

# Geología de 2º de Bachillerato: ejercicios con soluciones

48 ejercicios con la solución explicada paso a paso, y la teoría de los 12 temas que trae esta selección.

## Lo que vas a practicar

**Propiedades y estructura de los minerales** · Contrastar ensayos, densidad, polimorfismo y exfoliación. (ejercicios 1, 2, 3, 4)

**Magmas y registro de la cristalización** · Interpretar enfriamiento, fusión y separación de cristales. (ejercicios 5, 6, 7, 8)

**Sedimentación, diagénesis y metamorfismo** · Distinguir diagénesis, metamorfismo y rutas del ciclo. (ejercicios 9, 10, 11, 12)

**Procesos externos y evolución del relieve** · Relacionar meteorización, transporte, disolución e incisión. (ejercicios 13, 14, 15, 16)

**Investigar el interior terrestre** · Evaluar ondas sísmicas, modelos internos y gradientes. (ejercicios 17, 18, 19, 20)

**Tectónica y movimiento relativo de placas** · Calcular movimientos relativos y contrastar límites. (ejercicios 21, 22, 23, 24)

**Deformación y reconstrucción estructural** · Interpretar fallas, pliegues y acortamiento. (ejercicios 25, 26, 27, 28)

**Tiempo relativo y correlación estratigráfica** · Ordenar acontecimientos, discontinuidades y fósiles. (ejercicios 29, 30, 31, 32)

**Edades numéricas y límites de la datación** · Calcular semividas y acotar edades con sus supuestos. (ejercicios 33, 34, 35, 36)

**Historia de la Tierra a partir de evidencias** · Argumentar sobre registro antiguo, océanos, crisis y oxígeno. (ejercicios 37, 38, 39, 40)

**Peligros geológicos y reducción del riesgo** · Separar peligrosidad, exposición, vulnerabilidad y efectos. (ejercicios 41, 42, 43, 44)

**Agua subterránea, recursos y balances** · Resolver porosidad, agua, recuperación y decisiones con incertidumbre. (ejercicios 45, 46, 47, 48)

**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](https://solucionario.es)**

**Alcance de esta selección.** Se trabajan minerales, formación y transformación de rocas, procesos externos, interior terrestre, tectónica, deformación, datación relativa y numérica, historia de la Tierra, riesgos y recursos geológicos. Es material de Geología, separado del de Biología de este curso. La selección es editorial: no equivale a un temario completo ni cubre toda la materia de Geología y Ciencias Ambientales. Quedan fuera el desarrollo de los bloques ambientales no geológicos, la cristalografía avanzada y la geología regional detallada, por extensión. También quedan fuera las prácticas de reconocimiento de muestras, láminas microscópicas, mapas, cortes y paisajes reales, porque exigen material visual o de laboratorio que aquí no se aporta. Reconstruir una sucesión descrita en palabras no sustituye a interpretar un corte dibujado. Los datos numéricos de los casos son hipotéticos salvo indicación expresa; no describen lugares ni sucesos reales. Las soluciones abiertas admiten otras formulaciones si justifican los datos y respetan sus límites.

# Geología de 2º de Bachillerato: ejercicios con soluciones

## Propiedades y estructura de los minerales

### Lo que hay que saber

Un mineral se caracteriza por su composición y su estructura cristalina ordenada. Una roca puede reunir varias especies minerales. Dos minerales de igual composición y distinta estructura son polimorfos; una misma estructura puede admitir sustituciones de ciertos elementos.

La dureza expresa resistencia al rayado; la exfoliación es la separación según planos cristalinos. La raya es el color del polvo. El aspecto externo de una cara plana, por sí solo, no demuestra exfoliación.

La densidad se obtiene dividiendo masa entre volumen. La escala de Mohs ordena durezas, pero sus diferencias no representan intervalos físicos iguales. Una identificación exige contrastar varias propiedades y contemplar impurezas, alteración y mezclas.

- 1 Un candidato que no encaja.** Una muestra homogénea raya al patrón de dureza Mohs 4, pero el patrón 6 la raya. En este caso solo se consideran calcita (3), apatito (5) y cuarzo (7). Los rayados son surcos auténticos y reproducibles. Elige el candidato compatible y explica si conocer solo el color bastaría para elegirlo.

### Solución

El rayado sitúa la dureza por encima de 4 y por debajo de 6. Entre los candidatos, corresponde al apatito. El cuarzo queda descartado porque no debería ser rayado por el patrón 6; la calcita tampoco explica que la muestra raye el patrón 4. El color puede variar entre muestras y coincidir entre especies, por lo que no sustituye a los ensayos.

**Comprobación:** enfrenta cada propuesta a las dos desigualdades: una dureza 7 incumple ser menor que 6; una dureza 3 incumple ser mayor que 4. La conclusión solo identifica entre los tres candidatos dados.

- 2 Medir antes de identificar.** Un fragmento seco pesa 81 g. Al sumergirlo completamente, el agua de una probeta pasa de 35 a 65 cm<sup>3</sup>. No hay burbujas, absorción ni disolución. Calcula su densidad y decide si permite distinguir por sí sola entre dos candidatos cuyas densidades de referencia son ambas 2,7 g/cm<sup>3</sup>.

### Solución

El volumen desplazado es  $65 - 35 = 30$  cm<sup>3</sup>. La densidad resulta  $81/30 = 2,7$  g/cm<sup>3</sup>. Coincide con ambos candidatos, de modo que falta otra propiedad discriminante, como dureza o exfoliación. Usar los 65 cm<sup>3</sup> como volumen del fragmento contaría también el agua inicial.

**Comprobación:** la densidad obtenida multiplicada por los 30 cm<sup>3</sup> debe recuperar 81 g. Además, una identificación única sería injustificada si los dos candidatos conservan exactamente la misma densidad.

- 3 Igual composición, comportamiento distinto.** Un laboratorio informa de que dos sólidos naturales, A y B, tienen la misma composición química, pero patrones de difracción distintos, correspondientes a dos estructuras cristalinas. A se raya con más facilidad. ¿Es correcto concluir que uno está mal analizado porque su dureza es diferente? Propón una explicación y una observación adicional útil.

### Solución

No: composición idéntica no implica estructura idéntica. Los datos son compatibles con polimorfismo;

la disposición y los enlaces entre los átomos condicionan propiedades mecánicas. Sería útil repetir la difracción y el análisis químico en varios puntos, para descartar mezclas o contaminación. No se puede asignar un nombre mineral concreto con la información dada.

**Una pista que avisa:** una explicación basada únicamente en impurezas no da cuenta de que el laboratorio haya reconocido dos estructuras diferentes con igual composición. Debe explicar ambas observaciones, no solo la dureza.

4

**Una cara plana no decide.** Una muestra presenta caras externas lisas. Tras partir varios fragmentos en un ensayo ya realizado, aparecen superficies curvas e irregulares, sin direcciones planas repetidas. Un informe dice: «Las caras iniciales prueban que tiene exfoliación perfecta». Valora esa conclusión y redacta una alternativa limitada a lo observado.

#### Solución

Las caras iniciales podrían ser caras de crecimiento del cristal. La exfoliación se reconoce por la tendencia a romperse según determinadas direcciones, y los fragmentos descritos no muestran ese patrón. Una redacción ajustada sería: «La muestra tiene caras externas planas, pero el ensayo descrito muestra fractura irregular o curva y no evidencia exfoliación».

**Comprobación:** revisa si el informe distingue superficie previa y superficie de rotura. Si utiliza únicamente las caras anteriores a la rotura como prueba de exfoliación, sigue incurriendo en el mismo error.

## Magmas y registro de la cristalización

### Lo que hay que saber

El magma contiene fundido y puede llevar cristales y gases. Al solidificarse origina rocas ígneas. La textura registra condiciones de enfriamiento, mientras la composición permite distinguir familias de rocas; ninguna de las dos sustituye a la otra.

La fusión parcial afecta solo a parte de una roca y puede generar un líquido de composición distinta del residuo. Puede favorecerse por calentamiento, descompresión o incorporación de volátiles, según las condiciones.

En la cristalización fraccionada, ciertos cristales se separan del líquido y cambian su composición. Los cristales grandes rodeados de una matriz fina permiten plantear una historia de enfriamiento en etapas, aunque no fijan por sí solos una profundidad ni una duración exactas.

5

**Dos tamaños de cristal.** Una roca volcánica contiene cristales grandes incluidos en una matriz de cristales mucho menores. No hay indicios de que los grandes sean fragmentos incorporados de otra roca. Propón una secuencia de enfriamiento compatible y explica qué dato adicional haría falta para asignarle un nombre composicional.

#### Solución

Los cristales grandes pudieron crecer durante una etapa inicial de enfriamiento más lento. El líquido restante se enfrió más deprisa después, por ejemplo tras el ascenso y la emisión, y formó la matriz fina. Es una interpretación compatible, no una cronología medida. Para nombrar la roca por composición haría falta conocer su mineralogía o su química, no solo los tamaños.

**Una pista que avisa:** una historia con una única etapa de enfriamiento rápido para todo el material no explica bien el crecimiento previo de los cristales grandes bajo las condiciones propuestas.

6

**Fundir sin aumentar la temperatura.** Una porción de manto asciende. El modelo dado indica que su temperatura disminuye ligeramente, pero que el umbral de inicio de fusión baja todavía más al caer la presión. Al final la temperatura supera ese umbral. ¿Puede producirse fusión parcial? Explica por qué sería incorrecto exigir un calentamiento en este caso.

#### Solución

Sí. Lo decisivo es la posición de la temperatura respecto al umbral de fusión a la presión correspondiente. Aunque el material se enfríe algo, la descompresión puede situarlo en condiciones de fusión parcial. No hace falta que aumente su temperatura absoluta si el umbral desciende más. El enunciado no demuestra que toda la roca se funda.

**Comprobación:** compara las dos condiciones finales: temperatura y umbral. Si tu respuesta niega cualquier fusión pese a que la primera supera al segundo, contradice el modelo que se te ha dado.

7

**Balance de una separación de cristales.** Un magma de 1.000 kg contiene un 8 % en masa de un componente X. Se separan 200 kg de cristales con un 20 % de X. No hay entradas, pérdidas ni otras separaciones. Calcula la masa de X y su porcentaje en el líquido restante.

#### Solución

Inicialmente hay  $1.000 \times 0,08 = 80$  kg de X. Los cristales extraen  $200 \times 0,20 = 40$  kg de X. Quedan 800 kg de líquido con 40 kg de X, por lo que su proporción es  $40/800 \times 100 = 5$  %. El líquido se empobrece en X porque los cristales retirados lo concentran más que el magma inicial.

**Comprobación:** los 40 kg de X del líquido más los 40 kg de los cristales deben recuperar los 80 kg iniciales. Un 8 % en los 800 kg restantes daría 64 kg y rompería ese balance.

8

**Composición y textura son dos preguntas.** Las muestras P y Q tienen una composición global semejante. P presenta cristales entrelazados visibles a simple vista; Q tiene grano muy fino. Un alumno afirma que deben haberse enfriado a la misma velocidad porque su composición coincide. Evalúa la afirmación y distingue lo que permiten inferir los datos de lo que no.

#### Solución

La composición no impone una única velocidad de enfriamiento. En condiciones comparables, P es compatible con crecimiento cristalino más prolongado y Q con enfriamiento más rápido. Podrían representar equivalentes plutónico y volcánico de una misma familia composicional. Sin mineralogía o análisis químico concreto no se justifican nombres como granito o basalto, ni se pueden calcular años de enfriamiento.

**Una pista que avisa:** si tu respuesta asigna el mismo proceso de enfriamiento sin explicar la diferencia de tamaños, deja sin interpretar una observación esencial.

## Sedimentación, diagénesis y metamorfismo

### Lo que hay que saber

La diagénesis transforma sedimentos en roca mediante procesos como compactación y cementación. Los sedimentos detríticos son fragmentos; también existen depósitos por precipitación química y por acumulación de restos biológicos.

El metamorfismo modifica minerales y texturas de una roca previa, o protolito, principalmente en estado sólido. La foliación es una orientación o disposición planar de componentes. No todas las rocas metamórficas la presentan.

El metamorfismo de contacto se relaciona con el calor de una intrusión; el regional afecta extensiones mayores y puede asociarse a enterramiento y deformación. El ciclo de las rocas tiene rutas alternativas, no una secuencia obligatoria que recorra todos los tipos.

- 9** **Del sedimento suelto a una roca coherente.** En un depósito arenoso disminuye el espacio entre granos durante el enterramiento. Después precipita calcita en parte de los huecos y une los granos. Identifica los dos procesos y explica por qué encontrar cristales de calcita no convierte por sí solo la roca en ígnea.

#### Solución

La reducción de huecos corresponde a compactación; la precipitación que une los granos es cementación. Son procesos diagenéticos. Los cristales pueden crecer a partir de disoluciones acuosas sin que exista magma, así que el cemento de calcita no cambia el origen sedimentario del conjunto. La clasificación se apoya en la historia y la textura, no en la mera presencia de cristales.

**Comprobación:** localiza de dónde procede el material que cristaliza. Si tu explicación introduce un fundido que no aparece en el caso, no justifica el proceso descrito.

- 10** **Recristalización alrededor de una intrusión.** Una caliza cambia a un agregado de cristales de calcita más gruesos junto a una intrusión caliente. No se detectan fundido ni cambios importantes de composición global. Identifica el proceso y la roca resultante. ¿Sería adecuado describirlo como solidificación de la caliza?

#### Solución

La caliza ha recristalizado por metamorfismo de contacto y se ha convertido en mármol. No se describe una etapa líquida, así que no corresponde hablar de solidificación. La transformación puede cambiar la textura sin alterar de forma importante la composición global.

**Una pista que avisa:** una explicación ígnea necesita una fase fundida previa. Aquí el dato expreso de ausencia de fundido impide usarla para explicar la transformación.

- 11** **Tres depósitos, tres mecanismos.** Clasifica por su mecanismo de formación estos depósitos ya descritos: A, fragmentos redondeados transportados y acumulados por una corriente; B, cristales de sales que precipitan al evaporarse una salmuera; C, acumulación de conchas en un fondo marino. Explica por qué la presencia de agua no basta para considerarlos todos detríticos.

#### Solución

A es un depósito detrítico: el material llega como fragmentos sólidos transportados. B es un precipitado químico de tipo evaporítico: los iones estaban disueltos antes de formar cristales. C es una acumulación de componentes biogénicos; las conchas pueden fragmentarse y formar un sedimento bioclástico. La clasificación requiere conocer en qué forma llega el material y cómo se acumula, no solo el medio acuoso.

**Comprobación:** intenta asignar a cada caso su fase anterior: fragmentos transportados, solutos o restos de organismos. Llamar detrítico a B confunde solutos con granos preexistentes.

12

**Una ruta que evita el magma.** Propón una secuencia que transforme una roca ígnea expuesta en una roca sedimentaria y después en una metamórfica sin que vuelva a fundirse. Indica al menos una pérdida o transferencia de material posible durante la ruta y explica por qué no se conserva necesariamente una muestra como bloque único.

#### Solución

La roca se meteoriza; parte de sus productos se erosiona y transporta, se deposita y se consolida por diagénesis. El enterramiento posterior y unas condiciones adecuadas de presión y temperatura pueden producir metamorfismo en estado sólido. Los solutos pueden salir del sistema y los fragmentos mezclarse con aportes de otras rocas. El ciclo describe procesos y circulación de materiales, no la conservación de una piedra intacta.

**Comprobación:** busca en tu secuencia un paso de fusión o solidificación. Si aparece, ya no cumple la condición impuesta; si falta la consolidación del sedimento, aún no has explicado la roca sedimentaria.

## Procesos externos y evolución del relieve

### Lo que hay que saber

La meteorización altera o fragmenta una roca en su lugar. La erosión retira material; el transporte lo desplaza y la sedimentación lo deposita. Estos procesos pueden coexistir en un paisaje.

En una corriente, la competencia alude al tamaño máximo que puede transportar; la capacidad, a la cantidad transportable. La selección de tamaños depende de la energía, la densidad de los granos y su cohesión, entre otros factores.

La disolución de rocas solubles puede formar relieve kárstico. El nivel de base limita la incisión fluvial: un descenso relativo puede favorecer que un río se encaje. Una forma del relieve puede admitir varias causas; conviene contrastarlas con observaciones adicionales.

13

**Separar alteración y desplazamiento.** El agua se congela repetidamente dentro de grietas y contribuye a desprender fragmentos. Estos quedan junto al afloramiento hasta que una avenida los arrastra y los deja aguas abajo. Separa las etapas descritas sin atribuir a la congelación el transporte fluvial posterior.

#### Solución

La fragmentación asociada a ciclos de hielo y deshielo es meteorización física. La avenida retira los fragmentos, los transporta y finalmente los deposita cuando las condiciones lo permiten. Que un fragmento se haya generado no demuestra que ya haya sido llevado por el río: la narración distingue expresamente esos momentos.

**Comprobación:** coloca el inicio del transporte fluvial en el momento en que los fragmentos abandonan el lugar por la corriente. Si lo sitúas durante la congelación, contradices que permanecieran junto al afloramiento.

14

**Reconstruir un pulso de corriente.** Un único episodio deposita primero grava, después arena y por último limo, en ese orden temporal. Los materiales tienen densidades comparables, el limo no forma agregados y no llegan aportes nuevos. Propón una evolución de la energía de la corriente compatible con esa sucesión y señala una limitación.

#### Solución

La sucesión es compatible con una disminución de la energía: los granos gruesos dejan de transportarse antes y los más finos se mantienen más tiempo en suspensión. Es una interpretación del episodio dado, no una regla que permita deducir cualquier ambiente a partir de una lista de tamaños. Sin otros datos no puede decidirse si ocurrió en un río, una corriente submarina u otro medio.

**Una pista que avisa:** una propuesta de energía creciente sostenida tendría que explicar por qué deja de transportar primero los gruesos y al final los finos bajo estas condiciones; si no lo hace, no encaja con la secuencia.

15

**¿Desgaste mecánico o disolución?** Un agua que atraviesa una masa de caliza sale con mayor concentración de calcio y bicarbonato disueltos, sin aumento apreciable de partículas en suspensión. Hay ensanchamiento de conductos internos. ¿Qué proceso explica conjuntamente esos datos? ¿Demuestran que no exista erosión mecánica en ningún otro lugar?

#### Solución

La disolución de carbonato por agua con dióxido de carbono es compatible con el incremento de solutos y el ensanchamiento de conductos; constituye un proceso kárstico. El dato se refiere al trayecto estudiado. No permite excluir desgaste mecánico en otras zonas ni pequeñas contribuciones por debajo de la detección.

**Comprobación:** una explicación basada solo en arrancar partículas debería justificar el aumento de especies disueltas. Si las trata como granos en suspensión, confunde dos formas distintas de transporte.

16

**Un antiguo fondo fluvial elevado.** Un río corta depósitos que antes formaban su llanura de inundación. Se conservan restos de esos depósitos en ambos márgenes, por encima del cauce actual. Propón dos causas posibles de la incisión y un dato que permita diferenciarlas; no se aporta un mapa.

#### Solución

Los restos son compatibles con terrazas fluviales abandonadas por encajamiento. Entre las causas posibles están un levantamiento del terreno y un descenso del nivel de base aguas abajo; también pueden influir cambios de caudal y carga sedimentaria. Para discriminar, servirían datos de deformación regional, edades de las superficies y evolución del nivel de base. La sola posición elevada no selecciona una causa única.

**Una pista que avisa:** si atribuyes el encajamiento exclusivamente a levantamiento, comprueba si has aportado algún dato que descarte el descenso del nivel de base. En este enunciado no existe.

### Lo que hay que saber

El modelo composicional distingue corteza, manto y núcleo. El modelo mecánico diferencia regiones por su comportamiento, como litosfera rígida y astenosfera capaz de deformarse lentamente. La litosfera incluye corteza y parte superior del manto.

Las ondas P son compresionales y se transmiten por sólidos y fluidos; las S son de cizalla y no se propagan por líquidos. Las trayectorias y velocidades dependen de las propiedades del medio. Una falta de señal aislada también puede deberse al instrumento o a la geometría.

El gradiente geotérmico es el cambio de temperatura con profundidad. Una medida local no se extrapola automáticamente a toda la Tierra: cambian los materiales y los mecanismos de transporte del calor.

- 17 Una señal ausente no basta.** Una estación no registra ondas S de un terremoto. Otra interpretación, apoyada en muchos terremotos y estaciones, observa que las S directas no atraviesan cierta región profunda y que las P cambian de trayectoria al cruzar su límite. Compara la fuerza de ambas evidencias para proponer una región líquida.

### Solución

Una ausencia aislada puede depender del equipo, la distancia o la geometría de emisión y recepción. El patrón repetido, unido al comportamiento de las P, permite contrastar un modelo de región líquida: las S requieren rigidez frente a cizalla y no se transmiten por ella. Aun así, hay que comparar modelos e instrumentos, no convertir cualquier silencio en prueba automática de líquido.

**Una pista que avisa:** si tu argumento seguiría afirmando que hay líquido aunque se demostrara que la única estación estaba averiada, no está usando una evidencia suficiente.

- 18 Dos clasificaciones que se cruzan.** Un sondeo idealizado sitúa el límite corteza-manto a 32 km y la base de la litosfera a 110 km. Clasifica una muestra situada a 70 km con ambos modelos. Indica por qué decir «si es manto, no puede pertenecer a la placa» sería erróneo.

### Solución

A 70 km la muestra está por debajo de la corteza, por tanto en el manto, y por encima de la base litosférica, por tanto en la litosfera. Es manto litosférico y forma parte de la placa. Los modelos responden a criterios diferentes; manto y litosfera no son categorías mutuamente excluyentes.

**Comprobación:** la profundidad propuesta debe cumplir simultáneamente  $70 > 32$  y  $70 < 110$ . Si clasificas la muestra como astenosfera, incumples el segundo límite del caso.

- 19 Un gradiente local.** La temperatura es 18 °C a 0,2 km de profundidad y 63 °C a 1,7 km en un sondeo hipotético. Calcula el gradiente medio del tramo. Un informe lo prolonga linealmente hasta el centro terrestre. Explica qué parte del informe está respaldada y cuál no.

### Solución

El aumento térmico es  $63 - 18 = 45$  °C y el de profundidad  $1,7 - 0,2 = 1,5$  km. El gradiente medio es  $45/1,5 = 30$  °C/km. Describe ese intervalo. La extrapolación al centro carece de apoyo porque no se ha demostrado un gradiente constante y el transporte de calor y las propiedades cambian con la profundidad.

**Comprobación:** aplicar 30 °C/km a 1,5 km debe devolver el incremento observado de 45 °C. Dividir por 1,7 km usaría una distancia que no corresponde al tramo medido.

20

**Sólido y deformable.** Una región del manto transmite ondas S y, según medidas geológicas, experimenta deformación acumulada durante millones de años. Un alumno ve una contradicción y propone llamarla «océano de magma». Explica por qué las dos observaciones pueden ser compatibles.

#### Solución

El comportamiento depende de la escala temporal y de las condiciones. Una roca sólida puede responder elásticamente al paso rápido de una onda y deformarse lentamente por procesos de fluencia bajo esfuerzos prolongados. No hace falta un océano líquido para explicar el movimiento. Puede existir fusión parcial localizada, pero eso no equivale a que toda la región sea líquida.

**Comprobación:** el modelo debe explicar también la transmisión de S. Una región completamente líquida no satisface esa observación, aunque la palabra «magma» parezca explicar el movimiento lento.

## Tectónica y movimiento relativo de placas

### Lo que hay que saber

Los límites divergentes separan placas; los convergentes las aproximan; los transformantes permiten desplazamiento lateral relativo. La subducción introduce litosfera en el manto. Una placa puede incluir áreas continentales y oceánicas.

La creación de corteza en dorsales y su transporte permiten relacionar distancia y edad. Debe distinguirse la velocidad de un flanco respecto al eje de la velocidad de separación entre ambos flancos.

En una subducción, los fluidos liberados por la placa descendente pueden favorecer la fusión parcial del manto suprayacente. La distribución de sismos, edades, volcanismo y movimientos permite contrastar modelos de límites.

21

**Distinguir separación total y por flanco.** Una franja de corteza oceánica de 6 Ma está a 150 km del eje de una dorsal. Ma significa millones de años. Supón expansión constante, perpendicular al eje y simétrica. Calcula la velocidad de ese flanco y la separación entre placas en cm/año.

#### Solución

La velocidad de un flanco es  $150/6 = 25$  km/Ma. Como 1 km son 100.000 cm y 1 Ma son 1.000.000 de años, equivale a 2,5 cm/año. El otro flanco se aleja al mismo ritmo en sentido opuesto: la separación total es 5 cm/año.

**Comprobación:** dos franjas coetáneas situadas a ambos lados estarían separadas 300 km. A 5 cm/año durante 6 Ma se recuperan esos 300 km; a 2,5 cm/año solo se recuperaría la mitad.

22

**Un límite inferido con tres observaciones.** En un margen se describe una fosa oceánica. Los focos sísmicos se hacen progresivamente más profundos hacia el continente y hay una cadena volcánica continental paralela al margen. Elige entre divergencia, subducción oceánica bajo continente y transformación lateral, y justifica usando más de un dato.

#### Solución

La subducción oceánica bajo el continente integra mejor las observaciones: la fosa acompaña la entrada de la placa, el aumento de profundidad sísmica sigue su descenso y el arco volcánico se relaciona con procesos de fusión sobre ella. La divergencia y una transformación simple no explican conjuntamente esa zona sísmica inclinada y el arco.

**Una pista que avisa:** comprueba hacia dónde aumentan las profundidades. Si inviertes la placa que desciende sin cambiar ese patrón, tu geometría deja de ajustarse a los datos.

23

**Deslizamiento entre dos bloques.** Dos bloques separados por una falla vertical se desplazan paralelos a ella. En una referencia común, A avanza hacia el norte 18 mm/año y B hacia el norte 7 mm/año. No se detecta acercamiento ni separación perpendicular. Calcula el movimiento de A respecto a B y caracteriza el límite idealizado.

#### Solución

La velocidad relativa es  $18 - 7 = 11$  mm/año hacia el norte para A respecto a B. Ambos pueden moverse al norte y deslizarse uno respecto al otro porque sus velocidades difieren. El caso corresponde a movimiento transformante o de desgarre; no crea ni consume litosfera por separación o convergencia en este modelo.

**Comprobación:** en diez años A recorrería 180 mm y B 70 mm: la diferencia de 110 mm coincide con diez años a 11 mm/año. Sumarlas daría un movimiento relativo incorrecto para estos sentidos.

24

**Explicar el magma de un arco.** Dos modelos explican un arco volcánico. M propone que el rozamiento funde íntegramente la placa descendente. N propone liberación de fluidos desde esa placa y fusión parcial del manto situado encima. Los datos indican que la placa mantiene una zona sísmica a gran profundidad y que los magmas contienen componentes asociados a fluidos. ¿Cuál es más compatible y qué exageración debes evitar?

#### Solución

N explica mejor el papel de los fluidos y la persistencia de una placa capaz de producir sismos. Los fluidos pueden reducir la temperatura necesaria para iniciar la fusión del manto. No debe afirmarse que toda la placa se funde ni que existe una única fuente universal para todos los magmas de arco: pueden intervenir otros procesos y materiales.

**Una pista que avisa:** un modelo que convierte íntegramente la placa en líquido debe explicar cómo mantiene a la vez la región sísmica descrita; ignorar ese dato deja el argumento incompleto.

## Deformación y reconstrucción estructural

### Lo que hay que saber

Las rocas pueden fracturarse o deformarse de forma dúctil según temperatura, presión, material y velocidad de deformación. Una falla implica desplazamiento; una fractura sin desplazamiento apreciable es una diaclasa.

En una falla inclinada, el bloque situado sobre el plano es el techo y el que queda debajo es el muro. Si el techo baja respecto al muro, la falla es normal; si sube, es inversa. Importa la posición respecto al plano, no respecto a la superficie del terreno.

En series sin inversión previa, los anticlinales tienen materiales más antiguos en el núcleo y los sinclinales más recientes. No debe confundirse la edad del núcleo con la altura topográfica. En una descripción espacial incompleta pueden quedar varias interpretaciones abiertas.

25

**No confundir altura y posición estructural.** En una falla inclinada se identifica inequívocamente el bloque situado encima del plano. Un estrato marcador de ese bloque se encuentra 12 m más bajo que su continuación en el bloque inferior. No hubo erosión diferencial del marcador. Clasifica la falla e indica qué no permite calcular ese dato.

#### Solución

El bloque de techo ha descendido respecto al muro: es una falla normal. Los 12 m son la separación vertical del marcador en el caso descrito. No equivalen necesariamente al desplazamiento total a lo largo del plano; para calcularlo harían falta su inclinación y la dirección del movimiento, entre otros datos geométricos.

**Comprobación:** sustituye los nombres por sus definiciones: «el bloque sobre el plano baja». Si has escrito inversa, has cambiado el sentido del movimiento; si das 12 m como deslizamiento total, has añadido una igualdad no demostrada.

26

**Un pliegue leído por las edades.** Un recorrido perpendicular al eje de un pliegue atraviesa capas con edades de 20, 35, 50, 35 y 20 Ma. Las capas no están invertidas y no se repiten por fallas. Identifica la estructura por la distribución de edades. ¿Puedes afirmar que forma una montaña?

#### Solución

La edad mayor, 50 Ma, ocupa el núcleo; hacia ambos lados aparecen capas progresivamente más jóvenes. Bajo las condiciones dadas corresponde a un anticlinal. No se puede deducir que sea una montaña: la erosión puede modificar el relieve y dejar incluso una depresión sobre la estructura.

**Comprobación:** un sinclinal en estas condiciones tendría el material más joven en el núcleo. Si interpretas 50 Ma como más joven que 20 Ma, has invertido el significado de las edades anteriores al presente.

27

**Cuánto se ha acortado.** Un marcador horizontal medía 1.200 m antes de una deformación y su longitud horizontal final entre los mismos extremos es 900 m. Calcula el acortamiento absoluto y el porcentaje respecto a la longitud inicial. No se pide la longitud de una capa siguiendo sus pliegues.

#### Solución

El acortamiento horizontal es  $1.200 - 900 = 300$  m. Respecto al estado inicial representa  $300/1.200 \times 100 = 25$  %. Dividir entre la longitud final respondería a otra comparación, no a la fracción de la longitud inicial perdida.

**Comprobación:** conservar el 75 % de 1.200 m debe dar 900 m. Un resultado del 33,3 % aplicado a la longitud inicial no reconstruiría la longitud final del enunciado.

28

**Qué deformación ocurrió primero.** Una serie sedimentaria está plegada. Una falla corta ambas ramas de los pliegues y desplaza sus capas. Encima se deposita una capa horizontal que sella la falla y no está deformada. Establece el orden mínimo de acontecimientos, sin introducir fechas ni una segunda fase de plegamiento.

#### Solución

Primero se depositó la serie, después se plegó y luego la falla cortó la estructura ya plegada. Finalmente se depositó la capa horizontal que sella la falla. Puede haber existido erosión previa a la capa superior, pero no se describe y no es necesario afirmar sus detalles. El orden se refiere a los episodios registrados; no excluye cualquier movimiento posterior indetectable.

**Comprobación:** recorre cada relación: la falla corta pliegues, por lo que es posterior a ellos; la capa sellante no está cortada, por lo que se depositó tras el desplazamiento registrado. Invertir cualquiera de esas parejas contradice la descripción.

## Tiempo relativo y correlación estratigráfica

### Lo que hay que saber

En una sucesión sedimentaria no invertida, la superposición sitúa los niveles inferiores antes que los superiores. Un cuerpo que corta otro es posterior al cuerpo cortado; los fragmentos incluidos son anteriores a la roca que los incorpora.

Una discordancia representa una interrupción del registro. Si separa capas inclinadas truncadas de capas con otra orientación, es una discordancia angular. El tiempo ausente puede incluir erosión y falta de sedimentación.

Correlacionar es relacionar registros de lugares distintos. Un fósil de intervalo temporal corto y distribución amplia puede ayudar, pero un fósil retrabajado fue erosionado de un depósito anterior y redepositado: no fecha directamente el nuevo sedimento.

- 29 Intrusión, erosión y recubrimiento.** Las capas A, B y C están, de abajo arriba, sin inversión. Un dique D corta las tres. Una superficie erosiva trunca C y el dique; encima se deposita E, que no está cortada por D. Ordena los acontecimientos y explica por qué D no puede ser el más reciente.

#### Solución

La secuencia mínima es depósito de A, de B y de C; intrusión de D; erosión que trunca las unidades previas; y depósito de E. D es posterior a C porque la corta, pero anterior a la erosión que lo trunca y al depósito de E. No se necesitan edades numéricas para establecer esas relaciones.

**Comprobación:** comprueba dos restricciones independientes: C debe preceder a D y D debe preceder a E. Una lista que acabe en D viola la segunda, aunque respete la primera.

- 30 Un contacto con tiempo ausente.** Una serie de capas inclinadas termina contra una superficie erosiva. Sobre ella descansan capas horizontales. Ambas series fueron depositadas inicialmente horizontales y no hay fallas en el contacto. Identifica la discontinuidad y reconstruye los procesos mínimos entre ambas sedimentaciones.

#### Solución

Es una discordancia angular. Tras depositarse la serie inferior, tuvo que inclinarse y después ser erosionada antes de acumularse la superior. El orden mínimo es sedimentación inferior, inclinación, erosión y sedimentación superior. El contacto prueba ausencia de parte del registro, pero no informa por sí solo de cuántos años faltan.

**Comprobación:** si colocas la inclinación después del depósito superior como única deformación conjunta, deberías explicar por qué la serie superior permanece horizontal mientras la inferior ya estaba truncada. La secuencia propuesta evita esa contradicción.

- 31 Correlacionar sin igualar rocas.** En un ejercicio con especies ficticias, el fósil F vivió entre 105 y 101 Ma y G entre 140 y 90 Ma. Ambos tuvieron amplia distribución. Un estrato calizo y otro arenoso contienen F bien conservado y sin indicios de retrabajamiento. ¿Cuál de los fósiles acota mejor la edad? ¿Las dos rocas tuvieron que depositarse exactamente a la vez?

#### Solución

F restringe la edad a un intervalo de 4 Ma; G abarca 50 Ma y discrimina menos. La diferencia litológica no impide que los estratos pertenezcan al mismo intervalo bioestratigráfico. Sin embargo, compartir F no demuestra simultaneidad exacta: podrían ocupar momentos distintos dentro de esos cuatro millones de años.

**Comprobación:** una edad propuesta de 120 Ma cabe en el rango de G pero queda fuera del de F. Si

tu criterio acepta esa edad para las capas con F, no está aplicando el fósil que mejor restringe el caso.

32

**El fósil que llegó de otra roca.** Un conglomerado incluye cantos de caliza con fósiles. Se observa que esos fósiles están dentro de los cantos y cortados por sus bordes erosionados. Un informe asigna al conglomerado la edad de los organismos. Explica qué relación de edad puede defenderse y qué información faltaría.

#### Solución

Los fósiles pertenecen a la caliza que después se erosionó para formar los cantos. Su formación precede a la del conglomerado, pero no fecha directamente el nuevo depósito. Harían falta indicadores de la sedimentación del conglomerado, por ejemplo fósiles no retrabajados en su matriz o niveles datables que lo acoten. Tampoco puede calcularse la duración del intervalo solo con los cantos.

**Una pista que avisa:** una cronología que coloque el conglomerado antes de la roca que suministró sus cantos invierte la relación de inclusión. Una que los iguale sin evidencia confunde edad heredada y depósito.

## Edades numéricas y límites de la datación

### Lo que hay que saber

Una semivida es el tiempo necesario para que se desintegre la mitad de los átomos de un isótopo padre. Tras  $n$  semividas queda una fracción  $(1/2)^n$  del padre inicial. El isótopo hijo es el producto de la desintegración considerado en el sistema.

La interpretación exige conocer o corregir el hijo inicial y evaluar si el sistema permaneció cerrado al intercambio de padre e hijo. Una edad puede registrar cristalización, enfriamiento o un reajuste posterior, según el mineral y el método.

Una edad mayor en Ma significa un acontecimiento más antiguo. Los niveles volcánicos intercalados pueden acotar sedimentos si se conoce su relación de depósito. No debe confundirse la edad de un grano heredado con la edad de la roca sedimentaria que lo contiene.

33

**Tres mitades sucesivas.** Un sistema isotópico ideal tenía solo padre al cerrarse. Hoy conserva el 12,5 % del padre inicial. Su semivida hipotética es de 18 Ma; no hubo intercambios y el hijo es estable. Calcula el tiempo transcurrido sin atribuir esta semivida a ningún isótopo real.

#### Solución

Tras una semivida queda el 50 %; tras dos, el 25 %; tras tres, el 12,5 %. Han transcurrido tres semividas, es decir,  $3 \times 18 = 54$  Ma. El porcentaje no se reduce en la misma cantidad cada vez: se divide por dos el padre que aún queda.

**Comprobación:** parte de 800 átomos iniciales: después de tres pasos quedan 400, 200 y 100. Esos 100 son el 12,5 % de 800; una edad de 36 Ma dejaría 200 y no cumple el dato.

34

**Padre e hijo en la misma muestra.** En otro modelo ideal cada átomo padre produce un átomo hijo estable. No había hijo al cerrarse el sistema y no se intercambiaron átomos. Hoy hay 240 átomos padre y 720 hijo. La semivida hipotética es de 35 Ma. Calcula la edad y explica por qué no se toma  $240/720$  como fracción de padre restante.

### Solución

El número inicial de átomos padre era  $240 + 720 = 960$ . La fracción restante es  $240/960 = 1/4$ , equivalente a dos semividas. La edad resulta  $2 \times 35 = 70$  Ma. El cociente padre/hijo no tiene como denominador la cantidad inicial, por lo que no se usa directamente como fracción conservada.

**Comprobación:** desintegra 960 átomos durante dos semividas: quedan 480 y luego 240; los 720 que faltan deben aparecer como hijo. Una respuesta debe satisfacer ambos recuentos.

35

**Un sedimento entre cenizas.** En una sucesión no invertida, una capa sedimentaria se sitúa entre dos cenizas volcánicas depositadas durante sus respectivas erupciones. La ceniza inferior tiene edad de 82 Ma y la superior de 77 Ma. Ignora incertidumbres de medida. Acota la edad del sedimento y valora una propuesta de 85 Ma.

### Solución

El sedimento se depositó después de la ceniza de 82 Ma y antes de la de 77 Ma. Su edad queda entre 77 y 82 Ma, sin poder elegir un valor exacto ni asumir automáticamente el punto medio. La propuesta de 85 Ma sería anterior a la ceniza inferior y contradice la superposición descrita.

**Comprobación:** coloca la propuesta entre las dos erupciones en una línea temporal verbal: 82 Ma, sedimento, 77 Ma. Si es más antigua que 82 o más reciente que 77, queda fuera del intervalo permitido.

36

**Una pérdida altera el reloj.** En un sistema ideal cerrado y sin hijo inicial, una muestra conserva 100 átomos padre y 300 hijo radiogénico. Después pierde 200 átomos hijo y ningún padre, sin que transcurra tiempo apreciable. Si se interpreta erróneamente la composición final como la de un sistema cerrado, ¿se obtiene una edad mayor o menor? Expresa ambas en semividas.

### Solución

Antes de la pérdida, la fracción padre es  $100/(100 + 300) = 1/4$ : dos semividas. Después quedan 100 padre y 100 hijo. El cálculo erróneo da  $100/(100 + 100) = 1/2$ : una semivida. La edad aparente se rejuvenece; no significa que el mineral haya cristalizado de nuevo.

**Comprobación:** el tiempo real no cambió durante la pérdida. Si tu interpretación convierte el descenso de hijo en un acontecimiento real de cristalización, has confundido modificación del sistema con formación del mineral.

## Historia de la Tierra a partir de evidencias

### Lo que hay que saber

La historia terrestre se reconstruye combinando dataciones, relaciones entre rocas, fósiles y señales químicas. La escala distingue unidades jerárquicas: eón, era, período y época. No son tramos de igual duración.

La diferenciación temprana separó materiales de distintas densidades y contribuyó a formar núcleo y manto. Las rocas más antiguas conservadas no tienen por qué registrar el comienzo del planeta: el registro se destruye y se recicla.

Una extinción masiva afecta de forma amplia a la biodiversidad en un intervalo geológicamente breve; una desaparición local no la demuestra. La coincidencia temporal apoya una hipótesis causal, pero hacen falta mecanismos y evidencias independientes para evaluarla.

37

**La edad de la Tierra no es la de una roca.** Toma como referencia aproximada 4.540 Ma para la formación de la Tierra. En un caso hipotético, la roca más antigua conservada en una región tiene 3.600 Ma. Calcula el intervalo entre ambas edades y explica por qué la segunda cifra no contradice la primera.

#### Solución

Entre ambas edades hay  $4.540 - 3.600 = 940$  Ma. La roca regional pudo formarse mucho después que el planeta. Además, las rocas anteriores pueden haber sido transformadas o destruidas, o simplemente no estar representadas en la región. Una muestra local no fija por sí sola la edad terrestre.

**Comprobación:** sumar los 940 Ma de diferencia a la edad de la roca debe recuperar 4.540 Ma. Si concluyes que no existió nada antes de la roca, estás convirtiendo ausencia de registro en ausencia de historia.

38

**Una corteza oceánica antigua en tierra firme.** Una cordillera contiene un conjunto interpretado como fragmento de antigua litosfera oceánica: incluye rocas del manto, rocas ígneas de corteza oceánica y sedimentos marinos profundos. El conjunto se encuentra tectónicamente sobre rocas continentales. Propón una historia compatible y evita atribuirle únicamente a una bajada del mar.

#### Solución

El conjunto pudo originarse en un dominio oceánico y después emplazarse sobre el continente durante convergencia y cierre de una cuenca. El emplazamiento de litosfera oceánica sobre un margen continental se denomina obducción. Una bajada del nivel del mar podría exponer sedimentos, pero no explica por sí sola la superposición tectónica de materiales de corteza y manto oceánicos sobre el continente.

**Una pista que avisa:** la explicación debe dar cuenta tanto del origen oceánico como del contacto tectónico actual. Si solo habla de retirada del agua, deja sin explicar el segundo dato.

39

**Evaluar una crisis biológica.** Un caso didáctico describe desaparición de muchos grupos fósiles cerca de un mismo nivel en cuencas alejadas. Ese nivel contiene material interpretado como procedente de un impacto. Formula una hipótesis sobre la crisis y dos comprobaciones necesarias antes de defender una relación causal. No se asigna el caso a una extinción histórica concreta.

#### Solución

La hipótesis es que un impacto contribuyó a una crisis biológica extensa. Habría que comprobar que las desapariciones y el depósito del material son coetáneos dentro de la resolución disponible, y buscar un mecanismo y evidencias ambientales compatibles, por ejemplo alteraciones que afectaran a la producción biológica. También debe descartarse que los aparentes últimos fósiles se deban a hiatos, cambios locales de ambiente o muestreo escaso.

**Comprobación:** si las mejores dataciones situaran todas las desapariciones antes del impacto, este no podría ser su causa inicial. Una hipótesis que se mantiene igual ante ese resultado no está siendo contrastada.

40

**Oxígeno: producción y acumulación.** Un modelo de la Tierra temprana incluye organismos productores de oxígeno y grandes cantidades de sustancias reducidas que lo consumen por oxidación. Durante un primer intervalo no se acumula mucho oxígeno atmosférico; más tarde sí. Explica cómo puede ocurrir sin suponer que los organismos empezaron a producir oxígeno justo en el segundo intervalo.

#### Solución

La acumulación depende del balance entre producción y consumo. Puede haber producción temprana cuyo oxígeno se consuma al oxidar sustancias del océano, las rocas o gases. Si cambian las fuentes o disminuyen los sumideros, aumenta la fracción que permanece en la atmósfera. El inicio de acumulación no equivale necesariamente al origen de la producción biológica.

**Comprobación:** prueba tu explicación con una producción constante y un consumo que pase de igualarla a ser menor. Debe predecir ausencia de acumulación primero y acumulación después; si no, confunde flujo producido y cantidad almacenada.

## Peligros geológicos y reducción del riesgo

### Lo que hay que saber

La peligrosidad describe la posibilidad e intensidad de un fenómeno potencialmente dañino. La exposición identifica personas o bienes que pueden verse afectados; la vulnerabilidad expresa su susceptibilidad al daño. El riesgo depende de esos componentes y del modelo utilizado.

La magnitud caracteriza el tamaño de un terremoto; la intensidad describe efectos en un lugar. Un mismo terremoto puede generar intensidades distintas. Los sedimentos saturados y poco compactados pueden perder resistencia durante sacudidas intensas, proceso llamado licuefacción.

En laderas importan pendiente, materiales, discontinuidades y agua. La vigilancia ayuda a tomar decisiones, pero no convierte una probabilidad en una fecha cierta. Los ejercicios son casos académicos, no instrucciones para gestionar una emergencia real.

41

**Igual peligrosidad, distinto daño esperado.** Dos poblaciones hipotéticas comparten probabilidad anual de 0,02 de un evento de intensidad fijada. A tiene bienes expuestos por 10 millones de euros y fracción de daño 0,10; B, 4 millones y fracción de daño 0,50. En este modelo de un único escenario, pérdida anual esperada = probabilidad × valor expuesto × fracción de daño. Calcula y compara.

#### Solución

Para A:  $0,02 \times 10.000.000 \times 0,10 = 20.000$  euros/año. Para B:  $0,02 \times 4.000.000 \times 0,50 = 40.000$  euros/año. B presenta mayor pérdida esperada pese a tener menos valor expuesto porque su vulnerabilidad asignada es mayor. Son valores medios del modelo, no facturas que se repetirán cada año.

**Comprobación:** la pérdida de A cuando ocurre el escenario es 1.000.000 de euros y la de B, 2.000.000. Aplicar a ambas la misma probabilidad debe mantener la proporción de dos a uno.

42

**Un terremoto, dos intensidades.** Dos localidades registran el mismo terremoto. A está sobre roca competente; B sobre sedimentos blandos y saturados. Las construcciones comparadas son semejantes, pero B sufre más daños. Explica por qué no procede asignar una magnitud diferente al terremoto en cada localidad y propone mecanismos locales compatibles.

#### Solución

La magnitud se refiere al evento, aunque las estimaciones instrumentales puedan diferir. La intensidad local recoge efectos y puede variar. La respuesta de los sedimentos puede amplificar

ciertas sacudidas y, si se dan las condiciones, puede producirse licuefacción. Los daños por sí solos no prueban cuál de esos mecanismos actuó; harían falta registros y observaciones del terreno.

**Una pista que avisa:** si tu respuesta habla de dos terremotos distintos solo porque difieren los daños, contradice el dato de un único evento. Si da por segura la licuefacción sin evidencias adicionales, excede lo descrito.

43

**Agua y estabilidad de una ladera.** En una ladera, la tensión normal total sobre una superficie potencial de deslizamiento permanece en 100 kPa. La presión del agua en sus poros aumenta de 20 a 60 kPa. Usa la relación simplificada tensión normal efectiva = tensión total – presión de poros. Calcula el cambio y razona el efecto sobre la resistencia por fricción, manteniendo lo demás constante.

#### Solución

La tensión efectiva inicial es  $100 - 20 = 80$  kPa y la final,  $100 - 60 = 40$  kPa. Disminuye a la mitad. En un modelo friccional, una menor tensión efectiva reduce la resistencia disponible, por lo que puede favorecer la inestabilidad. No permite asegurar el momento del deslizamiento: faltan esfuerzos motores y otras propiedades resistentes.

**Comprobación:** en ambos estados, tensión efectiva más presión de poros debe sumar 100 kPa. Una respuesta que aumente la tensión efectiva al aumentar el agua rompe esa relación.

44

**Qué cambia cada medida.** En una zona volcánica hipotética se proponen tres medidas: impedir nuevas viviendas en un área de peligro alto; reforzar cubiertas frente a cargas de ceniza previstas; mejorar la vigilancia instrumental. Relaciona cada una con exposición, vulnerabilidad o conocimiento del fenómeno. ¿Alguna garantiza que no haya erupciones?

#### Solución

Limitar viviendas reduce la futura exposición. El refuerzo puede reducir vulnerabilidad frente al tipo de carga para el que se diseñe. La vigilancia mejora información y capacidad de detectar cambios, y puede apoyar decisiones de protección. Ninguna de esas medidas elimina el proceso volcánico ni garantiza una predicción exacta. La eficacia concreta exige estudios y decisiones competentes.

**Comprobación:** imagina una erupción de idénticas características con y sin cada medida. Si lo que cambia son personas expuestas o daños, no has eliminado la peligrosidad física del evento.

## Agua subterránea, recursos y balances

### Lo que hay que saber

La porosidad es la proporción de huecos; la permeabilidad expresa la facilidad para transmitir fluidos. Un acuífero almacena y transmite agua en cantidades aprovechables en un contexto dado. Tener muchos poros no garantiza conexiones eficaces entre ellos.

Un balance de agua compara entradas, salidas y cambio de almacenamiento. La extracción puede modificar descargas naturales y niveles; igualar una estimación de recarga no garantiza por sí solo ausencia de impacto.

En minería, la ley expresa proporción del componente de interés. La recuperación es la fracción que logra extraerse mediante el proceso. Un recurso identificado no se convierte automáticamente en reserva explotable: importan condiciones técnicas, económicas y ambientales.

45

**Mucho hueco, poca circulación.** La muestra A tiene porosidad del 35 % y poros diminutos con conexiones muy estrechas. B tiene un 15 % de huecos conectados por conductos amplios. En ensayos de igual tamaño y gradiente hidráulico, el agua atraviesa B más deprisa. ¿Contradice esto los porcentajes? Explica qué propiedad no puede ordenarse usando solo la porosidad.

#### Solución

No hay contradicción. A puede contener una proporción mayor de huecos y transmitir peor el agua por sus estrechamientos. La permeabilidad depende de geometría, conexiones y tamaño de los conductos, no únicamente del volumen vacío. El ensayo respalda mayor facilidad de circulación en B bajo las condiciones comparadas; no determina por sí solo el volumen extraíble a escala regional.

**Una pista que avisa:** si tu orden de permeabilidad obliga a que A transmita más deprisa solo por tener 35 %, entra en conflicto directo con el ensayo descrito.

46

**Un acuífero pierde reservas de agua.** Durante un año entran en un acuífero  $9 \text{ hm}^3$  de recarga. Salen  $4 \text{ hm}^3$  por descargas naturales y  $7 \text{ hm}^3$  por bombeo. No hay otros flujos. Calcula el cambio de almacenamiento. Para ese mismo balance anual, ¿qué bombeo lo dejaría en cero si se mantuvieran las otras cantidades?

#### Solución

El cambio es  $9 - 4 - 7 = -2 \text{ hm}^3$ : el almacenamiento disminuye en  $2 \text{ hm}^3$ . Con las otras magnitudes fijas, el bombeo que equilibra el año sería  $9 - 4 = 5 \text{ hm}^3$ . No es una recomendación automática de explotación sostenible: las cantidades varían y también importan calidad, ecosistemas y respuesta espacial del acuífero.

**Comprobación:** al bombear  $5 \text{ hm}^3$ , las salidas totales serían  $4 + 5 = 9 \text{ hm}^3$ , iguales a las entradas. Proponer  $9 \text{ hm}^3$  de bombeo olvidaría la descarga natural.

47

**Ley del mineral y recuperación.** Una planta procesa 2.500 toneladas de material con una ley en masa del 1,6 % de metal M. Recupera el 75 % del metal contenido; no hay otros aportes. Calcula el metal recuperado y el que queda sin recuperar. No confundas esas masas con la masa total de residuos.

#### Solución

El material contiene  $2.500 \times 0,016 = 40$  toneladas de M. Se recuperan  $40 \times 0,75 = 30$  toneladas y quedan 10 toneladas de M sin recuperar. Estas últimas no son la masa total de residuos, que incluye el resto de materiales y depende además del proceso. Tampoco puede calcularse un beneficio económico sin costes y precios.

**Comprobación:** metal recuperado más metal no recuperado debe sumar 40 toneladas. Obtener 1.875 toneladas aplicando el 75 % directamente al material bruto superaría ampliamente el metal disponible.

48

**Escoger qué investigar antes de autorizar.** Un proyecto de cantera se sitúa sobre roca caliza fracturada, aguas arriba de un manantial utilizado por una población. Se desconoce si las fracturas conectan ambos puntos. La empresa afirma que «la distancia basta para descartar afecciones». Identifica la incertidumbre principal, dos investigaciones útiles y el límite de la conclusión actual.

#### Solución

La incertidumbre principal es la conexión hidrogeológica y la posible vía de circulación. Serían útiles una caracterización de fracturas y niveles de agua, y estudios de trazadores adecuados y autorizados, junto con seguimiento de caudal y calidad. La distancia superficial por sí sola no

representa las rutas subterráneas. Sin esos datos no puede afirmarse ni ausencia de afección ni contaminación inevitable.

**Comprobación:** pregunta si la conclusión cambiaría al demostrarse una conexión rápida con el manantial. Si la respuesta de la empresa siguiera siendo «no hay afección por la distancia», estaría ignorando justamente la evidencia que debe decidir el caso.

---