

Solucionario

LA HISTORIA DE NUESTRO PLANETA

Interpreta la imagen

- Se observan dos esqueletos de dinosaurios cuadrúpedos de la misma especie, en posición de vida. A la derecha, abajo, se observa un nido con huevos.
- Se trata de Protoceratops, un dinosaurio herbívoro de Mongolia del que se conocen muchos ejemplares, como los de la foto, perfectamente conservados y completos. Pertenecen al grupo de los ceratópsidos. El más famoso de este grupo es Triceratops. Tienen una cabeza muy grande para lo que es habitual en los dinosaurios.
- Era Mesozoica o Secundaria.

Claves para empezar

- Están más estrechamente emparentados con las aves que con los otros reptiles. Las aves descienden directamente de una línea de reptiles extinta, los Terópodos (grupo al que también pertenecía *Tyrannosaurus rex*), con la cual muestran afinidades evidentes (patas escamadas, plumas, pico, postura bipeda...).
- Principalmente de las rocas, aunque se pueden buscar indicios en otros materiales.
- Porque en la Tierra se observan gran cantidad de rocas y fenómenos que necesitan tiempos muy largos para formarse, suponiendo que los procesos físico-químicos y biológicos que los originaron se desarrollaron con el mismo ritmo (velocidad) de hoy (principio del actualismo).

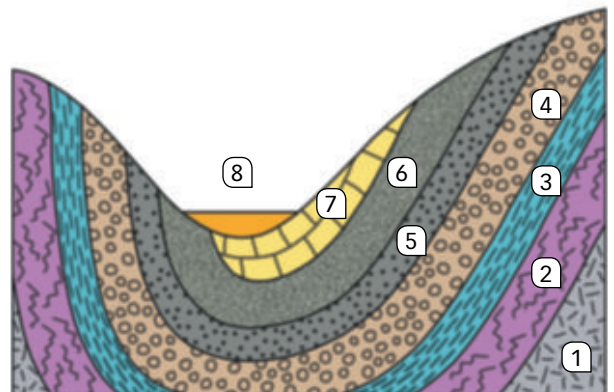
- 1 Porque en la Tierra se observan gran cantidad de rocas y fenómenos que necesitan tiempos muy largos para formarse, suponiendo que los procesos físico-químicos y biológicos que los originaron se desarrollaron con el mismo ritmo (velocidad) de hoy (principio del actualismo).

2 USA LAS TIC.

Autor y año de propuesta	Producida por	Método de cálculo
1779 Conde de Buffon	75 000 años	Velocidad de enfriamiento de una bola.
1859 Charles Darwin	Máximo 300 m.a.	Velocidad de erosión y sedimentación.
1860 John Philips	96 millones de años	Sedimentación del río Ganges.
1899 John Joly	80 a 90 millones de años	Salinización progresiva del mar.

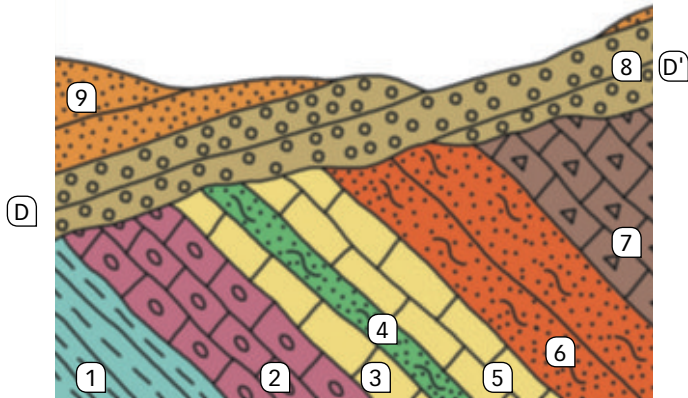
- 3 **Interpreta la imagen.** R. M. Los *ripples* son estructuras onduladas que se forman en un fondo inicialmente liso, con arena expuesta a la acción del agua (olas, corrientes) o del viento. Si la dinámica del medio aumenta, son borrados; si no, son enterrados bajo sedimento y se pueden conservar durante la litificación, o sea, fosilizan. En este caso, se hallan en areniscas, fundamentalmente en las superficies de estratificación.

- 4 Para los uniformistas, 90 m.a. era poco tiempo para poder explicar la formación y la erosión de las montañas, así como otros fenómenos geológicos. En cambio, los resultados de Arthur Holmes, quien alargaba la vida de Tierra hasta 1 800 m.a., proporcionaron el tiempo necesario para la explicación de gran cantidad de hechos y fenómenos observados.
- 5 En el medio acuático la acción del oxígeno es menor que al aire libre; además, hay mayor probabilidad de que el organismo quede rápidamente enterrado entre capas de sedimentos, y de que se produzcan procesos de mineralización gracias a los minerales disueltos en el agua.
- 6 Porque son piezas del esqueleto que están muy mineralizadas y no se descomponen por la acción bacteriana.
- 7 R. M. «Fósil viviente» es un término informal o coloquial que se utiliza para clasificar especies vivientes que son extremadamente parecidas a especies identificadas solo a través de los fósiles. Existen numerosos ejemplos, entre los que destacan algunas plantas, como *Ginkgo biloba*, *Sphenodon* y *Metasecuoya*, y algunos animales, como el pez celacanto (*Latimeria chalumnae* y *Latimeria menadoensis*).
- 8 Si la cantidad de potasio-40 que se ha desintegrado es solo el 18%, aún no se ha cumplido el primer periodo de semidesintegración. Una sencilla regla de tres ($18 \times 1300 / 50$) nos permite estimar que solo han pasado 468 m.a. desde la formación de la muestra.
- 9 Porque después de 6-7 periodos, la cantidad de C-14 que queda en la muestra es demasiado pequeña y no es fiable. En este caso, el periodo de vida es 5 700 años.
- 10 La correlación no es perfecta porque al ser lugares tan alejados han experimentado eventos geológicos diferentes. Las correlaciones sirven para establecer una correspondencia cronológica entre los estratos en los que existen coincidencias litológicas o entre los fósiles que contenga.
- 11 • Corte A. Depósito horizontal de las capas desde 1 (la más antigua) a 7 (la más moderna de este conjunto). Plegamiento con forma sinclinal y erosión por un río que genera un valle. Depósito del estrato 8, sedimentos fluviales, en discordancia con la serie anterior.



- Corte B. Depósito horizontal continua de las unidades de 1 a 7, con variaciones de litología y fósiles (indicando

diferentes medios marinos y costeros). Inclinación de las capas por efecto tectónico (plegamiento). Erosión extensa que genera la superficie D-D'. Nueva deposición de las unidades o estratos 8 y 9. Ligera inclinación tectónica en sentido opuesto a la de las unidades 1-7.



13 La razón es que el tiempo largo, si por un lado permite acumular documentos (rocas), por otro favorece aún más su destrucción. Como consecuencia, cuanto menos tiempo ha pasado, más documentos se conservan y su datación puede ser más precisa (detallada).

14 Con la fotosíntesis se produjo un aumento de oxígeno que provocó la muerte de los organismos anaerobios y, por otra parte, dicho proceso consume dióxido de carbono que disminuye el efecto invernadero; en consecuencia, el enfriamiento del planeta fue debido a los organismos.

15 Porque los organismos (unicelulares, microbios) no fosilizaban, no produciendo partes mineralizadas (con carbonato de calcio, sílice u otro). Pero producían fósiles químicos y estructuras, o sea huellas de su actividad (estromatolitos), que son abundantes en las rocas carbonatadas precámbricas.

15 El desarrollo de la capa de ozono que protege de los efectos nocivos de la radiación ultravioleta del Sol.

17 Porque los terrenos que forman el núcleo de la península Ibérica han ido cambiando de posición a lo largo de los tiempos geológicos. Cuando se formaron los bosques que dieron origen a los citados yacimientos de carbón, se encontraba en zona tropical.

18 USA LAS TIC. R. M. Alpes, Andes, Montañas Rocosas e Himalaya. En España, Pirineos y Béticas.

19 Un clima cálido y húmedo debido a un fuerte efecto invernadero (superior al actual, en cuanto que no existían glaciares). Este tipo de clima sucedió al más seco y frío que dominaba al final de la Era Paleozoica, cuando existía una única y enorme masa continental (Pangea). La fragmentación

durante la Era Mesozoica (y consiguiente «deriva continental»), al aumentar las superficies costeras, favoreció que el clima se hiciera más benigno.

20 Los bosques del Mesozoico formaron depósitos de materia orgánica en los continentes y en sus márgenes (vegetación lacustre y costera que tras su enterramiento se hizo lignito un tipo de carbón con menos contenido en carbono que los del Paleozoico). Por otra parte, con el aumento del nivel de los océanos, se formaban niveles de agua estancada donde como consecuencia de la escasa circulación, se agotaba el oxígeno, y los restos del plancton que caían al fondo en condiciones de enterramiento adecuado se transformaban en hidrocarburos (petróleo y gas).

Saber más

• **USA LAS TIC.** R. M. El término Antropoceno fue introducido en el año 2000 para designar el tiempo transcurrido desde que las actividades humanas comenzaron a ejercer un notable impacto global sobre el medio natural. Por ahora se trata de un término informal y no hay acuerdo de cuándo fue su comienzo: algunos autores lo relacionan con el comienzo de la agricultura (Neolítico) y otros con la Revolución Industrial (finales del XVIII). Sin embargo, un grupo de científicos está elaborando un informe para presentarlo a la comunidad geológica internacional en agosto 2016 en Ciudad del Cabo (Sudáfrica) para su discusión a partir de entonces.

Este grupo define el Antropoceno como «el intervalo de tiempo en el que nuestra especie ha sacado al planeta fuera de su variabilidad natural cuaternaria» y propone a la Comisión Internacional de Estratigrafía que sea considerado una «época» (categoría similar al Holoceno) que comenzaría en relación con el proceso de la Gran Aceleración bien con la explosión de la primera bomba atómica en la atmósfera (bomba *Trinity*, desierto de Alamogordo en EE. UU., en 1947) o con la aparición del primer registro sedimentario de los isótopos radiactivos (Cs-137, Sr-90, Pu-239) en 1952 producidos por las sucesivas explosiones atómicas en la atmósfera. La desaparición actual de especies está íntimamente ligada a la sobreexplotación de los recursos que ha aumentado la tasa de extinción de especies animales y vegetales con respecto a su ritmo de extinción natural, se ha multiplicado por 100. Para hacerse una idea, en un escenario donde prevaleciera esta tasa natural, desde 1900 se habrían extinguido nueve especies de vertebrados. En realidad, se han extinguido 477 especies. Habrían hecho falta unos 10000 años para acabar con la vida que ha desaparecido en un solo siglo. Además, el proceso se está acelerando. Considerando únicamente los vertebrados, los anfibios son la clase más afectada. Pero si, desde 1500 se había constatado la desaparición de 34 especies anfibias, desde 1980 se han extinguido otras 100. Y eso que no hay que descartar que muchas otras hayan desaparecido sin testigos humanos que lo confirmaran. Los investigadores, que insisten en que sus estimaciones son muy conservadoras, recuerdan que en sus cálculos no tienen en cuenta a las muchas especies que se han convertido en muertos vivientes, con poblaciones tan escasas que su función en los ecosistemas es cercano a cero.

LA HISTORIA DE NUESTRO PLANETA

21 Porque tras la extinción de los dinosaurios y los grandes reptiles, pasaron a ocupar los nichos ecológicos y todos los niveles tróficos que habían estado ocupados por los reptiles. Este fenómeno se conoce como radiación adaptativa.

22 RESUMEN

- El actualismo defiende que los procesos que han dado forma a la Tierra a lo largo del tiempo son los mismos que aún se producen en la actualidad (vulcanismo, terremotos, erosión, etc.).
- El uniformismo postula que los fenómenos geológicos, como la erosión o los plegamientos, necesitan largos periodos de tiempo y actúan de forma gradual y continua.
- La fosilización es parte del proceso de litificación por el que se produce la transformación de un sedimento o un suelo en roca, y permite la conservación de restos orgánicos y estructuras físicas que los organismos vivos originaron.
- El principio de correlación orgánica postulado por el zoólogo francés Georges Cuvier, establece que las diferentes partes de la anatomía de un animal guardan una estrecha relación entre sí y con sus hábitos de vida. Según este principio, a partir de una parte del organismo, como un hueso o un diente, se puede deducir cómo será el resto.
- La tafonomía es una parte de la paleontología que estudia los tipos de fosilización de los organismos enterrados en los sedimentos, información que puede ser utilizada para reconstruir los procesos geológicos que han tenido lugar tras la muerte de los organismos.
- Los principales técnicas de geocronología absoluta están fundadas sobre medidas cuantitativas de isótopos radiactivos con decaimiento, ya sea muy lento o veloz. Los primeros se utilizan para rocas muy antiguas (métodos de uranio-plomo, rubidio-estroncio), los segundos para materiales recientes, desde algunos millones de años hasta la actualidad (métodos de potasio-argón, carbono-14).
- Los principios en los que se basa la geocronología relativa son el orden de superposición de los estratos, el orden de sucesión de los acontecimientos geológicos y las correlaciones estratigráficas, fundamentalmente basándose en su contenido fósil. El contenido fósil está condicionado por la evolución biológica, que es irreversible y da el sentido (flecha) del tiempo, aunque no lo mida.
- Los fósiles guía son los que se encuentran a la vez en áreas extensas y en un intervalo de tiempo limitado (lo que implica, generalmente, un escaso espesor de roca). Permiten las correlaciones más fiables, incluido a nivel mundial.
- Las discordancias estratigráficas son superficies que cortan unidades y grupos de estratos y forman la base de una unidad o grupo más joven y con diferente orientación. Indican interrupciones en la deposición de las capas y son causadas por fenómenos de erosión o deslizamiento pero no de tectónica (fallas, recubrimientos, etc.).
- La historia de la Tierra se divide en eones, eras y periodos, en orden decreciente de duración.

23 La idea de una Tierra «de vida corta» se basaba en el cómputo de las generaciones listadas en la Biblia a partir de Adán, considerado coetáneo con el planeta recién «creado», asumiendo una duración media constante (unos 25 años por cada generación). A finales del siglo XIX diversos científicos, aplicando métodos de análisis actualísticos habían calculado edades que apenas sobrepasaban los 300 m.a. La demostración de la «larga vida» del planeta se pudo hacer 150 años después de Hutton mediante los métodos de datación radiométrica, utilizando el fenómeno de la radioactividad descubierto al final del siglo XIX.

24 El uniformismo admite solamente cambios lentos y graduales en la evolución del paisaje a largo plazo, considerando que fenómenos «catastróficos» como terremotos y erupciones volcánicas desempeñaban un papel subordinado o marginal. El neocatastrofismo considera como naturales eventos «supercatastróficos» (de energía excepcional) que los humanos no podemos testimoniar por ser poco frecuentes, pero que quedan registrados en las rocas; es decir, en la historia geológica del planeta; a estos les atribuye un papel más importante en el modelado de la superficie terrestre y en la evolución de los seres vivos. Por ejemplo, varias extinciones en masa son interpretadas como producidas por algún tipo de evento instantáneo y violentísimo, como el impacto de un asteroide, la explosión de una supernova, periodos de vulcanismo excepcional, etc.

25 Un enterramiento rápido sustrae el organismo del contacto con el medio ambiente y su dinámica, protegiéndolo de la erosión, y limitando las reacciones químicas. Si en el agua atrapada entre los poros del sedimento se agota el oxígeno, la descomposición de la materia orgánica (que en última instancia es una forma de oxidación) se detiene, y se pueden conservar las partes blandas de los organismos.

26 Los fósiles guía permiten correlacionar temporalmente estratos alejados. Se caracterizan por ser restos de organismos que vivieron en un periodo de tiempo concreto y bien conocido y que se extendieron ampliamente. Algunos ejemplos son: durante el Paleozoico: trilobites o graptolites; durante el Mesozoico: ammonites, belemnites o dinosaurios; y durante el cenozoico: foraminíferos planctónicos o bentónicos (Cummulites).

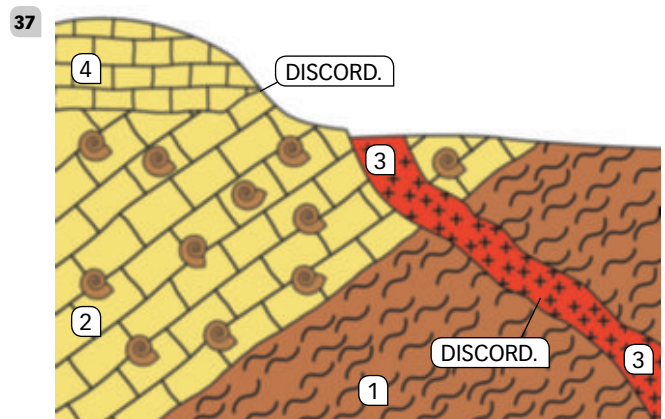
27 Tipos de fósiles: corporales (restos de huesos, conchas, dientes, etc.); químicos (sustancias químicas en las rocas cuya procedencia solo es posible como consecuencia de actividad biológica); moldes (icnitas y partes blandas de organismos).

28 La edad de un árbol se establece contando los anillos de crecimiento expuestos en un corte. Cada anillo representa un año. El árbol crece más en condiciones climáticas óptimas (anillos más gruesos), menos o casi nada en años de estrés climático (sequía, bajas temperaturas debido a erupciones volcánicas, etc.). Desde el punto de vista geológico, esta sería una técnica de cronología relativa porque determinamos la duración de la vida del árbol, no su verdadera edad, si no lo hemos visto nacer. Para conocer la edad de un árbol fósil, hay que aplicar una técnica radiométrica (carbono-14).

- 29** Periodo de vida media o semidesintegración es el tiempo que un isótopo radiactivo emplea para desintegrarse a la mitad. Se determina en el laboratorio, o sea en condiciones controladas. La desintegración produce energía en forma de radiaciones, más una cantidad de elemento «hijo». Pesando las cantidades relativas del «padre» y del «hijo» en una roca, se puede calcular cuántos periodos han pasado desde cuando empezó la desintegración, es decir, la edad de la misma.
- 30** En este caso, para edades inferiores a 40000-50000 años, se aplica la técnica del carbono-14 porque la cantidad de carbono presente en el material («padre» con respecto al «hijo») es todavía reconocible y mensurable en cuanto corresponde a 4 periodos y pico de vida media. Por encima de 8 periodos el carbono se reduce a «trazas» (cantidades indeterminables).
- 31** Correlación: sus huesos están en conexión anatómica; tiene pico y pluma; es muy probable que sea un ave. Tafonomía: tras su muerte fue cubierto de sedimentos de forma rápida. Fósiles guía: permite correlacionar estratos de lugares muy alejados entre sí; solo se han encontrado en estratos de hace entre 100 y 50 m.a.
- 32** Con respecto al tiempo de vida de la Tierra, el Precámbrico representa el 86%; con respecto al Fanerozoico, el 700% (siete veces). Las unidades del Precámbrico son incomparables a las del Fanerozoico por estar definidas con criterios diferentes. Los principios de la estratigrafía (superposición, discordancias, correlación, etc.) se aplican solamente a la parte más alta del Precámbrico, caracterizado por su gran cantidad y variedad de afloramientos, tipos de rocas y fósiles.
- 33** Se puede saber que una concha de ammonites permaneció flotando cuando presenta serpúlidos (tubos de gusanos), balanos y otros restos de seres vivos que se fijan a objetos flotantes.
- 34** a) Entre el eón Precámbrico y el eón Fanerozoico: el límite está representado por una discordancia angular entre rocas cristalinas (metamórficas) sin fósiles sobre la que se sitúan las rocas sedimentarias fosilíferas del Cámbrico.
 b) Final de la Era Paleozoica: extinción biológica en masa, afectando sobre todo organismos marinos (corales, etc.). Límite a veces discordante, a veces no.
 c) Entre la Era Mesozoica y la Cenozoica: otra extinción en masa, afectando dinosaurios, ammonites, belemnites y varios tipos de foraminíferos. No hay una discordancia evidente, pero en muchos lugares del mundo se encuentra un nivel de arcilla negra, de algunos centímetros de espesor, rico en iridio, que se reconoce como el límite K-T.
 d) Comienzo del Cuaternario: desde el año 2009 la Comisión Estratigráfica Internacional ha establecido oficialmente el límite inferior del periodo Cuaternario en 2,588 millones de años en Monte San Nicola (Gela, Sicilia). Las razones son: inicio del enfriamiento global y sus consecuencias (avance glaciar, inicio del registro de loess en China,

cambio en la vegetación, etc.), cierre del istmo de Panamá y aparición del género *Homo*.

- 35** Porque se trata de fósiles rodados. Los fósiles encontrados en sedimentos fluviales a menudo proceden de otra roca mucho más antigua que fue erosionada. Así, podríamos encontrar un hueso de dinosaurio también en el pedregal de un río actual. Para asegurarse de que los fósiles de dinosaurios encontrados en una formación sedimentaria fluvial están *in situ*, es decir, no están rodados, hay que hacer un cuidadoso trabajo de tafonomía, que acabe revelando sin lugar a dudas si los fósiles tienen valor estratigráfico.
- 36** Los minerales que constituyen el granito se formaron todos a la vez en el momento de consolidarse esa roca. En una arenisca tal vez encontraremos minerales con los que poder hacer una datación radiométrica, como el circón, pero los granos de arena de una arenisca proceden de la erosión de diferentes rocas, y cada mineral revelará la edad de la roca magmática o metamórfica de la que proceda, no la edad de la arenisca a la que ha ido a parar.



La secuencia de eventos sería la siguiente: primero se produjo el depósito horizontal de las unidades 1 y 2; luego, el plegamiento de dichas unidades; posteriormente, tiene lugar la erosión de este conjunto; por último, se produce el depósito horizontal de la unidad 4 discordante sobre el conjunto anterior; erosión generalizada (relieve actual). La intrusión magmática 3 es posterior a las unidades 1 y 2 a las que atraviesa, pero no se puede asegurar, con los datos que proporciona este corte, si afectó o no a la unidad 4.

- 38** a) Sedimentación de la serie C; basculamiento o inclinación de la serie C; sedimentación de la serie D; formación de la falla AA'; erosión de las series C y D y formación de un valle fluvial; sedimentación de la serie B.
 b) Los principios para interpretar este corte son el de superposición de los estratos y el de la sucesión de acontecimientos geológicos.
 c) Existen dos discordancias de tipo erosivo: la primera representada por el contacto discordante entre la serie C y la serie D; la segunda, representada por la serie B. La falla constituye un contacto de tipo mecánico y no se considera discordancia estratigráfica.

LA HISTORIA DE NUESTRO PLANETA

d) Sedimentación horizontal de la serie C, posiblemente en un medio marino, en la que se observa, intercalado, un estrato diferente. Posteriormente se produce el basculamiento, por causas tectónicas, de dicha serie C, quedando inclinada. Sobre ellos se depositan los sedimentos de la serie D. Ambas series, C y D, experimentan una fractura por falla directa AA', quedando a diferentes alturas. El nuevo relieve es erosionado por un río, que forma un valle fluvial, y en el lecho del río se depositan los sedimentos de la serie B.

Formas de pensar. Análisis científico

- 39** **COMPRESIÓN LECTORA.** No, el diluvio no puede explicar que los fósiles se encuentren en el interior de los estratos estando rellenos por el mismo material de la roca que les rodea y que los estratos sean paralelos y profundos.
- 40** **COMPRESIÓN LECTORA.** El diluvio universal sería un argumento catastrofista, pero precisamente Cavanilles discrepa en que se hayan formado mediante este fenómeno.
- 41** **COMPRESIÓN LECTORA.** Principio del actualismo.
- 42** **USA LAS TIC.** R. M. Fue un ilustrado, botánico y naturalista español (1745-1804) que recorrió toda la península Ibérica clasificando e inventariando la flora autóctona, y que descubrió nuevas especies. Asimismo, se le considera el principal precursor nacional de las teorías modernas sobre el ordenado aprovechamiento de los recursos naturales y el desarrollo sostenible. No pudo ser influido por Charles Lyell, al menos científicamente, porque este nació en 1797.
- 43** **USA LAS TIC.** Se denomina con el término testáceos a todos los animales con concha.
- 44** **EXPRESIÓN ESCRITA.** R. L.

Saber hacer

- 45**
- Saurópodo: altura de la cadera: 3,24 m; tipo de marcha: $z/h = 1,5$. Dado que $z/h < 2$, se deduce que el saurópodo llevaba marcha de paseo.
 - Terópodos pequeños: altura de la cadera: 82,35 cm; tipo de marcha: $z/h = 5$. Dado que $z/h > 2,9$, se deduce que el terópodo llevaba marcha de carrera.
- 46**
- a) El grado de consistencia del sustrato es determinante para la formación de la icnita: este puede deducirse a partir de la profundidad de la huella y del mayor o menor grado de conservación de los rasgos morfológicos de la pisada.
- b) En el caso de un desplazamiento sobre fango, las huellas muy profundas y de pequeño tamaño serían indicativas de sustratos blandos, mientras que las de gran tamaño y poco profundas evidencian estratos firmes o semiconsolidados.
- 47** En un estrato en posición «normal» (de acuerdo con los principios del actualismo y de sucesión de los estratos), los contramoldes se forman en la base o muro del depósito o estrato que cubre la huella. Por tanto, encontrar un contramolde en la superficie de un estrato constituye lo que en geología se denomina «criterio de polaridad», es decir, un indicador de que ese estrato está «invertido» (por causas tectónicas) y, en consecuencia, la serie infrayacente también lo estará.
- 48**
- a) Un herbívoro y dos carnívoros.
- b) R. G.
- c) Por la variación de la distancia entre huellas podemos interpretar que hay cambios de ritmo tanto en el herbívoro como en los carnívoros.
- d) Deducimos que el herbívoro llevaba una marcha de paseo, mientras que los carnívoros se acercan desde dos direcciones diferentes, corriendo a darle caza (estrategia similar a la de los depredadores actuales). En el centro de la escena se superponen una serie de huellas resultantes de la lucha entre depredador y presa. Una vez que han consumado la caza, cada uno de los carnívoros sigue un camino diferente, con un estilo de marcha mucho más pausada que la que les llevó hasta alcanzar al herbívoro.

