

Ejercicios Resueltos Biología y Geología 1 de Bachillerato 2026 / 2027

48 ejercicios con la solución explicada paso a paso, y la teoría de los 19 temas que trae esta selección.

Lo que vas a practicar

La base química de la vida: bioelementos, agua y sales · Razonar sobre abundancias, deducir propiedades del agua y repartir bioelementos (**ejercicios 1, 2, 3**)

Glúcidos y lípidos · Calcular fórmulas y enlaces, y razonar por qué dos polisacáridos de la misma pieza hacen cosas distintas (**ejercicios 4, 5**)

Proteínas y enzimas · Contar enlaces y agua, interpretar dos pruebas con una enzima y razonar la desnaturalización (**ejercicios 6, 7, 8**)

Ácidos nucleicos y el flujo de la información genética · Calcular porcentajes de bases y escribir cadenas complementarias y ARN mensajero (**ejercicios 9, 10**)

La célula: la teoría celular y quién hace cada trabajo dentro · Corregir definiciones que se quedan cortas, ordenar el camino de una proteína y clasificar células por sus rasgos (**ejercicios 11, 12, 13, 14, 15**)

La membrana y el transporte a través de ella · Razonar la ósmosis con casos descritos y clasificar cinco transportes (**ejercicios 16, 17**)

Los tejidos animales y vegetales · Reconocer un tejido es mirar una preparación al microscopio, y aquí no caben (**solo teoría**)

El ciclo celular y la mitosis · Contar cromosomas y cromátidas en cada fase, e identificar la etapa de una célula por lo que se cuenta en ella (**ejercicios 18, 19, 20**)

La meiosis y de dónde sale la variabilidad · Contar la meiosis por divisiones, calcular combinaciones de gametos y comparar con la mitosis (**ejercicios 21, 22, 23**)

Catabolismo: la respiración celular y las fermentaciones · Ajustar la ecuación de la respiración y comparar el rendimiento con y sin oxígeno (**ejercicios 24, 25**)

Anabolismo: la fotosíntesis · Desmontar dos frases muy repetidas, ajustar la ecuación y razonar con datos de laboratorio (**ejercicios 26, 27, 28, 29**)

La herencia: las leyes de Mendel · Resolver cruces enteros escritos en prosa: monohíbrido, retrocruzamiento, dihíbrido, ligamiento y probabilidades (**ejercicios 30, 31, 32, 33, 34**)

Más allá de Mendel: alelos múltiples, codominancia y herencia ligada al sexo · Resolver cruces con tres alelos y con genes del cromosoma X, y separar codominancia de dominancia incompleta (**ejercicios 35, 36, 37**)

La biodiversidad y la evolución · Distinguir homología de analogía y reescribir una explicación evolutiva mal montada (**ejercicios 38, 39**)

Los minerales y las rocas: identificarlos por sus propiedades · Identificar minerales por ensayos descritos y clasificar rocas por su origen (**ejercicios 40, 41, 42**)

La tectónica de placas · Calcular con velocidades de placa, desmontar la idea del océano de magma y clasificar bordes (**ejercicios 43, 44, 45**)

El modelado del relieve · Identificar una forma del relieve es reconocerla en una fotografía, y aquí no caben (**solo teoría**)

El tiempo geológico: datación relativa y fósiles · Reconstruir la historia de una serie contada en prosa, calcular periodos de semidesintegración y elegir un fósil guía (**ejercicios 46, 47, 48**)

Los cortes y los mapas geológicos · Aquí el ejercicio es leer el dibujo, y el dibujo no cabe (**solo teoría**)

Material propio de solucionario.es. Los enunciados y las soluciones están escritos por nosotros. La versión al día, con más ejercicios y de todos los cursos, está siempre en:

solucionario.es

Qué trae esta página y qué no. Trae la teoría de **19 temas y 48 ejercicios** resueltos de Biología y de Geología. Se resuelve entero **razonando sobre los datos que trae cada enunciado**, sin material gráfico de ninguna clase: basta un cuaderno. Los cruces genéticos vienen contados por completo en el texto, y el cuadro de cruce lo construyes tú.

Dieciséis temas traen ejercicios: la composición química de los seres vivos, los glúcidos y los lípidos, las proteínas y las enzimas, los ácidos nucleicos, la célula y sus orgánulos, la membrana y el transporte, el ciclo celular y la mitosis, la meiosis, el catabolismo, la fotosíntesis, la genética de Mendel, la herencia ligada al sexo y los grupos sanguíneos, la biodiversidad y la evolución, los minerales y las rocas, la tectónica de placas y el tiempo geológico.

Los otros tres traen su teoría y ningún ejercicio, y el motivo está dicho: son **Los tejidos animales y vegetales,**

El modelado del relieve y Los cortes y los mapas geológicos. En esos tres, practicar de verdad pasa por tener delante una preparación al microscopio, la fotografía de un paisaje o un corte dibujado, y aquí no caben imágenes.

Antes que fabricar un ejercicio que no se parezca al que te van a poner, te damos la explicación completa y te decimos con qué material tienes que practicarla. **Y una advertencia sobre el temario:** el reparto de estos 19 temas es una **decisión nuestra**, tomada a partir de lo que esta asignatura suele cubrir en 1º de Bachillerato y de lo que ocupan los cursos de al lado; **no es la lista oficial de ningún currículo**, así que compárala con el índice de tu libro antes de darla por completa. Sirve para localizar por dónde flojeas, y no ocupa el sitio de tu libro, de tus prácticas ni de tu profesor.

La base química de la vida: bioelementos, agua y sales

Lo que hay que saber

Los **bioelementos** son los elementos químicos que forman la materia viva. Los **primarios** son seis: carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O), nitrógeno (N), fósforo (P) y azufre (S). Esos seis suman más del 95 % de esa materia, medida en masa. Los **oligoelementos** están en cantidades diminutas y aun así hacen falta. ▲ Entre unos y otros, muchos libros colocan un grupo intermedio, los bioelementos **secundarios** —sodio, potasio, calcio, cloro, magnesio—, así que repartir todos los elementos en solo dos montones deja casos reales sin sitio.

▲ Lo que hace especial al **carbono** no es la cantidad que hay de él, sino su química: forma **cuatro enlaces covalentes** y se une a otros carbonos en cadenas largas y estables. Por eso sirve de esqueleto a las **biomoléculas** orgánicas. ■ El agua y las sales minerales también son biomoléculas y no llevan carbono.

El **agua** es una molécula **polar**: el oxígeno atrae los electrones más que los hidrógenos, así que una parte queda con carga negativa y otra con carga positiva. Eso permite los **puentes de hidrógeno** entre unas moléculas y otras, y de ahí salen casi todas sus propiedades.

Esas propiedades son cuatro y conviene saber para qué sirve cada una. Es **disolvente** de sustancias polares e iónicas, y por eso las reacciones de la célula ocurren en disolución. Tiene un **calor específico** muy alto: absorbe mucho calor cambiando poco de temperatura. Tiene mucha **cohesión**, que explica la tensión superficial y que el agua suba por un tallo. Y al congelarse ocupa **más**, así que el hielo flota y el fondo de un lago no se hiela.

■ «Disolvente universal» está mal dicho: el agua no disuelve los **lípidos** ni las ceras. Disuelve lo que es polar o iónico, y eso ya es muchísimo.

Las **sales minerales** aparecen de dos formas. **Precipitadas**, formando estructuras duras: el caparazón de un molusco, el esqueleto. Y **disueltas**, en forma de **iones**. Esos iones regulan la concentración del medio interno, mantienen el pH estable y hacen falta para el impulso nervioso.

1

Un apunte de clase dice: «el carbono es el bioelemento más abundante de un ser vivo, y por eso a la vida se la llama química del carbono». Una parte de esa frase es falsa y la otra está bien pero mal explicada. Corrige las dos.

Solución

La primera parte es falsa. Por masa, el elemento más abundante de un ser humano es el **oxígeno**, en torno a dos tercios del total. El motivo principal es que somos en gran medida agua, y el agua es H₂O.

El carbono viene detrás, alrededor de una quinta parte de la masa. Sigue siendo muchísimo, pero no es el primero.

La segunda parte, la del nombre, sí es verdad, aunque no por la cantidad. El carbono forma **cuatro enlaces covalentes** a la vez. Y se une a otros carbonos en cadenas largas, ramificadas o cerradas en anillo, y además estables. Esa combinación de propiedades es rarísima entre los elementos, y es la que explica el nombre.

Corregido queda así: el carbono no es el más abundante, es el que **arma el esqueleto** de las **biomoléculas** orgánicas.

Una pista que avisa: desconfía de una respuesta sobre abundancias que no mencione el agua. Probablemente está contando la parte seca y no el organismo entero. Es una pista para revisar, no una regla: contando átomos en vez de masa, el primero sería el hidrógeno.

2

Dos pueblos están a la misma latitud y a la misma altura. Uno está en la orilla de un lago muy grande; el otro, a 80 km, en mitad de una llanura seca. En el pueblo del lago los inviernos son menos fríos y los veranos menos calurosos. Explica a qué propiedad del agua se debe y de dónde sale esa propiedad.

Solución

Se debe al **calor específico** del agua, que es muy alto: hace falta mucha energía para subirle un grado la temperatura, y suelta mucha energía cuando se la baja.

En verano el lago absorbe calor del aire sin calentarse casi, y eso frena la subida de temperatura del aire de la orilla. En invierno se enfría despacio y va devolviendo ese calor, y eso frena la bajada.

El pueblo de la llanura no tiene esa masa de agua al lado. Su aire sube y baja de temperatura mucho más deprisa.

De dónde sale la propiedad: la molécula de agua es **polar**, así que unas moléculas se atraen a otras por **puentes de hidrógeno**. Calentar el agua obliga a romper parte de esos puentes antes de que las moléculas se muevan más deprisa. Eso es energía que se gasta sin que suba el termómetro.

Comprueba este paso: tu respuesta tiene que explicar las dos estaciones, no solo una. Si lo que has escrito sirve para el verano y no para el invierno, te falta la mitad: el mecanismo funciona en los dos sentidos.

3

Tienes seis elementos: carbono · oxígeno · nitrógeno · hierro · yodo · magnesio. (a) Repártelos en dos grupos según entren en un ser vivo en cantidad grande o pequeña. (b) Di qué papel concreto tienen el hierro, el yodo y el magnesio. (c) Explica por qué estar en cantidad diminuta no significa poder prescindir de ello.

Solución

a) En cantidad grande, los **bioelementos** primarios: carbono, oxígeno y nitrógeno. En cantidad pequeña, hierro, yodo y magnesio. ▲ Los dos primeros son **oligoelementos** de libro; el magnesio no lo es: en la clasificación de tres grupos se cuenta entre los secundarios, y aquí cae en este montón solo porque el enunciado obliga a repartir en dos.

b) El hierro forma parte de la hemoglobina, que es la que transporta el oxígeno por la sangre. El yodo hace falta para fabricar las hormonas del tiroides. El magnesio ocupa el centro de la molécula de clorofila, así que sin él una planta no aprovecha la luz.

c) Porque la cantidad no mide la importancia. Esos elementos no están para dar volumen: ocupan un sitio muy concreto dentro de una molécula que hace un trabajo concreto. Si falta la pieza, ese trabajo no se hace. Con poco hierro aparece anemia aunque el resto del organismo esté completo.

Una pista que avisa: comprueba que cada montón dice algo del **papel** del elemento y no solo de su cantidad. Los tres primeros arman moléculas enteras; los tres últimos se encajan dentro de una molécula ya construida. Eso describe dos maneras de estar en un ser vivo y no mide la abundancia: el calcio de un hueso está en cantidad enorme y no arma ninguna cadena.

Glúcidos y lípidos

Lo que hay que saber

Los **glúcidos** son biomoléculas de C, H y O. Los **monosacáridos** son los más sencillos y no se pueden romper en otros menores: glucosa, fructosa y galactosa (de seis carbonos) y ribosa y desoxirribosa (de cinco). La **glucosa** es $C_6H_{12}O_6$.

Dos monosacáridos se unen por un **enlace glucosídico** y en esa unión se **pierde una molécula de agua**. Así salen los **disacáridos**: maltosa (glucosa + glucosa), sacarosa (glucosa + fructosa) y lactosa (galactosa + glucosa).

Muchos monosacáridos unidos forman un **polisacárido**. Los de **reserva** son el **almidón** en los vegetales y el **glucógeno** en los animales. Los **estructurales** son la **celulosa**, que forma la pared de la célula vegetal, y la **quitina**. La quitina está en el exoesqueleto de los artrópodos y en la pared de los hongos.

▲ Ni todos los glúcidos son dulces ni todos se disuelven: el almidón y la celulosa no hacen ninguna de las dos cosas. Y los glúcidos son el combustible **rápido**: el almidón y el glucógeno son reservas de verdad, pero la que más energía guarda por gramo, y sin arrastrar agua, es la de los lípidos.

Los **lípidos** no se definen por su estructura, porque son muy distintos entre sí, sino por una propiedad: son **insolubles en agua** y se disuelven en disolventes orgánicos. Los hay de cuatro clases útiles aquí. Los **triglicéridos** (grasas y aceites) son reserva de energía. Los **fosfolípidos** forman las membranas. Los **esteroides**, como el colesterol y las hormonas sexuales, regulan. Y las **ceras** impermeabilizan.

Un **ácido graso** es **saturado** si no tiene dobles enlaces entre sus carbonos, e **insaturado** si tiene uno o más. Los insaturados que abundan en los seres vivos llevan sus dobles enlaces en la disposición **cis**, que dobla la cadena en un codo, y por eso se empaquetan peor. Por eso los aceites son líquidos a temperatura ambiente y las grasas animales, sólidas.

- 4 La sacarosa se forma al unirse una glucosa y una fructosa, y las dos tienen la fórmula $C_6H_{12}O_6$. (a) Deduce la fórmula de la sacarosa razonando el cálculo. (b) Se unen 250 moléculas de glucosa en una sola cadena de almidón. Di cuántos enlaces glucosídicos hay y cuánta agua se ha soltado al formarla.

Solución

a) Al unirse dos **monosacáridos** se forma un **enlace glucosídico** y se suelta una molécula de agua. Así que hay que sumar las dos fórmulas y restar un H_2O .

Sumando: $C_6H_{12}O_6 + C_6H_{12}O_6$ da $C_{12}H_{24}O_{12}$. Restando H_2O queda **$C_{12}H_{22}O_{11}$** , que es la fórmula de la **sacarosa**.

b) En una sola cadena de 250 piezas hay $250 - 1 = 249$ **enlaces glucosídicos**, y en cada enlace se ha soltado una molécula de agua: **249 moléculas de agua**.

Comprobación: cuenta los átomos de cada elemento a los dos lados. A la izquierda hay 12 C, 24 H y 12 O. A la derecha, la sacarosa aporta 12 C, 22 H y 11 O, y el agua que se marcha aporta 2 H y 1 O: en total 12 C, 24 H y 12 O. Los tres elementos cuadran, así que la fórmula es correcta.

- 5 El almidón y la celulosa están hechos de glucosa y los dos son cadenas largas. Una persona digiere el almidón sin problema y la celulosa no. (a) Explica por qué una sí y la otra no. (b) Di cómo se las arregla una vaca para aprovecharla. (c) Razona por qué la celulosa sirve para construir una pared y el almidón no.

Solución

a) Porque la forma del **enlace glucosídico** no es la misma en los dos. Una persona fabrica la herramienta que rompe el enlace del **almidón** y no fabrica la que rompe el de la **celulosa**. La materia prima es la misma **glucosa**; lo que cambia es cómo está unida.

b) Una vaca tampoco fabrica esa herramienta. Lo que tiene es un tubo digestivo enorme con

microorganismos dentro que sí rompen la celulosa. La vaca aprovecha lo que ellos liberan y, más abajo, también los aprovecha a ellos.

c) Porque la celulosa forma cadenas rectas que se empaquetan pegadas unas a otras y aguantan tirón, como las fibras de una cuerda. El almidón se enrolla en hélice y se apelmaza: sirve para guardar mucha glucosa en poco sitio, que es justo lo contrario de lo que pide una pared.

Una pista que avisa: si tu respuesta dice que la celulosa no se digiere por ser más grande, revísala. El tamaño no decide: el almidón también es enorme y se digiere sin problema. Lo que decide es el tipo de enlace.

Proteínas y enzimas

Lo que hay que saber

Las **proteínas** son cadenas de **aminoácidos**. En los seres vivos se usan **20** aminoácidos **estándar** para fabricarlas; hay además un par de aminoácidos raros que solo aparecen en unos pocos seres vivos y en unas pocas proteínas. Se unen por el **enlace peptídico**, y en cada enlace se pierde una molécula de agua: con n aminoácidos hay $n - 1$ enlaces y se sueltan $n - 1$ moléculas de agua.

Una proteína tiene hasta cuatro niveles de organización. La **estructura primaria** es el orden de los aminoácidos. La **secundaria** es cómo se enrolla la cadena localmente (hélice α o lámina β). La **terciaria** es la forma tridimensional completa de una cadena. Y la **cuaternaria** solo existe si la proteína tiene **más de una cadena**, como la hemoglobina.

▲ La forma es la función. Si el calor, un ácido o una sal alteran esa forma, la proteína **se desnaturaliza** y deja de servir. Unas desnaturalizaciones se pueden revertir y otras no, según hasta dónde haya llegado el daño.

Las **enzimas** son **catalizadores** biológicos: hacen que una reacción vaya mucho más deprisa bajando su **energía de activación**. Son **específicas**: cada una reconoce su **sustrato** en una zona llamada **centro activo**. Hoy el modelo que se usa no es el de la llave y la cerradura, sino el de **ajuste inducido**: el centro activo cambia de forma al unirse al sustrato. ▲ Es un modelo y describe bien lo que se observa en muchas enzimas; no pretende valer para cada unión enzimática que exista.

▪ De las enzimas se dice que «no se gastan», y esa frase, tal cual, se queda corta: hay que precisar **en qué** no se gastan y en qué sí. Los ejercicios de este tema la desmontan.

Cada enzima tiene un **pH óptimo** y una **temperatura óptima**. Muy por debajo va lenta; bastante por encima de la óptima se desnaturaliza y la actividad se hunde. Y aunque casi todas las enzimas conocidas son proteínas, hay **ribozimas**, que son moléculas de ARN con actividad catalítica.

6

Una proteína pequeña está formada por una sola cadena de 124 aminoácidos. (a) Calcula cuántos enlaces peptídicos tiene. (b) Calcula cuántas moléculas de agua se soltaron al fabricarla. (c) Imagina que estuviera formada por dos cadenas iguales de 124 aminoácidos unidas entre sí. Di qué nivel de organización tendría y cuántos enlaces peptídicos habría.

Solución

a) En una cadena, cada **enlace peptídico** une dos **aminoácidos** seguidos, así que hay uno menos que aminoácidos: $124 - 1 = 123$ **enlaces peptídicos**.

b) En cada enlace peptídico se suelta una molécula de agua, así que se soltaron **123 moléculas de agua**.

c) Con dos cadenas, la **proteína** tendría **estructura cuaternaria**, que es la que solo existe cuando hay más de una cadena. Los enlaces peptídicos serían 123 en cada cadena, o sea **246** en total: lo que sujeta una cadena a la otra no es un enlace peptídico.

Comprobación: prueba tu fórmula con un caso diminuto que puedas contar con los dedos. Con 2 aminoácidos hay 1 enlace; con 3, hay 2. Si tu fórmula diera 124 enlaces para 124 aminoácidos, con 2 aminoácidos daría 2 enlaces, que es imposible: sobraría un extremo suelto.

7

Se hacen dos pruebas con una enzima purificada, siempre a su pH y su temperatura óptimos. En la primera se le añade sustrato y se la deja trabajar: el sustrato se consume hasta agotarse, y al medir la enzima al final hay prácticamente la misma cantidad que al principio. En la segunda se deja el tubo cinco días y luego se añade sustrato nuevo: ahora apenas hay actividad. (a) Explica el resultado de la primera prueba. (b) Explica el de la segunda. (c) Di cuál de estas dos frases resume bien las dos: «las enzimas no se consumen» o «las enzimas no se consumen en la reacción que catalizan, pero sí se estropean».

Solución

- a) Porque una **enzima** es un **catalizador**: se une al **sustrato**, lo transforma, lo suelta y queda libre para el siguiente. No se incorpora al producto, así que al terminar sigue estando ahí. Por eso una cantidad pequeña de enzima transforma una cantidad enorme de sustrato.
- b) Porque la enzima de la prueba es, como casi todas, una **proteína**, y con el tiempo se **desnaturaliza** aunque no esté trabajando: pierde su forma, y con la forma pierde la función. Un cambio de **pH** o de temperatura acelera lo mismo. ▲ Con este montaje no se puede descartar otra causa —que la cadena se haya roto, o que algo del tubo esté bloqueando el centro activo—. Lo que demuestra la prueba es que la actividad se pierde con el tiempo, no por cuál de esos caminos.
- c) La segunda. La primera solo es cierta dentro de la reacción. Tomada al pie de la letra lleva a pensar que una célula fabrica sus enzimas una vez y ya no necesita más. Dentro de una célula pasa lo de la segunda prueba todo el rato, así que está fabricando enzimas continuamente.

Una pista que avisa: si una respuesta lleva a que algo dure indefinidamente dentro de una célula, conviene desconfiar. En una célula casi todo se fabrica y se destruye sin parar. La pista no dice cuál es la respuesta buena: dice dónde mirar.

8

Al cocer un huevo, la clara pasa de ser transparente y líquida a ser blanca y sólida, y ya no vuelve atrás. (a) Di qué les ha pasado a sus proteínas y qué niveles de organización se han perdido. (b) Explica por qué el enlace peptídico sigue intacto. (c) Razona qué tiene que ver esto con que una fiebre muy alta sea peligrosa.

Solución

- a) Las proteínas de la clara se han **desnaturalizado**. El calor ha deshecho su forma tridimensional: se pierden la **estructura terciaria** y, si la había, la **estructura cuaternaria**, y buena parte de la secundaria. Las cadenas, ya sin forma, se enredan entre sí, y eso es lo que se ve blanco y sólido.
- b) Porque el calor rompe uniones débiles, que son las que mantienen plegada la cadena. No rompe el **enlace peptídico**, que es covalente y mucho más fuerte. La **estructura primaria** —el orden de los aminoácidos— sigue siendo exactamente la misma.
- c) Las **enzimas** del organismo también son proteínas y también se desnaturalizan. Bastante por encima de su temperatura óptima empiezan a perder la forma, y una enzima sin forma no cataliza nada. Por eso una fiebre muy alta y sostenida es un problema de verdad y no solo una molestia.
- Comprueba este paso:** si en tu respuesta la clara vuelve a ser transparente al enfriarse, algo falla. Hay desnaturalizaciones reversibles, pero esta no lo es, porque las cadenas ya se han enredado unas con otras. Que sea irreversible es una propiedad de este caso, no de la desnaturalización en general.

Ácidos nucleicos y el flujo de la información genética

Lo que hay que saber

Un **nucleótido** tiene tres piezas: un azúcar de cinco carbonos, una **base nitrogenada** y un grupo **fosfato**. Los nucleótidos se encadenan y forman los **ácidos nucleicos**.

En el **ADN** el azúcar es la **desoxirribosa** y las bases son **adenina** (A), **timina** (T), **guanina** (G) y **citosa** (C). Va en **doble cadena**, y las dos cadenas son **antiparalelas**: recorren la molécula en sentidos contrarios. A se empareja con T por **dos** puentes de hidrógeno y G con C por **tres**.

De ahí sale una consecuencia que se puede calcular: en un ADN de **doble cadena** la cantidad de A es igual a la de T. Y la de G es igual a la de C. Esa igualdad es la que permite calcular las cuatro proporciones a partir de una sola.

En el **ARN** el azúcar es la **ribosa** y en lugar de timina hay **uracilo** (U). Casi siempre va en una sola cadena, aunque se pliega sobre sí misma. Hay tres que conviene distinguir: el **ARN mensajero** lleva la copia del mensaje, el **ARN transferente** trae los aminoácidos y el **ARN ribosómico** forma parte del ribosoma.

El camino normal de la información es: el ADN se copia a ARN mensajero (**transcripción**) y el ARN mensajero se lee en el **ribosoma** para montar la proteína (**traducción**). El mensaje se lee de tres en tres: cada triplete de bases o **codón** significa un aminoácido. De los **64** tripletes posibles, **3** son señales de parada y los otros **61** significan aminoácidos; AUG es a la vez señal de inicio y el aminoácido metionina.

Un **gen** es el trozo de ADN que contiene la información de un producto. ▲ Conviene fijarse en la palabra «producto», que no es lo mismo que «proteína», y la diferencia se trabaja más adelante. Y el ADN de una célula está organizado en **cromosomas**: una molécula de ADN muy larga asociada a proteínas.

9

De una muestra de ADN de doble cadena se sabe que el 22 % de sus bases son adenina. (a) Calcula el porcentaje de las otras tres bases. (b) Explica en qué propiedad de la molécula te has apoyado. (c) Di por qué la misma cuenta no valdría si la muestra fuera de ADN de una sola cadena.

Solución

a) Si hay un 22 % de **adenina**, hay un 22 % de **timina**. Entre las dos suman 44 %, así que a **guanina** y **citosa** les quedan $100 - 44 = 56$ %, repartido a partes iguales: **28 % de guanina y 28 % de citosa**.

b) En el **ADN** de doble cadena, A se empareja con T y G se empareja con C, una a una. Por cada A de una cadena hay una T enfrente, en la otra. Eso obliga a que las cantidades sean iguales dos a dos.

c) Porque en una sola cadena no hay nadie enfrente que obligue a nada, y las cuatro bases pueden estar en cualquier proporción. La igualdad no es una propiedad del ADN en sí: es una consecuencia del emparejamiento entre las dos cadenas.

Comprobación: los cuatro porcentajes tienen que sumar 100, y $22 + 22 + 28 + 28 = 100$. Y además tiene que cumplirse que A sea igual a T y G igual a C. Con esas dos condiciones y el dato de partida, el reparto que sale es el único posible.

10

Una de las dos cadenas de un fragmento de ADN tiene esta secuencia, escrita de su extremo 5' al 3': A T G C C G T A A. (a) Escribe la cadena complementaria, base por base. (b) Escribe el ARN mensajero que saldría de copiar esa cadena complementaria. (c) Di en qué se diferencia ese ARN de la cadena del enunciado.

Solución

a) Cambiando cada base por su pareja (A con T, G con C), la cadena complementaria es **T A C G G C A T T**, escrita base debajo de base. Como las dos cadenas son **antiparalelas**, esta va en sentido

contrario: su extremo 3' queda a la izquierda y el 5' a la derecha.

b) Ahora se copia esa complementaria poniendo **uracilo** donde el ADN pondría timina, leyéndola desde su extremo 3'. El **ARN** mensajero queda **A U G C C G U A A**, escrito como se escribe siempre, de 5' a 3'.

c) Se diferencia en dos cosas: donde el ADN tiene timina, el ARN tiene uracilo, y el azúcar es **ribosa** en vez de **desoxirribosa**. La secuencia de letras, en cambio, coincide con la del enunciado, y eso no es casualidad: el ARN mensajero se copia de la otra cadena, así que sale igual que esta.

▲ Sin decir los extremos, «de izquierda a derecha» no significa nada en una molécula: la misma tira de letras leída por el otro lado es otra secuencia. Por eso los extremos van en las tres cadenas.

Comprobación: las tres secuencias tienen que tener **nueve** bases. Y comprueba pareja a pareja que enfrente de cada A hay una T, o una U en el ARN. Enfrente de cada G tiene que haber una C. Cumplidas las dos cosas, no hay otra respuesta posible.

La célula: la teoría celular y quién hace cada trabajo dentro

Lo que hay que saber

La **teoría celular** dice tres cosas: la célula es la unidad de estructura de los seres vivos, es la unidad de función, y **toda célula procede de otra célula**. Se le atribuye a Schleiden y Schwann, y la tercera parte a Virchow, que fue quien la difundió. ▲ Esa atribución es la de los libros de clase y se queda corta: la idea de que toda célula procede de otra la había publicado antes Robert Remak.

▲ Ese enunciado, leído con cuidado, deja fuera a los **virus**. Merece la pena averiguar por qué, y es uno de los ejercicios de este tema.

Una célula **procariota** (las bacterias) no tiene **núcleo**: su ADN, un único cromosoma circular, está suelto en el citoplasma. Tampoco tiene orgánulos rodeados de membrana. ■ Sí tiene **ribosomas** —del tipo 70S—, que son orgánulos sin membrana, así que «no tienen orgánulos» está mal dicho.

Una célula **eucariota** tiene **núcleo** con envoltura y orgánulos con membrana, y sus ribosomas son del tipo 80S. La **vegetal** añade **pared celular** de celulosa, **cloroplastos** y una **vacuola** grande; la **animal** no tiene ninguna de las tres. Las células de las **plantas con flores** tampoco tienen **centriolos**. ▲ Dicho de las plantas en general sería falso: los musgos, los helechos y algunas gimnospermas fabrican células reproductoras masculinas con flagelo, y en las que las forman sí aparecen. No en todas sus células.

Quién hace cada trabajo: el **núcleo** guarda el ADN y manda; el **nucléolo** fabrica piezas de ribosoma; el **retículo endoplasmático rugoso** lleva ribosomas pegados y monta proteínas para exportar; el **retículo endoplasmático liso** fabrica lípidos y desintoxica; el **aparato de Golgi** retoca, empaqueta en **vesículas** y reparte; los **lisosomas** digieren; las **mitocondrias** sacan de los nutrientes casi toda la energía aprovechable; los **cloroplastos** hacen la fotosíntesis; el **citoesqueleto** da forma y mueve cosas de sitio.

La **teoría endosimbiótica** explica de dónde salieron mitocondrias y cloroplastos: de bacterias que acabaron viviendo dentro de otra célula. No es una ocurrencia: lo que la sostiene son varios rasgos que esos dos orgánulos conservan y que ningún otro tiene.

11

Un resumen dice dos cosas: «el ADN de una célula está en el núcleo» y «un gen es un trozo de ADN que lleva la información de una proteína». Las dos se quedan cortas. Explica qué le falta a cada una y reescribelas.

Solución

La primera deja fuera tres sitios. Hay **ADN** en las **mitocondrias** y en los **cloroplastos**, que tienen el suyo propio y circular. Y una célula **procariota** no tiene **núcleo**, así que todo su ADN está en el **citoplasma**. La frase solo vale para el ADN principal de una célula **eucariota**.

La segunda confunde «producto» con «proteína». Es verdad que muchísimos **genes** acaban dando una proteína, y son los que se estudian primero. Pero hay genes cuyo producto final es un **ARN** que ya hace su trabajo tal cual: el ARN transferente y el ARN ribosómico se quedan en ARN, y sin ellos

no se podría traducir nada.

Reescritas: el ADN está repartido entre el núcleo, las mitocondrias y los cloroplastos, y en una procariota está suelto en el citoplasma. Y un gen es el trozo de ADN que lleva la información de **un producto**. Ese producto unas veces es una proteína y otras un ARN.

Una pista que avisa: cuando una definición de biología empieza por «es» y sigue con un solo caso, conviene preguntarse qué deja fuera. Casi todas las definiciones de este tema valen para el caso principal y tienen excepciones reales. La pista no dice cuáles son: dice que hay que ir a buscarlas.

12

Una célula del páncreas fabrica una enzima digestiva y la echa fuera. Ordena el camino que sigue esa enzima desde que se monta hasta que sale, con estos seis pasos desordenados: vesícula que se funde con la membrana de la célula · aparato de Golgi · ribosoma pegado al retículo endoplasmático rugoso · interior del retículo endoplasmático rugoso · vesícula de transporte · membrana de la célula. Y di qué orgánulos tendrá muy desarrollados esta célula.

Solución

El orden es: **ribosoma pegado al retículo endoplasmático rugoso** → **interior del retículo endoplasmático rugoso** → **vesícula de transporte** → **aparato de Golgi** → **vesícula que se funde con la membrana de la célula** → **membrana de la célula**.

El **ribosoma** va montando la cadena y metiéndola dentro del **retículo endoplasmático rugoso**. Allí la proteína se pliega y recibe sus primeros retoques.

Una **vesícula** la lleva al **aparato de Golgi**, que es la sala de acabado y de reparto: allí se termina de retocar, se clasifica y se empaqueta en otra vesícula con la etiqueta de su destino. Esa vesícula viaja hasta la membrana, se funde con ella y suelta el contenido fuera.

Esta célula tendrá muy desarrollados el retículo endoplasmático rugoso y el aparato de Golgi. Tendrá además muchas **mitocondrias**, porque esa cadena de montaje cuesta energía.

Comprueba este paso: tu lista tiene que contener los **seis** nombres del enunciado, cada uno una sola vez. Eso garantiza que no falta ninguno y del orden no dice nada. Del orden se encarga otra observación: la cadena de montaje avanza en un único sentido, del retículo hacia el Golgi, y no en el contrario.

13

Cuatro células se describen por lo que se ha encontrado en ellas. Las cuatro salen de una lista cerrada y sabida de antemano: una bacteria, una planta con flores, un animal y un hongo. Di de qué tipo es cada una y en qué rasgo te has apoyado. (a) Tiene el ADN suelto en el citoplasma, en una sola molécula circular, y tiene ribosomas. Por dentro carece de estructuras rodeadas de membrana. (b) Tiene núcleo, pared, cloroplastos y una vacuola que ocupa casi todo el interior. (c) Tiene núcleo, mitocondrias, aparato de Golgi y centriolos, y no tiene pared. (d) Tiene núcleo y pared, pero la pared es de quitina y no hay cloroplastos.

Solución

a) Es **procariota**, y dentro de la lista del enunciado, la bacteria. Lo decide que carezca de estructuras rodeadas de membrana, empezando por el núcleo. Ojo: no tener núcleo dice «procariota», no dice «bacteria»: las arqueas tampoco lo tienen y son un grupo aparte. Aquí se llega a la bacteria porque la lista del enunciado no ofrece otra procariota. Los **ribosomas** no estorban en esa conclusión: son **orgánulos** sin membrana y los procariotas también los tienen.

b) Es una célula **eucariota vegetal**. Lo decide la combinación de **cloroplastos**, pared y una **vacuola** grande, que es la propia de una célula vegetal. ▲ «Vegetal» aquí es en sentido amplio: las algas también tienen las tres cosas y no son plantas.

c) Es una célula **eucariota animal**. Lo decide, dentro de la lista del enunciado, que no tenga pared ni cloroplastos. Los **centriolos** encajan con esa conclusión, aunque por sí solos no bastarían para decidir. Y fuera de esa lista el rasgo tampoco bastaría: hay seres unicelulares sin pared y sin

cloroplastos que no son animales.

d) Es una célula de **hongo**. Lo decide la pared de **quitina**, que no tiene ninguno de los otros tres: la de una planta es de celulosa y un animal no tiene pared. Lo que no vale aquí es el atajo de «no tiene cloroplastos, luego no es vegetal»: una célula de la raíz de una planta tampoco los tiene y es vegetal. Quien decide es la quitina.

Una pista que avisa: si una célula te ha caído en dos tipos a la vez, repasa los rasgos. Unos son exclusivos y otros solo frecuentes. Tener pared no significa «vegetal» por sí solo, y tener centriolos no significa «animal»: las plantas con flores no los tienen, y los musgos y los helechos solo en la parte de su ciclo que fabrica células reproductoras con flagelo.

14

Las mitocondrias y los cloroplastos se parecen mucho a bacterias que viven dentro de otra célula. (a) Da tres pruebas concretas de ese parecido. (b) Explica qué gana la célula grande y qué gana la que está dentro. (c) Di por qué esa idea explica que estos dos orgánulos tengan dos membranas y no una.

Solución

a) Primera: tienen **ADN** propio, y además circular y sin envoltura de núcleo, como el de una **procariota**, en lugar de ir repartido en varios **cromosomas** lineales dentro del núcleo. ▲ «Circular» y «cromosoma» no se oponen: al ADN circular de una procariota también se le llama cromosoma; lo que distingue es la forma y el número, no la palabra. Segunda: tienen **ribosomas** propios, más parecidos a los de una procariota que a los de la célula que los aloja. Tercera: se dividen por su cuenta partiéndose en dos, y no se fabrican desde cero en cada ciclo.

b) La célula grande gana un proveedor de energía a domicilio, o de materia orgánica en el caso del **cloroplasto**. La que está dentro gana protección y un suministro constante de materia prima, y se ahorra buscarse la vida fuera. Ese trato es lo que describe la **teoría endosimbiótica**.

c) Porque si una célula engloba a otra rodeándola con su propia membrana, la que entra conserva la suya. Y se lleva puesta, por fuera, una segunda membrana que era de la que se la ha tragado. Dos membranas es exactamente lo que predice esa historia, y es lo que se encuentra.

Comprueba este paso: una prueba vale si distingue. Aplica cada una de tus tres pruebas al **aparato de Golgi**: si también encajara ahí, no diría nada sobre un origen bacteriano. Las tres de arriba no encajan en el Golgi, y por eso sirven.

15

Un texto divulgativo llama a los virus «las células más pequeñas que existen». (a) Da dos motivos por los que un virus no es una célula. (b) Explica qué parte de la teoría celular los deja fuera. (c) Di por qué, aun así, un virus necesita células.

Solución

a) Primero, un **virus** no tiene **ribosomas**, así que no puede fabricarse sus propias proteínas. Segundo, no obtiene ni gasta energía por su cuenta: fuera de una célula es una partícula inerte, no un organismo que funcione despacio.

b) La **teoría celular** dice tres cosas. Que la célula es la unidad de estructura de los seres vivos. Que es la unidad de función. Y que toda célula procede de otra célula. Un virus falla en las tres: no está formado por células, no funciona por sí mismo y no se divide.

c) Porque lo único que sabe hacer es meter su material genético en una célula. A partir de ahí aprovecha la maquinaria de esa célula —sus ribosomas, sus **enzimas**, sus materias primas— para fabricar copias de sí mismo. Sin una célula que le haga el trabajo, un virus se queda quieto.

Una pista que avisa: antes de llamar célula a algo, pregúntate si podría fabricar una proteína estando solo. Es una pista, no una definición completa: un glóbulo rojo humano maduro tampoco podría, y sí es una célula.

La membrana y el transporte a través de ella

Lo que hay que saber

La **membrana plasmática** se describe con el **modelo de mosaico fluido** de Singer y Nicolson: una **bicapa** de **fosfolípidos** con proteínas encajadas que se desplazan por ella. En las células animales hay además **colesterol**, que regula lo fluida que es.

Un fosfolípido tiene una **cabeza** que se lleva bien con el agua y dos **colas** que la rechazan. En agua se colocan solos con las colas hacia dentro y las cabezas hacia fuera: por eso la bicapa se forma y se repara sola. Hacia el exterior hay glúcidos unidos a lípidos y proteínas, que sirven de carné de identidad de la célula.

La membrana es de **permeabilidad selectiva**. ▲ «Deja pasar lo pequeño» es una pista, no la regla: lo que de verdad manda es la **polaridad y la carga**. El oxígeno y el CO₂, que son pequeños y apolares, atraviesan la bicapa sin ayuda; un ion sodio es aún más pequeño, está cargado, y necesita una proteína que lo pase.

El **transporte pasivo** va **a favor** del gradiente y no gasta energía. Tiene tres formas: **difusión simple** a través de la bicapa, **difusión facilitada** por una proteína y **ósmosis**. La ósmosis es el paso del agua hacia donde hay más concentración de solutos.

El **transporte activo** va **en contra** del gradiente y gasta **ATP**. El ATP es la molécula con la que la célula paga la energía de todo lo que hace. El ejemplo clásico es la **bomba de sodio y potasio**: por cada ATP saca 3 Na⁺ y mete 2 K⁺. Para lo que no cabe por una proteína están la **endocitosis** y la **exocitosis**, que mueven material metido en vesículas.

El medio de fuera se compara con el interior de la célula. Se llama **hipotónico** si está menos concentrado, **isotónico** si está igual e **hipertónico** si está más concentrado. En hipotónico la célula gana agua y se hincha; en hipertónico la pierde y se arruga. A una célula hinchada de agua y tensa se la llama **turgente**.

16

Se preparan tres tubos. En el primero, glóbulos rojos humanos en agua destilada. En el segundo, los mismos glóbulos en una disolución de sal mucho más concentrada que su interior. En el tercero, un trozo de hoja de una planta en agua destilada. (a) Di qué le pasa al contenido de cada tubo y por qué. (b) Explica por qué la célula vegetal no acaba como el glóbulo rojo del primer tubo.

Solución

a) En el primer tubo, el agua destilada es un medio **hipotónico** respecto al interior del glóbulo rojo: hay más solutos dentro que fuera, así que entra agua por **ósmosis**, la célula se hincha y acaba rompiéndose.

En el segundo, la disolución es **hipertónica**: ahora hay más solutos fuera, el agua sale y el glóbulo rojo se arruga y queda encogido.

En el tercero entra agua igual que en el primero, porque el agua destilada también es hipotónica para la célula vegetal. Pero la célula no se rompe: se queda **turgente**, hinchada y tensa, que es su estado normal de buena salud.

b) Porque la célula vegetal tiene **pared celular** por fuera de la membrana, y la pared es rígida. Al entrar agua, la célula empuja contra la pared, la pared empuja de vuelta, y esa presión acaba frenando la entrada de más agua. El glóbulo rojo no tiene pared y nada frena la entrada.

Comprueba este paso: el agua se mueve hacia donde hay más solutos, no hacia donde hay más agua. Son la misma frase dicha al revés y por eso se confunden. Si en tu respuesta el agua sale de una célula metida en agua destilada, la has aplicado del revés.

Clasifica estos cinco casos en difusión simple, difusión facilitada, ósmosis, transporte activo o endocitosis, y di en cuáles se gasta ATP. (a) El oxígeno entra en una célula atravesando la bicapa, sin ayuda de nada. (b) La glucosa pasa de la sangre al interior de la célula a favor de gradiente, pero solo a través de unas proteínas concretas. (c) Una célula saca 3 Na⁺ y mete 2 K⁺, los dos en contra de gradiente. (d) Entra agua en una célula rodeada de un medio poco concentrado. (e) Una célula rodea una partícula grande con su membrana y la mete dentro metida en una vesícula.

Solución

- a) **Difusión simple**, sin gasto de **ATP**. El oxígeno es pequeño y apolar, así que atraviesa la **bicapa** por su cuenta.
- b) **Difusión facilitada**, sin gasto de ATP. Va a favor de **gradiente**, así que la proteína solo le abre el paso: no empuja.
- c) **Transporte activo**, con gasto de ATP. Es la **bomba de sodio y potasio**, y los dos iones van en contra de gradiente, que es lo que obliga a pagar.
- d) **Ósmosis**, sin gasto de ATP. Es el paso de agua a favor de su propio gradiente, hacia donde hay más solutos.
- e) **Endocitosis**, con gasto de ATP. Deformar y cerrar la membrana cuesta energía, aunque lo que entra no llegue a atravesar la bicapa.

Una pista que avisa: la pregunta que más ayuda es si el transporte va a favor o en contra del gradiente: a favor no hay que pagar y en contra sí. La pista no lo resuelve todo, y el apartado (e) lo demuestra: la endocitosis no va ni a favor ni en contra y aun así gasta ATP. Lo que cuesta ahí es mover la membrana.

Los tejidos animales y vegetales

Lo que hay que saber

Un **tejido** es un conjunto de células parecidas, con el mismo origen, que trabajan juntas en la misma función. Varios tejidos forman un **órgano**, varios órganos un sistema o aparato, y de ahí sale el organismo completo. Es el siguiente escalón después de la célula.

Los **tejidos animales** se agrupan en cuatro familias. El **epitelial** recubre y protege, y también forma las glándulas: células muy juntas, casi sin nada entre ellas. El **conectivo** une y sostiene. Ahí caben cosas tan distintas como el tejido adiposo, el cartílago, el hueso y la sangre, porque todos tienen mucha **matriz** entre las células. El **muscular** se contrae, y lo hay liso, estriado esquelético y cardíaco. Y el **nervioso** recibe, conduce y procesa señales.

Los **tejidos vegetales** se agrupan en dos familias. Los **meristemos** son los que se dividen y hacen crecer la planta: están en el extremo de la raíz y del tallo, y en los anillos que engrosan el tronco. Los **adultos** ya están especializados: la **epidermis** recubre, el **parénquima** rellena y hace la fotosíntesis, los de **sostén** endurecen, y los **conductores** —**xilema** y **floema**— transportan.

El **xilema** sube agua y sales minerales desde la raíz, por tubos de células muertas y huecas. El **floema** reparte el alimento fabricado en las hojas, en las dos direcciones, por células vivas. ▲ No son «las venas de la planta»: son dos sistemas distintos, con células distintas y sentidos distintos.

▪ **Este tema entra con su teoría y sin ejercicios, y conviene saber por qué.** Reconocer un tejido es mirar una preparación al microscopio. Se decide por la forma de las células, por el grosor de sus paredes y por cuánta matriz hay entre ellas. Este material no puede llevar imágenes. Un ejercicio de palabras solo podría pedir que repitieras una lista de memoria, que no es lo mismo ni sirve para lo mismo.

Lo que sí se puede llevar de aquí para un examen son cuatro cosas. La **jerarquía**: célula → tejido → órgano → sistema → organismo. Las **cuatro familias** animales con su función. La diferencia entre **meristemo** y tejido adulto. Y que xilema y floema llevan cosas distintas en sentidos distintos. Eso se pregunta con palabras y se responde con palabras.

El ciclo celular y la mitosis

Lo que hay que saber

El **ciclo celular** tiene dos partes. La **interfase** se divide en **G1** (la célula crece y trabaja), **S** (se duplica el ADN) y **G2** (prepara la división). Después viene la **fase M**: la **mitosis**, que reparte el núcleo, y la **citocinesis**, que parte el citoplasma.

▲ Lo que hay que tener clarísimo: en la fase S **no se duplica el número de cromosomas**, se duplica la cantidad de **ADN**. Antes de S cada cromosoma tiene **una cromátida**; después de S tiene **dos cromátidas hermanas** unidas por el **centrómero**, y sigue siendo un solo cromosoma.

Las fases de la mitosis son cuatro. En la **profase** los cromosomas se condensan y se hacen visibles y se monta el huso; ya al final de la fase desaparece la envoltura del núcleo. En la **metafase** los cromosomas se alinean en el centro. En la **anafase** se separan las dos cromátidas de cada cromosoma y cada una viaja a un polo. En la **telofase** se rehacen los dos núcleos y los cromosomas se descondensan.

▲ En la anafase hay un convenio que conviene tener claro: en cuanto las dos cromátidas se separan, **cada una cuenta como un cromosoma**. Así que, durante un rato, la célula tiene el doble de cromosomas que al empezar. No es un error: es la forma de contar.

Una célula **diploide** (2n) tiene los cromosomas por parejas de **homólogos**, uno de cada progenitor; una **haploide** (n) tiene uno de cada pareja. En la especie humana 2n = **46**. La mitosis no cambia ese número: de una célula 2n salen dos células 2n.

▪ Copiar el ADN no es infalible: en cada duplicación se cuelean errores. Casi todos se reparan y alguno se queda, y a eso se le llama **mutación**. Es una de las razones para tener cuidado con la palabra «idénticas». De eso va uno de los ejercicios de este tema.

18

Una célula humana ($2n = 46$) recorre un ciclo celular completo. Di cuántos cromosomas y cuántas cromátidas hay en cada momento, contando siempre la célula entera: (a) en G1; (b) al final de G2; (c) en metafase; (d) en anafase, con las cromátidas ya separadas; (e) en cada una de las dos células hijas.

Solución

- a) En **G1: 46 cromosomas y 46 cromátidas**. Cada cromosoma tiene una sola **cromátida**.
- b) Al final de **G2**, después de la fase S: **46 cromosomas y 92 cromátidas**. Lo que se ha duplicado es el ADN. Cada cromosoma tiene ahora dos cromátidas hermanas unidas por el **centrómero**, y el número de cromosomas no ha cambiado.
- c) En **metafase: 46 cromosomas y 92 cromátidas**, lo mismo que en G2. Los cromosomas solo se han condensado y colocado en el centro.
- d) En **anafase**, en cuanto las cromátidas se separan, cada una pasa a contar como un cromosoma: **92 cromosomas y 92 cromátidas** en la célula entera, 46 y 46 en cada polo.
- e) En cada célula hija: **46 cromosomas y 46 cromátidas**, exactamente como en G1. Por eso el ciclo puede volver a empezar.

Comprobación: la cantidad de ADN solo cambia en dos momentos, cuando se duplica en la fase S y cuando se reparte en la **citocinesis**. Así que las cromátidas valen 46 antes de S y 92 desde S hasta el reparto. Y los cromosomas valen 46 en las etapas de esta lista salvo en la anafase, donde valen 92. ▲ Ese 92 no se deshace al acabar la anafase: la célula sigue teniéndolos en la telofase, hasta que la citocinesis la parte en dos. Si en tu respuesta las cromátidas cambian en algún otro momento, hay un error.

19

Un libro dice que «la mitosis produce dos células hijas idénticas a la célula de partida». Explica qué parte de esa frase es exacta, qué parte no lo es y cómo la escribirías tú.

Solución

Lo exacto es la dotación de cromosomas. De una célula con 46 cromosomas salen dos células con 46 cromosomas cada una y con la misma información genética. Esa es la idea importante de la **mitosis** y es cierta.

Lo que no es exacto es la palabra «idénticas». El citoplasma y los orgánulos no se reparten al milímetro: una célula hija puede quedarse con más mitocondrias que la otra, y eso ya las hace distintas en algo.

Y hay una segunda razón, de más fondo: al duplicar el ADN se cuecen errores. Casi todos se reparan, pero alguno se queda, y eso es una **mutación**. Así que las dos hijas pueden no tener exactamente el mismo texto.

Como lo escribiría yo: la mitosis produce dos células hijas con **la misma dotación cromosómica** que la de partida. Eso se sostiene entero.

Una pista que avisa: cuando en biología aparezca «idéntico», «igual» o «exacto», pregúntate en qué respecto. Casi todas esas afirmaciones son ciertas para una cosa concreta y falsas para el resto. La pista no dice cuál es la cosa concreta: eso hay que buscarlo cada vez.

20

Se observan cuatro células de un mismo tejido, cada una en un momento distinto. Di en qué fase o etapa está cada una y en qué dato te apoyas. (a) Tiene 46 cromosomas y 92 cromátidas, el núcleo conserva su envoltura y los cromosomas todavía no han empezado a condensarse. (b) Se cuentan 92 cromosomas repartidos en dos grupos que se alejan uno de otro. (c) Tiene 46 cromosomas y 46 cromátidas, y la célula está creciendo y fabricando proteínas. (d) Los cromosomas están condensados y alineados en un plano por el centro, sujetos por el huso.

Solución

a) Está en **G2**, el final de la interfase. Las 92 cromátidas dicen que la fase S ya ha pasado. Y que los cromosomas no estén condensados descarta la **profase**, cuyo primer efecto visible es justamente esa condensación. ▲ La envoltura sola no habría bastado: no desaparece nada más empezar la profase, sino al final de ella, así que una profase temprana también tiene 46 cromosomas, 92 cromátidas y la envoltura puesta.

b) Está en **anafase**. Contar 92 cromosomas solo es posible cuando las cromátidas ya se han separado, y que vayan en dos grupos hacia lados opuestos lo confirma.

c) Está en **G1**. Es la única etapa de la lista con 46 cromátidas para 46 cromosomas, así que el ADN todavía no se ha duplicado. Encaja además con que la célula esté creciendo y trabajando.

d) Está en **metafase**. Alineados por el centro y sujetos por el **huso** es la descripción de esa fase, y sigue teniendo 46 cromosomas y 92 cromátidas.

Puestas en el tiempo, el orden sería c, a, d y b. Detrás vendrían la **telofase** y la **citocinesis**, que parte el citoplasma: en una célula animal la membrana se estrangula por el centro. En una vegetal, que tiene **pared celular**, se construye un tabique nuevo de dentro hacia fuera.

Comprueba este paso: la única etapa de la lista en la que el número de cromosomas no es 46 es la anafase. Si en tu respuesta hay dos etapas con 92 cromosomas, o la anafase con 46, repasa la cuenta de cromosomas y cromátidas por etapas. Esto comprueba ese dato y no las otras tres identificaciones.

La meiosis y de dónde sale la variabilidad

Lo que hay que saber

La **meiosis** son **dos divisiones seguidas** con una sola duplicación del ADN. Sirve para fabricar **gametos** (o esporas) y para que la fecundación no duplique el número de cromosomas en cada generación.

La **meiosis I** es la **reduccional**: en su anafase se separan los **cromosomas homólogos** enteros, cada uno con sus dos cromátidas. De una célula $2n$ salen dos células n , pero con los cromosomas todavía de dos cromátidas. ▲ La reducción a la mitad ocurre aquí, no al final.

La **meiosis II** se parece a una mitosis: en su anafase se separan las **cromátidas**. De las dos células salen cuatro células n con los cromosomas de una sola cromátida.

En la **profase I** pasa lo más importante de todo: los homólogos se aparean y se produce el **sobrecruzamiento**, es decir, intercambian trozos. El resultado es la **recombinación**: cromosomas que ya no son ni el del padre ni el de la madre, sino un mosaico de los dos.

De ahí salen las **tres** fuentes de variabilidad de la reproducción sexual. Una, el **sobrecruzamiento**. Dos, el **reparto al azar** de cada pareja de homólogos, que se reparte con independencia de las demás. Y tres, la **fecundación al azar**, que junta uno cualquiera de los gametos de uno con uno cualquiera de los del otro.

▪ Las **mutaciones** también aportan variedad, y son la única fuente de alelos *nuevos*. Pero en una especie con reproducción sexual casi toda la variedad sale de **barajar** lo que ya había. No de estrenar nada.

21

Una célula humana ($2n = 46$) entra en meiosis. Di cuántos cromosomas y cuántas cromátidas hay, contando una sola célula en cada momento: (a) justo antes de empezar, con el ADN ya duplicado; (b) en cada una de las dos células al acabar la meiosis I; (c) en cada una de las cuatro células al acabar la meiosis II. (d) Explica en qué división se reduce el número a la mitad y por qué en la otra no.

Solución

a) **46 cromosomas y 92 cromátidas**. Es la misma situación que antes de una mitosis: el ADN se ha duplicado una vez y cada cromosoma tiene dos cromátidas.

b) Al acabar la **meiosis I**, cada célula tiene **23 cromosomas y 46 cromátidas**. Se han repartido los

cromosomas **homólogos** enteros, cada uno con sus dos cromátidas todavía unidas.

c) Al acabar la meiosis II, cada una de las cuatro células tiene **23 cromosomas y 23 cromátidas**. Ahora sí se han separado las cromátidas.

d) En la meiosis I, y por eso se la llama reduccional. Lo que baja el número de cromosomas es separar los homólogos. Separar cromátidas no lo baja, porque cada cromátida suelta pasa a contar como un cromosoma: la meiosis II no reduce, reparte.

Comprueba este paso: haz el balance del material. Se parte de una célula con 92 cromátidas y se acaba con cuatro células de 23 cromátidas cada una. Y $23 + 23 + 23 + 23 = 92$. No falta ni sobra material, que es justo lo que tiene que pasar con una sola duplicación y dos repartos.

22

En la especie humana hay 23 parejas de cromosomas homólogos. (a) Calcula cuántos gametos distintos puede producir una persona solo por el reparto al azar de los homólogos, sin contar el sobrecruzamiento. (b) Calcula cuántas combinaciones distintas puede dar la fecundación entre dos personas con ese mismo supuesto. (c) Explica por qué dos hermanos se parecen y aun así no son iguales.

Solución

a) Cada pareja se reparte con independencia de las demás, y cada **gameto** se lleva uno de los dos cromosomas de cada pareja. Con 23 parejas y 2 posibilidades en cada una salen $2^{23} = 8.388.608$ gametos distintos.

b) Cada gameto de una persona puede juntarse con cualquiera de la otra. El número de combinaciones es entonces $8.388.608$ por $8.388.608$, es decir $2^{46} = 70.368.744.177.664$: más de setenta billones.

c) Se parecen porque las dos mitades vienen del mismo par de personas. Comparten, por tanto, muchas versiones de los mismos **genes**. Y no son iguales porque cada uno ha salido de una de esas setenta billones de combinaciones. Además el **sobrecruzamiento** baraja los cromosomas antes de repartirlos: ni siquiera el cromosoma que se hereda es idéntico al que tenía el progenitor.

▲ Los gemelos idénticos son la excepción, y no contradicen nada: vienen de un solo cigoto que se ha partido, no de dos fecundaciones distintas.

Comprobación: prueba la fórmula con un caso pequeño que se pueda escribir entero. Con 2 parejas de homólogos salen $2^2 = 4$ gametos distintos, y se pueden listar uno a uno: A1B1, A1B2, A2B1 y A2B2. Si tu fórmula no da 4 en ese caso, no es la fórmula buena.

23

En un ratón ($2n = 40$) se observan dos células distintas, cada una en plena anafase, y solo se anota lo que se ve. En la célula P se separan estructuras de una sola cromátida y hay 80 repartiéndose. En la célula Q se separan estructuras de dos cromátidas y hay 40 repartiéndose. (a) Di qué división está haciendo cada una y en qué dato te apoyas. (b) Di cuántas células saldrán al final de cada proceso y con cuántos cromosomas. (c) Di cuál de las dos puede dar productos genéticamente distintos entre sí y por qué la otra no.

Solución

a) La célula P está en la anafase de una **mitosis**. Lo que se separa ahí son **cromátidas**, y en cuanto se separan cada una cuenta como un cromosoma: de una célula $2n = 40$ con el ADN ya duplicado salen 80 estructuras de una sola cromátida. La célula Q está en la anafase de la **meiosis I**: lo que se separa son los cromosomas **homólogos** enteros, con sus dos cromátidas todavía unidas, y por eso solo hay 40 repartiéndose.

b) De la mitosis de P salen **dos** células con 40 cromosomas cada una, el mismo número que la de partida. De la meiosis de Q salen **cuatro** células con **20** cromosomas cada una, porque detrás de la meiosis I viene todavía la meiosis II.

c) La de Q. En su profase I los homólogos han intercambiado trozos por **sobrecruzamiento**, y además cada pareja de homólogos se reparte con independencia de las demás: las cuatro células finales pueden llevar combinaciones distintas. La de P copia en lugar de barajar, así que sus dos productos salen con la misma **variabilidad** que tenía la madre; lo que aparezca de distinto son errores de copia, no un mecanismo.

Comprueba este paso: haz el balance de cromátidas en las dos. En P hay 80 cromátidas antes y 80 después, 40 en cada polo. En Q hay 80 antes y 80 después, 40 en cada célula, agrupadas en 20 cromosomas de dos cromátidas. Esto comprueba el reparto y no dice nada del apartado (c).

Catabolismo: la respiración celular y las fermentaciones

Lo que hay que saber

El **metabolismo** tiene dos mitades. El **catabolismo** rompe moléculas complejas en sencillas y **libera** energía, que se guarda en forma de **ATP**. El **anabolismo** hace lo contrario: construye moléculas complejas y **gasta** energía.

La **respiración celular aerobia** degrada la glucosa hasta CO_2 y agua en cuatro bloques. La **glucólisis** ocurre en el **citosol** y parte la glucosa en dos moléculas de **piruvato**, con una ganancia neta de **2 ATP**. El piruvato entra en la mitocondria y se transforma. El **ciclo de Krebs** funciona en la **matriz mitocondrial** y acaba de soltar el carbono como CO_2 . Y la **cadena transportadora de electrones**, en la **membrana interna** de la mitocondria, es donde se fabrica la mayor parte del ATP.

Al final de la cadena, el que recoge los electrones es el **oxígeno**, y al hacerlo se forma agua. Por eso sin oxígeno la cadena se atasca. En conjunto, una molécula de glucosa y seis de oxígeno acaban dando dióxido de carbono, agua y energía.

▲ Cuánto ATP sale de una glucosa **depende del libro**. Las cuentas actuales dan entre **30 y 32**; los libros más antiguos dicen 36-38, porque suponían un rendimiento redondo que no se cumple. Lo que no cambia es que con oxígeno se saca un orden de magnitud más: alrededor de quince veces el ATP que se obtiene sin él, que son solo dos por glucosa.

Sin oxígeno queda la **fermentación**, que ocurre en el citosol y no usa cadena transportadora. Las dos más conocidas son la **láctica** y la **alcohólica**. La láctica la hace el músculo cuando le falta oxígeno; la alcohólica, las levaduras, y es la que hincha el pan.

▪ Fermentación y **respiración anaerobia** no son lo mismo, aunque las dos se hagan sin oxígeno. La respiración anaerobia sí usa una cadena transportadora. Lo que pasa es que el que recoge los electrones al final no es el oxígeno, sino otra sustancia, casi siempre inorgánica, como el nitrato. ▲ No tiene por qué serlo: hay bacterias que usan de aceptor final una molécula orgánica, el fumarato. Lo que define a la respiración anaerobia es que el aceptor sea **distinto del oxígeno**, no que sea inorgánico. La fermentación no tiene cadena ninguna.

24

Un examen trae esta ecuación de la respiración celular de la glucosa: $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{O}_2 \rightarrow 6 \text{CO}_2 + 5 \text{H}_2\text{O}$. (a) Comprueba si está ajustada contando los átomos de los tres elementos. (b) Corrígela si hace falta. (c) Di qué elementos delatan el fallo, cuál no lo delata, y explica qué se aprende de eso.

Solución

a) Carbono: a la izquierda 6, los de la glucosa; a la derecha 6, uno por cada CO_2 . Cuadra.

Hidrógeno: a la izquierda 12, los de la glucosa; a la derecha, 5 moléculas de agua con 2 hidrógenos cada una, o sea 10. No cuadra.

Oxígeno: a la izquierda, 6 de la glucosa más 12 de las seis moléculas de O_2 , en total 18. A la derecha, 12 de los seis CO_2 más 5 de las cinco moléculas de agua, en total 17. No cuadra.

b) Con **6** moléculas de agua sí cuadra: $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{O}_2 \rightarrow 6 \text{CO}_2 + 6 \text{H}_2\text{O}$. Ahora hay 6 C, 12 H y 18 O a los dos lados.

c) Lo delatan **dos** elementos, y con la misma fuerza: el hidrógeno, con 12 frente a 10, y el oxígeno, con 18 frente a 17. El que no delata nada es el **carbono**, que cuadra 6 y 6 también con la ecuación mal escrita. ▲ La moraleja, entonces, no es «mira el oxígeno»: es que comprobar un solo elemento nunca basta, y que aquí el que casi todo el mundo cuenta primero es justo el único que no avisa.

Comprobación: una ecuación está ajustada si cuadran los tres elementos, no si cuadra uno. Cuéntalos los tres sin saltarte ninguno: en esta ecuación intervienen cuatro sustancias distintas, y que un elemento cuadre no dice nada de los otros dos.

25

Un cultivo de levadura dispone de 90 moléculas de glucosa. Toma 30 ATP por glucosa como rendimiento con oxígeno. (a) Calcula el ATP neto que obtiene con oxígeno de sobra. (b) Calcula el que obtiene sin oxígeno, fermentando. (c) Calcula cuántas moléculas de glucosa necesitaría fermentando para obtener el mismo ATP que en el apartado (a). (d) Di qué productos suelta en cada caso.

Solución

a) Con oxígeno: 90 moléculas de glucosa a 30 ATP cada una dan **2.700 ATP**.

b) Fermentando solo se aprovechan los 2 ATP netos de la **glucólisis**: 90 moléculas a 2 ATP cada una dan **180 ATP**.

c) Para llegar a 2.700 ATP a razón de 2 ATP por molécula hacen falta $2.700 \div 2$ moléculas. Son **1.350 moléculas de glucosa**, quince veces más que las 90 del apartado (a).

d) Con oxígeno suelta **CO₂** y agua, porque la glucosa se oxida del todo. Sin oxígeno hace la **fermentación** alcohólica y suelta **etanol** y CO₂. Buena parte de la energía de la glucosa se queda dentro del etanol, sin aprovechar.

▲ El 30 del enunciado es un valor de trabajo y no un dato fijo: según el libro y el tejido se dan entre 30 y 32 ATP por glucosa, y los libros antiguos daban 36 o 38. Lo que no cambia con esas cifras es la conclusión, porque la diferencia con la fermentación es de un orden de magnitud.

Comprobación: las tres cuentas tienen que ser coherentes entre sí. Si el rendimiento es de 30 frente a 2, la proporción es de 15 a 1, y en efecto $1.350 \div 90 = 15$. Y 1.350 moléculas a 2 ATP cada una dan los mismos 2.700 ATP del apartado (a).

Anabolismo: la fotosíntesis

Lo que hay que saber

La **fotosíntesis** fabrica materia orgánica a partir de materia inorgánica usando la energía de la luz. Ocurre en los **cloroplastos** y tiene dos fases que pasan en sitios distintos del orgánulo.

La **fase luminosa** ocurre en las membranas de los **tilacoides**. La luz excita la **clorofila**, se rompe el agua (**fotoólisis**) y de ahí salen tres cosas: **oxígeno**, que se libera; **ATP**; y poder reductor en forma de **NADPH**.

▲ Sobre esa fotoólisis hay dos preguntas que casi todo el mundo falla, y no son cuál es la molécula que se rompe: son cómo se demostró y por qué la ecuación global de la fotosíntesis lo esconde. Es uno de los ejercicios de este tema.

La **fase de fijación del carbono**, que muchos libros llaman «fase oscura», ocurre en el **estroma**. Ahí el CO_2 se incorpora a una molécula orgánica. Gastando el ATP y el NADPH de la fase luminosa, se acaba formando glucosa.

▲ El nombre «fase oscura» engaña, y engaña a mucha gente: no dice cuándo ocurre. Desmontarlo es otro de los ejercicios de este tema.

En conjunto, el balance es el de la respiración del revés: entran dióxido de carbono y agua, y salen glucosa y oxígeno. Y tres factores la limitan: la **intensidad de la luz**, la **concentración de CO_2** y la **temperatura**. Subir uno solo deja de servir en cuanto otro se queda corto.

26

En un foro se lee esto: «de noche las plantas respiran, y de día dejan de respirar y se ponen a hacer la fotosíntesis». (a) Señala qué parte es falsa y por qué. (b) Di qué gases intercambia con el aire una planta iluminada y cuáles intercambia a oscuras. (c) Razona por qué a oscuras consume oxígeno.

Solución

a) Es falso que de día deje de respirar. Una planta **respira a todas horas**, con luz y sin ella: sus células necesitan ATP en todo momento y lo obtienen igual que las nuestras. Lo único que exige luz es la **fotosíntesis**.

b) Con luz ocurren los dos procesos al mismo tiempo. Con luz suficiente la fotosíntesis va mucho más deprisa que la respiración, y el balance con el aire queda entonces en **tomar CO_2 y soltar O_2** .

▲ «Iluminada» no basta por sí solo: con muy poca luz gana la respiración y la planta sigue soltando CO_2 . Cuánta luz hace falta para que el balance cambie de signo es uno de los ejercicios de este tema. A oscuras solo respira, y entonces **toma O_2 y suelta CO_2** , como un animal.

c) Porque respirar es obtener energía oxidando materia orgánica, y para esa oxidación hace falta oxígeno. Una planta fabrica su propio alimento, pero fabricarlo no es gastarlo: para gastarlo tiene que respirar como cualquier otro ser vivo.

Una pista que avisa: revisa cualquier respuesta en la que la planta deje de respirar en algún momento. Ayuda preguntarse qué partes de la planta carecen de clorofila, como la raíz: esas no hacen fotosíntesis ni con luz, y están perfectamente vivas.

27

(a) Escribe la ecuación global ajustada de la fotosíntesis que produce una molécula de glucosa, y comprueba los tres elementos. (b) Di de dónde sale el oxígeno que se libera, cómo se demostró y qué problema tiene la ecuación del apartado (a) para enseñarlo. (c) Compara esa ecuación con la de la respiración celular del tema anterior y di si son la misma reacción al revés.

Solución

a) La versión que traen casi todos los libros es esta, con la luz aportando la energía: $6 \text{CO}_2 + 6 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{O}_2$. Carbono: 6 y 6. Hidrógeno: 12 a la izquierda (seis aguas con dos cada una) y 12 en la glucosa. Oxígeno: 12 de los CO_2 más 6 de las aguas, 18; y 6 de la glucosa más 12 de las seis O_2 , 18. Está ajustada.

b) El oxígeno sale del **agua**, no del CO_2 . Se demostró marcando el oxígeno del agua con una variedad más pesada del propio oxígeno: la marca aparecía en el O_2 liberado. Marcando en cambio el CO_2 , la marca no aparecía en el O_2 .

El problema de la ecuación del apartado (a) es que las 6 moléculas de agua solo aportan 6 átomos de oxígeno. Y los 6 O_2 que salen necesitan 12. Por eso, cuando se quiere que la ecuación refleje el origen del oxígeno, se escribe así: $6 \text{CO}_2 + 12 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{O}_2 + 6 \text{H}_2\text{O}$. También está ajustada, y en ella los 12 oxígenos del O_2 salen justo de las 12 aguas.

c) Las fórmulas son la misma ecuación del derecho y del revés, y eso ayuda a memorizarla. Pero las reacciones no lo son: ocurren en **orgánulos** distintos, por caminos distintos y con moléculas intermedias distintas, y una consume energía mientras la otra la libera. Escribir una como la inversa de la otra es un resumen contable, no una descripción del proceso.

Comprobación: las dos versiones tienen que estar ajustadas. En la de 12 aguas: a la izquierda 6 C, 24 H y 24 O (12 de los CO_2 y 12 de las aguas); a la derecha, 6 C y 24 H (12 en la glucosa y 12 en las seis aguas). Y 24 O (6 de la glucosa, 12 del O_2 y 6 de las aguas). Cuadra.

28

Se mide el intercambio de gases de una planta a distintas intensidades de luz. La temperatura y el CO_2 están fijos, y su respiración se mantiene constante. A oscuras suelta 4 unidades de CO_2 por hora. Al subir la luz, lo que suelta baja, y a cierta intensidad no suelta ni absorbe nada. Con más luz empieza a absorber. A partir de cierto punto, la absorción se queda clavada en 20 unidades por hora aunque se suba más la luz. (a) Explica qué ocurre a oscuras. (b) Explica qué significa el punto en el que no suelta ni absorbe. (c) Calcula cuánto CO_2 está fijando por fotosíntesis cuando la absorción medida es de 20. (d) Di qué limita el proceso cuando la curva se queda clavada.

Solución

a) A oscuras la planta solo respira: consume O_2 y suelta CO_2 . Esas 4 unidades por hora son, por tanto, la medida de su respiración.

b) Es el punto de compensación: la fotosíntesis está fijando exactamente el mismo CO_2 que la respiración suelta, así que el intercambio con el exterior da cero. ▲ La planta no ha dejado de hacer ninguna de las dos cosas: las dos funcionan y se anulan en la cuenta.

c) Lo que se mide desde fuera es la diferencia entre las dos. Si absorbe 20 unidades netas mientras sigue soltando 4 por respiración, la fotosíntesis está fijando $20 + 4 = 24$ unidades por hora.

d) Que subir la luz ya no cambie nada significa que la luz ha dejado de ser el factor limitante. Lo que limita entonces es otro de los factores: el CO_2 disponible o la temperatura. Subir un factor solo sirve mientras sea ese el que va corto.

Comprobación: la misma regla tiene que funcionar en el otro punto conocido. En el punto de compensación la absorción medida es 0. La fotosíntesis debería estar fijando entonces $0 + 4 = 4$ unidades por hora, justo lo que la respiración suelta. La regla da lo correcto en los dos puntos.

29

Un compañero dice que la fase oscura de la fotosíntesis ocurre por la noche, cuando la planta no tiene luz. (a) Explica por qué el nombre induce a ese error. (b) Di de qué depende esa fase y por qué eso decide cuándo puede ocurrir. (c) Un cultivo de algas se deja toda la noche a oscuras y con CO_2 de sobra. Razona si fija carbono durante esa noche.

Solución

a) Porque «oscura» suena a «de noche», y no es eso lo que quiere decir. Quiere decir que en esa fase **la luz no participa directamente**: sus reacciones no necesitan que les llegue luz para producirse.

b) Depende por completo del ATP y del **NADPH** que la **fase luminosa** acaba de fabricar: sin ellos no hay con qué pagar la fijación del CO_2 . Y eso es lo que decide cuándo puede ocurrir, porque la que

necesita luz es la otra. Por eso las dos funcionan a la vez y de día, cada una en su parte del cloroplasto.

c) Solo durante un rato corto, y después no. El ATP y el NADPH no se almacenan en cantidad para pasar una noche entera, así que en cuanto se agotan la fijación se para aunque sobre CO_2 . Ese es justo el error que el nombre provoca: quien lo toma al pie de la letra espera lo contrario de lo que ocurre.

Una pista que avisa: cuando el nombre de una fase sugiera un horario, desconfía del nombre y pregúntate de qué depende esa fase. Aquí basta con preguntar de dónde saca el ATP: si lo saca de la otra fase, tiene que ocurrir mientras la otra funciona.

La herencia: las leyes de Mendel

Lo que hay que saber

Vocabulario, y hay que usarlo con precisión. Un **gen** ocupa un sitio fijo en el cromosoma, el **locus**. Sus versiones son los **alelos**. El **genotipo** son los alelos que tiene el individuo; el **fenotipo**, lo que se ve. Si los dos alelos son iguales es **homocigoto**; si son distintos, **heterocigoto**. El alelo que se manifiesta en el heterocigoto es el **dominante** y el que se esconde, el **recesivo**.

Primera ley (uniformidad de la F1): si se cruzan dos líneas puras que se diferencian en un carácter, **toda** la primera generación filial es igual entre sí. Y sale con el fenotipo del alelo dominante.

Segunda ley (segregación): los dos alelos de un individuo se separan al formar los gametos, y cada gameto lleva uno solo. Por eso al cruzar dos heterocigotos la F2 sale **3:1** en fenotipos y **1:2:1** en genotipos.

Tercera ley (transmisión independiente): dos caracteres se reparten sin depender uno del otro, y por eso el cruce de dos dihíbridos da **9:3:3:1**. ▲ Solo se cumple si los dos genes están en **cromosomas distintos**, o muy separados dentro del mismo. Si van juntos en el mismo cromosoma están **ligados** y viajan casi siempre juntos.

Para averiguar el genotipo de un individuo que muestra el carácter dominante se hace un **cruzamiento de prueba**: se cruza con un **homocigoto recesivo**. ▲ Muchos libros lo llaman también **retrocruzamiento**, pero las dos palabras no significan lo mismo: un retrocruzamiento es cruzar con cualquiera de los parentales, y solo sirve de cruzamiento de prueba cuando ese parental es el homocigoto recesivo. Leer bien su resultado tiene más miga de la que parece, y de eso va uno de los ejercicios de este tema.

▪ Las proporciones de Mendel son **esperadas**, no garantizadas. Son el resultado de un reparto al azar, así que solo se parecen al número real cuando hay muchos descendientes. En una camada de cuatro de un cruce $\text{Aa} \times \text{Aa}$, ver exactamente tres dominantes y un recesivo es el resultado más probable de todos y aun así solo sale el **42 %** de las veces: lo raro no es fallar el 3:1, es acertarlo justo.

30

En el guisante, el color amarillo de la semilla domina sobre el verde. Se cruza una planta de línea pura de semilla amarilla con una de línea pura de semilla verde. (a) Escribe los genotipos de los padres y di cómo sale la primera generación, en genotipo y en fenotipo. (b) Autofecundando esa primera generación, di las proporciones genotípicas y fenotípicas de la segunda. (c) Si de la segunda generación se recogen 320 semillas, calcula cuántas se esperan de cada color.

Solución

a) Llamando A al **alelo** del amarillo, que es el **dominante**, y a al del verde, que es el **recesivo**: los padres son **AA** y **aa**, los dos **homocigotos**. Cada uno solo puede dar un tipo de gameto, A y a. Así que toda la primera generación es **Aa**, **heterocigota**, y toda de semilla amarilla. Eso es la primera ley.

b) Al cruzar $\text{Aa} \times \text{Aa}$, cada progenitor da la mitad de gametos A y la mitad a. Las cuatro combinaciones son AA, Aa, aA y aa. El **genotipo** sale en proporción **1 AA, 2 Aa y 1 aa**. El **fenotipo** sale **3:1**, tres amarillas por cada verde, porque AA y Aa se ven igual.

c) De 320 semillas, tres cuartas partes amarillas y una cuarta parte verdes: $320 \div 4 = 80$, así que se

esperan **240 amarillas y 80 verdes**.

▲ Esas 240 y esas 80 son las cantidades **esperadas**. En una cosecha real saldrá algo parecido y rara vez exacto: es un reparto al azar, y solo se ajusta bien cuando hay muchas semillas.

Comprobación: las dos proporciones tienen que encajar entre sí. Suma las clases genotípicas que se ven amarillas: 1 de AA más 2 de Aa son 3, frente a 1 de aa verde, que es el mismo 3:1 del fenotipo. Y las cantidades suman el total: $240 + 80 = 320$.

31

Tienes una planta de guisante de semilla amarilla y no sabes si es AA o Aa. (a) Di con qué planta la cruzarías para averiguarlo y por qué esa y no otra. (b) Di qué verías en la descendencia en cada uno de los dos casos. (c) Explica por qué el resultado te da certeza en un caso y solo probabilidad en el otro.

Solución

a) Con una planta de semilla verde, que por fuerza es **aa**, es decir, con el **homocigoto recesivo**. Eso es un **cruzamiento de prueba**. ▲ Se le llama muchas veces **retrocruzamiento**, aunque en rigor no son lo mismo: lo que hace falta aquí no es que el otro sea un parental, sino que sea el homocigoto recesivo. Sirve porque el aa solo puede aportar el alelo a. El aspecto de cada descendiente delata entonces qué alelo puso el otro progenitor.

b) Si la planta era **AA**, toda la descendencia sale Aa y toda amarilla. Si era **Aa**, la mitad sale Aa amarilla y la mitad aa verde, o sea una proporción **1:1**.

c) Hay certeza en un solo sentido. En cuanto aparece una semilla verde, la planta era Aa, porque un AA no puede aportar el alelo a por ninguna vía. En el otro sentido no hay certeza: que no aparezca ninguna verde es lo esperable si era AA, pero un Aa también puede no dar ninguna verde por azar. Con 4 descendientes eso ocurre con facilidad; con 40 es muy improbable. Por eso «era AA» es una conclusión probable, no segura, y tanto más fiable cuantos más descendientes haya.

Comprueba este paso: el cruce solo sirve si el otro progenitor aporta un único tipo de alelo. Comprueba que el que has elegido es homocigoto recesivo: cruzando con otro amarillo Aa, una descendencia toda amarilla podría venir igual de un AA que de un Aa, y no habrías distinguido nada.

32

En una planta, el tallo alto (A) domina sobre el enano (a), y la flor morada (B) domina sobre la blanca (b). Los dos genes están en cromosomas distintos. Se cruzan dos plantas AaBb. (a) Di cuántos tipos de gameto da cada progenitor y cuáles son. (b) Di las cuatro clases de aspecto de la descendencia y su proporción. (c) Con 640 descendientes, calcula cuántos se esperan de cada clase.

Solución

a) Cada progenitor **dihíbrido** da **cuatro** tipos de gameto a partes iguales: **AB, Ab, aB y ab**. Sale de que cada gen se reparte por su lado, que es la tercera ley.

b) Combinando los cuatro gametos de uno con los cuatro del otro salen 16 casillas, y los aspectos quedan en proporción **9:3:3:1**: 9 altas de flor morada, 3 altas de flor blanca, 3 enanas de flor morada y 1 enana de flor blanca.

c) Cada parte de dieciséis es $640 \div 16 = 40$. Se esperan **360 altas moradas**, que son nueve partes. **120 altas blancas** y **120 enanas moradas**, tres partes cada una. Y **40 enanas blancas**, una parte.

Comprueba este paso: las cuatro cantidades tienen que sumar el total, y $360 + 120 + 120 + 40 = 640$. Y mirando cada carácter por separado tiene que salir el 3:1 de la segunda ley: altas son $360 + 120 = 480$ y enanas $120 + 40 = 160$; moradas 480 y blancas 160. ▲ Eso comprueba los dos caracteres uno a uno y **no** comprueba que se repartan con independencia. Dos genes completamente ligados darían también 3:1 en cada carácter por separado y, en cambio, **3:0:0:1** en las cuatro clases juntas. Lo que delata la independencia es el 9:3:3:1 de las cuatro clases, no la suma de los márgenes.

En otra especie se cruza un individuo AaBb con uno aabb. Si los dos genes fueran independientes, la descendencia tendría que salir 1:1:1:1. De 100 descendientes salen 45 AaBb, 5 Aabb, 5 aaBb y 45 aabb. (a) Di qué está pasando. (b) Calcula el porcentaje de recombinantes y la distancia entre los dos genes en unidades de mapa. (c) Explica por qué el simple hecho de no salir 1:1:1:1 no bastaría para afirmarlo.

Solución

a) Los dos genes están **ligados**: van en el mismo cromosoma, así que tienden a heredarse juntos. Las dos clases abundantes, AaBb y aabb, son las combinaciones que ya traía el progenitor dihíbrido. Las dos raras solo pueden haber salido de un **sobrecruzamiento** que separó lo que venía junto.

b) Los **recombinantes** son las dos clases raras: $5 + 5 = 10$ de 100, o sea el **10 %**. La distancia entre los dos genes es de **10 unidades de mapa**, porque una unidad de mapa equivale a un 1 % de recombinantes. ▲ Esa equivalencia se sostiene bien en distancias cortas como esta; entre genes muy separados se queda corta, porque pueden darse dos sobrecruzamientos que se anulan y no se ven.

c) Porque 1:1:1:1 es una proporción esperada y el azar la desdibuja cuando hay pocos descendientes. Con dos genes de verdad independientes y solo 40 descendientes es normal obtener algo como 13, 7, 11 y 9. Tampoco es 1:1:1:1, y no significa nada. Lo que delata el ligamiento no es que la proporción no salga exacta: es que **dos clases sean muchísimo más frecuentes que las otras dos** y que esas dos coincidan con las combinaciones que traían los progenitores.

Comprobación: las cuatro cantidades suman 100, y las dos abundantes tienen que sumar 100 menos los recombinantes: $45 + 45 = 90$ y $100 - 10 = 90$. Además el porcentaje de recombinantes tiene que quedar por debajo del 50 %: si saliera 50 %, los genes se estarían comportando como independientes y no habría ligamiento que medir.

La fibrosis quística está causada por un alelo recesivo. Una pareja en la que ninguno de los dos tiene la enfermedad ha tenido un hijo con fibrosis quística. (a) Deduce el genotipo de los dos progenitores. (b) Calcula la probabilidad de que el siguiente hijo tenga la enfermedad. (c) Calcula la probabilidad de que un hijo sano de esa pareja sea portador. (d) Explica por qué el resultado del apartado (c) no es $\frac{1}{2}$.

Solución

a) El hijo enfermo es **aa**, así que ha recibido un alelo a de cada progenitor. Como ninguno de los dos tiene la enfermedad, ninguno puede ser aa: los dos son **Aa**, heterocigotos sanos.

b) De un cruce $Aa \times Aa$ salen 1 AA, 2 Aa y 1 aa, así que la probabilidad de aa es $\frac{1}{4}$. Y es $\frac{1}{4}$ en cada embarazo: que ya haya un hijo enfermo no cambia el reparto del siguiente.

c) Entre los hijos sanos solo caben dos genotipos, AA y Aa, y salen en proporción 1 a 2. Así que la probabilidad de que un hijo sano sea portador es **$\frac{2}{3}$** .

d) Porque la pregunta ya descarta una de las cuatro casillas. De las cuatro (AA, Aa, aA y aa), saber que el hijo está sano elimina la aa y deja tres. Y de esas tres, dos son portadoras. Si la pregunta fuera «de todos los hijos, qué proporción es portadora», entonces sí sería $\frac{1}{2}$, es decir 2 de 4.

Comprobación: las probabilidades de las clases que quedan tienen que sumar 1. Entre los sanos: $\frac{1}{3}$ de AA más $\frac{2}{3}$ de Aa da 1. Y sobre el total de hijos: $\frac{1}{4}$ de AA más $\frac{1}{2}$ de Aa más $\frac{1}{4}$ de aa también da 1. Si al restringirte a los sanos tus probabilidades no suman 1, es que no has repartido la parte de la casilla eliminada.

Más allá de Mendel: alelos múltiples, codominancia y herencia ligada al sexo

Lo que hay que saber

No todos los pares de alelos se comportan como los de Mendel. En la **dominancia incompleta** el heterocigoto tiene un fenotipo **intermedio** entre los dos homocigotos, así que hay tres aspectos distinguibles en vez de dos.

En la **codominancia** el heterocigoto muestra **los dos** caracteres a la vez y por separado, sin mezclarlos.

▲ Distinguirlo de la dominancia incompleta es cuestión de mirar de cerca al heterocigoto, y es lo que piden los ejercicios de este tema.

Un gen puede tener **más de dos alelos** en la población, aunque cada individuo solo lleve dos. El caso clásico es el grupo sanguíneo **ABO**, con tres alelos: I^A , I^B e i . I^A e I^B son **codominantes** entre sí y los dos dominan sobre i . Así, el grupo A es $I^A I^A$ o $I^A i$. El grupo B es $I^B I^B$ o $I^B i$. El AB es $I^A I^B$. Y el O solo puede ser ii .

En la especie humana el sexo lo marcan los **cromosomas sexuales**: XX en la mujer y XY en el varón. El cromosoma X lleva muchos genes ajenos por completo al sexo, y que el Y no lleva. Un varón, con un solo X, tiene un solo alelo de esos genes: se dice que es **hemicigoto**.

De ahí salen las enfermedades **recesivas ligadas al X**, como la hemofilia o el **daltonismo** —el de confundir el rojo con el verde, que es el corriente; hay otras alteraciones de la visión del color que no se heredan así—. No aparecen igual de a menudo en los dos sexos. ▲ Y que no sean igual de frecuentes no significa que sean exclusivas de uno. Los alelos ligados al X se escriben sobre la letra del cromosoma: X^D , X^d , y el varón se escribe $X^D Y$ o $X^d Y$.

▪ «El sexo lo decide el cromosoma Y» vale para los **mamíferos** y no para todo el mundo. En las aves es al revés: el sexo con dos cromosomas sexuales distintos es la hembra. Y en muchos reptiles no lo decide ningún cromosoma, sino la **temperatura** a la que se incuban los huevos.

- 35** Una mujer de grupo sanguíneo O tiene hijos con un hombre de grupo AB. (a) Escribe los genotipos de los dos y di por qué están obligados. (b) Di qué grupos pueden tener los hijos y en qué proporción. (c) Di qué dos grupos son imposibles en esta pareja y por qué.

Solución

- a) El grupo O solo puede ser ii . El alelo i es recesivo frente a los otros dos y solo se manifiesta en homocigosis. El grupo AB solo puede ser $I^A I^B$. I^A e I^B son **codominantes**, y hacen falta los dos para que se vean los dos. Ninguno de los dos genotipos admite alternativa.
- b) La madre solo puede dar el alelo i . El padre da I^A la mitad de las veces e I^B la otra mitad. Así que los hijos salen $I^A i$, de grupo A, o $I^B i$, de grupo B, al **50 % cada uno**.
- c) Son imposibles el **O** y el **AB**. Para ser O haría falta el genotipo ii , y el padre no tiene ningún alelo i que aportar. Para ser AB haría falta $I^A I^B$, y la madre no tiene ni I^A ni I^B .

Comprobación: comprueba que cada genotipo de hijo lleva un alelo de cada progenitor. Los dos resultados, $I^A i$ e $I^B i$, tienen una letra del padre y la i de la madre. Si en alguna de tus casillas los dos alelos vienen del mismo progenitor, ese cruce está mal montado.

- 36** El daltonismo está causado por un alelo recesivo situado en el cromosoma X. Una mujer portadora, que distingue los colores con normalidad, tiene hijos con un hombre que tampoco es daltónico. (a) Escribe los genotipos de los dos. (b) Di qué proporción de las hijas y qué proporción de los hijos varones serán daltónicos. (c) Calcula qué proporción del total de hijos será daltónica. (d) Explica por qué el daltonismo es más frecuente en varones.

Solución

- a) La mujer portadora es $X^D X^d$ y el hombre, que distingue los colores, es $X^D Y$.
- b) Las hijas reciben el X^D del padre, porque es la única X que él tiene, así que **ninguna hija será**

daltónica: la mitad serán $X^D X^D$ y la otra mitad $X^D X^d$, portadoras. Los hijos varones reciben la Y del padre y una X de la madre. La mitad serán $X^D Y$ y la otra mitad **$X^d Y$, daltónicos.**

c) La mitad de los hijos son varones, y la mitad de ellos son daltónicos. La mitad de la mitad es **una cuarta parte** del total de hijos.

d) Porque un varón es **hemicigoto** para los genes del cromosoma X: tiene una sola X, así que un único alelo recesivo ya se manifiesta. Una mujer necesita el alelo recesivo en **las dos** X, y eso es mucho más raro. ▲ Raro no es imposible: una mujer $X^d X^d$ es daltónica, y aparece cuando el padre es daltónico y la madre es al menos portadora.

Comprobación: las cuatro casillas del cruce tienen que repartirse en dos hijas y dos hijos. Son $X^D X^D$, $X^D X^d$, $X^D Y$ y $X^d Y$: dos y dos, y una sola casilla daltónica de las cuatro, lo que confirma la cuarta parte del apartado (c).

37

En dos especies distintas se cruzan líneas puras y se obtiene esto. Caso 1: una flor roja pura con una blanca pura da toda la descendencia rosa. Al cruzar esa descendencia entre sí salen 1 roja, 2 rosas y 1 blanca. Caso 2: un animal de pelaje rojo puro con otro de pelaje blanco puro da crías con pelos rojos y pelos blancos mezclados. De cerca se distinguen uno a uno. (a) Di qué tipo de herencia hay en cada caso. (b) Explica en qué se diferencian. (c) Di por qué en el caso 1 la proporción de aspectos coincide con la de genotipos.

Solución

a) El caso 1 es **dominancia incompleta**. El caso 2 es **codominancia**.

b) En la dominancia incompleta el heterocigoto muestra algo **intermedio**, y los caracteres de los padres no aparecen como tales: en la flor rosa no hay zonas rojas ni zonas blancas, hay rosa. En la codominancia el heterocigoto muestra **los dos** caracteres a la vez y por separado: en el pelaje hay pelos rojos y pelos blancos, cada uno de su color.

c) Porque cada **genotipo** tiene su propio aspecto y ninguno tapa a otro. Con tres genotipos posibles hay tres **fenotipos** distinguibles. La proporción 1, 2 y 1 de genotipos se ve entonces tal cual en los aspectos. Con **dominancia** completa, en cambio, dos genotipos se ven iguales y esa misma proporción se convierte en 3:1.

Una pista que avisa: fíjate en cómo es el heterocigoto de cerca. Una mezcla uniforme apunta a dominancia incompleta, y distinguir las dos cosas por separado apunta a codominancia. Es una pista y depende de la escala a la que se observe: a cierta distancia, un pelaje con pelos rojos y blancos también parece rosado.

Lo que hay que saber

Una **especie** es el conjunto de individuos capaces de cruzarse entre sí y dar descendencia **fértil**. ▲ Es una definición muy útil y con agujeros conocidos: no sirve para los que se reproducen sin sexo ni para los fósiles. Y hay parejas de especies distintas que sí dan híbridos fértiles.

Los seres vivos se ordenan en categorías encajadas unas dentro de otras: **dominio, reino, filo, clase, orden, familia, género y especie**. El nombre científico es **binomial**, como propuso Linneo: género con inicial mayúscula y especie en minúscula, los dos en cursiva — *Homo sapiens*, *Quercus ilex*.

Los tres **dominios** son **Bacteria**, **Archaea** y **Eukarya**. Los dos primeros son procariotas, y aun así están tan separados entre sí como cualquiera de ellos lo está de nosotros: parecerse por fuera no es estar emparentado.

La **selección natural** de Darwin necesita cuatro cosas, y con las cuatro funciona sola. Hay **variabilidad** entre los individuos de una población; esa variabilidad es **heredable**; nacen **más descendientes de los que pueden sobrevivir**; y los que llevan las variantes que funcionan mejor en ese ambiente dejan **más descendencia fértil**. Generación tras generación, esas variantes se hacen frecuentes.

▲ Fíjate en que las cuatro cosas hablan de la **población** y ninguna del individuo. Ahí es donde fallan las explicaciones evolutivas mal montadas, y es lo que desmonta el último ejercicio de este tema.

Las pruebas de la evolución vienen de cuatro sitios: los **fósiles**, la **anatomía comparada**, la **embriología** y la **biología molecular**. ■ En anatomía hay que distinguir dos palabras: son **homólogos** los órganos con el mismo origen aunque hagan cosas distintas, y **análogos** los que hacen lo mismo y no comparten origen.

38

Tres estructuras que sirven para volar: el ala de un murciélago, el ala de un águila y el ala de una mosca. (a) Di cuáles son homólogas entre sí y cuáles análogas, y explica el criterio. (b) Di si dos estructuras pueden ser homólogas y análogas a la vez, razonándolo con este caso. (c) Explica qué aporta cada una de las dos relaciones como prueba de la evolución.

Solución

a) El ala del murciélago y la del águila son **homólogas**: las dos son la extremidad anterior de un vertebrado. Tienen los mismos huesos heredados de un antepasado común, aunque estén construidas de forma distinta. El ala de la mosca no comparte ese origen: es **análoga** a las otras dos, porque hace lo mismo sin venir de la misma estructura.

b) Sí, y este caso lo enseña bien. El ala del murciélago y la del águila son homólogas **como extremidad anterior**, porque ese es el origen común. Y son a la vez análogas **como ala**: el vuelo apareció por separado en las aves y en los murciélagos. Preguntar «homólogo o análogo» sin decir respecto a qué es una pregunta mal planteada.

c) La homología es la que prueba parentesco: compartir una estructura heredada solo se explica bien si hubo un antepasado común que ya la tenía. La analogía prueba otra cosa distinta y también útil: que ambientes parecidos empujan a soluciones parecidas, y que parecerse por fuera no basta para clasificar.

Una pista que avisa: antes de decidir, pregúntate por las piezas de dentro y no por la forma de fuera. Es una pista buena y no infalible: hay estructuras tan cambiadas que su origen común solo se descubre estudiando cómo se desarrollan o comparando sus genes.

Un libro antiguo explica así el cuello de la jirafa: «los antepasados de la jirafa estiraban el cuello para alcanzar las hojas altas. El cuello se les alargaba con el esfuerzo, y ese cuello más largo se lo pasaban a sus hijos». (a) Di qué tiene de erróneo esa explicación. (b) Reescríbela por selección natural. (c) Explica por qué decir que la evolución mejora las especies también está mal.

Solución

a) Tiene dos errores. Uno, dar por hecho que un carácter adquirido durante la vida de un individuo se hereda: lo que se hereda es la información que va en los **gametos**, y estirar el cuello no la cambia. Dos, y es el de fondo, suponer que el individuo evoluciona. Un individuo no evoluciona: lo que cambia a lo largo de las generaciones es la población.

b) En la población de partida ya había variedad en la longitud del cuello, y esa variedad era heredable. En un ambiente en el que el alimento que quedaba estaba alto, los de cuello algo más largo se alimentaban mejor. Y dejaban más descendencia fértil. Generación tras generación, los cuellos largos se fueron haciendo frecuentes. Nadie estiró nada: cambió el reparto de lo que ya existía. Eso es la **selección natural**.

c) Porque «mejorar» supone una meta, y aquí no la hay. La selección natural ajusta a un ambiente **concreto**, y el ambiente cambia: un carácter que hoy da ventaja puede ser un estorbo dentro de cien mil años. Y tampoco mejora al individuo, que sigue siendo el que era: lo que cambia son las proporciones dentro de la población.

Comprueba este paso: una explicación evolutiva está bien montada si dice de dónde sale la variedad **antes** de que actúe el ambiente. Si en tu texto el ambiente es el que crea el carácter, está montada al revés. Esto comprueba el orden del razonamiento, no que la historia concreta de la jirafa fuera exactamente esa.

Los minerales y las rocas: identificarlos por sus propiedades

Lo que hay que saber

Un **mineral** es un sólido natural, inorgánico, con una composición química definida y una **estructura cristalina** ordenada. Una **roca** es un material natural y sólido de los que forman la corteza: casi siempre un agregado de uno o varios minerales, y a veces materia mineral sin cristalizar o restos de seres vivos. ▲ «Mezcla de minerales» se queda corto por los dos lados: la caliza es prácticamente solo calcita, un mineral y no una mezcla; y ni el carbón, que viene de restos de plantas, ni el vidrio volcánico son agregados de minerales.

▪ Por esa definición, el **vidrio volcánico** no es un mineral: se enfrió tan deprisa que no llegó a ordenarse en cristales. Y el hielo de un glaciar sí lo es, aunque no lo parezca.

Los minerales se identifican por propiedades que se pueden medir sin aparatos. La **dureza** se mide con la escala de **Mohs**, del 1 (talco) al 10 (diamante): un mineral raya a los de número menor y es rayado por los de número mayor.

Otras cuatro que sirven mucho: la **raya** es el color del polvo del mineral al frotarlo, y suele ser más constante que su color a la vista; la **exfoliación** es la tendencia a partirse por planos; el **brillo** puede ser metálico o no metálico; y la **efervescencia con ácido clorhídrico diluido** avisa de que hay un carbonato, porque burbujea soltando CO₂.

Las rocas se reparten en tres grupos según su origen. Las **magmáticas** salen de un **magma** que se enfría. Las que se enfrían en profundidad son las **plutónicas**, como el **granito**. Las que lo hacen en la superficie son las **volcánicas**, como el **basalto**.

Las **sedimentarias** se forman por acumulación y compactación de materiales: son **detríticas** si son trozos de otras rocas. De precipitación, si la sustancia venía disuelta. Y organógenas, si vienen de restos de seres vivos. Las **metamórficas** son rocas que han cambiado en estado sólido por presión y temperatura, como el **mármol** y la **pizarra**.

40

Cuatro minerales sin etiquetar se ensayan y dan esto. · Mineral 1: raya a la fluorita, que tiene dureza 4, y es rayado por el cuarzo, de dureza 7; no reacciona con ácido. · Mineral 2: se raya con la uña, deja polvo blanco y se parte en láminas finísimas. · Mineral 3: burbujea en cuanto se le echa una gota de ácido clorhídrico diluido, en frío y sin machacarlo; la uña no lo raya, y una moneda de cobre sí. · Mineral 4: raya al cuarzo y no lo raya nada de lo que hay en el laboratorio. (a) Ordena los cuatro por dureza creciente, razonándolo. (b) Di cuál es calcita y en qué prueba te apoyas. (c) Razona si tiene sentido afirmar que el mineral 4 es siete veces más duro que el mineral 2.

Solución

a) El mineral 2 se raya con la uña, así que su **dureza** está por debajo de 2,5 y es el más blando. Al mineral 3 la uña no lo raya y el cobre sí, así que su dureza pasa de 2,5 y no llega a la de la moneda; eso lo deja en la zona del 3. El mineral 1 está entre 4 y 7, porque raya a la fluorita y no llega a rayar al cuarzo. El mineral 4 raya al cuarzo, así que pasa de 7 y es el más duro. Orden creciente: **2, 3, 1, 4**.

b) El mineral 3 es **calcita**. Lo dicen dos ensayos juntos: la **efervescencia** viva con ácido clorhídrico diluido, en frío y sin machacarlo, que es lo propio de la calcita entre los carbonatos corrientes, y una dureza en torno a 3. ▲ Aun así, «calcita» es aquí la respuesta razonable de un laboratorio de clase y no una certeza: cualquier carbonato efervesce en alguna condición, y separarlos de verdad pide más ensayos de los que da el enunciado.

c) Porque la escala de **Mohs** es una escala de **orden** y no de medida: solo dice quién raya a quién. El salto de dureza real entre el 9 y el 10 es enorme comparado con el que hay entre el 1 y el 2. Por eso sus números no se pueden restar ni dividir.

Comprueba este paso: tu orden tiene que ser coherente con todos los ensayos a la vez y no con uno solo. Comprueba que el 1 va por detrás del 3: el 3 se raya con cobre y el 1 raya a la fluorita, así

que el 1 es más duro. Esto comprueba ese par, no los cuatro de golpe.

41

Dos rocas tienen prácticamente la misma composición química. En una se ven a simple vista cristales de varios milímetros, bien formados y encajados unos con otros. En la otra, la pasta es tan fina que no se distingue ningún cristal sin aparatos. (a) Di de qué tipo son las dos y cuál se enfrió más deprisa. (b) Explica por qué la velocidad de enfriamiento decide el tamaño del cristal. (c) Di dónde se formó cada una.

Solución

a) Las dos son rocas **magmáticas**. La de cristales grandes es **plutónica**, como el **granito**, y se enfrió despacio. La de pasta fina es **volcánica**, como el **basalto**, y se enfrió deprisa.

b) Porque un cristal necesita tiempo para crecer: los átomos tienen que ir colocándose en el orden de la **estructura cristalina**. Con enfriamiento lento hay tiempo para que unos pocos cristales crezcan mucho. Con enfriamiento rápido aparecen muchísimos puntos de partida a la vez y ninguno llega a crecer, así que quedan diminutos. Y si el enfriamiento es instantáneo, no da tiempo ni a ordenarse, y lo que queda es vidrio.

c) La plutónica se formó en profundidad, donde el **magma** está rodeado de roca caliente que lo aísla y lo deja enfriarse despacio. La volcánica se formó en la superficie o muy cerca. El magma salió y quedó en contacto con el aire o con el agua.

Una pista que avisa: el tamaño del cristal habla del tiempo de enfriamiento, no de la composición. Si en tu respuesta las dos rocas acaban teniendo composiciones distintas, has cambiado el enunciado, que dice que la tienen igual. La pista no sirve para decidir de qué roca concreta se trata, solo dónde se enfrió.

42

Clasifica estas seis rocas en magmáticas, sedimentarias o metamórficas según el origen que se describe. En los dos últimos casos, di además de qué roca proceden. (a) Granos de arena cementados unos con otros. (b) Cristales grandes y encajados, formados al enfriarse un magma en profundidad. (c) Carbonato depositado a partir del agua en la que estaba disuelto. (d) Restos de plantas acumulados y comprimidos durante millones de años. (e) Roca que se parte en láminas planas, formada al comprimirse arcillas sin llegar a fundirse. (f) Roca de cristales de carbonato apretados, formada al someter una caliza a presión y temperatura altas.

Solución

a) **Sedimentaria detrítica**: está hecha de trozos de otras rocas pegados por un cemento. Es una arenisca.

b) **Magmática plutónica**, por el enfriamiento lento en profundidad.

c) Sedimentaria de precipitación: la sustancia venía disuelta y se depositó al salir de la disolución. Es una **caliza**.

d) Sedimentaria organógena: procede de restos de seres vivos acumulados. Es carbón.

e) **Metamórfica**: es **pizarra**, y procede de arcillas o lutitas. Lo decisivo es que el cambio ocurre en estado sólido, sin fundirse; si se hubiera fundido, al enfriarse daría una roca magmática.

f) Metamórfica: es **mármol**, y procede de la **caliza**. La composición apenas cambia; lo que cambia es el tamaño y la disposición de los cristales.

Una pista que avisa: la pregunta que mejor separa los tres grupos es qué le pasó al material justo antes de quedar así. Si se fundió, magmática; si se depositó, sedimentaria; si cambió estando sólido, metamórfica. La pista falla en los casos de frontera, como una roca sedimentaria que ha empezado a transformarse y todavía conserva sus capas.

Lo que hay que saber

En 1912 Wegener propuso la **deriva continental** con cuatro pruebas. Encajan las costas a los dos lados del Atlántico. Hay **fósiles de las mismas especies** en continentes hoy separados por océanos. Hay cordilleras que continúan de un continente a otro. Y hay señales de climas antiguos que no encajan donde están. ▲ Le faltaba lo decisivo: un **mecanismo**, y por eso no se le hizo caso.

El mecanismo llegó con la **expansión del fondo oceánico**. En las **dorsales** sale material del manto y se crea suelo oceánico nuevo, que se va apartando a los dos lados. Las pruebas son tres. Las rocas del fondo son **más jóvenes cerca de la dorsal** y más viejas cuanto más lejos. El sedimento que las cubre es más fino cerca. Y las inversiones del campo magnético quedan grabadas en **bandas simétricas** respecto a la dorsal.

La **litosfera** —la corteza más la parte superior y rígida del manto— está partida en **placas** que se mueven sobre la **astenosfera**. ▲ Y conviene saber en qué estado está esa astenosfera. Casi todo el mundo se la imagina mal, y de eso va uno de los ejercicios de este tema.

Hay tres tipos de borde. En el **divergente** las placas se separan y se crea litosfera: es la dorsal, y en tierra firme, el rift. En el **convergente** se acercan: si una es oceánica, se hunde bajo la otra (**subducción**) y aparecen fosas, volcanes y terremotos profundos; si chocan dos continentales, ninguna se hunde y se levanta una cordillera, como el Himalaya. En el **transformante** se deslizan una junto a otra, como en la falla de San Andrés.

Las placas se mueven del orden de **2 a 10 centímetros al año**, que es el intervalo típico y no un tope: lo que crece una uña. Parece nada, y en tiempo geológico es enorme, porque hay millones de años para acumularlo.

▪ La Tierra se divide de dos maneras distintas que no coinciden: una por composición química y otra por comportamiento mecánico. Confundirlas es un error muy repetido, y se trabaja en los ejercicios de este tema.

43

Dos placas se separan en una dorsal a 4 cm al año, contando el movimiento de las dos juntas. (a) Calcula cuántos kilómetros de suelo oceánico nuevo se habrán creado en 10 millones de años. (b) Un océano tiene hoy 5.000 km de anchura en cierta latitud. Si se hubiera abierto siempre a ese ritmo, estima cuánto tiempo lleva abriéndose. (c) Di por qué la segunda estimación es mucho más floja que la primera.

Solución

a) Diez millones de años son 10.000.000 de años. A 4 cm por año se crean 40.000.000 cm. Como 100.000 cm son 1 km, eso son $40.000.000 \div 100.000 = 400$ km.

b) Los 5.000 km son 500.000.000 cm. A 4 cm por año hacen falta $500.000.000 \div 4 = 125.000.000$ años, es decir unos **125 millones de años**.

c) Porque el apartado (a) solo aplica un ritmo conocido durante un tiempo dado. El (b) supone además que ese ritmo ha sido el mismo durante todo el proceso, y no tiene por qué: la velocidad de las **placas** cambia a lo largo de la historia geológica. La estimación sirve para el orden de magnitud —cientos de millones de años, no miles ni decenas— y no para dar una fecha.

Comprobación: las dos cuentas tienen que ser coherentes entre sí, porque usan el mismo ritmo. Si en 10 millones de años se abren 400 km, en 125 millones se abrirán 400 multiplicado por 12,5. Eso da 5.000 km, la anchura del enunciado. Cuadra.

Un documental dice que «los continentes flotan sobre un océano de magma». (a) Di qué hay de verdad y qué de falso en esa frase. (b) Explica cómo puede moverse una placa sobre algo sólido. (c) Aclara la diferencia entre corteza y litosfera, que esa frase también confunde.

Solución

a) De verdad hay que las **placas** se mueven sobre una capa que se deforma. De falso, que esa capa sea líquida. La **astenosfera**, que es sobre la que se mueven, está **sólida**: si fuera líquida no transmitiría las ondas sísmicas **S**, que ningún líquido transmite y que de hecho la atraviesan. ▲ Decir «las ondas sísmicas» a secas no valdría como prueba: las ondas **P** sí atraviesan los líquidos.

b) Porque un sólido sometido a mucha presión y temperatura durante mucho tiempo se deforma sin romperse. Es lo que hace la plastilina: cede si se la aprieta despacio y se rompe si se la golpea. La astenosfera se comporta así, solo que a escala de millones de años.

c) La **corteza** es la capa más externa según la composición química. La **litosfera** es la capa rígida según el comportamiento mecánico, e incluye la corteza y la parte de arriba del **manto**. Lo que forma una placa es la litosfera entera, no solo la corteza. Por eso hablar solo de continentes también se queda corto: se mueve igualmente el fondo oceánico.

Una pista que avisa: si una explicación de la tectónica necesita que haya roca fundida bajo los continentes, conviene revisarla. El **magma** existe, pero en bolsas y en sitios concretos, no en una capa continua bajo todo. La pista señala el error y no da por sí sola la explicación correcta, que está en el apartado (b).

Clasifica estos cinco casos en borde divergente, convergente o transformante, y di qué relieve o qué fenómeno se espera en cada uno. (a) Dos placas oceánicas se separan y asciende material del manto por la grieta. (b) Una placa oceánica se hunde por debajo de una continental. (c) Dos placas continentales chocan de frente y ninguna se hunde. (d) Dos placas se deslizan una junto a otra sin crear ni destruir litosfera. (e) Un continente empieza a partirse por una fractura larga por la que asciende material caliente.

Solución

a) **Divergente**. Es una **dorsal** oceánica: se crea **litosfera** nueva, con volcanes submarinos y terremotos poco profundos.

b) **Convergente** con **subducción**. Se espera una fosa oceánica profunda, una cordillera con volcanes en el borde del continente y terremotos que llegan a ser muy profundos.

c) Convergente por colisión. Se levanta una gran cordillera, como el Himalaya, con terremotos pero sin la cadena de volcanes de la subducción. El motivo es que no hay una placa hundiéndose. ▲ Y conviene decir bien qué aporta la que se hunde: no material ya fundido, sino agua y otros fluidos que arrastra hacia abajo; al soltarlos, el manto de encima funde a menor temperatura, y de ahí salen los volcanes.

d) **Transformante**. No se crea ni se destruye litosfera: lo que hay son terremotos superficiales y frecuentes, como en la **falla** de San Andrés.

e) Divergente también, pero en su fase inicial y sobre un continente: es un rift, y si sigue abriéndose acabará convirtiéndose en un océano nuevo con su propia dorsal.

Una pista que avisa: pregúntate si en ese borde se crea litosfera, se destruye o ninguna de las dos cosas. Es lo que mejor separa los casos. Crear es divergente, destruir es convergente, y ninguna de las dos es transformante. La pista no distingue los dos tipos de convergente: para eso hay que ver si hay una placa oceánica que pueda hundirse.

El modelado del relieve

Lo que hay que saber

El relieve es el resultado de una pelea entre dos fuerzas. Los **procesos internos** —el movimiento de las placas, los volcanes, los pliegues y las fallas— levantan y arrugan. Los **procesos externos** desgastan y rellenan, y funcionan con la energía del Sol y la gravedad.

Los procesos externos suelen encadenarse en cuatro pasos. La **meteorización** rompe la roca donde está: por cambios de temperatura y hielo (física) o por reacciones con el agua, el oxígeno y los ácidos (química). La **erosión** arranca y se lleva el material. El **transporte** lo mueve. Y la **sedimentación** lo deposita cuando el agente pierde fuerza. ▲ No siempre están los cuatro: un viento fuerte puede arrastrar arena suelta sin que nadie haya roto antes ninguna roca.

Cada agente deja formas reconocibles. Un **río** excava valles en V en su curso alto, forma **meandros** en el medio y construye deltas y llanuras en el bajo. Un **glaciar** deja valles en U, circos, morrenas y bloques transportados. El **viento** pule las rocas y construye **dunas**. El **mar** talla acantilados y plataformas y construye playas y flechas de arena.

El **modelado kárstico** es un caso aparte: ocurre donde hay rocas solubles, sobre todo **caliza**. El agua de lluvia, ligeramente ácida, disuelve la roca y va abriendo grietas, simas, cuevas y dolinas. No rompe ni arrastra: **disuelve**, y por eso el paisaje que deja es tan distinto.

▪ **Este tema entra con su teoría y sin ejercicios, y conviene saber por qué.** Un ejercicio de verdad sobre modelado es «aquí tienes una fotografía de un paisaje: di qué agente lo ha hecho y en qué se nota». Eso es mirar una forma, y este material no puede llevar imágenes. Lo que se puede preguntar con palabras —definiciones— no es lo que se pregunta en un examen de este tema.

Lo que sí se lleva de aquí son tres cosas. Los **cuatro pasos** en su orden habitual: meteorización, erosión, transporte y sedimentación. Qué agente hace qué. Y que el karst funciona **por disolución** y no por desgaste. Con eso, delante de una fotografía cualquiera, ya se puede razonar.

El tiempo geológico: datación relativa y fósiles

Lo que hay que saber

Datar es averiguar la edad. La **datación relativa** solo ordena los acontecimientos: dice qué pasó antes y qué después, sin poner años. La **datación absoluta** pone una cifra en años.

La datación relativa se hace con unos pocos principios. **Superposición**: en una serie de **estratos** que no se ha alterado, cada estrato es más moderno que el de debajo. **Horizontalidad original**: los sedimentos se depositan en capas horizontales, así que si hoy están inclinados es que algo los movió después.

Intersección: una falla o un filón es más joven que todo lo que corta. **Inclusión**: un fragmento de roca metido dentro de otra es más antiguo que la roca que lo envuelve.

▲ El primero de esos principios lleva una condición escondida dentro, y es justo donde se falla. Encontrarla es uno de los apartados de los ejercicios de este tema.

Un **fósil guía** es el que sirve para datar la capa en la que aparece, y no vale cualquier especie: hacen falta tres condiciones a la vez, y averiguarlas es uno de los ejercicios de este tema. El principio de **sucesión faunística** es el que permite usarlo: cada tramo de la historia tiene su conjunto de fósiles y no se repite.

La datación absoluta usa la **radiactividad**. Cada isótopo radiactivo se desintegra a un ritmo fijo, que se mide por su **periodo de semidesintegración**: el tiempo en el que se desintegra la mitad de lo que había. De ahí sale una escalera de mitades que permite datar contando periodos.

▪ El **carbono-14** tiene un periodo de unos **5.730 años**, así que se agota enseguida: sirve hasta unos **50.000 años** y solo en restos que tengan carbono. Para rocas y fósiles antiguos se usan isótopos de periodo larguísimo. La Tierra tiene unos **4.540 millones de años**. El **Precámbrico** es todo lo anterior a la explosión de vida del Cámbrico, hace unos 540 millones, y es con mucha diferencia el tramo más largo.

46

En un talud de carretera se ve lo siguiente, de abajo arriba: una capa de arenisca, encima una de lutita y encima una de caliza. Una falla corta la arenisca y la lutita, y la caliza pasa por encima entera, sin romperse ni desplazarse: la sella. Por último, un filón atraviesa las tres capas y también la falla. (a) Ordena los acontecimientos del más antiguo al más moderno. (b) Di qué principio has usado en cada paso. (c) Explica qué condición tiene que cumplirse para que el orden de las capas sea el que has dicho.

Solución

a) De más antiguo a más moderno: se deposita la arenisca → se deposita la lutita → se produce la **falla** → se deposita la **caliza** → se inyecta el **filón**.

b) Para ordenar las tres capas entre sí, el principio de **superposición**: cada **estrato** es más moderno que el de debajo. Para colocar la falla, el principio de **intersección**: corta a la arenisca y a la lutita, así que es más joven que las dos. Y la caliza pasa por encima sellándola sin romperse, así que se depositó después y la falla es más antigua que ella. ▲ Quedarse en «la falla no llega hasta arriba» no bastaría: una fractura puede detenerse dentro de una serie ya depositada. Lo que la fecha es que la capa de encima esté entera y sin desplazar. Para el filón, otra vez intersección: corta a todo, incluida la falla, así que es lo más moderno de la serie.

c) Que la serie no se haya volteado. La superposición vale **si los estratos siguen en la posición en la que se depositaron**. Un pliegue tumbado puede dejar los antiguos encima de los modernos, y entonces leer de abajo arriba daría el orden al revés.

Comprobación: cada acontecimiento de tu lista tiene que estar sujeto por delante y por detrás. La falla lo está por los dos lados: por debajo, por lo que corta; por arriba, por la capa que la sella sin romperse. Si en tu orden hay algo que no está sujeto ni por delante ni por detrás, lo has colocado por intuición. No por un principio.

47

Un isótopo radiactivo tiene un periodo de semidesintegración de 5.730 años. (a) Calcula qué fracción del isótopo original queda después de 1, de 2 y de 3 periodos. (b) Calcula cuántos años han pasado en una muestra en la que queda 1/8 del original. (c) Explica por qué con este isótopo no se puede datar un fósil de dinosaurio.

Solución

a) Después de 1 periodo queda $\frac{1}{2}$. Después de 2, la mitad de la mitad, o sea $\frac{1}{4}$. Después de 3, la mitad de eso: **$\frac{1}{8}$** .

b) Que quede 1/8 significa que han pasado 3 periodos de **semidesintegración**. Cada periodo son 5.730 años, así que 3 periodos de 5.730 años son **17.190 años**.

c) Porque este **isótopo** es el **carbono-14** y se agota demasiado deprisa. Tras nueve o diez periodos queda tan poco que ya no se puede medir con fiabilidad. El método llega hasta unos 50.000 años. Los últimos dinosaurios no avianos desaparecieron hace unos 66 millones de años, más de mil veces más atrás. Y hay un segundo motivo: el carbono-14 solo sirve en restos que conserven carbono de origen orgánico. Y en un fósil la materia original suele estar sustituida por minerales.

Comprobación: haz la cuenta al revés. Si han pasado 17.190 años y cada periodo son 5.730, entonces $17.190 \div 5.730 = 3$ periodos. Y tras 3 periodos queda 1/8, que es el dato de partida. Y una segunda comprobación, de orden de magnitud: 50.000 años frente a 66.000.000 no es una diferencia de matiz, es de más de mil veces.

(a) Di las tres condiciones que debe cumplir una especie para que sus restos sirvan de fósil guía. Explica por qué hace falta cada una. (b) De estas cuatro, elige el mejor fósil guía y di qué le falla a cada una de las otras: una especie que vivió 200 millones de años en todo el planeta · una especie que vivió 2 millones de años en un solo valle · una especie que vivió 2 millones de años en todos los mares, abundante y fácil de reconocer · una especie muy abundante que vivió 150 millones de años en todos los mares. (c) La Tierra tiene unos 4.540 millones de años y el Precámbrico termina hace unos 540 millones. Calcula qué porcentaje del tiempo geológico ocupa el Precámbrico.

Solución

a) Que la especie viviera **poco tiempo** en términos geológicos, porque solo así encontrarla acota bien la edad de la capa. Que se extendiera por **mucho territorio**, porque solo así sirve para comparar capas de sitios lejanos. Y que sea **abundante y fácil de reconocer**, porque un fósil rarísimo o difícil de identificar no aparece cuando se busca.

b) La tercera es el mejor **fósil guía**: 2 millones de años acotan bien, estaba en todos los mares y es abundante y reconocible. La primera falla en la duración, porque 200 millones de años no acotan nada. La segunda falla en la extensión, porque solo sirve en ese valle. Y la cuarta falla también en la duración, 150 millones de años, por muy abundante que sea.

c) El **Precámbrico** va desde el principio hasta hace 540 millones de años, así que dura $4.540 - 540 = 4.000$ millones de años. Sobre el total: $4.000 \div 4.540 = 0,881$, es decir un **88,1 %**. Casi nueve décimas partes de la historia de la Tierra son Precámbrico.

Comprueba este paso: calcula el porcentaje por el otro lado, que es lo único de los tres apartados que se puede comprobar solo. Desde el final del Precámbrico hasta hoy son 540 millones de años, y $540 \div 4.540 = 0,119$, o sea un 11,9 %. Los dos porcentajes suman $88,1 + 11,9 = 100$, así que el reparto está bien hecho.

Los cortes y los mapas geológicos

Lo que hay que saber

Un **mapa geológico** es un mapa en el que cada color marca qué roca aparece en la superficie de esa zona. Lleva además símbolos para las fallas, los pliegues y la inclinación de las capas. Un **corte geológico** es lo que se vería si se cortara el terreno con un cuchillo y se mirara de lado: es la versión en vertical del mismo terreno.

Leer un corte es aplicar en orden los principios del tema anterior. Primero se identifican los **estratos** y se ordenan por superposición. Después se buscan las estructuras que los cortan —**fallas y filones**—, que por intersección son más jóvenes que todo lo que atraviesan. Después se buscan las **discordancias**: una superficie que separa unas capas inclinadas de otras horizontales encima cuenta una historia entera de levantamiento, desgaste y nuevo depósito.

Una **discordancia** es el rasgo más informativo de un corte, y el que más se pasa por alto. Debajo hay capas que se depositaron, se plegaron o se inclinaron y luego se erosionaron; encima hay capas nuevas depositadas sobre esa superficie gastada. Entre unas y otras falta tiempo: el que se llevó la erosión, y que no está registrado en ninguna roca.

Con eso, la historia de un terreno se reconstruye como una lista ordenada de acontecimientos: sedimentación, plegamiento, fractura, intrusión, erosión y nueva sedimentación, cada uno en su sitio.

▪ **Este tema entra con su teoría y sin ejercicios, y el motivo es el más claro de los tres.** Aquí el ejercicio *es* el dibujo: se le da al alumno un corte con sus capas, sus fallas y su discordancia, y se le pide la historia. Sin el dibujo no queda ejercicio, queda una definición.

▲ Ojo a la diferencia con el tema anterior, que sí trae ejercicios: allí los principios se aplican a una serie de capas **contada con palabras**, y eso funciona perfectamente. Lo que no se puede es poner delante el corte dibujado. Así que quien quiera practicar de verdad este tema tiene que hacerlo con los cortes de su libro, aplicando esta lista de pasos.