

Ejercicios Resueltos Biología y Geología 4 ESO 2026 / 2027

52 ejercicios con la solución explicada paso a paso, y la teoría de los 17 temas que trae esta selección.

Lo que vas a practicar

La célula, unidad de todos los seres vivos · Clasificar células por los rasgos descritos y ordenar los niveles de organización (ejercicios 1, 2, 3)

El ADN, la molécula que guarda las instrucciones · Escribir la cadena complementaria, contar bases y razonar sobre la copia del ADN (ejercicios 4, 5, 6)

Del gen a la proteína: cómo se lee el manual · Transcribir una cadena, contar tripletes y seguir el camino de la información (ejercicios 7, 8, 9)

Los cromosomas y el cariotipo · Contar cromosomas de una especie y leer un cariotipo descrito con palabras (ejercicios 10, 11, 12)

Dos maneras de dividirse: para qué sirve cada una · Contar células y cromosomas en cada división y decidir cuál hace falta en cada caso (ejercicios 13, 14, 15, 16)

Las mutaciones: qué son y de dónde salen · Clasificar mutaciones por lo que cambia y decidir cuáles se heredan (ejercicios 17, 18, 19)

La ingeniería genética: qué se hace y qué se discute · Razonar por qué funciona trasladar un gen y desmontar dos afirmaciones muy repetidas (ejercicios 20, 21, 22)

Mendel y la herencia de un solo carácter · Construir cuadros de cruce de un carácter y leer las proporciones que salen (ejercicios 23, 24, 25, 26, 27)

Problemas de herencia: lo que dicen los antepasados · Deducir genotipos a partir de una familia contada en el texto y calcular probabilidades (ejercicios 28, 29, 30)

Cómo cambian los seres vivos: de Lamarck a Darwin · Explicar un mismo caso con las dos teorías y leer un cambio con cifras (ejercicios 31, 32, 33)

Las pruebas de que la evolución ha ocurrido · Distinguir parecidos que indican parentesco de parecidos que no lo indican (ejercicios 34, 35, 36)

El ecosistema y el viaje de la energía · Hacer las cuentas de una pirámide de energía y ordenar una red de quién come a quién (ejercicios 37, 38, 39)

Los ciclos de la materia y cómo cambia un ecosistema · Seguir el camino de un átomo y razonar cómo cambia un lugar con el tiempo (ejercicios 40, 41, 42)

Los recursos, los impactos y la contaminación · Clasificar recursos con su matiz y hacer las cuentas de

un impacto **(ejercicios 43, 44, 45)**

Una Tierra que se mueve: de la deriva continental a las placas · Reconocer el tipo de borde por lo que ocurre en él y calcular la velocidad de una placa **(ejercicios 46, 47, 48)**

Leer la historia de la Tierra en el orden de las capas · Ordenar acontecimientos geológicos descritos en el texto y manejar la escala del tiempo **(ejercicios 49, 50, 51, 52)**

Los dos dibujos que hay que saber leer: el corte geológico y el mapa de placas · Solo teoría: qué enseña cada uno de los dos y cómo se lee **(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 **17 temas y 52 ejercicios** resueltos de Biología y de Geología de 4º de ESO. 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 célula y sus dos modelos, el ADN, el camino del gen a la proteína, los cromosomas y el cariotipo, las dos formas de división celular, las mutaciones, la ingeniería genética, las leyes de Mendel con un carácter, los problemas de herencia, la evolución y sus pruebas, la estructura y la dinámica de los ecosistemas, los ciclos de la materia, los recursos y la contaminación, la tectónica de placas y la historia de la Tierra. **Uno solo llega sin ejercicios y con la teoría entera, y el motivo está dicho:** es **Los dos dibujos que hay que saber leer: el corte geológico y el mapa de placas**, porque en ese tema el ejercicio consiste precisamente en leer un dibujo, y aquí no caben. 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 17 temas es una **decisión nuestra**, tomada a partir de lo que esta página ya ofrece por bloques 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. Dos cosas que se estudian en algunos libros de 4º quedan fuera a propósito y conviene que lo sepas: la **herencia ligada al sexo** y los **grupos sanguíneos**, que aquí se tratan en el material de 1º de Bachillerato. Esta página sirve para localizar por dónde flojeas, y no ocupa el sitio de tu libro, de tus prácticas ni de tu profesor.

La célula, unidad de todos los seres vivos

Lo que hay que saber

Cualquier ser vivo está hecho de **células**, y ninguna célula aparece de la nada: siempre viene de otra. Por pequeña que sea, toda célula lleva las mismas tres piezas. Una **membrana** que marca su límite con el exterior. Un **citoplasma** donde ocurre casi todo. Y **material genético** con las instrucciones.

Hay dos modelos de célula. La **procariota** no tiene **núcleo**: su material genético está suelto en el citoplasma. Son las bacterias y las arqueas, que forman otro grupo distinto. La **eucariota** guarda el material genético dentro de un núcleo con envoltura y tiene **orgánulos**, que son piezas especializadas en un trabajo.

Entre las eucariotas, la **vegetal** tiene tres cosas que la animal no tiene. Una **vacuola** grande llena de agua. Unos **cloroplastos** donde se fabrica alimento con la luz, en las partes de la planta a las que llega. Las células de una raíz no los tienen. Y una **pared celular** rígida, de celulosa, por fuera de la membrana. Los hongos son un caso aparte que conviene tener presente: también tienen pared celular, y aun así no se fabrican ellos su alimento.

▲ Cuidado con una idea muy repetida: la célula vegetal **sí tiene mitocondrias**. Una planta también respira, de día y de noche. Lo que solo hace con luz es fabricar su propio alimento.

Un ser **unicelular** es una sola célula que se las arregla con todo. Un **pluricelular** reparte el trabajo: sus células se especializan y se juntan en **tejidos**; varios tejidos forman un **órgano**, y así hasta el organismo completo.

▪ «Sencillo» y «poco capaz» no significan lo mismo, y con las bacterias esa diferencia se nota mucho. Más abajo hay un ejercicio que la trabaja con un ejemplo concreto.

1

Cuatro células miradas por dentro. · La **A** no tiene núcleo: su material genético está suelto en el citoplasma. · La **B** tiene núcleo, una vacuola grande, cloroplastos y pared de celulosa. · La **C** tiene núcleo y no tiene ni pared ni cloroplastos. · La **D** tiene núcleo y una pared que no es de celulosa, y no tiene cloroplastos. Di qué tipo de célula es cada una y cuál es el rasgo que lo decide en cada caso.

Solución

La **A** es **procariota**. El rasgo que lo decide es el único que no comparte con ninguna de las otras tres: no tiene núcleo. El enunciado no da para más: hay dos grupos de procariotas, las bacterias y las arqueas. Todo lo demás (tener membrana, citoplasma y material genético) lo tienen todas las células, así que no sirve para distinguir.

Las otras tres son **eucariotas**, porque tienen núcleo. Entre ellas hay que bajar al detalle. La **B** es **vegetal**: vacuola grande, cloroplastos y pared de celulosa son justo las tres que la animal no tiene. La **C** es **animal**: tiene núcleo y le faltan las tres.

La **D** es de un **hongo**. Tener pared la acerca a la vegetal. Pero la pared no es de celulosa y no hay cloroplastos, así que no fabrica su propio alimento. Un hongo lo toma ya fabricado, igual que un animal.

Una pista que avisa: cuando una misma célula te encaje en dos grupos a la vez, es que has decidido con un rasgo que los dos comparten. Vuelve atrás y busca el rasgo que solo tiene uno de los dos.

2

Coloca estos seis términos de menor a mayor, de forma que cada uno esté formado por los del nivel anterior: *órgano · célula · aparato · organismo · tejido · molécula*. Después explica en qué escalón se rompe la serie si hablamos de un ser unicelular.

Solución

El orden es: **molécula** → **célula** → **tejido** → **órgano** → **aparato** → **organismo**. Cada escalón está formado por unidades del anterior: un tejido junta células parecidas dedicadas a la misma faena, y un órgano junta tejidos distintos.

En un ser **unicelular** la serie se corta en el segundo escalón. Hay moléculas y hay una célula, y ahí se acaba: esa única célula es el organismo entero. No hay tejidos ni órganos porque no hay con qué formarlos.

Eso no significa que haga menos cosas. Esa sola célula tiene que alimentarse, responder al medio y reproducirse ella sola, sin repartirse el trabajo con nadie.

Comprueba este paso: recorre tu lista al revés y, en cada pareja, pregúntate si el de arriba está hecho de los de abajo. Si en algún sitio la respuesta es que no, esos dos están cambiados.

3

Un compañero escribe en su cuaderno: *las bacterias tienen una célula más simple que las nuestras, así que hacen menos cosas que nosotros*. La primera mitad de la frase está bien y la segunda no. Explica por qué, y pon un ejemplo de algo que hagan ellas y nosotros no.

Solución

La primera mitad es correcta: una célula procariota es **estructuralmente más simple**. No tiene núcleo ni orgánulos separados por membranas, y es mucho más pequeña.

La segunda mitad confunde dos cosas distintas: lo complicada que es una estructura y la variedad de química que sabe hacer. En eso segundo, las bacterias nos ganan de largo. Hay bacterias que viven en agua a más de 80 °C. Otras viven dentro de rocas, a cientos de metros de profundidad. Otras, en medios sin nada de oxígeno.

Un ejemplo concreto y con consecuencias: hay bacterias que transforman el nitrógeno del aire en compuestos que las plantas pueden aprovechar. Ningún animal ni ninguna planta sabe hacer eso, y de ello depende buena parte de la comida que llega a tu plato.

Una pista que avisa: cuando una frase mezcla *simple* con *poco capaz*, casi siempre hay que separar las dos ideas antes de contestar. Aquí una es verdad y la otra no.

El ADN, la molécula que guarda las instrucciones

Lo que hay que saber

El **ADN** es una molécula muy larga formada por piezas encadenadas llamadas **nucleótidos**. Cada nucleótido tiene tres partes: un azúcar, un grupo fosfato y una **base nitrogenada**. Lo único que cambia de una pieza a otra es la base.

Las bases del ADN son cuatro: **adenina** (A), **guanina** (G), **citocina** (C) y **timina** (T). El orden en que se encadenan es el mensaje. Cambiar el orden es cambiar la instrucción, igual que cambiar el orden de las letras cambia una palabra.

El ADN va en **doble cadena**, enrollada en forma de **doble hélice**. Las dos cadenas encajan porque las bases se emparejan siempre igual: **A con T** y **G con C**. A eso se le llama ser **complementarias**: sabiendo una cadena se puede escribir la otra sin más datos.

De ahí sale la **replicación**: las dos cadenas se separan como una cremallera y cada una sirve de plantilla para construir su pareja. Donde había una molécula acaba habiendo dos, y cada una conserva una cadena de la original. Una célula copia así todo su ADN **antes** de dividirse, para poder dar un juego completo a cada hija. La copia se hace una sola vez, aunque de esa célula acaben saliendo cuatro.

▲ «El ADN está en el núcleo» se queda corto. También hay ADN, propio y distinto, dentro de las **mitocondrias** y de los **cloroplastos**. Y una bacteria no tiene núcleo y tiene ADN de sobra.

- 4 De un fragmento de ADN se conoce una de sus dos cadenas: **G A T C A G T T A C G G**. Escribe la que va enfrente y explica por qué no hace falta ningún otro dato para escribirla.

Solución

Se aplica el emparejamiento pieza a pieza, sin saltarse ninguna: G va con C, A va con T, T va con A y C va con G. Queda **C T A G T C A A T G C C**.

No hace falta ningún otro dato porque el emparejamiento no admite alternativas. Enfrente de una A solo cabe una T, y enfrente de una G solo cabe una C. Sabida una de las dos, la otra queda decidida por completo.

Comprobación: cuenta las letras de las dos: tienen que ser 12 y 12. Repasa después las dos parejas del principio y las dos del final: G-C y A-T arriba, G-C y G-C abajo. Si en alguna pareja te ha salido A con G, o T con C, ahí tienes el error.

- 5 Un fragmento de ADN de **doble cadena** tiene **400 nucleótidos** en total, contando las dos cadenas. De ellos, **120** llevan adenina. Calcula cuántos llevan timina, cuántos guanina y cuántos citosina.

Solución

Como el fragmento es de doble cadena, cada adenina tiene enfrente una timina. Por tanto hay tantas timinas como adeninas: **120 timinas**.

Entre adeninas y timinas suman $120 + 120 = 240$ nucleótidos. Los que quedan son $400 - 240 = 160$, y todos ellos llevan guanina o citosina.

Esos 160 también van emparejados entre sí, G con C, así que se reparten a partes iguales: $160 / 2 = 80$ **guaninas** y **80 citosinas**.

▲ El enunciado dice *doble cadena* a propósito, y sin ese dato el cálculo no se puede hacer. En un ADN de una sola cadena, como el de algunos virus, no hay ninguna razón para que haya tantas adeninas como timinas.

Comprobación: suma los cuatro resultados: $120 + 120 + 80 + 80 = 400$, que es el total del enunciado. Si no te da 400, has perdido o duplicado alguna cantidad por el camino.

6

Una célula se prepara para dividirse en dos. Explica qué le tiene que pasar a su ADN **antes** de la división. Explica también por qué no puede hacerse después. Y di qué dos cosas tienen en común las dos moléculas que salen de copiar una.

Solución

Antes de dividirse, la célula tiene que **copiar todo su ADN**: la replicación. Las dos cadenas se separan y cada una sirve de plantilla para construir su pareja, así que donde había una molécula acaban habiendo dos.

No puede hacerse después por una razón simple de reparto: si la célula se partiera primero, solo una de las dos hijas se llevaría el material genético y la otra se quedaría sin instrucciones. Hay que tener dos juegos completos antes de repartir.

Las dos moléculas resultantes tienen en común dos cosas. La primera es que llevan **la misma secuencia de bases** que la original, porque cada una se ha construido siguiendo la plantilla. La segunda es que cada una se queda con una cadena de la molécula original y estrena la otra.

Comprueba este paso: cuenta cuántas cadenas había al principio y cuántas hay al final. Había 2 y ahora hay 4, y de esas 4 solo 2 son nuevas. Si en tu respuesta salen 4 cadenas nuevas, has copiado de más.

Del gen a la proteína: cómo se lee el manual

Lo que hay que saber

Un **gen** es el fragmento de ADN donde está apuntado cómo se fabrica un producto concreto. ▲ Fíjate en «contiene la información»: el gen no fabrica nada por sí mismo. Casi siempre ese producto es una **proteína**, y las proteínas son las que hacen el trabajo en la célula.

En el núcleo se saca una copia del gen escrita en **ARN mensajero**, y a ese paso se le llama **transcripción**. El ARN se parece al ADN con dos cambios: va en una sola cadena y donde el ADN pone timina, el ARN pone **uracilo** (U). ▲ Quién se queda dentro del núcleo y qué es lo que viaja es la clave aquí, y hay un ejercicio que la persigue.

Esa copia viaja hasta un **ribosoma**, que la lee y va montando la proteína pieza a pieza. Ese segundo paso es la **traducción**, y las piezas que encadena se llaman **aminoácidos**.

El mensaje se agrupa **de tres en tres**. Cada grupo de tres bases es un **triplete**, y casi todos los tripletes indican qué pieza toca poner. Unos pocos no indican ninguna pieza: son la señal de parar. La tabla que dice qué significa cada triplete es el **código genético**, y es prácticamente el mismo en todos los seres vivos conocidos.

▪ Que el código sea común tiene dos consecuencias grandes. Una es una prueba de que todos los seres vivos están emparentados. La otra tiene aplicación práctica, y se trabaja más adelante en esta misma página.

7

Estos cinco pasos están desordenados: · el ribosoma va encadenando aminoácidos · la copia sale del núcleo · se separa localmente la doble cadena de ADN en la zona del gen · se construye una copia en ARN mensajero · la proteína terminada se pliega y empieza a trabajar. Ordénalos y di en qué punto termina la transcripción y empieza la traducción.

Solución

El orden es: paso **1** se separa localmente la doble cadena de ADN en la zona del gen · paso **2** se construye una copia en ARN mensajero · paso **3** la copia sale del núcleo · paso **4** el ribosoma va encadenando aminoácidos · paso **5** la proteína terminada se pliega y empieza a trabajar.

La **transcripción** son los pasos 1 y 2: se abre el ADN y se escribe la copia. Termina cuando la copia está hecha. La **traducción** es el paso 4: el ribosoma lee esa copia y monta la proteína. El paso 3 es el viaje que une las dos, y el 5 es lo que ocurre ya con la proteína hecha.

Comprueba este paso: sitúa dónde ocurre cada paso. Los dos primeros son dentro del núcleo y los dos últimos, fuera. Si en tu orden hay un paso de dentro del núcleo detrás de uno de fuera, están cambiados.

8

De un gen se conoce la cadena de ADN que sirve de **plantilla**, y dice **T A C T G G A A C**. Contesta a los tres apartados: a) escribe el ARN mensajero que se obtiene al copiarla; b) di cuántos tripletes completos salen; c) di cuántos aminoácidos encadenaría el ribosoma con esa copia.

Solución

a) Se copia pieza a pieza con la regla del ARN. Donde el ADN pone T, el ARN pone A. Donde pone A, el ARN pone U, el uracilo, que ocupa el lugar de la timina. Donde pone C va una G, y donde pone G va una C. Sale **A U G A C C U U G**.

b) El trozo tiene 9 bases y el mensaje se agrupa de tres en tres, así que salen $9 / 3 = 3$ **tripletes** completos: AUG · ACC · UUG.

c) Cada triplete indica una pieza, así que el ribosoma encadenaría **3 aminoácidos**. ▲ Eso vale para este fragmento suelto. En un gen de verdad hay tripletes que no significan ninguna pieza, sino la señal de parar. Por eso el número de aminoácidos es algo menor que el de tripletes.

Comprobación: cuenta las letras de tu ARN: tienen que ser 9, las mismas que en el ADN. Repásalo después entero buscando alguna T. Si te ha quedado una, has copiado con las reglas del ADN y no con las del ARN.

9

Alguien resume así lo que ha estudiado: *el ARN mensajero es el que saca el ADN del núcleo para llevarlo al ribosoma*. Corrige la frase y explica qué ventaja tiene que las cosas funcionen como funcionan de verdad.

Solución

La frase está mal en lo principal: el ADN **no sale del núcleo**. Lo que sale es una **copia** de un trozo de ADN escrita en ARN mensajero. Por eso se llama mensajero: lleva el mensaje, no el original.

Dicho correctamente: en el núcleo se copia el gen a ARN mensajero, esa copia sale al citoplasma y allí la lee un ribosoma. El ADN se queda dentro todo el tiempo.

La ventaja es doble. Una, el original queda protegido: si la copia se estropea, se hace otra, y el archivo no se ha tocado. Dos, con un mismo gen se pueden hacer muchas copias a la vez. Así la célula fabrica mucha cantidad de una proteína cuando la necesita.

Una pista que avisa: algo se ha torcido cuando el ADN aparece viajando por el citoplasma en una respuesta tuya. El reparto de papeles es que el ADN se queda y el mensaje se mueve.

Los cromosomas y el cariotipo

Lo que hay que saber

El ADN de una célula eucariota no está suelto: está repartido en **cromosomas**. Un cromosoma es ADN muy largo, envuelto en proteínas que lo sostienen y lo recogen. Cada cromosoma lleva muchos genes, desde unos pocos centenares hasta varios miles, y cada gen ocupa siempre el mismo sitio.

Se dice que los cromosomas «aparecen» al dividirse la célula y «desaparecen» el resto del tiempo. ▲ Es una manera de hablar que conviene revisar. Abajo hay un ejercicio que la revisa a fondo.

En las células de un organismo como el nuestro los cromosomas van por parejas. Los dos de una pareja son **homólogos**: llevan los mismos genes en el mismo orden, uno heredado del padre y otro de la madre. Una célula con las parejas completas es **diploide** y se escribe $2n$; una con un solo cromosoma de cada pareja es **haploide**, n .

El **cariotipo** es el conjunto ordenado de los cromosomas de una especie. En nuestra especie el valor de $2n$ es **46**, repartidos en 22 parejas de **autosomas** más una pareja de **cromosomas sexuales**: lo habitual es XY en un varón y XX en una mujer. Esa correspondencia vale casi siempre y no es absoluta. Hay personas cuyo desarrollo sexual no se corresponde con esa pareja de cromosomas.

Los **gametos** (óvulo y espermatozoide) son haploides: llevan 23. Al unirse en la fecundación forman el **cigoto**, que vuelve a tener 46 y es la primera célula del nuevo organismo. ■ Salvo error en el reparto, el óvulo aporta un cromosoma X y el espermatozoide aporta X o Y.

- 10** Una planta tiene $2n = 24$. Contesta: a) cuántas parejas de homólogos tiene una célula diploide suya; b) cuántos cromosomas lleva uno de sus gametos; c) cuántos tiene el cigoto que se forma al unirse dos gametos; d) cuántos ha recibido ese cigoto de cada progenitor.

Solución

- a) Los cromosomas van por parejas, así que hay $24 / 2 = 12$ **parejas** de homólogos.
b) Un gameto es haploide: lleva un cromosoma de cada pareja, es decir, $n = 12$ **cromosomas**.
c) El cigoto se forma al unirse dos gametos, así que suma $12 + 12 = 24$ **cromosomas**. Vuelve a ser diploide, que es justo lo que tenía que pasar.
d) La mitad de cada uno: **12 del padre y 12 de la madre**. Por eso, dentro de una pareja, cada cromosoma viene de un sitio distinto.

Comprobación: el número del apartado c tiene que coincidir con el $2n$ del enunciado. Si te sale otra cosa, o has sumado mal o has usado 24 como número de un gameto.

- 11** Tres cariotipos descritos con palabras: · el **primero** tiene 46 cromosomas, con 22 parejas de autosomas y dos cromosomas X · el **segundo** tiene 46, con 22 parejas de autosomas, un X y un Y · el **tercero** tiene 23 cromosomas, uno de cada tipo, y entre ellos un X. Di qué es cada uno.

Solución

El **primero** es, con diferencia, el cariotipo más corriente en una **mujer** de la especie humana: $2n = 46$ con la pareja sexual XX. El **segundo** es el más corriente en un **varón**: mismo número, pareja sexual XY. Un cariotipo dice qué cromosomas hay, y eso casi siempre se corresponde con el desarrollo sexual, pero no en todos los casos.

El **tercero** no es el de una persona, sino el de un **gameto**: tiene la mitad de cromosomas, uno de cada pareja en vez de dos. Con un X puede ser un óvulo o un espermatozoide, porque los dos pueden llevar X.

▲ Lo que sí se puede afirmar es lo contrario: un gameto con Y solo puede ser un espermatozoide, porque la madre no tiene ningún cromosoma Y que repartir.

Una pista que avisa: mira primero si el número es 46 o 23 antes de fijarte en las letras. Eso separa de golpe una célula del cuerpo de un gameto, y solo después hace falta mirar la pareja sexual.

12

Un compañero dice: *los cromosomas se forman cuando la célula va a dividirse, y el resto del tiempo no existen*. Explica qué parte de esa idea viene de algo cierto y qué parte es falsa. Distingue además entre *gen* y *cromosoma*, que a veces se usan como si fueran lo mismo.

Solución

La parte cierta es la observación: los cromosomas **solo se distinguen uno a uno cuando la célula se va a dividir**. El resto del tiempo el ADN está mucho más suelto y no se pueden separar unos de otros.

La parte falsa es la conclusión. El ADN está ahí siempre y sigue repartido en las mismas moléculas: lo que cambia no es que aparezcan, sino que **se compactan** muchísimo, y entonces se distinguen. Confundir *no se ve* con *no existe* es el error.

En cuanto a la segunda pregunta, no son lo mismo ni del mismo tamaño. Un **cromosoma** es la pieza entera con sus proteínas; un **gen** es un fragmento de esa pieza donde está apuntado un producto. En un solo cromosoma caben desde unos pocos centenares de genes hasta varios miles.

Comprueba este paso: prueba a decir la frase al revés, *un gen contiene muchos cromosomas*. Si suena imposible, es que has colocado bien quién está dentro de quién.

Dos maneras de dividirse: para qué sirve cada una

Lo que hay que saber

Una célula que se divide se llama aquí **célula de partida**, y de ella salen las células hijas. Hay dos maneras de hacerlo y sirven para cosas distintas.

De la **mitosis** salen **dos** células hijas, y cada una recibe **tantos cromosomas como tenía** la de partida. Es la que usa un organismo para crecer, para reparar un tejido y para la **reproducción asexual**. Partiendo de $2n$, las dos hijas son $2n$.

La **meiosis** produce **cuatro** células con **la mitad** de cromosomas: de una $2n$ salen cuatro n . De ahí salen los gametos. Y hace falta por una razón aritmética: si los gametos tuvieran $2n$, la **fecundación** doblaría el número en cada generación. Eso vale tal cual en los animales. En las plantas esas cuatro células todavía no son gametos: son esporas, y los gametos vienen después.

▲ Lo que la mitosis garantiza es **la misma dotación de cromosomas** en las dos hijas, y eso es lo importante. La frase corriente dice algo más que eso, y promete de más: en qué se queda corta lo averigua un ejercicio de los de abajo.

▪ En esta página no se entra en las etapas de cada uno de los dos procesos, ni en sus cuentas. Se queda fuera porque se apoya en dibujos que aquí no caben, y no porque no toque en este curso. Lo que sí se puede hacer entero con palabras es lo de arriba: cuántas células salen, con cuántos cromosomas cada una y para qué sirve el proceso.

13

Una célula de una especie con $2n = 16$ se va a dividir. Contesta: a) si lo hace por mitosis, cuántas células salen y cuántos cromosomas tiene cada una; b) si lo hace por meiosis, cuántas células salen y cuántos cromosomas tiene cada una.

Solución

a) La **mitosis** da **2 células**, y cada una lleva tantos cromosomas como la original: **16**. Las dos son diploides, igual que la original.

b) La **meiosis** da **4 células** con la mitad: $16 / 2 = 8$ **cromosomas cada una**. Las cuatro son haploides. En un animal esas cuatro células son ya los gametos. En una planta son esporas, y los gametos llegan más tarde.

▲ Aquí hay una trampa que conviene conocer: **mirar si el número sale par o impar no sirve para saber si te has equivocado**. Con $2n = 16$, confundir los dos procesos daría 16 en lugar de 8, y los dos números son pares y los dos parecen razonables. Con $2n = 46$ el error se vería (23 es impar), pero eso es casualidad de esa especie.

Comprueba este paso: cuenta primero las **células** y solo después los cromosomas. Ese número no depende de la especie: la mitosis da 2 y la meiosis da 4, siempre. Si has escrito otro número de células, lo demás ya no puede salir bien.

14

Imagina que en la especie humana los gametos se fabricaran por mitosis en vez de por meiosis, y que todo lo demás funcionara igual. Partiendo de 46 cromosomas, calcula cuántos tendrían los individuos de las tres generaciones siguientes y explica por qué la meiosis resuelve el problema.

Solución

Si los gametos se hicieran por mitosis, cada uno llevaría **46** cromosomas en vez de 23. Al unirse dos en la fecundación, el cigoto tendría $46 + 46 = 92$.

Esa persona de 92 produciría gametos de 92, y sus hijos tendrían $92 + 92 = 184$. En la tercera generación serían $184 + 184 = 368$. El número se dobla en cada generación y no para nunca.

La **meiosis** resuelve exactamente eso: reduce a la mitad antes de la fecundación, así que la fecundación devuelve el número al de partida. Una división que quita la mitad seguida de una unión que suma dos mitades deja el número donde estaba.

Comprobación: con la meiosis de verdad, repite la cuenta: $23 + 23 = 46$ en cada generación, siempre el mismo número. Si al hacerla te cambia, has olvidado aplicar la reducción en algún paso.

15

Di si cada uno de estos cinco procesos necesita mitosis o meiosis, y por qué: · cerrar una herida en la piel · fabricar óvulos en un ovario · crecer un embrión desde el cigoto · sacar una planta nueva a partir de un trozo de tallo · fabricar espermatozoides.

Solución

Necesitan **mitosis** tres de ellos: cerrar una herida, crecer un embrión y sacar una planta nueva de un trozo de tallo. En los tres hace falta lo mismo: más células con la **misma dotación** que las que ya había.

El tercero de esos tres tiene un nombre propio: es **reproducción asexual**. La planta que sale no viene de la unión de dos gametos, sino de células de una sola planta. Por eso lleva la misma información que ella.

Necesitan **meiosis** los otros dos: fabricar óvulos y fabricar espermatozoides. Los dos son gametos, y un gameto tiene que llevar la mitad de cromosomas para que la fecundación no doble el número.

Comprueba este paso: hazte una sola pregunta por caso: *¿el resultado se va a unir con otra célula?* Si contestas que sí, hace falta meiosis; si contestas que no, mitosis. Los cinco casos se reparten con esa pregunta.

16

Un libro dice: *de la mitosis salen dos células iguales a la que se ha dividido*. Esa frase se repite mucho y promete más de lo que puede cumplir. Explica qué parte es correcta y menciona dos motivos por los que *idénticas* es demasiado.

Solución

La parte correcta, y es la importante, es que las dos hijas reciben **la misma dotación de cromosomas** que la célula de partida. Ese es el resultado que define a la mitosis y el que hay que saber.

El primer motivo por el que *idénticas* promete de más es el reparto de todo lo demás. Los

cromosomas se reparten con mucha precisión, pero el citoplasma, las mitocondrias y el resto del contenido se reparten a bulto: una hija se queda con algo más que la otra.

El segundo es la copia del ADN. Copiar una molécula tan larga no sale perfecto todas las veces, y algún cambio se queda sin corregir. Es poco frecuente por célula y ocurre muchísimas veces a lo largo de una vida.

Una pista que avisa: cuando una frase de biología usa *idéntico*, *igual* o *exacto*, merece la pena preguntarse *¿idéntico en qué?* Casi siempre la afirmación se sostiene para una cosa concreta y no para todo.

Las mutaciones: qué son y de dónde salen

Lo que hay que saber

Una **mutación** es un cambio en el material genético que se puede transmitir a las células hijas. Unas ocurren solas, por un error al copiar el ADN, y otras las provoca un **mutágeno**: ciertas radiaciones y algunas sustancias químicas.

Se ordenan por el tamaño de lo que cambia. Una **mutación génica** afecta a una o pocas bases dentro de un gen. Una **mutación cromosómica** altera cómo está montado un cromosoma, sin cambiar cuántos hay. Una **mutación genómica** cambia el **número** de cromosomas de la célula.

▲ «Mutación» no es sinónimo de enfermedad, y esa confusión merece aquí un ejercicio entero. Un cambio en el ADN no tiene un solo resultado posible, sino tres. Y conviene saber cuál de los tres es el más habitual. Que una mutación se herede o no depende de **dónde** aparece en el cuerpo, y no de lo grave que sea. Solo hay dos finales posibles para una célula mutada, y abajo se recorren los dos.

▪ Sin mutaciones no habría variedad nueva. Barajar lo que ya hay produce combinaciones distintas, pero las **variantes nuevas** de un gen solo pueden aparecer por mutación. Es la materia prima de todo lo que viene después en esta página.

17

Clasifica estos cuatro cambios en mutación génica, cromosómica o genómica, y explica en qué te basas: · en un gen, una base pasa de ser citosina a ser timina · un cromosoma pierde un trozo de su extremo · una célula tiene 47 cromosomas en vez de 46 · un trozo de cromosoma se corta y se vuelve a colocar del revés.

Solución

El primero es una **mutación génica**: lo que cambia está dentro de un gen y afecta a una sola base. Es el cambio más pequeño que se puede tener.

El segundo y el cuarto son **mutaciones cromosómicas**: en los dos cambia la **estructura** de un cromosoma, y el número de cromosomas sigue siendo el mismo. En uno se pierde material y en el otro está todo, colocado al revés.

El tercero es una **mutación genómica**, porque lo que cambia es el **número** de cromosomas de la célula: 47 en vez de 46. Ni se ha tocado un gen ni se ha reordenado nada dentro de un cromosoma.

Comprueba este paso: las tres clases se separan por el tamaño de lo que cambia, así que ordénalas de menor a mayor: una base, un trozo de cromosoma, un cromosoma entero. Cada caso cae en un escalón y solo en uno.

18

Una persona trabaja años sin protección con una sustancia mutágena. Le aparecen mutaciones en células de la piel. Explica por qué esas mutaciones no llegarán a sus hijos, y en qué caso sí habrían llegado.

Solución

Una mutación se transmite a las células hijas cuando esa célula se divide. Las células de la piel se dividen mucho, así que el cambio se extiende por esa zona de la piel. Pero ahí se queda: ninguna célula de la piel va a formar un gameto.

Para llegar a los hijos, el cambio tendría que estar en las células que fabrican los gametos. Solo lo que va dentro del óvulo o del espermatozoide entra en el cigoto. Y solo eso estará en todas las células del nuevo individuo.

▲ Que no se herede no quiere decir que dé igual. Una mutación en la piel puede tener consecuencias serias para esa persona: no se transmite y sí le afecta a ella.

Comprueba este paso: sigue el camino de la célula mutada hacia adelante. Si acaba en tejido, la mutación se queda en el individuo; si acaba en gameto, puede pasar a la siguiente generación. Solo hay esos dos finales.

19

Un titular dice: *las mutaciones son errores y todas son perjudiciales*. Explica qué le falta a esa afirmación, usando los tres resultados posibles de un cambio en el ADN.

Solución

Un cambio en el ADN puede acabar en tres sitios distintos, y el titular solo nombra uno. Puede ser **neutro**, y en nuestra especie es lo más habitual: el cambio cae en una zona que no lleva instrucciones, o cambia un triplete por otro que indica la misma pieza. Entonces casi nunca se nota nada. Casi nunca, que no es nunca: hay cambios de esos que sí acaban teniendo efecto.

Puede ser **perjudicial**, que es el caso del titular: estropea una instrucción que hacía falta. Y puede ser **ventajoso** en un ambiente concreto, si el cambio resulta útil en las condiciones que hay.

Además, el titular deja fuera algo sin lo que no se entiende el resto de esta página: las mutaciones son la **única fuente de variantes nuevas** de un gen. Sin ellas no habría nada nuevo sobre lo que pudiera actuar la selección.

Una pista que avisa: cuando una frase clasifica algo en una sola categoría, prueba a buscar un caso de cada una de las otras. Aquí basta con encontrar un cambio neutro para que el *todas* se caiga.

La ingeniería genética: qué se hace y qué se discute

Lo que hay que saber

La **ingeniería genética** es el conjunto de técnicas que permiten leer, cortar y trasladar genes de un ser vivo a otro. Lo que la hace posible es una propiedad del código genético que ya has visto. Abajo se pide identificarla.

Un organismo al que se le ha añadido un gen de otra especie es **transgénico**. El ejemplo más antiguo y más extendido es la **insulina** humana: desde los años ochenta la fabrican bacterias con el gen humano dentro, en vez de extraerla de animales.

La **clonación** es otra cosa: obtener un individuo con el mismo material genético que otro. La oveja Dolly nació en 1996. Se obtuvo trasplantando el núcleo de una célula adulta a un óvulo al que se le había quitado el suyo.

▲ Llamar a un clon «una copia exacta» promete de más, y por dos razones distintas: una es genética y la otra no lo es. Separarlas es justo lo que hay que hacer abajo.

▪ El debate no es sobre si funciona, porque funciona. Va de otras cosas, y ninguna de ellas la contesta la biología sola: hay preguntas de ecología, de derecho y de economía. Uno de los ejercicios de abajo las pone sobre la mesa.

- 20** Se introduce el gen humano de la insulina en una bacteria y la bacteria fabrica insulina humana. Explica qué propiedad del código genético hace posible eso. Di después por qué el resultado sería el mismo con una levadura en lugar de una bacteria.

Solución

Funciona porque el **código genético es prácticamente el mismo en todos los seres vivos conocidos**. El triplete que en una célula humana indica una pieza concreta indica esa misma pieza en una bacteria.

Por eso la bacteria no necesita aprender nada. Copia el gen a ARN mensajero y lo lee con su propia maquinaria, triplete a triplete. Y va colocando los mismos aminoácidos en el mismo orden. El resultado es la misma proteína.

Con una levadura pasaría igual, y por el mismo motivo: también lee el mensaje de tres en tres con el mismo código. Entre una bacteria y una levadura cambian el coste y la rapidez. Y cambia lo bien que cada una trata a la proteína una vez hecha. Lo que no cambia es la lectura del mensaje.

Una pista que avisa: revisa tu respuesta en cuanto hable de que la bacteria *aprende* o *se acostumbra*. Aquí no hay aprendizaje: hay una tabla de equivalencias que ya era común a las dos.

- 21** Un mensaje que circula dice: *comer alimentos transgénicos cambia tus genes*. Explica por qué no es así, y di cuáles de las preocupaciones sobre los transgénicos no se resuelven con esa respuesta.

Solución

El ADN que comes se **digiere**, igual que cualquier otra molécula del alimento: se rompe en piezas pequeñas que se absorben y se usan como material. Eso pasa con el ADN de una lechuga, con el de un filete y con el de un maíz modificado. No hay ninguna vía por la que un gen de la comida acabe colocándose entre los tuyos.

Además, casi todo lo que comes lleva genes, porque casi todo lo que comes fue antes un ser vivo. Si comer genes cambiara los tuyos, llevaría cambiándolos toda la vida.

▲ Que ese argumento concreto no se sostenga no cierra el asunto. Quedan en pie preguntas que no son de digestión. Qué pasa si un cultivo modificado se cruza con plantas silvestres cercanas. Quién es dueño de las semillas y en qué condiciones se las vende. Y quién vigila la seguridad de cada caso. Son preguntas de ecología, de derecho y de economía.

Una pista que avisa: desmontar un argumento malo no demuestra que la conclusión contraria sea verdad. Aquí hay que separar lo que la biología contesta de lo que no le corresponde contestar.

22

En la clonación de la oveja Dolly intervinieron tres ovejas. La primera puso el núcleo de una célula adulta. La segunda puso el óvulo, al que se le había quitado el suyo. La tercera llevó la gestación. Contesta: a) a cuál de las tres se parecía Dolly; b) por qué llamarla *copia exacta* promete de más.

Solución

a) Dolly se parecía a la que puso el **núcleo**. En el núcleo está la inmensa mayoría del ADN, y con él las instrucciones de todos sus rasgos. La que gestó no aportó material genético, y la que puso el óvulo aportó muy poco.

b) *Copia exacta* promete de más por dos motivos. Uno es genético. El óvulo aportó sus **mitocondrias**, que tienen ADN propio. Así que una parte pequeña del ADN de Dolly venía de la segunda oveja.

El otro motivo no es genético. Dos individuos con el mismo ADN criados en sitios distintos no salen iguales: lo que comen, lo que les pasa y hasta el azar durante el desarrollo dejan diferencias. Por eso dos gemelos con el mismo ADN se distinguen.

Comprueba este paso: reparte el ADN entre las tres ovejas antes de contestar. Casi todo de la primera, una parte pequeña de la segunda y nada de la tercera. Con ese reparto delante, las dos preguntas se contestan solas.

Mendel y la herencia de un solo carácter

Lo que hay que saber

Un **carácter** es un rasgo que se puede observar: el color de una semilla, la forma de una vaina. Cada gen puede tener varias versiones, y a cada versión se la llama **alelo**. Un organismo diploide lleva dos alelos de cada gen, uno en cada cromosoma de la pareja.

Cuando los dos alelos coinciden, el individuo es **homocigoto** para ese carácter; cuando no coinciden, es **heterocigoto**. Al alelo que se ve cuando los dos son distintos se le llama **dominante**, y se escribe con mayúscula; al que queda tapado, **recesivo**, en minúscula. Los alelos que lleva un individuo son su **genotipo**; lo que se le nota por fuera, su **fenotipo**.

▲ «Dominante» no significa mejor ni más fuerte: dice solo cómo se comporta un alelo cuando está acompañado del otro. Conviene no mezclarlo con otra cosa muy distinta, y abajo se separan las dos.

Mendel cruzó guisantes y encontró dos regularidades. Al cruzar dos razas puras distintas en un solo rasgo, la **primera generación filial** le salía entera uniforme. Y con el alelo dominante a la vista. Si cruza entre sí a esos descendientes, en la segunda generación reaparece el recesivo, y sale una proporción de **3:1**.

Para calcularlo se usa un **cuadro de cruce**. Se escriben los gametos posibles de un progenitor en una fila y los del otro en una columna. Después se rellena cada casilla juntando los dos. Es aritmética, y se puede hacer en un cuaderno.

▪ Esas cifras son lo que **cabe esperar**, y no una garantía. Con pocos descendientes lo observado puede quedarse lejos, y cuantos más haya, más se acerca.

23

En una planta, el alelo **A** (flor roja) domina sobre **a** (flor blanca). Se cruza una planta homocigota roja con una homocigota blanca. Contesta: a) el genotipo y el fenotipo de toda la primera generación filial; b) qué sale al cruzar entre sí dos plantas de esa generación, con la proporción.

Solución

a) La homocigota roja solo puede dar gametos **A** y la blanca solo gametos **a**. Todas las casillas del cuadro de cruce salen **Aa**: la primera generación filial es **toda heterocigota y toda de flor roja**, porque A tapa a a.

b) En el cruce **Aa × Aa**, cada planta produce gametos A y a por igual. El cuadro de cruce tiene cuatro casillas: AA · Aa · aA · aa. En genotipos sale 1 AA : 2 Aa : 1 aa.

En fenotipos, las tres primeras son rojas (todas llevan al menos una A) y solo la última es blanca. La proporción esperada es **3:1**, tres rojas por cada blanca.

Comprueba este paso: mira si en la segunda generación reaparece el color blanco. Ese es el control que de verdad avisa si has escrito mal los gametos. ▲ Que las proporciones sumen el total no comprueba nada: si en Aa × Aa escribes por error los gametos de un progenitor como A y A, sale 100 % rojas y la suma cuadra perfectamente. Lo que delata el error es que **desaparece el blanco aunque los dos padres puedan transmitirlo**.

24

Con los mismos alelos del cruce anterior, se cruza una planta **Aa** con una **aa**. Calcula los genotipos y los fenotipos de la descendencia con su proporción, y explica qué diferencia hay con el cruce entre dos heterocigotas.

Solución

La planta **Aa** da dos clases de gametos, A y a, en la misma cantidad. La planta **aa** solo puede dar gametos a. El cuadro de cruce tiene dos filas iguales, así que salen dos clases de descendientes.

En genotipos: la mitad **Aa** y la mitad **aa**. En fenotipos: la mitad rojas y la mitad blancas, proporción **1:1**.

La diferencia con el cruce entre dos heterocigotas está en quién aporta el alelo dominante. Aquí solo lo puede aportar uno de los dos, así que la mitad de los descendientes se quedan sin él. Allí lo podían aportar los dos, y por eso las plantas de flor roja pasaban de la mitad a las tres cuartas partes.

Comprobación: en un cruce como este, de un solo gen y con dominancia completa, ningún fenotipo puede aparecer si ninguno de los dos progenitores tiene el alelo que hace falta. Aquí las dos clases que salen se explican con los alelos de los padres, y no aparece ninguna tercera.

25

Dos plantas de flor roja se cruzan entre sí y, entre sus descendientes, aparece una planta de flor blanca. Deduce el genotipo de las dos plantas de partida y explica el razonamiento paso a paso.

Solución

El descendiente de flor blanca tiene que ser **aa**: el blanco es el carácter recesivo, y solo se manifiesta cuando no hay ninguna A que lo tape.

Cada uno de sus dos alelos viene de un progenitor distinto, así que **los dos padres han aportado un alelo a**. Por tanto los dos lo llevan.

Pero los dos son de flor roja, así que los dos llevan también una A. Un genotipo con una A y una a es **Aa**: las dos plantas de partida son **heterocigotas**.

Comprueba este paso: vuelve a hacer el cruce Aa × Aa hacia adelante y mira si puede salir una planta blanca. Si sale, la deducción encaja; si tu respuesta fuera AA × Aa, no podría salir ninguna, y eso contradice el enunciado.

26

En la segunda generación de un cruce entre dos heterocigotas se obtienen **480** descendientes. Contesta: a) cuántos se esperan con el carácter dominante y cuántos con el recesivo; b) si en el recuento real salen 352 y 128, di si eso contradice a Mendel.

Solución

a) La proporción esperada es 3:1, es decir, tres cuartas partes con el carácter dominante y una cuarta parte con el recesivo. Tres cuartas partes de 480 son $480 \cdot 3 / 4 = \mathbf{360}$, y una cuarta parte es $480 / 4 = \mathbf{120}$.

b) No lo contradice. Lo observado, 352 y 128, se parece mucho a lo esperado, 360 y 120: sobran 8 en un lado y faltan 8 en el otro, sobre un total de 480. Lo que Mendel describe son proporciones **que cabe esperar**, como salir cara al lanzar una moneda, y lo observado oscila alrededor de ellas.

Lo que sí importa es el tamaño del recuento. Con 8 descendientes, obtener 7 y 1 no diría gran cosa; con 480, alejarse mucho de 360 y 120 sí sería una señal de que algo más está pasando.

Comprobación: suma las dos cantidades esperadas: $360 + 120 = 480$, que es el total del enunciado. Si no te cuadra, has repartido mal las cuartas partes.

27

Un compañero razona así: *si un alelo es dominante, tiene que ser el más frecuente entre las personas; por eso casi todo el mundo tiene cinco dedos y no seis*. Explica qué confunde ese razonamiento y da un ejemplo que lo desmonte.

Solución

Confunde dos cosas que no tienen relación: **dominante** dice cómo se comporta un alelo cuando está acompañado del otro, y **frecuente** dice cuántas copias hay de él en una especie. Una es una regla de manifestación; la otra es un recuento.

El ejemplo que lo desmonta es justo el que él usa al revés. La **polidactilia** es tener dedos de más, y hay formas suyas que se heredan como carácter **dominante** y son poco frecuentes. Quien lleva uno de esos alelos lo manifiesta, y aun así hay muy pocas copias de él. No todas las polidactilias se heredan igual: también las hay recesivas, y no dependen todas del mismo gen.

Que casi todo el mundo tenga cinco dedos no se explica por la dominancia. Se explica porque las variantes que dan dedos de más son raras: hay muy pocas copias de ellas. Lo que decide cuántos lo tienen es cuántas copias hay, no si tapa o no tapa al otro.

Una pista que avisa: cuando en un razonamiento aparezcan a la vez *dominante* y *la mayoría*, conviene separarlos. Comprueba si de verdad se necesita el uno para el otro antes de seguir.

Problemas de herencia: lo que dicen los antepasados

Lo que hay que saber

Un **árbol genealógico** es el registro de quién tiene un carácter y quién no a lo largo de varias generaciones de una familia. Con él se puede deducir si el alelo responsable es dominante o recesivo, y a veces el genotipo de cada uno.

La deducción más útil parte de una situación concreta: unos padres que **no** presentan un carácter y un hijo que sí lo presenta. De ahí se saca si el alelo es **dominante** o **recesivo**, contando con que un alelo dominante siempre se manifieste. Y también el genotipo de los padres. Es justo lo que se pide en uno de los ejercicios de abajo.

A un heterocigoto que no manifiesta el carácter recesivo pero puede transmitirlo se le llama **portador**. ▲ La palabra solo tiene sentido con alelos recesivos: en un carácter dominante, quien lleva el alelo lo enseña.

Cuando el genotipo de un individuo no se puede deducir, se escribe con un guion: **A_** significa «lleva al menos un alelo dominante y el otro no se sabe». Es más honesto que elegir uno al azar.

▪ Y hay una pregunta que estos problemas acaban planteando: si una pareja ya ha tenido un hijo con el carácter, ¿cambia eso lo que le toca al siguiente? La contesta otro de los ejercicios de abajo.

28

En una familia, ni Marta ni Julio presentan un determinado carácter. Tienen tres hijos: dos no lo presentan y el tercero sí. Contesta: a) si el alelo responsable es dominante o recesivo, y cómo se sabe; b) el genotipo de Marta y de Julio; c) el genotipo del hijo que lo presenta.

Solución

a) Es **recesivo**, y lo dice esta observación: el carácter aparece en un hijo cuyos dos padres no lo presentan. Con un alelo dominante, quien lo lleva lo manifiesta, así que al menos uno de los padres tendría que presentarlo. Como ninguno lo hace, la explicación es que sea recesivo y esté tapado en los dos. La deducción se apoya en que un alelo dominante siempre se nota. Eso es lo que se supone en estos problemas, y en la realidad no se cumple siempre.

b) Llamando **a** al alelo recesivo, el hijo afectado es **aa** y ha recibido una **a** de cada padre. Como Marta y Julio no manifiestan el carácter, los dos llevan además una **A**. Los dos son **Aa**, es decir, portadores.

c) El hijo que lo presenta es **aa**. Es el único genotipo que permite que un carácter recesivo se vea.

Comprueba este paso: intenta explicar la familia suponiendo que el alelo es dominante. Al hacerlo tendrás que dar a un padre un alelo dominante que no manifiesta, y eso contradice lo que significa ser dominante. Que la alternativa no se sostenga es lo que cierra el apartado a.

29

Los padres del caso anterior esperan un cuarto hijo. Contesta: a) la probabilidad de que presente el carácter; b) la probabilidad de que no lo presente pero sea portador; c) si el hecho de que ya tengan un hijo afectado cambia esas probabilidades.

Solución

a) El cruce $Aa \times Aa$ reparte 1 **AA** : 2 **Aa** : 1 **aa**. El carácter se ve solo en **aa**, una casilla de las cuatro, así que sale $\frac{1}{4}$, un 25 %.

b) Portador significa llevar el alelo recesivo sin manifestarlo, o sea **Aa**, que son dos de las cuatro casillas: la probabilidad es $\frac{2}{4}$, un 50 %.

c) No las cambia. Cada descendiente se forma con un gameto de cada padre elegidos al azar, con independencia de lo que haya pasado antes. La probabilidad no lleva la cuenta de los hijos anteriores, igual que una moneda no recuerda las tiradas previas.

Comprobación: suma las probabilidades de los tres genotipos posibles: $\frac{1}{4} + \frac{2}{4} + \frac{1}{4} = 1$. Si no te da 1, falta alguna casilla o has contado alguna dos veces.

Un carácter aparece en un abuelo, no aparece en ninguno de sus hijos y vuelve a aparecer en un nieto. Explica cómo es posible sin que nadie haya cambiado. Explica después por qué la expresión *se salta una generación* describe bien lo que se observa y mal lo que ocurre.

Solución

Es posible porque el alelo recesivo **no desaparece al quedar tapado**. El abuelo es aa. Sus hijos reciben de él una a y de la madre una A, así que son Aa: llevan el alelo y no lo manifiestan. Son portadores.

Supón que uno de esos hijos tiene descendencia con otra persona que también sea portadora. Entonces su hijo puede recibir una a de cada lado y ser aa. El carácter reaparece en el nieto.

La expresión *se salta una generación* describe bien lo que se ve: en la generación de en medio no se observa. Describe mal lo que pasa, porque el alelo estaba allí todo el tiempo, en la mitad de los cromosomas de esas personas. No se saltó nada: estuvo tapado.

Una pista que avisa: en genética conviene distinguir siempre lo que se ve de lo que se lleva. Muchas frases que suenan raras se aclaran solas al separar el fenotipo del genotipo.

Cómo cambian los seres vivos: de Lamarck a Darwin

Lo que hay que saber

Durante siglos se dio por hecho que las especies eran fijas y no cambiaban. A esa idea se la llama **fijismo**. La **evolución** sostiene lo contrario: las especies actuales descienden, con cambios, de otras anteriores.

Lamarck (1809) fue el primero en proponer un mecanismo completo. Según él, el uso continuado de un órgano lo desarrolla y el desuso lo atrofia. Y ese cambio adquirido en vida se transmite a los hijos. El cuello de la jirafa se habría alargado a fuerza de estirarlo.

Darwin (1859) lo explicó de otra manera. En una **población** hay **variabilidad**: los individuos no son iguales, y esas diferencias están ahí **antes** de que el ambiente apriete. Nacen muchos más de los que el sitio puede mantener, y los que encajan mejor con ese ambiente dejan más descendencia. Como buena parte de esas diferencias se heredan, la proporción cambia generación tras generación. Eso es la **selección natural**.

▲ Llamamos **adaptación** a lo que encaja con **un ambiente concreto**, y no a una mejora general. No hay dirección ni meta: un mismo rasgo puede pasar de ventaja a estorbo sin cambiar él en nada, solo porque cambie el entorno.

▪ Dos precisiones que ahorran errores, y las dos se practican abajo. Una: qué le pasa exactamente a un **individuo** a lo largo de su vida, y qué es lo que cambia entonces. Otra: por qué «sobrevive el más fuerte» es un resumen tramposo.

En una población de escarabajos hay individuos verdes y marrones. El bosque donde viven se va volviendo oscuro por un incendio antiguo, y con los años casi todos los escarabajos son marrones. Explica ese cambio como lo habría explicado Lamarck y como lo explica Darwin, y di en qué punto exacto se separan las dos explicaciones.

Solución

Lamarck lo explicaría así. Al vivir sobre un suelo oscuro, cada escarabajo se va oscureciendo a lo largo de su vida. Y transmite a sus hijos ese color adquirido. Generación tras generación el cambio se acumula y la población acaba siendo marrón.

Darwin lo explica de otra manera: en la población **ya había** escarabajos verdes y marrones antes del incendio. Sobre un suelo oscuro, los marrones pasan más desapercibidos, sobreviven más y dejan más descendencia. Como el color se hereda, la proporción de marrones sube en cada generación.

Las dos se separan en un punto muy concreto: **de dónde sale la variación**. Para Lamarck la produce el ambiente durante la vida del individuo. Para Darwin ya estaba ahí antes, y el ambiente

solo decide quién deja más descendencia.

Comprueba este paso: pregúntate si en tu explicación algún escarabajo concreto cambia de color durante su vida. Si cambia, estás contando la versión de Lamarck; si ninguno cambia y lo que cambia son las cantidades, estás contando la de Darwin.

32

En un campo hay **2.000** insectos de una plaga. De ellos, **40** llevan una variante que les permite sobrevivir a un insecticida. Se aplica el insecticida y mueren todos los demás. Los supervivientes se reproducen hasta que la población vuelve a ser de 2.000. Contesta: a) qué porcentaje llevaba la variante antes; b) qué porcentaje la lleva después; c) si algún insecto ha cambiado.

Solución

a) Antes del tratamiento, 40 de 2.000 llevan la variante. El porcentaje es $40 / 2.000 = 0,02$, es decir, un **2 %**.

b) Después del tratamiento solo quedan vivos esos 40, y son los que se reproducen. Como la variante se hereda y toda la población nueva sale de ellos, pasa de rarísima a corriente: del 2 % a casi todos. Llegar justo al **100 %** depende de cómo se transmita la variante, y el enunciado no lo dice.

c) **Ningún insecto ha cambiado.** Cada uno nació con la variante o sin ella y se murió igual que nació. Lo que ha cambiado es la composición de la población, porque el insecticida ha eliminado a unos y no a otros.

Comprobación: mira si en algún momento de tu respuesta un individuo pasa de no tener la variante a tenerla. No debe ocurrir: esa es la diferencia entre que evolucione una población y que cambie un individuo, y aquí solo pasa lo primero.

33

Dos frases muy repetidas: *la evolución mejora a las especies* y *este animal se ha adaptado al frío a lo largo de su vida*. Explica qué tiene de falso cada una y qué habría que decir en su lugar.

Solución

La primera da por hecho que hay una dirección y una meta. No existe ninguna de las dos. Lo que hace la selección natural es favorecer lo que encaja con **un ambiente concreto**, y los ambientes cambian. Un pelaje espeso es una ventaja mientras hace frío. Y es un estorbo si el clima se templaba, sin que el pelaje haya cambiado en nada.

Además, *mejor* tendría que serlo para algo. Una especie muy bien ajustada a un ambiente muy estable puede desaparecer en cuanto ese ambiente se altera, mientras que otra menos especializada aguanta. En su lugar hay que decir que la evolución **ajusta a las condiciones del momento**.

La segunda confunde individuo y población. Un individuo puede aclimatarse dentro de lo que le permite su cuerpo, pero no adquiere rasgos nuevos que transmitir. Lo correcto es decir que **la población está adaptada**. La proporción de individuos con ciertos rasgos ha ido cambiando a lo largo de muchas generaciones.

Una pista que avisa: revisa el sujeto de tus frases sobre evolución. Si el sujeto es un individuo y el verbo es *evolucionar*, casi siempre hay que cambiar el sujeto a la población. Lo mismo con *adaptarse* en el sentido de cambiar.

Las pruebas de que la evolución ha ocurrido

Lo que hay que saber

Los **fósiles** son restos o señales de seres vivos del pasado conservados en las rocas. Enseñan que hubo especies que ya no existen. Enseñan que otras aparecen en un momento concreto. Y enseñan que hay formas con rasgos intermedios entre dos grupos actuales.

La anatomía comparada aporta tres piezas. Los **órganos homólogos** tienen el mismo plan de construcción y distinta función: la pata de un caballo y el ala de un murciélago llevan los mismos huesos en el mismo orden. Los **órganos análogos** sirven para lo mismo y por dentro están montados de otra manera. Por ejemplo, el ala de una mariposa frente a la de un murciélago. Los **órganos vestigiales** son restos muy reducidos de algo que en los antepasados servía para otra cosa. Vestigial no quiere decir inútil: algunos conservan alguna función, solo que no la que tuvieron. Una ballena, por ejemplo, conserva huesos de la pelvis y no tiene patas traseras.

▲ Aquí hay un error que no lleva ninguna palabra sospechosa: son los **homólogos** los que indican parentesco. El parecido de los análogos viene de resolver el mismo problema, no de venir del mismo sitio. La bioquímica es hoy la prueba más fina. Todos los seres vivos usan el mismo ADN y casi el mismo código genético. Y cuanto más parecidas son dos especies, más se parecen sus genes, porque menos tiempo hace que se apartaron de su **antepasado común**. El ser humano y el chimpancé comparten en torno al 98-99 % de las zonas de ADN que se pueden comparar letra a letra. El porcentaje cambia según qué se compare, así que el dato no vale sin decir eso.

▪ De ahí sale también por qué «venimos del mono» está mal dicho, aunque la frase se repita mucho. Colocar bien a las dos especies en el parentesco se pide en uno de los ejercicios de abajo.

34

Clasifica cada caso y justifica la elección: · el brazo de una persona y la aleta de un delfín · el ala de un ave y el ala de un insecto · el ojo de un pulpo y el ojo de una persona · el cóccix de una persona.

Solución

El **brazo y la aleta** son **órganos homólogos**: llevan los mismos huesos, en el mismo orden y en la misma posición, aunque uno sirva para manipular y otro para nadar. Mismo plan de construcción y distinta función.

El **ala de un ave y la de un insecto** son **órganos análogos**: hacen lo mismo y están construidas de forma completamente distinta. Una tiene huesos y plumas, y la otra no tiene ni una cosa ni la otra. El parecido viene de resolver el mismo problema, no de venir del mismo sitio.

El **ojo de un pulpo y el de una persona** también son **análogos**: los dos forman imágenes y su construcción es distinta, lo que indica que surgieron por separado. El **cóccix** es un **órgano vestigial**: el resto de una estructura que en otros animales sostiene una cola.

Una pista que avisa: pregúntate primero *¿por dentro están hechos igual?* y solo después *¿sirven para lo mismo?* Las dos preguntas juntas separan los tres casos, y el orden importa: empezar por la función lleva a llamar homólogos a dos alas que no lo son.

35

Se compara el ADN de tres especies. El ser humano y el chimpancé comparten en torno al **98 %** de las zonas que se pueden comparar letra a letra; el ser humano y un ratón, bastante menos; el ser humano y una levadura, mucho menos todavía. Explica qué indica ese orden y por qué la frase *el ser humano viene del chimpancé* está mal dicha.

Solución

El orden indica **cuánto tiempo hace que dos especies se separaron**. Cuanto más recientemente compartieron un antepasado, menos tiempo ha habido para que se acumulen diferencias en su ADN, y más parecido queda. El parecido es una medida indirecta de la cercanía del parentesco.

Que todas compartan una parte, incluso la levadura, dice algo más: hay instrucciones tan básicas que vienen del antepasado común de todos los seres vivos y apenas han cambiado desde entonces.

Viene del chimpancé está mal dicho porque coloca a una especie actual como origen de otra especie actual. Lo que hubo es un **antepasado común** que no era un ser humano ni un chimpancé. De él descienden los dos por caminos distintos. Un primo no desciende de otro primo.

Comprueba este paso: dibuja mentalmente la relación como una familia. Si en tu explicación una de las dos especies actuales está por encima de la otra, está mal colocada: las dos tienen que estar al mismo nivel y unirse hacia atrás.

36

Un grupo pequeño de lagartijas llega a una isla, arrastrado por una tormenta, y queda aislado del continente. Pasan miles de generaciones. Explica por qué es de esperar que acaben siendo distintas de las del continente, nombrando al menos dos motivos.

Solución

El primer motivo es que el **ambiente de la isla no es el mismo**. Habrá otros alimentos, otros depredadores o ninguno, y otro clima. La selección natural favorece rasgos distintos a los que favorece en el continente, así que las dos poblaciones se van ajustando a condiciones diferentes.

El segundo es que **no intercambian descendencia**. Mientras dos poblaciones se cruzan, lo que aparece en una acaba llegando a la otra y las diferencias se reparten. Aisladas, cada una acumula por su cuenta las variantes nuevas que van apareciendo.

Hay un tercer motivo, y tiene que ver con el tamaño. El grupo que llega es pequeño. No lleva toda la variedad que había en el continente, sino la parte que llevarán esos pocos individuos. Se parte, por tanto, de un punto distinto.

Una pista que avisa: vuelve a leer tu respuesta si en ella las lagartijas cambian *porque lo necesitan*. Nada las obliga a cambiar: lo que ocurre es que unas dejan más descendencia que otras, y con el tiempo eso se nota.

El ecosistema y el viaje de la energía

Lo que hay que saber

Llamamos **ecosistema** a dos cosas que no se pueden separar. Por un lado el **biotopo**, que es el medio físico con sus condiciones. Y la **biocenosis**, que es el conjunto de seres vivos que hay allí, con sus relaciones.

Los seres vivos hacen tres papeles. Los **productores** se fabrican ellos mismos la materia orgánica partiendo de sustancias sin vida, y casi siempre lo hacen con luz, por **fotosíntesis**. Los **consumidores** la toman comiendo a otros. Los **descomponedores** transforman los restos y devuelven al medio la materia inorgánica.

Una **cadena trófica** ordena quién come a quién, y cada escalón es un **nivel trófico**. ▲ Llamarlo cadena es una simplificación útil, y conviene saber en qué se queda corta: cuando esos caminos se cruzan se habla de una **red trófica**. Abajo se explica por qué eso cambia las respuestas.

La energía entra en el ecosistema como luz, va pasando de nivel en nivel y sale como calor. Ese viaje es **de ida**: la energía no vuelve a entrar en el circuito. La materia, en cambio, sí da vueltas, y son los descomponedores los que cierran el círculo.

En cada paso de nivel se pierde la mayor parte de la energía. Cada ser vivo gasta casi todo lo que come en vivir. Como regla de cálculo se usa que pasa alrededor del **10 %**. ■ Es una regla aproximada, no una ley: lo que se mide en ecosistemas reales cambia mucho de unos a otros, y el 10 % solo sirve para hacerse una idea.

Por eso la **energía** disponible disminuye al subir de nivel, y por eso las cadenas que se ven en la naturaleza son cortas. No es una decisión de nadie: es lo que da la aritmética. La **biomasa**, que es la cantidad de materia viva, suele bajar también. Pero no siempre. En el mar hay menos biomasa de algas en cada momento que de los animales que se las comen, porque esas algas se renuevan muy deprisa.

- 37** Los productores de un ecosistema fijan **45.000** kilojulios por metro cuadrado y año. Aplicando la regla del 10 %, contesta: a) cuánta energía llega al segundo nivel; b) cuánta al tercero; c) por qué un cuarto nivel formado por grandes depredadores es difícil de sostener.

Solución

a) Del primer nivel al segundo pasa alrededor de la décima parte: $45.000 / 10 = 4.500$ kilojulios por metro cuadrado y año.

b) Del segundo al tercero, otra vez la décima parte: $4.500 / 10 = 450$ kilojulios por metro cuadrado y año. En dos saltos ha quedado la centésima parte de lo que entró.

c) Porque de un cuarto nivel solo quedarían unos 45 kilojulios, la milésima parte de lo que fijaron los productores. Un animal grande necesita mucha energía solo para mantenerse, así que con esa cantidad no se sostiene una población numerosa. ▲ La regla del 10 % es aproximada. Lo medido en ecosistemas reales cambia mucho de unos a otros. Estas cifras son un orden de magnitud, no una medida.

Comprueba este paso: comprueba que cada resultado es la décima parte del anterior y no del primero. Un error habitual es restar el 10 % en vez de quedarse con el 10 %. Con esa cuenta salen 40.500 y 36.450: casi todo lo que entró, en lugar de casi nada.

- 38** En una laguna, las algas son comidas por unos pequeños crustáceos. Los crustáceos, por peces pequeños. Los peces pequeños, por una garza. Y los restos de todos los transforman bacterias del fondo. Contesta: a) ordena la cadena y di qué papel hace cada uno; b) qué le pasaría a la garza si desapareciesen los crustáceos; c) por qué llamar a esto cadena es una simplificación.

Solución

a) El orden es: algas → crustáceos → peces pequeños → garza, y las bacterias aparte, actuando sobre los restos de todos. Las algas son **productores**; crustáceos, peces y garza son **consumidores** de primer, segundo y tercer orden; las bacterias son **descomponedores**.

b) A la garza le afectaría aunque no coma crustáceos. Sin crustáceos, los peces pequeños se quedan sin alimento y disminuyen, y al disminuir ellos la garza se queda sin el suyo. El efecto viaja hacia arriba a través del nivel de en medio.

c) Porque casi ningún ser vivo come una sola cosa. La garza probablemente come también anfibios e insectos, y los peces pequeños comen más cosas además de crustáceos. Lo real es una **red trófica** con muchos caminos, y por eso quitar un eslabón no siempre deja a nadie sin comer.

Una pista que avisa: antes de contestar qué pasa si desaparece una especie, mira si quien la come tiene otras opciones. Si las tiene, el efecto se amortigua; si no las tiene, se transmite entero.

39

Clasifica en productor, consumidor o descomponedor, y justifica los dos casos que más se confunden: · un roble · una vaca · un hongo que crece sobre un tronco caído · un buitre · una bacteria del suelo que transforma restos vegetales.

Solución

El **roble** es **productor**: se fabrica él mismo la materia orgánica partiendo de sustancias sin vida, con la luz. La **vaca** es **consumidor**, porque toma esa materia comiendo a otro ser vivo.

El **hongo** sobre el tronco caído y la **bacteria del suelo** son **descomponedores**: transforman restos y devuelven al medio materia inorgánica que los productores podrán volver a usar.

Los dos que más se confunden son el buitre y el hongo. El **buitre** es un **consumidor**, aunque coma restos: se traga la materia orgánica y la aprovecha como cualquier otro animal, y lo que queda de él son también restos. El hongo, en cambio, transforma la materia orgánica hasta devolverla al medio en forma inorgánica. Lo que decide no es comer restos, es **en qué se convierte lo que se come**.

Una pista que avisa: comer restos no basta para ser descomponedor, y por eso este grupo se llena de casos dudosos. La pregunta útil es si al final de su trabajo la materia vuelve al medio como materia inorgánica.

Los ciclos de la materia y cómo cambia un ecosistema

Lo que hay que saber

Un **ciclo biogeoquímico** es el recorrido de un elemento químico entre los seres vivos y el medio. Como la materia no se crea, los mismos átomos van dando vueltas desde que existe la vida.

En el ciclo del **carbono**, los productores toman dióxido de carbono (CO_2) del aire y lo incorporan a materia orgánica. Esa materia pasa por la cadena trófica. La respiración de todos los seres vivos y la descomposición lo devuelven al aire. Una parte queda atrapada en el suelo y en las rocas durante millones de años, en forma de carbón, petróleo o caliza.

En el ciclo del **agua**, el agua se evapora, se condensa, precipita y vuelve al mar por los ríos y por el subsuelo. En el del **nitrógeno**, el del aire no lo puede usar casi nadie directamente: hay bacterias que lo transforman en compuestos aprovechables y otras que lo devuelven al aire.

Un ecosistema no se queda quieto. La **sucesión ecológica** es la sustitución ordenada de unas comunidades por otras en el mismo sitio. Empieza con especies que aguantan condiciones duras y suele avanzar hacia comunidades con más especies y más biomasa, hasta una situación bastante estable llamada **clímax**. El camino no está escrito de antemano. Quién llegue primero, cómo se traten entre ellos y un incendio a destiempo pueden llevarla a otro sitio.

▲ El **clímax** no es «un bosque» ni «lo mejor». Merece la pena averiguar qué decide de verdad dónde se para una sucesión. Eso, y qué ocurre cuando un incendio o una tala la devuelven atrás, ocupan un ejercicio entero de este bloque.

40

Ordena el recorrido completo de un átomo de carbono a partir de estos pasos: · lo respira una vaca y sale a la atmósfera como CO_2 · está en el aire formando parte de una molécula de CO_2 · una planta lo incorpora a su materia orgánica · la planta es comida por una vaca. Después explica qué recorrido alternativo tendría ese mismo átomo si nadie se comiera la planta.

Solución

El orden es: paso **1** está en el aire formando parte de una molécula de CO_2 · paso **2** una planta lo incorpora a su materia orgánica · paso **3** la planta es comida por una vaca · paso **4** lo respira la vaca y sale a la atmósfera como CO_2 . El recorrido acaba donde empezó, y por eso se llama ciclo.

Si nadie se comiera la planta, el átomo podría volver al aire antes: la planta también respira, y al respirar suelta CO_2 . Y si se queda en ella hasta que muera, los descomponedores transformarán sus restos y el carbono volverá igualmente a la atmósfera. El camino es distinto y el final, el mismo.

Hay un tercer recorrido posible y mucho más lento: que esos restos queden enterrados sin descomponerse del todo y el carbono se quede atrapado en el subsuelo durante millones de años. De ahí vienen el carbón y el petróleo.

Comprueba este paso: asegúrate de que tu recorrido vuelve al punto de partida. Si acaba en un ser vivo y no regresa al medio, te falta un paso. Será el de la respiración o el de la descomposición: son los que cierran el círculo.

41

El carbón que se quema hoy en una central viene de restos de plantas. Esas plantas vivieron hace unos **300 millones de años**. Explica en qué se diferencia quemar ese carbón de quemar leña de un bosque que se replanta. Razónalo desde el punto de vista del ciclo del carbono.

Solución

La leña de un bosque replantado participa en el ciclo **corto**. El carbono que sale al quemarla estaba en el aire hace pocas décadas. Lo fijaron esos árboles. Y los árboles nuevos que crecen en su lugar volverán a fijar una cantidad comparable. Entra y sale más o menos al mismo ritmo.

El carbón participa en el ciclo **largo**, y eso lo cambia todo. Ese carbono llevaba unos 300 millones de años fuera de circulación, guardado bajo tierra. Al quemarlo se devuelve a la atmósfera en unos

minutos carbono que había tardado centenares de millones de años en retirarse.

La diferencia, por tanto, no está en la reacción, que es parecida, sino en el **ritmo**. Se está sacando en unas décadas lo que se guardó a lo largo de centenares de millones de años. Y no hay ningún proceso natural que lo retire a esa velocidad.

Una pista que avisa: en los ciclos de la materia, comparar cantidades sin comparar ritmos lleva a conclusiones equivocadas. Lo que decide si algo se acumula es la diferencia entre lo que entra y lo que sale por unidad de tiempo.

42

Compara dos situaciones: en el terreno **A** un incendio ha arrasado un pinar y queda el suelo; en el terreno **B** se ha retirado un glaciar y queda roca desnuda. Explica en qué se parecen y en qué se diferencian las dos sucesiones. Di después por qué es arriesgado afirmar que las dos acabarán en un bosque.

Solución

Se parecen en el mecanismo. En los dos sitios se instalan primero especies que aguantan condiciones duras. Esas especies van modificando el lugar hasta permitir la entrada de otras. Con el tiempo aumentan las especies, la biomasa y la complejidad de las relaciones.

Se diferencian en el punto de partida, y por eso van a ritmos muy distintos. En **A** ya hay suelo, con sus nutrientes y con semillas y raíces que han sobrevivido. La recuperación puede ser cuestión de décadas. En **B** hay que formar el suelo desde cero, a partir de la roca, y eso son siglos.

Decir que las dos acabarán en un bosque es arriesgado. El punto final no lo decide la sucesión: lo deciden **el clima y el suelo de cada sitio**. Si el terreno es muy seco o el suelo muy pobre, la comunidad estable será un matorral o un pastizal. El clímax es lo que el lugar admite, no un destino igual para todos. Y tampoco es un punto final fijo: quién colonice primero y el siguiente incendio también cuentan.

Una pista que avisa: cuando una respuesta sobre sucesión termine siempre en la misma comunidad, sea cual sea el sitio, conviene revisarla. La pregunta que falta es qué clima y qué suelo hay allí.

Los recursos, los impactos y la contaminación

Lo que hay que saber

Un **recurso natural** es todo lo que se toma del medio y sirve para algo. Es **renovable** si se repone en un tiempo comparable al que tardamos en usarlo. Es **no renovable** si se formó en escalas de millones de años, como el petróleo o un mineral.

▲ Renovable no quiere decir inagotable. Hay un segundo dato, que no es la etiqueta del recurso, y es el que decide de verdad si algo se agota: averiguar cuál es lo trabaja un ejercicio de abajo.

La **contaminación** es la presencia en el medio de sustancias o de energía en cantidad suficiente para alterarlo. En el aire, los gases de la combustión y las partículas. En el agua, los vertidos urbanos, industriales y agrícolas. En el suelo, los residuos y los productos agrícolas que se acumulan.

Dos problemas atmosféricos que conviene no mezclar, porque tienen causas distintas. El **efecto invernadero** es natural y necesario: sin él la temperatura media sería de unos $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$. El problema es su aumento, por los gases que soltamos al quemar combustibles. La destrucción de la capa de ozono es otra cosa: la causaban unos gases concretos usados en refrigeración y en aerosoles.

La **eutrofización** es lo que pasa cuando llegan a un agua demasiados nutrientes, por abonos o por vertidos. Lo que viene después es una cadena de acontecimientos con un orden concreto, y puede acabar con los peces muertos. No es un final obligatorio: depende de cuánto nutriente llegue y de cómo sea ese agua. ■ La causa de esas muertes no es la que parece a primera vista. Hay abajo un ejercicio que la persigue paso a paso.

Frente a los **residuos** se recomienda un orden: primero reducir, después reutilizar y en último lugar reciclar. Que ese orden sea justo ese, y no otro, tiene un motivo que se trabaja abajo.

43

Clasifica en renovable o no renovable, y justifica los dos casos que tienen matiz: · el petróleo · la madera de un bosque gestionado · un banco de sardinas · el cobre de una mina · el agua de un acuífero del que se extrae más de lo que se recarga.

Solución

Son **no renovables** el **petróleo** y el **cobre** de una mina: se formaron en escalas de millones de años y no se reponen a un ritmo comparable al que los usamos. Son **renovables** la **madera** de un bosque gestionado y el **banco de sardinas**, porque se reponen solos en plazos de años.

El primer caso con matiz es el banco de sardinas. Ser renovable no significa ser inagotable: si cada año se pesca más de lo que nace, el banco disminuye hasta desaparecer. Lo que decide no es la etiqueta del recurso, es el **ritmo de uso comparado con el de reposición**.

El segundo caso con matiz es el **acuífero**, y por eso el enunciado precisa cómo se usa. El agua subterránea es renovable en principio, porque la recarga la lluvia. Pero si se extrae más de lo que entra, se está gastando una reserva que tardó siglos en acumularse. Entonces se comporta como un recurso no renovable.

Una pista que avisa: antes de clasificar un recurso, mira si el enunciado dice algo sobre el ritmo al que se usa. Si lo dice, ese dato está ahí porque cambia la respuesta.

44

En un embalse se vierten aguas con muchos nutrientes procedentes de abonos. Ordena y explica lo que ocurre a partir de estos cinco hechos: · el oxígeno disuelto del agua baja mucho · las algas crecen enormemente en la superficie · los peces mueren · las algas mueren y se acumulan en el fondo · las bacterias descomponen las algas muertas. Después explica por qué decir que los peces mueren porque el agua está sucia es una explicación pobre.

Solución

El orden es: paso **1** las algas crecen enormemente en la superficie · paso **2** las algas mueren y se acumulan en el fondo · paso **3** las bacterias descomponen las algas muertas · paso **4** el oxígeno

disuelto del agua baja mucho · paso **5** los peces mueren.

El motor de todo es el paso 3. Descomponer una cantidad enorme de materia orgánica consume una cantidad enorme de oxígeno disuelto. Y ese oxígeno es el que los peces necesitan para respirar. La capa de algas de la superficie agrava el problema porque tapa la luz y frena a las plantas del fondo, que aportaban oxígeno.

Decir que mueren porque el agua está sucia es pobre porque no explica nada: no dice qué les mata. Mueren **asfixiados**, y la paradoja es que ocurre en un agua llena de alimento. Con la explicación correcta se sabe además qué hay que hacer, que es cortar la entrada de nutrientes, y no limpiar la superficie.

Comprueba este paso: sigue el oxígeno a lo largo de tu orden. Tiene que ser abundante al principio y escaso justo antes de que mueran los peces. Y el hundimiento grande tiene que ir detrás de la descomposición, que es lo que consume ese oxígeno. Las algas vivas también gastan oxígeno de noche, pero eso solo no basta para una mortandad.

45

Una localidad de **12.000** habitantes genera **1,2** kilogramos de residuos por persona y día. Contesta: a) cuántas toneladas genera al año, tomando el año de 365 días; b) cuántas toneladas se ahorrarían con una reducción del 15 %; c) por qué reducir figura antes que reciclar en el orden recomendado.

Solución

a) Al día se generan $12.000 \cdot 1,2 = \mathbf{14.400}$ kilogramos, es decir, 14,4 toneladas. Al año, $14,4 \cdot 365 = \mathbf{5.256}$ toneladas.

b) El 15 % de 5.256 es $5.256 \cdot 15 / 100 = \mathbf{788,4}$ toneladas al año. Quedarían $5.256 - 788,4 = 4.467,6$ toneladas.

c) Porque reciclar no es gratis: recoger, transportar y transformar un residuo consume energía, agua y trabajo, y el material reciclado a menudo no vale igual que el original. El residuo que no se genera no hay que tratarlo de ninguna manera, así que ahorra todo eso de golpe. Reutilizar queda en medio: no evita fabricar el objeto, pero alarga su uso sin volver a transformarlo.

Comprobación: rehaz el apartado b por otro camino. Si se reduce un 15 %, queda el 85 %, y $5.256 \cdot 85 / 100 = 4.467,6$ toneladas. Coincide con la resta, así que el porcentaje está bien aplicado.

Una Tierra que se mueve: de la deriva continental a las placas

Lo que hay que saber

Wegener defendió en 1912 una idea llamada **deriva continental**: las tierras emergidas estuvieron unidas en una sola masa y luego se apartaron. Reunió pruebas de cuatro clases. El encaje de unas costas con otras. Fósiles de una misma especie repartidos en tierras que hoy están separadas. Cadenas montañosas y rocas que siguen al otro lado del océano. Y huellas de climas antiguos que hoy no pegan con el sitio donde están.

▲ Sus pruebas eran buenas y aun así se le rechazó durante décadas, y el motivo no es que nadie le hiciera caso. Le faltaba algo que una explicación necesita para que la acepten, por muchos indicios que la acompañen; averiguar qué era es el objeto de un ejercicio de los de abajo. Eso que le faltaba llegó en los años sesenta.

Por fuera, la Tierra tiene una envuelta rígida llamada **litosfera**. Viene rota en trozos llamados **placas**, que se desplazan unos respecto de otros. Debajo está la **astenosfera**. ■ La astenosfera es **sólida**: se deforma muy despacio, como plastilina caliente, y no es un mar de lava. Los continentes no flotan sobre nada líquido.

Una placa no es un continente. Puede llevar continente, fondo oceánico o las dos cosas, y la placa Pacífica es casi toda fondo oceánico. Una placa avanza cada año **unos pocos centímetros**: casi nada para una vida humana y muchísimo en escala geológica. Lo más corriente es entre 2 y 10, y las hay más lentas y más rápidas.

Los bordes son de tres tipos, y lo que los separa es una sola cosa: si allí la corteza se fabrica, se pierde o ni lo uno ni lo otro. En un **borde divergente** las dos placas se apartan. En un **borde convergente** se acercan hasta chocar. Si una de ellas es de fondo oceánico, se mete debajo de la otra: eso es la **subducción**. En un **borde de deslizamiento** se rozan de lado. Qué relieve deja cada uno y qué clase de terremotos produce es lo que se practica abajo. Ahí salen la **dorsal**, la fosa con volcanes y la cordillera.

46

Clasifica cada borde en divergente, convergente o de deslizamiento, y di qué se forma en cada uno: · en el fondo del océano sale material del interior y se forma corteza nueva · una placa de fondo oceánico se mete debajo de una continental · chocan dos masas continentales · dos placas se rozan de lado sin crear ni destruir corteza · un continente se está partiendo y entre los dos trozos se abre un valle alargado.

Solución

El primero es **divergente**: las dos se apartan y el material que asoma por el hueco forma corteza oceánica nueva. Lo que se dibuja en el fondo del océano es una **dorsal**. El quinto también es **divergente**, aunque no lo parezca: es el mismo proceso empezando sobre un continente, y el valle alargado es lo que se ve antes de que llegue el mar.

El segundo y el tercero son **convergentes**. En el segundo, la de fondo oceánico es más densa y se mete debajo de la continental: eso es la **subducción**, y deja una fosa, volcanes y terremotos cada vez más hondos hacia el interior. En el tercero ninguna se hunde, porque las dos son continentales, así que el material se amontona y se levanta una gran cordillera.

El cuarto es un **borde de deslizamiento**: ahí no se fabrica corteza ni se pierde, solo se rozan. Lo que produce son terremotos poco profundos, a veces muy destructivos, y una fractura larga y visible en el terreno.

Una pista que avisa: antes de clasificar, pregúntate una sola cosa: si ahí la corteza se fabrica, se pierde, o ni lo uno ni lo otro. Esa pregunta separa los tres tipos, y solo después hace falta mirar si las placas son oceánicas o continentales.

47

Una cadena de islas volcánicas se ha formado al pasar la placa sobre un punto fijo del interior de la Tierra. La isla más joven está justo encima de ese punto y la más antigua está a **480** kilómetros de distancia. Esa isla más antigua se formó hace **6 millones** de años. Calcula la velocidad de la placa en centímetros por año y di si el resultado es razonable.

Solución

La placa ha recorrido 480 km en 6 millones de años. Dividiendo, $480 / 6 = 80$ kilómetros por cada millón de años.

Ahora hay que cambiar de unidades. 80 kilómetros son 80.000 metros, y 80.000 metros son 8.000.000 de centímetros. Dividido entre 1.000.000 de años, la velocidad es **8 centímetros al año**.

El resultado es razonable. Una placa avanza cada año unos pocos centímetros, y lo más corriente es entre 2 y 10, así que 8 entra dentro de lo esperable. Es lo que crece una uña, y en un millón de años son 80 kilómetros.

Comprueba este paso: rehaz el cambio de unidades en los dos sentidos: 8 cm/año durante 6 millones de años son 48 millones de centímetros, o sea 480 kilómetros, que es la distancia del enunciado. Si al deshacer la cuenta no vuelves al dato de partida, el error está en el cambio de unidades.

48

Wegener presentó cuatro pruebas. El encaje de unas costas con otras. Fósiles de una misma especie repartidos a ambas orillas del Atlántico. Cadenas montañosas que siguen al otro lado del océano. Y huellas de climas antiguos que hoy no pegan con el sitio donde están. Aun así, su idea fue rechazada durante décadas. Explica por qué, y qué prueba de las suyas es la más difícil de explicar de otra manera.

Solución

Fue rechazada porque le faltaba el **mecanismo**. Wegener describía muy bien lo que había ocurrido y no podía decir qué fuerza movía un continente entero. Las fuerzas que propuso no daban ni de lejos para eso. Y una explicación sin mecanismo creíble es difícil de aceptar, por muchos indicios que la acompañen.

El mecanismo apareció décadas después, al estudiarse el fondo de los océanos: se descubrió que en las dorsales se fabrica corteza nueva y que el fondo se va apartando de ellas. Con eso la deriva dejó de ser un movimiento inexplicable y pasó a ser una consecuencia.

De sus pruebas, la más difícil de explicar de otra manera es la de los **fósiles**. Son especies terrestres que aparecen en continentes hoy separados por un océano. El encaje de las costas se puede atribuir a la casualidad. Lo otro no. Que una especie terrestre incapaz de cruzar un océano aparezca a los dos lados pide que los terrenos estuvieran juntos.

Una pista que avisa: cuando una explicación histórica se resume en que nadie le hizo caso, conviene buscar qué le faltaba de verdad. Aquí no era falta de atención: era que la pregunta de cómo no tenía respuesta.

Leer la historia de la Tierra en el orden de las capas

Lo que hay que saber

Las rocas sedimentarias se depositan en capas llamadas **estratos**. El **principio de superposición** se le atribuye a Steno. Dice que en una serie de estratos el de abajo se depositó antes que el de arriba. ▲ Con una condición que hay que decir siempre, porque hay terrenos donde no se cumple: el principio habla del **momento del depósito**, y lo que se depositó hace mucho ha tenido mucho tiempo para moverse.

El segundo principio es igual de útil: cualquier cosa que **corta** a otra es más joven que lo que corta. Vale para una **falla**, que es una fractura con desplazamiento. Y vale para una masa de roca fundida que atraviesa los estratos y se enfría dentro. ■ Ojo a lo que dice y a lo que no: solo habla de lo que la fractura atraviesa de verdad, y no dice nada de las capas que se depositaron encima después.

Una **discordancia** es una superficie que separa dos series de estratos que no encajan. Indica un hueco en el registro: hubo un tiempo en que no se depositó nada, o en que se erosionó lo que había.

Un **fósil guía** permite reconocer a distancia estratos de la misma edad, y no es el fósil más abundante. Para que una especie sirva de fósil guía tienen que cumplirse dos condiciones a la vez. Las dos salen de para qué se usa, y abajo se deducen comparando tres casos.

Con esos principios se construye una **datación relativa**: se averigua el **orden** de los acontecimientos sin decir de qué año es ninguno. Hay métodos que sí dan una edad en años. Son los que permiten poner cifras a la escala del tiempo. Sus cálculos no se hacen en esta página.

El tiempo geológico se divide en **eras geológicas**. Los cortes entre ellas coinciden con cambios grandes en los fósiles, a menudo **extinciones** masivas. El planeta anda por los 4.540 millones de años. De todo ese tiempo, el Precámbrico se lleva aproximadamente el 88 %. La extinción que acabó con los grandes dinosaurios se sitúa 66 millones de años atrás. La explicación con más apoyo es el impacto de un gran meteorito, sumado a otros factores.

49

En un terreno se observa lo siguiente. De abajo arriba hay tres estratos, **A**, **B** y **C**. Una falla corta a A y a B, llega hasta el techo de B y queda cubierta por C, sin cortarla. Una masa de roca fundida atraviesa A, B y C y se enfría dentro de ellos. Por encima de C hay una superficie erosionada que también corta a esa masa de roca. Sobre esa superficie se apoya un cuarto estrato, **D**. Escribe la historia completa en orden, del acontecimiento más antiguo al más moderno.

Solución

Primero se depositaron los estratos en el orden en que están, por el principio de superposición: **A**, después **B**, después **C**.

La **falla** corta a A y a B, así que es posterior a los dos. Queda cubierta por C sin cortarla, lo que significa que C se depositó encima cuando la fractura ya estaba hecha. La falla va, por tanto, **entre B y C**. Con saber solo que la falla no llega a C no bastaría: una fractura puede pararse dentro de una capa sin asomar por arriba.

La **masa de roca fundida** atraviesa a los tres estratos, así que es posterior a C. Y la **superficie erosionada** la corta a ella, así que la erosión es posterior a la intrusión. Por último se depositó **D** sobre esa superficie.

Comprobación: la historia completa es A · B · falla · C · masa de roca fundida · erosión · D.

Comprueba cada relación del enunciado sobre esa lista. Cada cosa que corta a otra tiene que ir detrás de todo lo que corta. Y delante de todo lo que la corta a ella. Las cuatro relaciones se cumplen y no queda ninguna pareja sin decidir, así que el orden es único.

50

Tres especies fósiles distintas: · la primera vivió 2 millones de años y sus restos aparecen en cuatro continentes · la segunda vivió 80 millones de años y también aparece en cuatro continentes · la tercera vivió 3 millones de años y solo aparece en una cuenca pequeña. Di cuál de las tres sirve como fósil guía y qué le falta a las otras dos.

Solución

Sirve como fósil guía la **primera**, porque cumple las dos condiciones a la vez: vivió poco tiempo y se extendió por muchos sitios.

A la **segunda** le sobra duración. Si una especie vivió 80 millones de años, uno de sus restos dice muy poco. Solo que el estrato se formó en algún momento de ese enorme intervalo. Sirve para muy poco a la hora de fijar una edad.

A la **tercera** le falta extensión. Vivió poco tiempo, que es lo que hace falta. Pero solo aparece en una cuenca. Así que no permite comparar esa capa con otra de un sitio lejano. Y comparar sitios lejanos es justo para lo que se usa un fósil guía.

Comprueba este paso: las dos condiciones tienen que cumplirse las dos a la vez, así que comprueba cada especie por separado con las dos preguntas. Si solo miras una de ellas, la segunda y la tercera pasan por buenas.

51

En una ladera se encuentra una serie de estratos. Los fósiles del estrato inferior son claramente más modernos que los del superior. Explica cómo puede ocurrir eso sin que el principio de superposición sea falso. Di también qué habría que hacer antes de aplicarlo en un sitio así.

Solución

Puede ocurrir porque la serie **se ha volteado**. Los estratos se depositaron en el orden normal. Después, un plegamiento muy intenso, un pliegue tumbado, ha dado la vuelta a todo el conjunto. Lo que hoy está abajo se depositó arriba.

El principio de superposición sigue siendo cierto: dice que el estrato de abajo se depositó antes **en el momento del depósito**. Lo que no dice es que una serie no se pueda mover después. La condición estaba desde el principio, y es la que aquí no se cumple.

Antes de aplicarlo en un sitio así hay que comprobar si la serie está en su posición original. Se busca alguna señal de qué lado miraba hacia arriba al depositarse el sedimento. Sirven las marcas de la superficie del fondo. Y sirve cómo están ordenados los granos dentro de cada capa.

Una pista que avisa: si en un afloramiento el orden de los fósiles contradice al de las capas, no sospeches primero de un error de identificación. Sospecha de que la serie no está donde estaba.

52

El planeta tiene alrededor de **4.540** millones de años. Imagina que toda esa historia cupiera en un año de 365 días, empezando el 1 de enero. Contesta: a) cuántos días ocuparía el Precámbrico, que es aproximadamente el 88 % del tiempo; b) cuántos días antes de fin de año ocurriría la extinción de hace 66 millones de años; c) cuánto tiempo llevaría aquí *Homo sapiens*, con unos 300.000 años.

Solución

a) El 88 % de 365 días es $365 \cdot 88 / 100 = \mathbf{321,2 \text{ días}}$, es decir, algo más de diez meses y medio. El Precámbrico llegaría hasta mediados de noviembre.

b) 66 millones de años sobre 4.540 son $66 / 4.540 \approx 0,01454$, que es un 1,454 % del total. En días, $365 \cdot 0,01454$ da **5,3 días**. La extinción ocurriría unos cinco días y medio antes de acabar el año, hacia el 26 de diciembre.

c) 300.000 años sobre 4.540 millones son $\approx 0,0000661$ del total, redondeando. En días son 0,0241. Y en minutos, $0,0241 \cdot 24 \cdot 60$ da **unos 35 minutos**. Toda la historia de nuestra especie cabría en la

última media hora larga del 31 de diciembre.

Comprobación: repasa que los tres resultados estén en la escala que les toca: el primero en meses, el segundo en días y el tercero en minutos. Si el tercero te sale en días, has perdido un factor por el camino. 300.000 años son unas 15.000 veces menos que 4.540 millones.

Los dos dibujos que hay que saber leer: el corte geológico y el mapa de placas

Lo que hay que saber

▪ **Este tema llega sin ejercicios y solo con teoría. Merece la pena saber el motivo.** Los dos trabajos que pide son el mismo: leer un dibujo con convenios propios. Un ejercicio hecho solo con palabras se quedaría en repetir una lista de memoria, y no es lo que te van a pedir.

Un **corte geológico** dibuja el terreno como si lo hubieran partido en vertical, igual que una tarta, para enseñar lo que hay dentro. Arriba va el perfil del relieve. Debajo, las capas de roca con su inclinación, las fracturas que las atraviesan y las masas de roca metidas entre ellas. Cada tipo de roca se pinta con una trama distinta, y la leyenda del margen dice cuál es cuál.

Se lee de abajo arriba y en dos pasos. Primero el orden de lo que se depositó, aplicando superposición. Después, lo que vino a continuación. Qué fractura corta a qué capas. Dónde hay una superficie que no encaja con la de abajo. Y qué masa de roca atraviesa a las demás. Al final se escribe la historia en orden, desde lo más antiguo.

Al leer un corte hay tres errores habituales. Uno: dar por hecho que la serie está derecha cuando hay un pliegue tumbado. Otro: olvidar que la erosión también es un acontecimiento con su fecha. Y el tercero: confundir el **buzamiento**, que es lo inclinada que está una capa, con el desnivel del terreno de arriba.

Un **mapa de placas** es un planisferio con las placas delimitadas. Lleva tres informaciones a la vez. El contorno de cada placa. Su nombre. Y el tipo de cada borde, con un símbolo distinto según sea divergente, convergente o de deslizamiento. Las flechas señalan hacia dónde se mueve cada placa, y a veces llevan la velocidad.

De este tema se pueden llevar cuatro cosas a un examen escrito, y las cuatro se preguntan con palabras. El **orden** de lectura de un corte, de lo más antiguo a lo más moderno. Que lo que corta es más joven. Que una discordancia es un hueco de tiempo. Y que cada borde se reconoce por lo que hay en él. Dorsal si las dos se apartan. Fosa y volcanes si una se mete debajo. Cordillera si chocan dos masas continentales. Y una línea de terremotos poco hondos si se rozan de lado.