
3. Células y órganos del sistema inmunitario.
 - Órganos linfáticos.
4. Inmunidad adquirida: La respuesta inmunitaria.
 - Especificidad. Los antígenos.
 - Memoria inmunológica.
 - Distinción entre lo propio y lo extraño.
 - Diversidad.
5. El reconocimiento del antígeno por los linfocitos B y T.
 - Los receptores de los linfocitos B.
 - Los receptores de los linfocitos T.
 - Las proteínas del CMH.
6. Los anticuerpos.
 - Estructura de los anticuerpos.
 - La reacción antígeno-anticuerpo.
 - El sistema del complemento.
 - Características de las diferentes clases de anticuerpos.
7. Desarrollo de los linfocitos: selección clonal.
 - Memoria inmunológica. Respuesta primaria y secundaria.
8. Dos respuestas inmunitarias: humoral y celular.
 - Los linfocitos Th.
 - Inmunidad celular. Linfocitos Tc.
 - Inmunidad humoral. Linfocitos B.
9. Inmunidad natural frente a la infección.
 - Inmunidad congénita.
 - Inmunidad adquirida.
10. Inmunidad inducida artificialmente.
 - Las vacunas. Inmunización activa.
 - Los sueros. Inmunización pasiva.
11. Trastornos del sistema inmunitario.
 - Alergia y anafilaxia.
 - Autoinmunidad.
 - Inmunodeficiencia.
12. Trasplante de órganos.

5. SOLUCIONES Y COMENTARIOS

A. ACTIVIDADES VINCULADAS AL TEXTO

3 Células y órganos del sistema inmunitario

■ Actividades pág. 345 ■

- a *Relaciona las medidas de higiene tradicionales con lo aprendido sobre las barreras externas de inmunidad: lavarse las manos, limpiarse los dientes, higiene íntima...*
- b *Cita las defensas químicas externas que presentan los animales para impedir la invasión e infección de los patógenos.*
- c *¿Qué es una infección local?*
- d *¿Quién produce las inflamaciones, los microorganismos invasores o el sistema inmunitario?*
- e *Si las inflamaciones son molestas, porque elevan la temperatura del cuerpo, producen picores, hinchazones, e incluso dificultades respiratorias, ¿por qué se estudian como un fenómeno de defensa del organismo?*

Soluciones:

- a En la piel pueden acumularse microorganismos; si se produce una abertura en esa barrera (una herida), los microbios pueden invadir por allí el organismo antes de que actúen los mecanismos de reparación de la piel; por eso es importante lavarse la piel a menudo, eliminando las colonias de microorganismos, sobre todo las manos, que toman luego contacto con otras aberturas naturales del organismo: ojos, boca, etc.

En las aberturas naturales hay colonias de bacterias, que no se desarrollan en exceso gracias a los mecanismos de defensa citados en el texto (lisozima, flora bacteriana del intestino...); pero conviene eliminar el exceso de microorganismos por si una disminución de las defensas del cuerpo, o una invasión imprevista de otros microorganismos, pudiera ocasionar que esos microbios que se mantienen habitualmente a raya, proliferaran indeseablemente; esto justifica la higiene de la boca, nariz, orejas... y de la salida de los aparatos digestivo y urinario.

- b Las defensas químicas externas de los animales son las secreciones que se vierten en los orificios naturales, necesarios para las funciones de nutrición y respiración, o para los órganos de los sentidos: saliva, lágrimas, mucosidades, cecumen... que, además de retener a los microorganismos, contienen sustancias que los destruyen, como la lisozima.

Los animales también presentan otra barrera química en el tubo digestivo, como es el ácido clorhídrico del estómago, que destruye la mayor parte de los microorganismos.

- c Es una invasión de microorganismos que no se da por todo el organismo, sino que se circunscribe a un lugar concreto: una herida en la piel, un órgano linfático (por ejemplo, las amígdalas), alguna fisura en alguna abertura natural (boca, oído, recto...).
- d Generalmente, las reacciones inflamatorias son producidas por el sistema inmunitario como respuesta a la presencia de algún antígeno, microorganismo o sustancia tóxica, como manera de facilitar su eliminación, aunque lleven consigo efectos secundarios molestos. A veces, son las toxinas producidas por los microorganismos las que de manera directa producen los síntomas de la inflamación, especialmente los pruritos y la fiebre, pero es más común que sean las sustancias que intentan neutralizar las toxinas las causantes de esos efectos.
- e Muchos de los síntomas de las inflamaciones facilitan directamente la lucha contra los antígenos: la elevación de la temperatura puede ser un mecanismo que retrase la proliferación de los microbios, ya que la temperatura óptima para el desarrollo del microorganismo es nuestra temperatura normal (36 ó 37 °C), y una temperatura más alta puede ralentizar el desarrollo del microbio; las hinchazones y mucosidades en las vías respiratorias, son resultado del aumento de la permeabilidad de los capilares sanguíneos, lo cual a su vez facilita la dilución de las toxinas y la llegada de las defensas celulares desde los capilares hacia el plasma intersticial. Los pruritos, la disminución de la tensión arterial, la secreción de mucosidades y la contracción de los bronquios pueden considerarse efectos secundarios indeseables que tienen las sustancias responsables de los fenómenos inflamatorios.

6 Los anticuerpos

■ Actividades pág. 351 ■

- a *¿Qué tipos de anticuerpos son los que favorecen las aglutinaciones?*
- b *¿Qué tipo de anticuerpos son los que activan a los mastocitos?*

- c Indica qué tienen en común y qué tienen de diferente en su composición los anticuerpos citados en las cuestiones anteriores.
- d Indica también qué tienen en común y qué tienen de diferente dos anticuerpos del mismo tipo dirigidos contra antígenos diferentes.

Soluciones:

- a Las IgM y las IgG, que son las inmunoglobulinas que originan las aglutinaciones de células infecciosas. Al tomar contacto con estos anticuerpos, las moléculas del complemento pueden provocar la lisis de las células, o facilitar la adherencia de los macrófagos a las células para que pueda llevarse a cabo la fagocitosis.
- b Las IgE, que se fijan a la superficie del mastocito. Cuando el antígeno se fije sobre esas moléculas de IgE, se provocará la liberación de gránulos del interior del mastocito.
- c Todas la inmunoglobulinas responden a una estructura en forma de Y formada por cuatro cadenas proteicas. La base de la Y y la base de los brazos están formadas por porciones de moléculas proteicas de estructura constante, pero con algunas diferencias, que son las que determinan el tipo de inmunoglobulinas. Además, las IgM están formadas por cinco subunidades como las descritas unidas por la base por piezas proteicas.
- d En todos los tipos de anticuerpos, los extremos de los brazos de la Y están formados por porciones de moléculas proteicas que tienen una estructura muy variable, que son las que determinan la especificidad respecto del antígeno al que han de unirse.

7 Desarrollo de los linfocitos: selección clonal

■ Actividades pág. 353 ■

- a ¿En qué consiste la selección clonal de los linfocitos?
- b Señala las características de la repuesta primaria y de la secundaria. ¿Qué tipo de anticuerpos se produce en cada caso?
- c ¿Qué diferencias hay entre los dos clones de células que se forman a partir de un linfocito virgen cuando éste se encuentra con su antígeno específico?

Soluciones:

- a Cuando un antígeno penetra en el organismo se encuentra con muchos clones de linfocitos B diferentes, pero sólo se une y activa a aquel clon que tiene los receptores específicos.
La teoría que explica este proceso se denomina **selección clonal**, ya que es el antígeno el que selecciona y activa sólo a un clon de linfocitos que además ya estaba destinado a responder ante él. La selección clonal explica también la memoria inmunológica debido a que, tras la primera exposición a un antígeno se forman células memoria de vida larga que responderán con rapidez en las siguientes exposiciones al mismo antígeno.
- b La **respuesta inmunitaria primaria** se produce cuando el organismo se expone por primera vez a un antígeno y la mayoría de los anticuerpos que se producen son **IgM**, de baja afinidad por el antígeno. Si una vez superada la enfermedad y al cabo de un tiempo, el organismo se expone de nuevo al mismo antígeno se producirá una **respuesta inmunitaria secundaria**, diferente a la anterior. La respuesta secundaria es más rápida ya que se produce a los 2 ó 3 días, más intensa ya que produce mucha mayor cantidad de anticuerpos y más prolongada en el tiempo. Además, en este caso se segregan anticuerpos **IgG** que tienen una mayor afinidad por el antígeno.
- c La selección de un linfocito B virgen por un antígeno hace que dicho linfocito se active y prolifere dando lugar a dos clones de células:
 - **células efectoras**, de vida corta, que en este caso se denominan células plasmáticas y son secretoras de anticuerpos específicos contra el antígeno.
 - **células memoria**, de vida larga, que intervendrán y responderán con rapidez cuando se produzca la siguiente exposición al mismo antígeno.

10 Inmunidad inducida artificialmente

■ Actividades pág. 357 ■

- a Explica qué tipos celulares, además de los linfocitos B, son los responsables de la inmunidad adquirida naturalmente.
- b ¿Intervienen los mismos tipos celulares en la creación de la inmunidad congénita? Explícalo.
- c Tradicionalmente se ha dicho que las vacunas constituyen una defensa activa y los sueros una defensa pasiva contra las infecciones. Razónalo.

- d *También se ha dicho que las vacunas tienen una función de prevención de las enfermedades, mientras que las γ -globulinas tienen la función de curar la enfermedad cuando ésta ya se ha desarrollado. Explica por qué.*

Soluciones:

- a Los linfocitos B han de ser activados por linfocitos Th para proliferar y desarrollarse como células plasmáticas elaboradoras de anticuerpos.

Para realizar su acción, los linfocitos Th han de tomar contacto con los macrófagos, que les presentan los antígenos contra los que hay que luchar, y los activan.

En muchos casos, los anticuerpos producidos por las células plasmáticas (IgE) se fijan a la superficie de mastocitos y granulocitos basófilos, que responden desencadenando reacciones inflamatorias cuando toman contacto con el antígeno específico.

- b En ocasiones, la inmunidad congénita se debe a la facilidad del organismo para generar una respuesta inmunológica contra un microorganismo, y en este caso, intervienen los mismos elementos celulares que para el caso de la inmunidad adquirida.

En otras ocasiones, la inmunidad congénita se debe a la dificultad que presenta el microorganismo para fijarse en la superficie de las células del hospedador, por falta de afinidad entre las proteínas de la envoltura celular de uno y otro. Este caso no se relaciona con la actividad de las células inmunitarias.

- c Las vacunas inducen al organismo a elaborar anticuerpos contra el antígeno inoculado: las células inmunitarias actúan, y por eso es una defensa activa.

Los sueros (o inmunoglobulinas) son fundamentalmente anticuerpos elaborados por otro organismo que se inoculan al enfermo: el sistema inmunitario del paciente no realiza ninguna acción, el paciente recibe unas defensas contra la infección, y por eso es una defensa pasiva.

- d Cuando se inoculan antígenos de un microbio a un organismo sano, éste diferencia una línea de linfocitos B y de células plasmáticas especializadas en combatir esos antígenos; cuando en el futuro el mismo microorganismo intente invadir al mismo hospedador, habrá ya una cepa de linfocitos B y células plasmáticas preparada para producir anticuerpos contra el microorganismo.

Las γ -globulinas son fundamentalmente anticuerpos contra un microbio y se inoculan en un organismo ya invadido por dicho microorganismo; si la inoculación se hiciera en un organismo sano, los anticuerpos se irían

degradando poco a poco, como cualquier proteína, sin cumplir ninguna función, y cuando más adelante el organismo se viera invadido por el microbio, aquél se vería desprovisto de defensas.

11 Trastornos del sistema inmunitario

Actividades pág. 358

- a *Además de los mastocitos, ¿hay algún otro tipo celular responsable de la secreción de histamina?*
- b *¿Por qué las alergias son más frecuentes en los países occidentales?*
- c *Explica brevemente cómo se desencadena y qué ocurre en una reacción alérgica.*

Soluciones:

- a Producen las mismas sustancias los granulocitos basófilos, lo que pasa es que los mastocitos son más abundantes en el organismo, y por eso se les cita a ellos principalmente.
- b La causa de las alergias es discutida. Algunos hacen notar que los mecanismos alérgicos son idénticos a las defensas contra los parásitos (insectos, ácaros, lombrices...); en ausencia de contactos habituales con parásitos, el mecanismo inmunitario se especializa en actuar contra sustancias inocuas. A favor de esta explicación está el dato de que las alergias son más comunes en los países occidentales, donde prácticamente se han erradicado los parásitos; además, la alergia al polvo está causada por la reacción inmunitaria frente a los excrementos de ácaros.
- c En las alergias más frecuentes las células plasmáticas segregan gran cantidad de anticuerpos de la clase IgE que se unen por su pie a los mastocitos presentes en el tejido conectivo.

Los mastocitos poseen en su superficie receptores proteicos para anticuerpos de la clase IgE, que son producidos por los linfocitos B cuando toman contacto por primera vez con un alérgeno. Cuando los IgE se fijan a los receptores, los mastocitos quedan sensibilizados y cuando el alérgeno penetra en el organismo por segunda vez, al entrar en contacto con los IgE de la superficie de los mastocitos, se liberan la histamina de sus gránulos y **se desencadena la reacción alérgica**. La histamina provoca dilatación y aumento de la permeabilidad de los capilares.

12 Trasplante de órganos

■ Actividades pág. 360 ■

- a *El virus del SIDA ataca específicamente a los linfocitos Th. Explica las consecuencias que tiene para el organismo la destrucción de estas células. ¿Se verán también afectados los linfocitos B y Tc?*
- b *¿Por qué los enfermos de SIDA padecen infecciones oportunistas y ciertos tipos de cánceres poco frecuentes?*
- c *¿Por qué se produce el rechazo de los órganos trasplantados? ¿Qué células de las estudiadas intervienen en el rechazo?*
- d *Busca información en Internet sobre los xenotrasplantes que se realizan en la actualidad y los que se podrían realizar en un futuro.*

Soluciones:

- a Los antígenos que activan a los linfocitos Th son presentados por los macrófagos unidos a una proteína del CMH de clase II; los receptores de antígenos de estos linfocitos acoplan específicamente con esa combinación, que es la que imitan las proteínas de la envoltura del virus del SIDA.

En cambio, los receptores de antígenos de los linfocitos B se unen exclusivamente a las moléculas de antígeno, y tienen por tanto una estructura diferente. De la misma manera, los receptores de antígenos de los linfocitos Tc toman contacto con la combinación antígeno y proteína del CMH de clase I que les presentan los macrófagos, y tendrán por tanto una estructura diferente de la de los receptores de los linfocitos Th. Por eso, ni linfocitos B ni linfocitos Tc son atacados por el virus del SIDA.

Recientemente se ha descubierto que la cubierta lipoproteica del virus del SIDA contiene también polipéptidos que se fijan específicamente a los linfocitos Tc impidiéndoles el reconocimiento de las células infectadas por virus.

- b Dado el papel tan decisivo que tienen los linfocitos Th en el desarrollo de la respuesta inmunitaria específica, los enfermos de SIDA tienen disminuidas tanto la respuesta inmunitaria humoral como la celular. Por ello, los enfermos padecen con frecuencia infecciones oportunistas y ciertos cánceres poco frecuentes.
- c Los linfocitos T reconocen a los antígenos del complejo de histocompatibilidad propios (CMH) y no reaccionan ante ellos. Pero cuando los linfocitos T de un individuo se

ponen en contacto con antígenos del CMH diferentes a los propios, como es el caso del trasplante de órganos o injertos, reaccionan ante ellos y se produce el rechazo del órgano o tejido trasplantado.

- d Se trata de que el alumno realice un trabajo buscando información actualizada en la red.

B. ACTIVIDADES DE AUTOEVALUACIÓN

- 1 Define los siguientes términos: opsonización, citocina, vacunación, alergia, neutralización, aglutinación, sistema del complemento, antígeno y anticuerpo.

Solución:

- **Opsonización:** Es la acción que se realiza sobre los macrófagos y neutrófilos para mejorar el rendimiento de la fagocitosis: facilitando la adherencia del fagocito a la superficie del microorganismo, aumentando su resistencia contra las toxinas elaboradas por el microorganismo, o potenciando su poder de digestión de las partículas infecciosas.
- **Citocina:** Sustancia elaborada por los linfocitos Th para activar al resto de células que intervienen en la respuesta inmunitaria.
- **Vacunación:** Inoculación de antígenos atenuados en un paciente para que genere anticuerpos contra esos mismos antígenos, previniendo así la posterior invasión del organismo por un agente infeccioso o por un alérgeno.
- **Alergia:** Reacción inflamatoria generalizada por todo el organismo como consecuencia de una hipersensibilización del sistema inmunitario contra algún antígeno que en sí es inofensivo para el organismo.
- **Neutralización:** Se aplica este término a un tipo de reacción antígeno-anticuerpo. Los anticuerpos se unen a los antígenos y los bloquean y ya no pueden ejercer su acción.
- **Aglutinación:** Se aplica este término a un tipo de reacción antígeno-anticuerpo en el que el antígeno es una célula infecciosa; se producen aglomeraciones de bacterias que facilitan la acción de los fagocitos.
- **Sistema del complemento:** El sistema del complemento está formado por un conjunto de unas 20 proteínas disueltas en el plasma sanguíneo que constituye una defensa contra las bacterias o células extrañas. En ausencia de infección estas proteínas están inactivas.

- **Antígeno:** Molécula de gran tamaño molecular que es capaz de inducir la producción de anticuerpos específicos contra ella por parte de los linfocitos B y células plasmáticas. Para que se desemboque en la producción de anticuerpos se han de suceder una serie de acciones en el sistema inmunitario, que comienzan con el reconocimiento del antígeno por parte de algún linfocito B en fase de maduración, y con el reconocimiento por parte de algún macrófago de que se trata de una molécula extraña al organismo.
- **Anticuerpo:** Son proteínas sintetizadas por los linfocitos B que se unen específicamente a los antígenos: cada antígeno tiene su anticuerpo específico. Los anticuerpos son proteínas del grupo de las globulinas de la sangre, llamadas también inmunoglobulinas (Ig). Las moléculas de Ig están formadas por una unidad que puede repetirse dos o cinco veces, o no repetirse.

2 Señala las principales diferencias en la función de los diferentes tipos de glóbulos blancos.

Solución:

Podemos agrupar a los glóbulos blancos en tres grupos principales: **fagocitos**, **linfocitos** y **asociados a la inflamación**.

Los **fagocitos** se encargan de ingerir y digerir microorganismos, fragmentos celulares y aglutinaciones de sustancias potencialmente tóxicas. Los más importantes son los neutrófilos, los monocitos o macrófagos y las células dendríticas.

Los **linfocitos** son especialmente abundantes en la linfa, de ahí su nombre, pero también están presentes en la sangre. Hay dos tipos: linfocitos B y linfocitos T. Ambos se originan en la médula ósea.

- Linfocitos Th, también llamados colaboradores o de ayuda (en inglés helper), son los auténticos coordinadores del sistema inmunitario, para lo cual elaboran sustancias, que actúan de mensajeros.
- Linfocitos Tc, también llamados citotóxicos, reconocen a las células infectadas por virus y las destruyen; actúan segregando sustancias químicas.
- Los linfocitos B maduran en la médula ósea y circulan por la sangre y por la linfa. Fabrican proteínas llamadas anticuerpos que se unen específicamente a los antígenos o sustancias extrañas al organismo.

Las **células asociadas a las reacciones inflamatorias** tienen en el citoplasma gránulos o vesículas de sustancias relacionadas con las reacciones inflamatorias.

- Granulocitos basófilos, segregan histamina (importante en la respuesta inflamatoria) y heparina (anticoagulante).

- Mastocitos, son células similares a las anteriores en morfología y función. Liberan histamina.
- Granulocitos eosinófilos. Intervienen en las reacciones alérgicas. Libera sustancias antiinflamatorias. También son fagocitos aunque poco eficaces y eliminan parásitos pluricelulares recubiertos de anticuerpos.

3 ¿Por qué los linfocitos T y B necesitan la cooperación de los macrófagos para desempeñar sus funciones? ¿De qué manera potencian los linfocitos T la acción de los macrófagos?

Solución:

Puede ser una manera de garantizar que los linfocitos T y B no actuarán contra células y proteínas del propio organismo, pues los macrófagos toman contacto o ingieren cualquier célula o molécula grande que se encuentre en el medio interno, y sólo si lo reconocen como extraño, presentarán el antígeno a los linfocitos T activándolos; posteriormente, los linfocitos Th activarán a los linfocitos B específicos contra el mismo antígeno que el macrófago presentara al linfocito Th, y sin ese contacto entre linfocitos Th y B, no se procede a la proliferación y activación de la correspondiente cepa de linfocitos B.

Los linfocitos Th, al tomar contacto con un macrófago que transporta en su superficie los mismos antígenos que participaron en su activación, le traspasan sustancias que hacen más eficaz la fagocitosis, confiriendo resistencia contra las toxinas elaboradas por el microorganismo, o facilitando la digestión de las partículas infecciosas.

4 Señala los distintos tipos de inmunoglobulinas y explica qué parte de la molécula es responsable de su especificidad respecto al antígeno.

Solución:

Todas las inmunoglobulinas (Ig) están formadas por moléculas proteicas dispuestas en forma de Y; se trata de cuatro cadenas polipeptídicas unidas entre sí por puentes disulfuro. Cada cadena polipeptídica tiene un extremo de estructura constante (CH y CL, según pertenezcan a una cadena pesada o a una cadena ligera) y un extremo de estructura variable (VH y VL, según pertenezcan a una cadena pesada o contra una cadena ligera) (Véase la figura 6.1 de la página 349 del libro del alumno).

Las porciones constantes de las cadenas quedan situadas en la base de la Y y en la base de los brazos, y son las que determinan el tipo de anticuerpo; las porciones variables de las cadenas quedan situadas en el extremo de los brazos y son las que determinan el punto de unión con el antígeno, y por tanto la especificidad.

La estructura de las IgD, IgE e IgG responde a lo dicho hasta aquí. Las IgA están formadas por dos unidades como las descritas unidas por una pieza proteica, y las IgM están formadas por cinco unidades estructurales unidas también por piezas proteicas.

Las IgM son los anticuerpos producidos por los linfocitos B después del primer contacto con un antígeno. En los sucesivos contactos con el antígeno, los linfocitos B segregan IgG. Estos dos tipos de anticuerpos son los que forman aglomeraciones con las células infecciosas.

Las IgE son anticuerpos que intervienen principalmente en las reacciones inflamatorias. Las IgA están presentes en la placenta y en la leche materna, y confieren una inmunidad pasiva al feto o al lactante, y las IgD son de función desconocida.

La especificidad respecto al antígeno se debe a que las porciones variables de las Ig están codificadas por numerosas porciones de DNA que pueden combinarse entre sí de muy diversas maneras a la hora de transcribirse en la molécula de mRNA. Se calcula que la estructura de la cadena pesada de la Ig admite más de mil combinaciones diferentes de fragmentos de DNA codificadores, y lo mismo la cadena ligera, lo cual supone más de un millón de posibilidades distintas de moléculas de anticuerpos, y por tanto se puede explicar que cada variante de antígeno pueda encontrar una estructura de Ig que se pueda unir específicamente a él.

5 ¿A qué se llama memoria inmunológica? ¿A qué se debe este fenómeno?

Solución:

Cuando un individuo ha padecido una enfermedad infecciosa, si vuelve a tomar contacto con el mismo microorganismo productor de la enfermedad, produce una respuesta inmunológica mucho más rápida que en la primera ocasión, no dando tiempo al microorganismo a desarrollarse.

Esto se debe a que cuando el organismo tomó contacto por primera vez con el microbio, hubo de diferenciar una cepa de linfocitos B capaces de sintetizar anticuerpos específicos contra los antígenos microbianos. Pero en el segundo contacto, ya existe una cepa de linfocitos B productores de los anticuerpos necesarios, y en muchos casos quedan incluso anticuerpos en el plasma o en la superficie de los mastocitos, con lo que la respuesta inmune es mucho más rápida y el microorganismo no tiene ocasión de multiplicarse.

6 ¿Qué es el complemento y en qué tipo de reacciones inmunológicas actúa?

Solución:

Es un conjunto de proteínas, alrededor de 20, disueltas en el plasma sanguíneo. El complemento actúa contra las bacterias y células infecciosas en general, provocando la rotura de la célula (lisis) o facilitando su fagocitosis porque mejora la adherencia de los fagocitos a la membrana de la célula infecciosa.

El complemento puede actuar cuando toma contacto con una aglomeración de antígenos y anticuerpos, pues es la unión de los anticuerpos con algunas proteínas del complemento lo que produce la lisis o la mejora de la adherencia de los fagocitos. El complemento puede actuar también directamente contra las bacterias aisladas provocando su lisis.

7 Indica cuáles son los tipos celulares inmunitarios más importantes que actúan en una infección de un virus. Indica también las defensas químicas que actuarán en dicha infección.

Solución:

- Los macrófagos, que reconocen al virus como antígeno, lo fagocitan y presentan algún fragmento a los linfocitos Th y Tc.
- Los linfocitos Th, que son activados por los macrófagos, e informan de la existencia de dicho antígeno y estimulan la acción de los linfocitos Tc, los linfocitos B y los fagocitos.
- Los linfocitos Tc, que reciben información de los macrófagos de la presencia del virus como agente infeccioso, son estimulados por los linfocitos Th y actúan contra las células infectadas por el virus, y protege además a las células vecinas de la infectada con el interferón.
- Los linfocitos B, que toman contacto con el virus diferenciando una cepa contra dicho antígeno y son estimulados por los linfocitos Th para diferenciarse, multiplicarse y segregar anticuerpos específicos contra el virus.
- Los neutrófilos, que estimulados por los linfocitos Th y atraídos por las aglutinaciones de antígeno-anticuerpo, refuerzan la acción fagocitaria de los macrófagos.
- Si la infección es importante, también pueden actuar los mastocitos y granulocitos basófilos, que sensibilizados por los anticuerpos específicos contra el virus, provocan reacciones inflamatorias que ayuden a lu-

char contra el virus al facilitar la llegada de las demás defensas celulares al lugar de la infección.

- Si han actuado mastocitos y granulocitos basófilos, también actuarán los granulocitos eosinófilos para terminar los efectos de la reacción inflamatoria cuando se dejan de percibir señales de infección.

8 Indica los tipos celulares y las defensas químicas más importantes que actúan en una infección bacteriana.

Solución:

En el caso de las bacterias, se pueden citar las mismas defensas celulares y químicas que en la cuestión anterior, con las siguientes salvedades:

- No actuarán los linfocitos Tc, que son específicos de la lucha contra los virus.
- Actuará, además, el complemento, conjunto de proteínas disueltas en el plasma sanguíneo que provoca la lisis de las bacterias y refuerza la acción de los anticuerpos en su papel de facilitar la fagocitosis por parte de neutrófilos y macrófagos.

9 ¿Qué es un alérgeno? ¿En qué se diferencia este concepto del de antígeno?

Solución:

Un alérgeno es un antígeno que provoca una reacción inflamatoria generalizada, es decir, una reacción alérgica. En la mayor parte de los casos se trata de sustancias ino cuas, y en todos los casos se trata de sustancias que invaden con facilidad el sistema circulatorio, porque penetran por inhalación (aparato respiratorio), o por ingestión (tubo digestivo), o por inoculación (medicamentos).

Un alérgeno no es algo diferente de un antígeno, sino un tipo concreto de antígeno que cumple las características antes citadas.

10 ¿Qué tienen en común las proteínas del CMH, los anticuerpos y los receptores de antígenos de los linfocitos?

Solución:

Todas estas moléculas tienen una estructura similar, combinación de moléculas proteicas con partes constantes y partes variables, codificadas estas últimas por numerosas regiones del DNA que se combinan durante la transcripción dando lugar a millones de posibilidades de cadenas polipeptídicas diferentes.

Además, los receptores de antígenos de los linfocitos B son proteínas con la misma estructura que los anticuerpos que posteriormente han de sintetizar.

11 Los linfocitos Tc o citotóxicos son también llamados células asesinas, pues provocan la muerte de células del propio organismo. ¿Cómo explicas que se consideren componentes del sistema de lucha contra las agresiones del exterior en vez de considerarse como células dañinas para el organismo?

Solución:

Al matar a las células infectadas por virus impiden la proliferación de los mismos, pues éstos solamente pueden reproducirse en el interior de una célula viva. Las partículas de virus que se encuentren en el exterior de las células, serán neutralizadas por anticuerpos específicos.

12 Si un linfocito B toma contacto con un determinante antigénico de una bacteria patógena, ¿comienza a elaborar anticuerpos contra dicha bacteria, o han de suceder otros acontecimientos? Explicalo.

Solución:

En primer lugar, el linfocito B ha de llevar en su superficie receptores proteicos de ese tipo de fragmento bacteriano.

En segundo lugar, el linfocito B específico contra el fragmento bacteriano, ha de recibir también mensajeros de inmunidad (citocinas) procedentes de linfocitos Th que han tomado contacto con el mismo antígeno (en este caso, presentado por un macrófago). Esos mensajeros de inmunidad provocan su multiplicación.

Los linfocitos B activados por las citocinas y se convierten en células plasmáticas, y son las células plasmáticas las que elaboran los anticuerpos contra el fragmento bacteriano.

13 ¿Cómo se puede neutralizar la acción de las células plasmáticas que elaboran anticuerpos contra una infección que ya ha sido superada?

Solución:

Para que las células plasmáticas elaboren anticuerpos, han de recibir mensajeros de inmunidad de los linfocitos Th activados contra el antígeno específico de dichas células plasmáticas. Al desaparecer dicho antígeno (la infección ha concluido), ningún macrófago activará a ningún linfocito T específico contra ese antígeno, y dejarán de producirse mensajeros de inmunidad para inducir la elaboración de anticuerpos de las células plasmáticas específicas del antígeno.

Por tanto, cuando las células plasmáticas dejan de recibir por un tiempo mensajeros de inmunidad (citocinas)

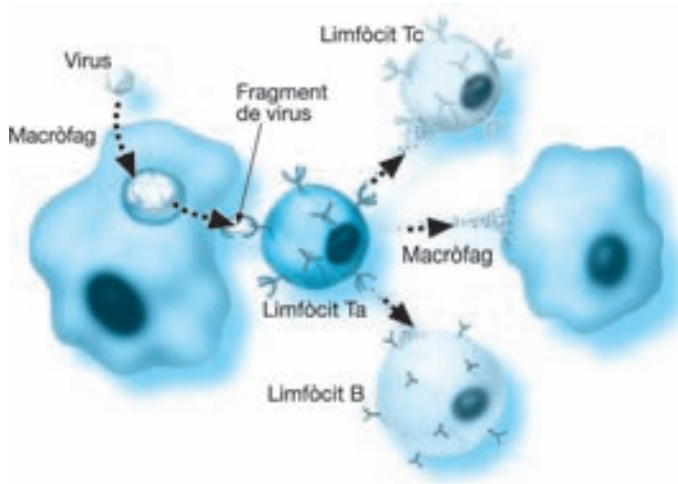
procedentes de los linfocitos Th, cesan en su producción de anticuerpos.

14 ¿Cómo se puede neutralizar la acción de los mastocitos y granulocitos basófilos cuando han sido neutralizados los antígenos que provocaron su acción?

Solución:

Para que los mastocitos y basófilos queden activados, han de tomar contacto con anticuerpos IgE, y ya hemos visto antes los mecanismos para que deje de producirse un determinado anticuerpo. La acción de los mastocitos y basófilos ya activados por anticuerpos producidos anteriormente es neutralizada por la acción de los eosinófilos; aunque no es bien conocido el mecanismo de acción y activación de los eosinófilos, se sabe que éstos son atraídos por las sustancias que mastocitos y basófilos elaboran para atraer a los fagocitos, y por tanto su activación puede estar relacionada con los niveles de concentración de los mensajeros de inmunidad.

15 Observa la siguiente figura y explica todos los procesos que están teniendo lugar. ¿Qué ocurrirá a continuación?



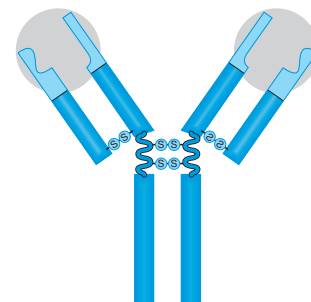
Solución:

Las primeras células que intervienen en la respuesta inmunitaria son los macrófagos o células presentadoras de antígenos (CPA). Los linfocitos Th se activan cuando un macrófago les presenta un antígeno y se unen ambas células. Para ello, los receptores de la membrana del linfocito Th toman contacto con las proteínas del CMH clase II de un macrófago (CPA) que a su vez presentan en su superficie un fragmento del antígeno que ha sido digerido por el macrófago. En esta unión interviene la proteína CD4.

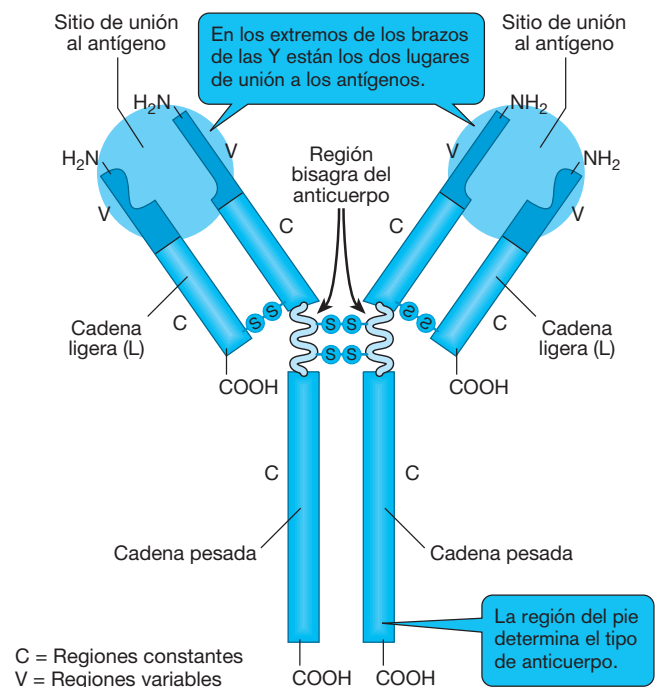
La función de los linfocitos Th activados es múltiple:

- Sintetizan citocinas para estimular la acción de aquellas células inmunitarias que hayan tomado contacto con el mismo antígeno que ha participado en su activación.
- Estimulan a los macrófagos y otros fagocitos haciendo más eficaz su fagocitosis, fenómeno que recibe el nombre de opsonización.
- Estimulan la proliferación y acción de los linfocitos Tc.
- Estimulan la proliferación y la fabricación de anticuerpos de los linfocitos B específicos para el antígeno reconocido.

16 Observa la siguiente figura e indica las siguientes partes de la misma: cadenas pesadas, cadenas ligeras, regiones variables, regiones constantes, lugares de unión al antígeno, región bisagra, pie y brazos.



Solución:



17 ¿Qué diferencia hay entre los antígenos que se unen a los receptores de los linfocitos T y los que se unen a los receptores de los linfocitos B?

Solución:

Los receptores o anticuerpos de membrana de los linfocitos B reconocen antígenos intactos, mientras que los receptores de los linfocitos T sólo reconocen fragmentos de antígenos, que están unidos a proteínas de la membrana plasmática de las células normales, llamadas proteínas del complejo mayor de histocompatibilidad (CMH).

18 Señala las diferencias entre el modo de activarse de los linfocitos Th, Tc y B.

Solución:

Los **linfocitos Th** se activan cuando un macrófago les presenta un antígeno y se unen ambas células. Para ello, los receptores de la membrana del linfocito Th toman contacto con las proteínas del CMH clase II de un macrófago (CPA) que a su vez presentan en su superficie un fragmento del antígeno que ha sido digerido por el macrófago. En esta unión interviene la proteína CD4.

Los **linfocitos Tc** son activados por su contacto con las células infectadas por virus que les presentan algún fragmento de antígeno unido a las proteínas del CMH clase I (en esta unión interviene una proteína llamada CD8, que actúa como correceptor); además, son estimulados después por las citocinas que producen los linfocitos Th1 activados contra el mismo antígeno.

Los **linfocitos B** se unen a los antígenos intactos mediante sus receptores de membrana, pero esto no es suficiente para que se activen. Su activación requiere:

- Su unión al antígeno y la presentación de un fragmento del mismo a un linfocito Th tipo Th2 activo. El linfocito Th se activa tras su unión a un macrófago que le presenta el mismo antígeno que el linfocito B.
- Cuando el linfocito B se une al linfocito Th2 activo este libera citocinas que lo activan.

Los linfocitos B activados por el antígeno y por las citocinas proliferan y se convierten en las llamadas células plasmáticas que son células especializadas en la secreción de anticuerpos contra dicho antígeno y en células memoria de vida larga.

19 ¿Cómo se explica que los linfocitos B y las células plasmáticas sean capaces de sintetizar tanta variedad de proteínas (receptores de membrana y anticuerpos)?

Solución:

Todos los anticuerpos (Ig) están formados por moléculas proteicas dispuestas en forma de Y; se trata de cuatro cadenas polipeptídicas unidas entre sí por puentes disulfuro. Cada cadena polipeptídica tiene un extremo de estructura constante (CH y CL, según pertenezcan a una cadena pesada o a una cadena ligera) y un extremo de estructura variable (VH y VL, según pertenezcan a una cadena pesada o a una cadena ligera).

Las porciones constantes de las cadenas quedan situadas en la base de la Y y en la base de los brazos, y son las que determinan el tipo de anticuerpo; las porciones variables de las cadenas quedan situadas en el extremo de los brazos y son las que determinan el punto de unión con el antígeno, y por tanto la especificidad.

La especificidad respecto al antígeno se debe a que las porciones variables de las Ig están codificadas por numerosas porciones de DNA que pueden combinarse entre sí de muy diversas maneras a la hora de transcribirse en la molécula de mRNA. Se calcula que la estructura de la cadena pesada de la Ig admite más de mil combinaciones diferentes de fragmentos de DNA codificadores, y lo mismo la cadena ligera, lo cual supone más de un millón de posibilidades distintas de moléculas de anticuerpos, y por tanto se puede explicar que cada variante de antígeno pueda encontrar una estructura de Ig que se pueda unir específicamente a él.

20 El CMH está presente en todas las células del organismo. Sin embargo, los macrófagos y linfocitos B presentan un tipo especial de estas proteínas con el que presentan los fragmentos de antígeno al resto de células inmunitarias. ¿Se te ocurre alguna explicación a la necesidad de que los antígenos sean presentados junto a estas proteínas, en vez de ser presentados de forma aislada?

Solución:

Si las células del sistema inmunitario se activaran ante la presencia de un antígeno aislado, aumentaría el riesgo de que el sistema inmunitario atacara proteínas del propio organismo, células sanas, por el hecho de que ese tipo celular o esa proteína no hubiera entrado en contacto anteriormente con los precursores de las células inmunitarias. Si el reconocimiento se tiene que hacer cuando macrófagos y linfocitos T muestran el antígeno unido a proteínas del CMH, eso supone que ese antígeno ha sido previamente identificado como ajeno al organismo por las células que tienen esa capacidad de discernimiento, que son las CPA: los macrófagos, los linfocitos B y las células afines a los macrófagos, como son las células dendríticas.

CUADERNO DE INVESTIGACIONES Y TÉCNICAS

TEMA 1 Bioelementos y biomoléculas inorgánicas

TÉCNICAS 1

Turgescencia y plasmólisis en las células de epidermis de cebolla

Experiencia complementaria de la planteada en 1.º de Bachillerato (Observación microscópica de los fenómenos osmóticos en la epidermis de un pétalo) página 53.

Actividades pág. 4

- A** Dibuja la vacuola.
- B** ¿Qué concentración de sacarosa se puede considerar isotónica con respecto al protoplasma celular?
- C** ¿Qué posición adopta la vacuola en la turgescencia?
- D** ¿Por qué el pigmento rojo en vez de difundirse por todo

el citoplasma celular se mantiene en el interior de la vacuola a pesar de que ésta disminuya de volumen?

- D** ¿Cuál sería la presión osmótica de una célula de epidermis de cebolla en condiciones normales?

Soluciones:

- A** Cuestión abierta.
- B** Tras realizar la experiencia obtendrás como concentración isotónica 0,1 M.
- C** Durante la turgescencia, la vacuola tiende a ocupar casi todo el citoplasma, desplazando el núcleo hacia la periferia.
- D** Porque en los fenómenos de ósmosis el agua es la única sustancia que pasa a través de las membranas semipermeables. No pasan los solutos que, en este caso, es el pigmento de la cebolla roja.
- E** La misma que la producida por una concentración de sacarosa 0'1 M.

INVESTIGACIONES 1

Estudio comparativo de la permeabilidad de diferentes membranas

Propuesta de realizar una investigación experimental para buscar y probar diversos productos existentes en el mercado (celofán, tripa artificial de embutidos, tripa de cerdo u otras tripas, etc.) que puedan servir como membranas semipermeables con la finalidad de determinar cuáles cumplen mejor el papel de membrana osmótica.

Actividades pág. 5

- A ¿Qué resultados experimentales indicarán la idoneidad de la membrana osmótica probada?
- B ¿Qué interés tiene utilizar sustancias coloreadas?
- C ¿Tiene alguna ventaja experimental utilizar membranas artificiales, como el celofán?
- D Realiza un informe que considere: problema investigado, hipótesis experimentales, diseño (material y métodos), organización de los resultados obtenidos, discusión y conclusiones.

Soluciones:

- A Una buena membrana osmótica debe permitir el paso del agua e impedir el del soluto.
- B Permitir la visualización del fenómeno osmótico, ya que la disolución que contiene la sustancia coloreada, pasará de más concentrada a más diluida.
- C Sí, por la facilidad con que podemos conseguir este material en el comercio y la sencillez de su manejo.
- D Cuestión abierta.

TEMA 2 Los glúcidos

TÉCNICAS 2

Determinación semicuantitativa de azúcares

Experiencia complementaria de la planteada en 1.º de Bachillerato (Reconocimiento cualitativo de azúcares reductores por la reacción de Fehling) página 30.

Actividades pág. 6

- A Explica qué es el factor de la disolución de Fehling y para qué sirve.
- B ¿Para qué se añade agua destilada al Fehling?
- C ¿Por qué durante la experiencia no debe interrumpirse nunca la ebullición del Fehling?
- D ¿Qué deberíamos hacer si en lugar de glucosa se utilizase, por ejemplo, galactosa o fructosa?

Soluciones:

- A Es una relación numérica que nos da a conocer los gramos de glucosa que pueden reducir a 10 ml de la solución de Fehling que se va a utilizar en la investigación. Cuando la solución de Fehling caracterizada con su factor, se utiliza con una disolución problema de concentración de glucosa desconocida, basta averiguar el volumen de dicha disolución que reacciona con la solución de Fehling, para averiguar la concentración de la disolución problema.
- B Para hacer más fácil la detección visual del viraje de color.
- C Para que la reacción se produzca más rápidamente y el viraje tenga lugar en el momento exacto en que todo el azúcar reductor se haya oxidado.
- D El procedimiento de análisis es el mismo, pero para calcular el factor de solución de Fehling, habría que usar también una solución de concentración conocida de galactosa o de fructosa respectivamente.

INVESTIGACIONES 2

Determinación semicuantitativa de azúcares en la leche

Propuesta de realizar una investigación experimental, aplicando la técnica anterior determinación del Factor de la solución de Fehling, y siguiendo las pautas del método científico.

Actividades pág. 7

Elabora un informe sobre los resultados de esta investigación.

Soluciones:

Cuestión abierta.

TEMA 3 Los lípidos

TÉCNICAS 3

I. Extracción y separación de algunos lípidos

Experiencia que permite realizar un análisis bioquímico para poder extraer y separar fosfolípidos (lecitinas y cefalinas) de materiales procedentes de seres vivos.

Actividades pág. 8

- A ¿Por qué se utiliza la acetona para separar los fosfolípidos de los otros lípidos presentes en la yema de huevo?
- B ¿Para qué se lava el precipitado con alcohol bien frío?
- C ¿Qué pasaría si utilizásemos alcohol caliente?

Soluciones:

- A Porque provoca la precipitación de las lecitinas y cefalinas, mientras que es un buen disolvente de los lípidos en general. Esto se debe al carácter parcialmente polar de lecitinas y cefalinas.
- B Para separar las cefalinas (que quedan retenidas en el papel de filtro) de las lecitinas que se filtran y pasan al tubo de ensayo.
- C Se disolverían tanto las cefalinas como las lecitinas, y no se separarían entre sí.

II. Absorción de yodo por una grasa

Experiencia que se basa en la determinación cualitativa del grado de insaturación de una grasa utilizando el método del "índice de yodo".

Actividades pág. 9

- A Al calentar el aceite con el lugol, en algunos tubos se produce cambio de color. ¿A qué puede deberse?
- B Al añadir almidón (la misma cantidad), en unos tubos aparece color azul y en otros no. ¿Por qué? ¿Qué le ha ocurrido al yodo?

Soluciones:

- A Al calentar (sin hervir) la mezcla de aceite y lugol, parte de las moléculas de yodo presentes en la solución de

lugol pasan a los dobles enlaces de los ácidos grasos, con lo que se observará una decoloración de la solución de lugol. Pero en los tubos con mayor cantidad de lugol no se apreciará apenas dicha decoloración porque será baja la proporción de moléculas de yodo retenidas por los dobles enlaces.

- B No aparecerá color azul en aquellos tubos en que el yodo haya sido totalmente retenido por los dobles enlaces de los ácidos grasos, pues ya no está disponible para reaccionar con el almidón.

INVESTIGACIONES 3

Averigua el grado de insaturación de grasas comestibles

La investigación propuesta permite averiguar de forma cualitativa el grado de insaturación de una grasa comestible corriente, tanto animal como vegetal, utilizando el método del "índice de yodo".

Se deberá elaborar un informe sobre la investigación propuesta en el que deben reflejarse las pautas que se sigue al aplicar el método científico:

- a. Problema a investigar.
- b. Hipótesis de trabajo.
- c. Diseño experimental (material y métodos).
- d. Organización de los resultados obtenidos.
- e. Comunicación de los resultados.
- f. Discusión y conclusiones.

TEMA 4 Las proteínas

TÉCNICAS 4

Análisis de aminoácidos por electroforesis en papel

Actividades pág. 11

- A A partir de la posición de las manchas de aminoácidos en el papel de electroforesis, ¿se puede conocer la carga neta de cada aminoácido? Explícalo.

- B** Con la técnica utilizada podemos identificar dos de los aminoácidos de la muestra problema. ¿Qué modificaciones deberíamos introducir en el experimento para reconocer más aminoácidos diferentes?
- C** ¿A qué se deben los diferentes resultados obtenidos en el caso de hacer la electroforesis con tampón a pH = 7 y con las soluciones de hidróxido amónico y ácido acético?
- D** Existen también técnicas de electroforesis para separar proteínas enteras a partir de mezclas naturales. ¿Por qué las proteínas sin hidrolizar presentan cargas eléctricas?

Soluciones:

- A** Si la mancha de aminoácido se encuentra desplazada hacia el polo positivo, su carga neta será negativa, y viceversa. En cuanto al valor concreto de la carga, se pueden ordenar los aminoácidos con mayor o menor carga según su posición relativa, pero habría que calibrar muy bien el dispositivo para conocer el valor exacto.
- B** Tendríamos que utilizar más soluciones patrón de diferentes aminoácidos.
- C** La carga neta de los aminoácidos puede variar según el pH del medio, pues del pH depende que los grupos amino se protonen y los grupos ácido se disocien.
- D** Porque entre sus aminoácidos componentes, puede haber algunos que presenten cargas en las cadenas laterales, las cuales determinarán la carga neta de la proteína, que por eso será diferente según su composición en aminoácidos.

TEMA 5 Nucleótidos y ácidos nucleicos

TÉCNICAS 5

Construcción de modelos tridimensionales de ácidos nucleicos

Actividades pág. 12 y 13

Se proponen técnicas de construcción de modelos que faciliten la interpretación espacial de la estructura de los ácidos nucleicos. Los resultados de las técnicas son los modelos tridimensionales en sí, por eso no se proponen actividades interpretativas.

TEMA 7 Envoltura celular

TÉCNICAS 7

Aislamiento de protoplastos

En esta experiencia se trata de aislar y observar los protoplastos que son células vegetales desprovistas de pared. Ello se puede realizar de dos formas: aislamiento mecánico (por rotura de la pared celular) y aislamiento enzimático (digiriendo la pared celular mediante polisacaridasas). En ambos casos el proceso se realiza en un medio hipertónico.

Actividades pág. 15

- A** Haz un dibujo de las observaciones realizadas.
- B** ¿Por qué es necesario aislar los protoplastos en un medio hipertónico?
- C** Si los protoplastos no existen en la naturaleza, ¿qué interés tiene su obtención en el laboratorio?

Soluciones:

- A** Los protoplastos se observan al microscopio como se muestra en la figura de la página 142 del libro del alumno.
- B** Porque cuando se colocan las células vegetales en un medio hipertónico, la vacuola y el citoplasma se contraen y la membrana plasmática se separa de la rígida pared celular, fenómeno denominado plasmólisis. Por tanto, por plasmólisis es posible separar la célula de su pared. A continuación y mediante una técnica sencilla se puede aislar el protoplasto, es decir, la célula vegetal desprovista de pared.
- C** Realizar experiencias que no pueden llevarse a cabo con la célula entera, referentes sobre todo a la membrana plasmática.

En todas estas experiencias hay que tener en cuenta que los protoplastos son muy frágiles y su utilización en las investigaciones necesita, más todavía que para los cultivos de tejidos, de una asepsia muy estricta.

TEMA 8 Citosol y citoesqueleto

TÉCNICAS 8

Observación de movimientos ciliares en las branquias de un mejillón

En esta experiencia se trata de observar los cilios y su movimiento. Para ello, se utilizan las branquias de un molusco bivalvo, el mejillón. Las branquias están comprendidas lateralmente entre el cuerpo y los bordes del manto; son laminares y en número de dos por lado. Por esto, los bivalvos se denominan también lamelibranquios. Con el microscopio puede observarse, en vivo, el epitelio ciliado que tapiza las branquias.

Actividades pág. 16

- A Haz un dibujo de las observaciones realizadas.
- B ¿Para qué se pone la muestra en tinta China?
- C Sugiere algún otro medio en el que se pueda poner la muestra para observar un efecto similar.
- D ¿Qué función tienen los cilios en el borde de las branquias? ¿Cómo se comprueba su función?

Soluciones:

- A El dibujo de las observaciones será similar al de la página 152 del libro del alumno.
- B Para observar el movimiento de las partículas de la tinta China como consecuencia del movimiento ciliar.
- C Agua con pequeñas partículas en suspensión.
- D La función de los cilios en este caso es desplazar el líquido extracelular sobre la superficie de las células. Se comprueba la función de los cilios al observar el movimiento de las partículas en suspensión que hay en el medio acuoso que los rodea.

INVESTIGACIONES 8

Factores que influyen en la velocidad del movimiento de los cilios

En esta investigación se trata de que los alumnos y alumnas utilicen la técnica anterior para estudiar los factores que influyen en el movimiento de los cilios. Según la tem-

peratura a la que se realice la experiencia, se podrá observar una aceleración o una ralentización de los movimientos ciliares.

Actividades pág. 17

- A ¿Qué factor de los estudiados tiene mayor influencia sobre el movimiento de los cilios? Razónalo.
- B ¿En qué condiciones se produce una aceleración del movimiento de los cilios? ¿Y una ralentización?
- C Haz un informe sobre el trabajo realizado de acuerdo con el siguiente esquema:
 - Problema a investigar
 - Hipótesis
 - Diseño experimental realizado que incluya materiales y métodos
 - Resultados obtenidos
 - Discusión y conclusiones

Soluciones:

- A El factor que tiene mayor influencia sobre el movimiento de los cilios es la temperatura. La razón es porque, en los animales ectotermos, el metabolismo depende directamente de las condiciones externas de temperatura.
- B Al aumentar la temperatura se produce la aceleración del movimiento de los cilios y al disminuir la ralentización.
- C Se debe elaborar un informe sobre la investigación realizada según el esquema planteado.

TEMA 9 Ribosomas y sistema de endomembranas

TÉCNICAS 9

I. Observación de vacuolas

En esta experiencia se trata de observar la diferenciación de un orgánulo celular: la vacuola. En las células jóvenes inmaduras, tales como las células meristemáticas situadas en

la punta de la raíz, hay numerosas pequeñas vacuolas. A medida que la célula va madurando y va aumentando de tamaño, las pequeñas vacuolas se fusionan entre sí para formar al final una gran vacuola que suele llenar casi la totalidad de la célula. Se utilizan raicitas de trigo de 1 ó 2 cm de longitud.

■ Actividades pág. 18 ■

- A** Representa las vacuolas de las células de la raíz tal como las observas al microscopio e indica su coloración.
- B** ¿En qué zona de la raíz se observan las células con muchas pequeñas vacuolas? ¿Y en qué zona se observan células con una gran vacuola?
- C** ¿Por qué varía tanto el tamaño de las vacuolas de unas células a otras?
- D** ¿Qué tipo de sustancias se acumulan en las vacuolas?

Soluciones:

- A** En las células meristemáticas de la punta de la raíz se observan numerosas pequeñas vacuolas de color rojo fuerte. Conforme nos alejamos de la punta de la raíz, las células se van diferenciando y presentan menos vacuolas pero de mayor tamaño cuyo color es rojo menos intenso; en las células maduras se observa una sola vacuola, de color rojo pálido, que ocupa aproximadamente el 90 % del volumen celular.
- B** En la punta de la raíz se observan las células con muchas pequeñas vacuolas y en el otro extremo (a un cm de la punta) se observan células con una gran vacuola.
- C** El número y tamaño de las vacuolas varía según el tipo de célula y las distintas fases del desarrollo. La célula vegetal inmadura contiene gran cantidad de pequeñas vacuolas, que aumentan de tamaño y se fusionan entre sí cuando la célula crece; el aumento de tamaño de las células vegetales se debe, en gran parte, a la acumulación de agua en sus vacuolas. En la célula madura, una sola vacuola puede llegar a ocupar hasta el 90 % del volumen celular, quedando el citoplasma reducido a una fina capa alrededor de la pared celular.
- D** El principal componente del líquido vacuolar es el agua; también pueden contener aceites y esencias. Las vacuolas contienen normalmente sales, azúcares y proteínas en disolución. A veces algunas sales están lo suficientemente concentradas en la vacuola como para formar cristales; son frecuentes los cristales de oxalato cálcico que pueden adoptar distintas formas.

II. Observación de sustancias cristalizadas en las vacuolas

En esta experiencia se trata de observar los cristales de oxalato cálcico que tanto abundan en las células vegetales. Se pueden ver en las secciones de tallos, hojas y raíces de diversas plantas. Las formas de dichos cristales son muy variadas: agujas, prismas alargados y puntiagudos, drusas o reuniones de cristales, en forma de erizo, etc.

Se utilizan la hoja externa marrón de cebolla en la que los cristales tienen forma poliédrica o prismática, el pecíolo de hiedra en el que los cristales tienen forma esférica (a manera de erizo) y la raíz de espárrago en la que los cristales tienen forma de aguja.

■ Actividades pág. 19 ■

- A** ¿Por qué se acumula y precipita esta sal en las vacuolas?
- B** Representa los cristales de oxalato cálcico tal como los observas al microscopio.
- C** ¿Por qué cristaliza en formas tan variadas el oxalato cálcico?

Soluciones:

- A** Los dibujos de los cristales de oxalato cálcico son como los de la figura 17 en la página 158 del libro del alumno.
- B** El oxalato cálcico es un producto final del metabolismo de las células vegetales, que se acumula en la vacuola, igual que otros productos de desecho, para quedar así aislado del resto del citoplasma. Por ser una sal muy insoluble precipita en el interior de la vacuola.
- C** El oxalato cálcico cristaliza adoptando diferentes formas dependiendo de las condiciones. Así, el oxalato cálcico puede presentarse de dos formas, como monohidrato o como dihidrato, y cada uno de ellos cristaliza de diferente forma; el oxalato cálcico monohidrato cristaliza en el sistema monoclinico y el dihidratado en el sistema tetragonal. Además, según las sustancias disueltas acompañantes, y según la relación de concentraciones entre los iones Ca^{2+} y oxálico, el monohidrato puede presentarse en forma de cristales solitarios, de haces de agujas, de arena cristalina y de drusas. Los cristales tetragonales del dihidrato se presentan aislados o en drusas (muchos cristales soldados irregularmente entre sí alrededor de un centro de formación).

TÉCNICAS 10

Observación de cloroplastos y localización de almidón en los mismos

Los cloroplastos son plastos de color verde por contener clorofila y en ellos tiene lugar la fotosíntesis. Aunque todas las plantas verdes tienen cloroplastos, su observación se realiza mejor en las algas, musgos y algunas plantas acuáticas como la *Elodea*; en estas plantas se pueden escoger pequeñas porciones formadas por una o muy pocas capas de células.

Los cloroplastos poseen tamaños y formas bastante diferentes; pueden tener forma discoidal, forma de cinta en espiral, forma estrellada, etc. Su número también varía según los organismos. Se suelen disponer en el citoplasma paralelamente a la pared celular.

Actividades pág. 20

- A ¿Para qué se ponen las hojas de *Elodea* en una solución de bicarbonato sódico y a la luz, durante al menos un día antes de la observación?
- B Señala las diferencias entre los cloroplastos de *Elodea* que han permanecido a la luz y los que han estado en la oscuridad.
- C ¿Por qué se almacena almidón temporalmente en los cloroplastos? ¿Qué pasa luego con ese almidón?
- D Cita partes de la planta donde se almacene el almidón como reserva a largo plazo.

Soluciones:

- A Para asegurarse de que se realiza la fotosíntesis en los cloroplastos de las células de *Elodea* y, por tanto, de que hay síntesis de almidón. La luz y el CO_2 son requisitos indispensables para que tenga lugar dicho proceso y la solución de bicarbonato aporta CO_2 a la planta.
- B En los cloroplastos de *Elodea* que han permanecido a la luz hay gránulos de almidón y en los que han permanecido en la oscuridad no. Ello se debe a que las que han estado a la luz han realizado la fotosíntesis y las moléculas de glucosa obtenidas han sido utilizadas para formar almidón que se almacena en forma de gránulos. Las que no han estado a la luz no han producido glucosa ni, por tanto, almidón.

C Las moléculas de glucosa producidas por la fotosíntesis son rápidamente utilizadas para formar almidón que se almacena en las células en forma de gránulos. Un aumento de la concentración de glucosa en el interior de las células afectaría a los procesos osmóticos. El almidón es un compuesto relativamente insoluble y por ello no influye en los fenómenos de ósmosis.

El almidón, sin embargo, es regularmente degradado a sacarosa y este azúcar soluble es transportado fuera de la célula y por medio de los vasos conductores distribuido a todas las partes de la planta no fotosintéticas, como por ejemplo, los frutos maduros, las raíces y los órganos de almacenamiento subterráneo.

D En las plantas, los azúcares que no se necesitan para la respiración son transformados otra vez en almidón y almacenados como reserva a largo plazo. Así, algunas plantas almacenan gránulos de almidón en las células de sus tallos o raíces; otras, como la patata, tienen órganos de almacenamiento especiales (tubérculos) para sus reservas de almidón.

INVESTIGACIONES 10

¿Qué factores influyen en el movimiento de los cloroplastos en las células de *Elodea*?

Con las preparaciones de hojas de *Elodea* es fácil observar los movimientos de ciclosis del citoplasma, sobre todo cuando el agua en la que viven las *Elodeas* no está a baja temperatura. Se deben hacer las observaciones con las hojas de mayor intensidad de color, y entre éstas, las jóvenes. No se observa la ciclosis en las hojas marchitas o con poca actividad vital.

Si se estudia la influencia de la luz y de la temperatura se pueden variar las condiciones de estos factores utilizando varios focos de luz y situándolos a diferente distancia de la muestra, aunque teniendo en cuenta que no se debe modificar más de un factor en cada experimento.

Actividades pág. 21

- A Anota las condiciones de realización de la experiencia y haz un dibujo de tus observaciones. Describe el movimiento de los cloroplastos así como su dirección.
- B ¿Cómo influyen los factores estudiados sobre el movimiento de los cloroplastos? Razónalo.
- C Haz un informe sobre el trabajo realizado de acuerdo con el siguiente esquema:

- *Problema a investigar*
- *Hipótesis*
- *Diseño experimental realizado que incluya materiales y métodos*
- *Resultados obtenidos*
- *Discusión y conclusiones*

Soluciones:

- A** El dibujo de las observaciones debe ser similar al que hay en el libro del alumno, sección Investigaciones y técnicas, página 180; se observan las células con una gran vacuola y los cloroplastos girando alrededor de ella. Los cloroplastos circulan por el interior de la célula debido a las corrientes citoplasmáticas, haciéndolo con recorrido y direcciones fijas.
- B** El aumento de la temperatura y la intensidad luminosa favorecen el movimiento de ciclosis de los cloroplastos. Al aumentar la temperatura se aceleran los procesos metabólicos y por ello el movimiento de ciclosis de los cloroplastos.
- C** Se debe hacer un informe sobre la investigación realizada en el que conste:
- Problema a investigar.
 - Hipótesis explicativa.
 - Diseño (material y métodos).
 - Resultados obtenidos.
 - Discusión y conclusiones.

TEMA 11 Núcleo y ciclo celular

TÉCNICAS 11

¿Cuál es el centro de control de la célula?

Para conocer la función del núcleo celular se le puede extraer a una célula dicho orgánulo y observar las consecuencias. Así, cuando el núcleo de una ameba se extrae con una microaguja, la ameba continúa viviendo, pero no crece y muere al cabo de unos cuantos días. Una ameba sometida al mismo traumatismo, pero sin la extracción del núcleo, no muere. Por tanto, se puede concluir que el núcleo es necesario para los procesos metabólicos que intervienen en el crecimiento y reproducción celular.

J. Hämmerling y J. Brachet realizaron una serie de investigaciones sobre la regulación de las actividades celulares en el alga *Acetabularia*. En este apartado se trata de analizar e interpretar las experiencias que realizaron dichos investigadores. Hoy en día se sabe que el núcleo de las células eucarióticas regula las actividades celulares porque contiene el DNA, que es el material genético.

Actividades pág. 22

- A** ¿Qué se puede deducir de los dos primeros experimentos? ¿En qué seres vivos se produce el fenómeno de regeneración?
- B** Analiza la experiencia realizada con las dos especies de *Acetabularia* ¿Qué conclusiones se puede extraer de la misma?
- C** ¿Te permiten tus conclusiones determinar qué parte de la célula se encarga del control de las actividades celulares? ¿Cómo ejerce dicho control?
- D** Realiza otros diseños experimentales para confirmar tus conclusiones o sugiere algún cambio para mejorar los experimentos anteriores.

Soluciones:

- A** El primer experimento de regeneración demuestra que en el pedúnculo hay alguna estructura gracias a la cual se puede regenerar el alga completa. Mediante el segundo experimento de trasplante del núcleo del pedúnculo al tallo, dado que ahora este último regenera el alga completa, se puede deducir que la estructura de la que hablábamos es el núcleo.

El fenómeno de la regeneración se presenta en muchos organismos y es tanto más frecuente cuanto más abajo están éstos en la escala evolutiva. Así, se produce en las plantas y en animales tales como los pólipos, las esponjas, las estrellas de mar, las salamandras y las lagartijas.

- B** Al intercambiar los núcleos entre dos especies de *Acetabularia* se observa cómo el núcleo es el que determina la forma de la umbela. Por tanto, podemos concluir que una célula expresa el programa genético contenido en el núcleo bajo la forma de caracteres específicos del citoplasma, en este caso la forma de la umbela.
- C** Sí. Como resultado de éstos y otros experimentos se puede determinar que el núcleo es el centro de control celular.
- Las experiencias aquí planteadas ponen de manifiesto que la información genética está contenida en el núcleo e influye en las síntesis realizadas en el citoplasma.

- D** Una experiencia nueva podría ser: coger una especie de *Acetabularia*, eliminar el núcleo y cortar la umbela; a continuación, insertar dos o más tipos de núcleos y observar lo que ocurre. La umbela tendrá una forma intermedia entre las de las especies donadoras de los núcleos.

TEMA 12 Introducción al metabolismo. ATP y enzimas

TÉCNICAS 12

I. Actividad enzimática de la pepsina

Con esta práctica se pretende visualizar la influencia de la temperatura y del pH en la actividad de las enzimas.

Actividades pág. 24

- A** Examina los tubos al cabo de una hora y explica los cambios que se han producido.
- B** ¿Qué podemos deducir de la actividad enzimática de la pepsina?
- C** ¿Qué resultados se obtienen en el segundo experimento?
- D** ¿Cómo afecta la ebullición a la actividad catalítica de la pepsina?

Soluciones:

- A** En el primer experimento al cabo de una hora el tubo nº 2 debe presentar la mayor turbidez, puesto que en este tubo se ha producido la "digestión" más rápida de la muestra.
- B** La actividad máxima de la pepsina, como se ha visto en la actividad n.º 4 de la página 230, es máxima para un medio ácido con valores de pH entre 3 y 3,5.
- C** En este segundo experimento no se consigue la digestión de ninguna de las muestras.
- D** Con la ebullición se han desnaturalizado las moléculas de pepsina.

II. Identificación de reductasas en la leche

Esta técnica representa un caso práctico en que se ve la utilidad del estudio de las enzimas en las actividades de interés para los humanos.

Actividades pág. 25

- A** Observa los tubos de ensayo al cabo de 5 horas, de 7 horas y de 9 horas de cultivo; toma nota de los cambios que se producen.
- B** ¿Hay alguna diferencia entre los resultados obtenidos del primer y del segundo cultivo?
- C** ¿Qué clase de reacciones catalizan las reductasas?
- D** ¿Cómo afectan estas enzimas a la conservación de la leche?
- E** ¿Tiene este test algún tipo de utilidad práctica? Razónalo.

Soluciones:

- A y B** En principio se ha de observar decoloración del azul de metileno en el primer tubo de ensayo y no en el segundo.
- C** Reacciones redox o de oxidación-reducción.
- D** La actividad enzimática de origen bacteriano reduce considerablemente el tiempo de conservación de la leche cruda, ocasiona fenómenos de coagulación e inicia la descomposición de este preciado alimento para la especie humana.
- E** En esta investigación se pretende, en primer lugar, reconocer la presencia de bacterias en las muestras de leche cruda, comparando la actividad enzimática bacteriana sobre el azul de metileno con las muestras control de leche esterilizada donde no debería haber actividad catalítica alguna y por consiguiente ningún cambio de color en el azul de metileno. En segundo lugar, se pretende que los estudiantes observen la influencia de parámetros como la temperatura y el tiempo de cultivo en las muestras y reconozcan la necesidad y la importancia de establecer o de fijar estos valores antes de iniciar experimentos con cultivos de microorganismos.

TEMA 13 Respiración y fotosíntesis

TÉCNICAS 13

Estudio del espectro de absorción de los pigmentos de las hojas

Con esta técnica se pretende visualizar la presencia de los pigmentos fotosintéticos y de aquellos que los acompañan contribuyendo a su función.

Actividades pág. 26

- A** ¿Por qué son verdes las plantas?
- B** ¿Para qué sirve la rendija?
- C** ¿Qué ventajas experimentales tiene llenar la cubeta únicamente hasta la mitad?
- D** ¿Sobre qué elementos de este diseño actuarías para optimizarlo y cómo lo harías?

Soluciones:

A Obsérvese la figura que acompaña a la explicación de esta técnica: la mitad superior de la imagen se corresponde con la luz que ha atravesado la solución de clorofila, y la mitad inferior de la imagen representa la luz que no ha atravesado la solución de clorofila; recuérdese que los proyectores de diapositivas invierten la imagen sobre la pantalla, de modo que las diapositivas hay que colocarlas al revés de como quieren observarse en la pantalla.

En dicha imagen se observa que las franjas correspondientes al color rojo y al azul de la luz normal, desaparecen en la luz que ha atravesado la solución de clorofila: la clorofila absorbe la luz de longitud de onda correspondiente a dichos colores. Así como la luz blanca (franja central inferior) es el resultado de la combinación de todos los colores que aparecen en el espectro de la luz difractada, la combinación de los colores restantes de la eliminación del rojo y el azul es el color verde (franja central superior); la luz no absorbida es la que el objeto refleja, la que da color al objeto.

- B** La rendija sirve para obtener un haz de luz muy fino que será difractado por la rejilla de difracción, obteniéndose franjas de diferentes colores que representan las diferentes longitudes de onda que componen la luz que llega a la rejilla.
- C** Permite comparar en una sola imagen la composición de la luz proyectada y la de la luz después de pasar por la solución de clorofila.
- D** Actuaría sobre la calidad de la cubeta y de la rendija central de la cartulina negra, de manera que los bordes del haz de luz fueran lo más nítidos posible y el haz lo más estrecho posible. Actuaría también sobre la calidad de la rejilla de refracción. Ello se logra con una rejilla de buena calidad y sobre todo con un valor alto en la relación n.º de líneas/mm en dicha rejilla. Se trataría de conseguir que las bandas de colores obtenidas fueran lo más

anchas y diferenciadas posible, con el fin de determinar con más exactitud la longitud de onda de la luz absorbida por la solución de clorofila.

TEMA 14 Las leyes de la herencia

TÉCNICAS 14

Comprobación de las leyes de Mendel

La actividad está redactada como una descripción somera de los experimentos que se pueden realizar, conscientes de que no todos los centros escolares contarán con los medios necesarios para realizarla, o con la flexibilidad de horario que exige el seguimiento del desarrollo de los seres vivos. Aquellos profesores que deseen poner en práctica esta actividad, deberán consultar material bibliográfico más detallado; en el apartado de bibliografía se cita algún ejemplo de libro de prácticas de Genética.

Actividades pág. 27

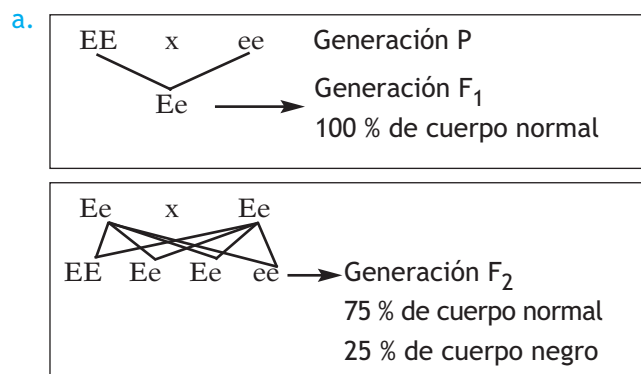
(ejercicios propuestos al final de la técnica)

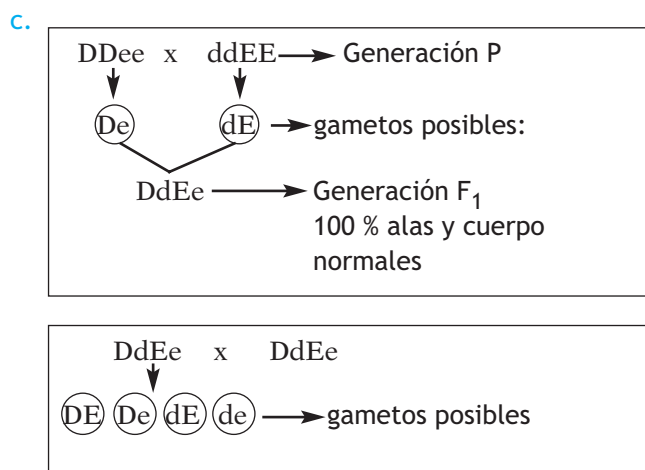
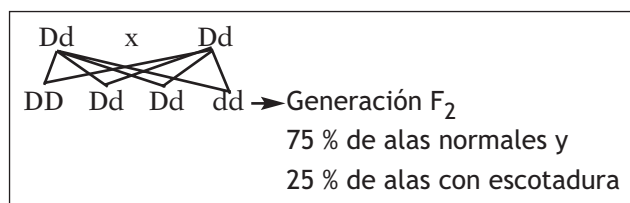
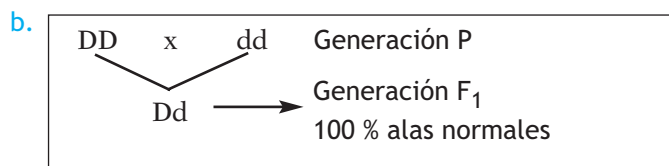
Obtén los resultados teóricos de la F_1 y de la F_2 de los tres cruzamientos propuestos:

- a. $EE \times ee$, b. $DD \times dd$, c. $DDee \times ddEE$

Soluciones:

Se piden tres cruzamientos al final de la explicación de la técnica experimental, que se resolverán de la siguiente manera:





Para obtener la F₂ usamos el tablero de Punnet:

	DE	De	dE	de
DE	DDEE	DDEe	DdEE	DdEe
De	DDEe	DDee	DdEe	Ddee
dE	DdEE	DdEe	ddEE	ddEe
de	DdEe	Ddee	ddEe	ddee

Frecuencia de fenotipos:

- 9/16 de alas y cuerpo normales (DE)
- 3/16 de alas con escotadura y cuerpo normal (ddE)
- 3/16 de alas normales y cuerpo negro (Dde)
- 1/16 de alas con escotadura y cuerpo negro (ddee)

TEMA 17 Biología de los microorganismos

TÉCNICAS 17

I. Observación de las bacterias del yogurt

Las investigaciones propuestas en este apartado pretenden lograr que el alumnado vaya avanzando en la comprensión de las técnicas comunes a la Microbiología y la Microscopía para la observación de bacterias y la utilización de los métodos de tinción específicos.

Actividades pág. 28

- A ¿Qué función cumple el paso de la preparación sobre la llama del mechero?
- B ¿Por qué hay que pasar el frotis por la llama del mechero?
- C Haz un dibujo de las formas bacterianas observadas.
- D Compara tus observaciones con la figura 1.

Soluciones:

- A y B El calor es uno de los procedimientos de fijación de las preparaciones microscópicas; se trata de un procedimiento físico, frente al uso de compuestos químicos que es el método más común. Las bacterias quedan pegadas al sustrato (portaobjetos) y así pueden después someterse a los procedimientos de tinción sin que se pierdan en los lavados que hay que realizar a la preparación.
- C y D Se trata principalmente de que sepan interpretar la presencia de largos bacilos y filas de bacilos más cortos.

II. Tinción Gram de Bacterias

Con esta técnica se acerca al alumnado a las técnicas básicas de Microbiología, y se mejoran sus habilidades en el manejo de los microscopios y en la participación activa en la conservación del material de observación y del laboratorio.

Actividades pág. 29

- A ¿A qué se debe la diferente coloración que presentan las bacterias?
- B Dibuja y colorea la observación realizada marcando las bacterias Gram + y Gram -.

C Redacta un informe del protocolo que se ha seguido y las posibles dificultades surgidas durante la realización del trabajo experimental.

Soluciones:

A A la diferente capacidad de absorber los diferentes colorantes (cristal violeta, lugol, safranina) que tienen las paredes celulares de las bacterias Gram + y Gram -, por su diferente composición química y estructura.

B Cuestión abierta. En todo caso, conviene recordar que la mayoría de los cocos son Gram + y la mayoría de los bacilos son Gram -, lo cual puede ser bueno recordarlo pa-

ra facilitar el reconocimiento de los distintos tipos de bacterias.

C Cuestión abierta. Conviene que el alumnado practique la ordenación de los informes científicos a los que se han ajustado muchas de las investigaciones propuestas en este curso:

- Problema a investigar.
- Hipótesis explicativa.
- Diseño (material y métodos).
- Resultados obtenidos.
- Discusión y conclusiones.

BIBLIOGRAFÍA

LIBROS

ALBERTS, B. y otros. (2ª Edición, 2007). Introducción a la Biología Celular. Ed. Médica Panamericana. Madrid.

ALBERTS, B. y otros. (4ª Edición, 2004). Biología Molecular de la célula. Ed. Omega, Barcelona.

AUDESIRK, T.; AUDESIRK, G.; BYERS, B.E. (6ª Edición 2003). Biología. La Vida en la Tierra. Ed. Prentice Hall, Madrid.

FERNANDEZ, Benjamin; Bodega, Guillermo; Suarez, Isabel y Muñíz, Zuriqueta (2000). Biología celular. Editorial Síntesis.

BECKER, W.E.; KLEINSMITH, L.H.; HARDIN, J. (6ª Edición, 2006). El Mundo de la Célula. Ed. Pearson Educación, Madrid.

CAMPBELL, N.A.; REECE, J.B. (7ª Edición 2007). Biología. Editorial Médica Panamericana, Madrid.

CRAWFORD, Dorothy. (2002). El enemigo invisible. La historia secreta de los virus. Ed. Península, Barcelona.

CURTIS, H. y otros. (6ª Edición 2007). Invitación a la Biología. Editorial Médica Panamericana, Madrid.

CURTIS, H. y otros. (7ª Edición 2008). Biología. Editorial Médica Panamericana, Madrid.

GARCÍA, Mariano; FRANCO, Luis; FURIÓ, Josep; GARCÍA, Mª Ángeles; REIG, José y SENDRA, Rafael. 1994. Biología. Texto para C.O.U. Editorial ECIR. Valencia.

HORN, F. y otros. (2002). Biochemie des Menschen. Ed. Thieme, Marburg.

KOOLMAN, J.; RÖHM, K.H. (2003). Taschenatlas der Biochemie. Ed. Thieme, Marburg.

MADIGAN, M.T.; MARTINKO, J.M.; PARKER, J. (10ª Edición, 2003). Biología de los Microorganismos. Brock. Editorial Pearson Educación, Madrid.

NELSON, D.L.; COX, M.M. (4ª Edición 2006). Principios de Bioquímica. Lehninger. Ed. Omega, Barcelona.

PANIAGUA, R. y otros. (2ª Edición, 2003). *Biología Celular*. Ed. MacGraw-Hill Interamericana. Madrid

POLLARD, T.D.; EARNSHAW, W.C. (2002). *Cell Biology*. Ed. Saunders. Philadelphia

PRESCOTT, L.M.; HARLEY, J.P.; KLEIN, D.A. (2004). *Microbiología*. Ed. Mac-Graw Hill. Interamericana, Madrid.

PURVES, W.K. y otros. (6ª Edición 2006). *Vida. La Ciencia de la Biología*. Editorial Médica Panamericana, Madrid.

RAMÓN Y CAJAL, Santiago. 1995. *Reglas y consejos sobre investigación científica. Los tónicos de la voluntad*. Editorial Espasa Calpe. Madrid.

REAL ACADEMIA DE CIENCIAS EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES. (3ª Edición 1996). *Vocabulario Científico y Técnico*. Ed. Espasa, Madrid.

SMITH, J.E. (4ª Edición 2004). *Biotechnology*. Cambridge University Press.

SOLOMON, E.P.; BERG, L.R.; MARTIN, D.W. (5ª Edición 2001). *Biología*. Ed. Mac-Graw Hill. Interamericana, Madrid.

REVISTAS

BARRY, C.E.; CHEUNG, M.S. (2009) Nuevas tácticas contra la tuberculosis. *Investigación y Ciencia*. Mayo. Ed. Prensa Científica. Barcelona.

DAVIES, P. (2008) ¿Convivimos con microorganismos alienígenos? *Investigación y Ciencia*. Febrero. Ed. Prensa Científica. Barcelona.

DERETIC, V. y Klionsky, D.J. (2008). *Antología*. Julio. Ed. Prensa Científica. Barcelona.

DUESBERG, P. (2007) Origen cromosómico del cáncer. *Investigación y Ciencia*. Julio. Ed. Prensa Científica. Barcelona.

FIELDS, R. Douglas (2008). Qué función cumple la sustancia blanca. *Investigación y ciencia*. Mayo. Ed. Prensa Científica. Barcelona.

GONZÁLEZ, J.M.; PEDRO'S-ALIÓ, C. y GASOL, J.M. (2008). Plancton bacteriano de los océanos. Diciembre. Ed. Prensa Científica. Barcelona.

JAIN, R.K. (2008) Terapia vascular para tratar el cáncer. *Investigación y Ciencia*. Marzo. Ed. Prensa Científica. Barcelona.

KIANG, N.Y. (2008) El color de las plantas extraterrestres. *Investigación y Ciencia*. Junio. Ed. Prensa Científica. Barcelona.

MUELLER, T. (2009) Clonación de especies. *National Geographic España*. Mayo. National Geographic- España. Barcelona.

NELSON, J.L. (2008) Microquimerismo ¿daño o protector? *Investigación y Ciencia*. Abril. Ed. Prensa Científica. Barcelona.

NIELSEN, P.E. (2009) Una nueva molécula. *Investigación y Ciencia*. Marzo. Ed. Prensa Científica. Barcelona.

RIDLEY, M. (2009) Los Darwin de hoy. *National Geographic España*. Febrero. National Geographic- España. Barcelona.

ROJAS-MUÑOZ, A.; MIANA, A.B.; IZPUSÚA, J.C. (2007) El pez cebra, versatilidad al servicio de la biomedicina. *Investigación y Ciencia*. Marzo. Ed. Prensa Científica. Barcelona.

SHORS, T.J. (2009) Salvar las nuevas neuronas. *Investigación y Ciencia*. Mayo. Ed. Prensa Científica. Barcelona.

SRIVASTAVA, P.K. (2008) Función biológica de las chaperonas. *Investigación y Ciencia*. Septiembre. Ed. Prensa Científica. Barcelona.

STIX, G. (2007) Función maligna de la inflamación. *Investigación y Ciencia*. Septiembre. Ed. Prensa Científica. Barcelona.

STOECKLE, M. Y.; HEBERT, P.D. (2008) Código de barras biológico. *Investigación y Ciencia*. Diciembre. Ed. Prensa Científica. Barcelona.

TAVERA-MENDOZA, L.E.; WHITE, J.H. (2008) La vitamina solar. *Investigación y Ciencia*. Enero. Ed. Prensa Científica. Barcelona.

ZIMMER, C. (2007) Biología evolutiva del cáncer. *Investigación y Ciencia*. Marzo. Ed. Prensa Científica. Barcelona.

INFORMACIÓN GENERAL

<http://www.biologia.arizona.edu/> (El proyecto Biológico. Recursos interactivos “online” para aprender Biología)

<http://www.biorom.uma.es/indices/index.html> (Ayudas al aprendizaje de bioquímica, biotecnología y biología molecular)

<http://recursos.cnice.mec.es/biosfera/> (Proyecto Biosfera del Ministerio de Educación)

<http://recursos.cnice.mec.es/biologia/> (Área de Biología. Ministerio de Educación)

<http://www.actionbioscience.org/esp/directorio.html> (Un recurso educativo del Instituto Americano de Ciencias Biológicas, páginas en inglés y en español)

<http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ciencias/2000024/index.html> (Biología virtual, Universidad de Colombia)

http://highered.mcgraw-hill.com/sites/0072437316/student_view0/ (Página web en inglés de la Biología de Raven et al, McGraw-Hill, con información y animaciones muy interesantes)

<http://bcs.whfreeman.com/thelifewire/default.asp> (Página web en inglés del libro “La Ciencia de la Biología”, de Purves et al., séptima edición)

<http://www.webs.uvigo.es/mmegias/inicio.html> (Atlas de Histología vegetal y animal. Facultad de Biología, Universidad de Vigo)

<http://www.educypedia.be/education/biologycellstruc.htm> (Página web en inglés de una enciclopedia educacional, con información y animaciones)

<http://www.biologia.org/> (Portal de Biología y Ciencias de la Salud)

<http://www.ehu.es/biomoleculas/> (Curso de biomoléculas)

MICROGRAFÍAS ELECTRÓNICAS:

<http://www.denniskunkel.com/> (Interesante página en inglés con micrografías electrónicas, videos y animaciones)

RECURSOS: ANIMACIONES, VIDEOS, ENLACES....

<http://www.johnkyrk.com/index.esp.html> (Animaciones de Biología Celular, página en varios idiomas)

<http://aimediaserver.com/studiodaily/harvard/harvard.swf> (El interior de la célula, video. Universidad de Harvard)

<http://vcell.ndsu.nodak.edu/animations/home.htm> (Colección de animaciones celulares virtuales, U.S. Departamento de Educación)

<http://www.cellsalive.com/> (información y animaciones)

<http://www.isftic.educacion.es/w3/eos/MaterialesEducativos/mem2002/proteinas/> (Proteínas en 3D)

<http://www.biologia.edu.ar/animaciones/index.htm> (Conceptos animados en Hipertextos del Área de la Biología, página de varias Universidades Argentinas)

<http://recursos.cnice.mec.es/biosfera/profesor/recursos.htm> (Página de recursos, dentro del Proyecto Biosfera del MEC, con animaciones y videos)

http://web.educastur.princast.es/proyectos/biogeo_ov/index.htm (Biología y Geología de la ESO y de 2º de Bachillerato. IES Pando, Oviedo)

http://web.educastur.princast.es/proyectos/biogeo_ov/Animaciones/Indice_anim.htm (Recopilatorio de animaciones, IES Pando, Oviedo)

<http://highered.mcgraw-hill.com/sites/dl/free/0072437316/120060/ravenanimation.html> (Animaciones muy interesantes de la página web en inglés de la Biología de Raven et al, McGraw-Hill)

<http://biology-animations.blogspot.com/search/label/bacteria><http://biology-animations.blogspot.com/search/label/bacteria> (Página inglés desde la que se accede a numerosas animaciones y videos)

<http://biology-animations.blogspot.com/search/label/animal%20cell> (Página inglés desde la que se accede a numerosas animaciones y videos)

http://translate.google.es/translate?hl=es&langpair=en|es&u=http://biology-animations.blogspot.com/&prev=/translate_s%3Fhl%3Des%26q%3Danimaciones%2Bbiologia%2Bgen%25C3%25A9tica%2Binmunologia%26tq%3Dgenetic%2Bbiologia%2Bimmunology%2Banimations%26sl%3Des%26tl%3Den (Página traducida al español de biology-animations desde la que se accede a numerosos videos y animaciones)

<http://www.youtube.com/watch?v=03TM6vp9HPk&feature=related> (Animación sobre la fotosíntesis)

http://www.pbs.org/wgbh/nova/baby/divi_text_06.html (Animación en la que se compara la mitosis y la meiosis)

<http://www.bionova.org.es/biocast/cabecera.html> (Curso de Biología 2º Bachillerato. IES María Casares, A Coruña)

<http://www.bionova.org.es/biocast/p4a.htm> (Curso de Biología 2º Bachillerato. IES María Casares, A Coruña. Animaciones de inmunidad)

http://www.juntadeandalucia.es/averroes/manuales/materiales_tic/Cell_anim_archivos/Cell_anim.htm (Animaciones de Biología celular, IES "La rábida")

<http://www.isftic.mepsyd.es/w3/eos/MaterialesEducativos/mem/moleculares/programa/html/index.htm> (Sustancias moleculares y geometría molecular: actividades)

<http://www2.uah.es/biomodel/model3/inicio.htm> (Bioquímica estructural)

<http://www2.uah.es/biomodel/model1/prot/2frmcont.htm> (Estructura de proteínas)

<http://ibmc.umh.es/jmsanz/estructuras.htm> (Página diseñada para la visualización de macromoléculas en 3 dimensiones)

<http://www2.uah.es/biomodel/model1/rna/2frmcont.htm> (Estructura del RNA)

<http://sebbm.bq.ub.es/BioROM/contenido/proteinas3d/index.html> (Proteínas en 3D, Belén Garrido, Valencia)

<http://www.hhmi.org/biointeractive/vlabs/index.html> (Biointeractive, página web en inglés con videos, animaciones, enlaces...)

<http://www.pbs.org/wgbh/nova/baby/divide.html> (Animación en la que se comparan la mitosis y la meiosis)

<http://laguna.fmedic.unam.mx/lenpres/> (Presentaciones, Power Point en inglés de la Bioquímica de Lehninger)

http://recursos.cnice.mec.es/biosfera/profesor/recursos_animaciones14.htm (La función de los lisosomas)

http://recursos.cnice.mec.es/biosfera/profesor/animaciones/ciclo_litico.swf (El ciclo lítico de un virus)

<http://www.joseacortes.com/index.htm> (Recursos didácticos para Biología)

http://biomodel.uah.es/c_enlaces/ (Colección de enlaces útiles)

<http://www.ehu.es/biomoleculas/tests/> (Ejercicios para autoevaluarse)

<http://ibmc.umh.es/jmsanz/Diseño/inicio.htm> (Diseño de proteínas)

<http://ibmc.umh.es/jmsanz/estructuras.htm> (Estructura de macromoléculas)

<http://av.bmbq.uma.es/bma/> (Aula virtual de Biología Molecular)

http://av.bmbq.uma.es/av_biomo/ (Aula virtual de biomoléculas)

<http://www.ub.es/dpfisii/recursos/visual.htm> (Proteínas, metabolismo y apoptosis. Universidad de Bacerlona)

<http://biomodel.uah.es/ib3m/> (Enlaces para la enseñanza y el aprendizaje)

<http://biomodel.uah.es/> (Modelos moleculares interactivos)

<http://biomodel.uah.es/epb/> (Ejercicios para autoevaluarse)