

# DATACIÓN ABSOLUTA EN GEOLOGÍA

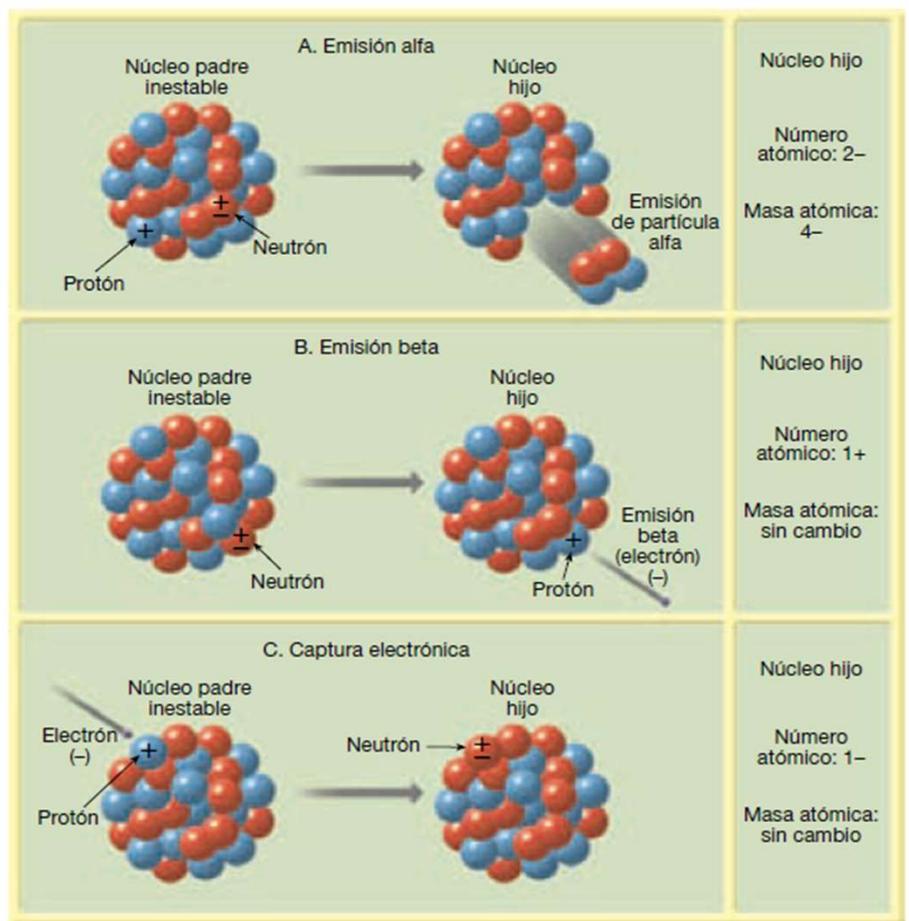
Cesar Álvarez

# LA DESINTEGRACIÓN RADIOACTIVA

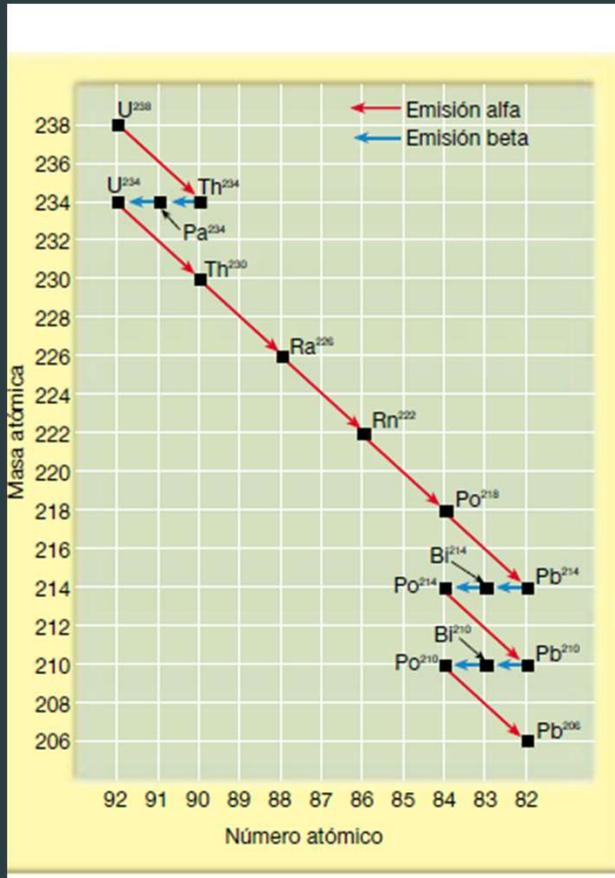
- ▶ En algunos isótopos, los núcleos son inestables porque las fuerzas que unen los protones y los neutrones no son lo bastante fuertes. Como consecuencia, los núcleos se descomponen, o desintegran, espontáneamente en un proceso denominado *radiactividad*. ¿Qué puede pasar?
- ▶ 1. Pueden emitirse partículas alfa (partículas  $\alpha$ ) del núcleo. Una partícula alfa está compuesta por dos protones y dos neutrones. Por tanto, la emisión de una partícula alfa significa que el número másico del isótopo se reduce en 4 y el número atómico, en 2.
- ▶ 2. Cuando se expulsa una partícula beta (partícula  $\beta$ ), o electrón, de un núcleo, el número másico se mantiene inalterado, porque los electrones prácticamente no tienen masa. Sin embargo, dado que los electrones proceden de un neutrón (recordemos que un neutrón es una combinación de un protón y un electrón), el núcleo contiene un protón más que antes. Por consiguiente, el número atómico aumenta en 1.
- ▶ 3. A veces un electrón es capturado por el núcleo. El electrón se combina con un protón y forma un neutrón. Como en el último ejemplo, el número másico se mantiene invariable. Sin embargo, dado que el núcleo contiene ahora un protón menos, el número atómico disminuye en 1.
- ▶ Veamos estos casos en la siguiente ilustración:

# LA DESINTEGRACIÓN RADIOACTIVA

► **Figura 9.9** Tipos comunes de desintegración radiactiva. Nótese que en cada caso cambia el número de protones (número atómico) en el núcleo, produciendo así un elemento diferente.



# LA DESINTEGRACIÓN RADIOACTIVA



◀ **Figura 9.10** El isótopo más común del uranio (U-238) constituye un ejemplo de serie de desintegración radiactiva. Antes de alcanzar el producto final estable (Pb-206), se producen muchos isótopos diferentes como etapas intermedias.

# LA DESINTEGRACIÓN RADIOACTIVA

- Y ese proceso de desintegración tarda unos años, veamos:

**Tabla 9.A** Productos de la desintegración del uranio-238

Algunos productos de la desintegración del uranio-238	Partícula de desintegración producida	Período de semidesintegración
Uranio-238	alfa	4.500 millones de años
Radio-226	alfa	1.600 años
<b>Radón-222</b>	<b>alfa</b>	<b>3,82 días</b>
Polonio-218	alfa	3,1 minutos
Plomo-214	beta	26,8 minutos
Bismuto-214	beta	19,7 minutos
Polonio-214	alfa	$1,6 \times 10^{-4}$ segundos
Plomo-210	beta	20,4 años
Bismuto-210	beta	5,0 días
Polonio-210	alfa	138 días
Plomo-206	ninguna	estable

# LA DESINTEGRACIÓN RADIOACTIVA

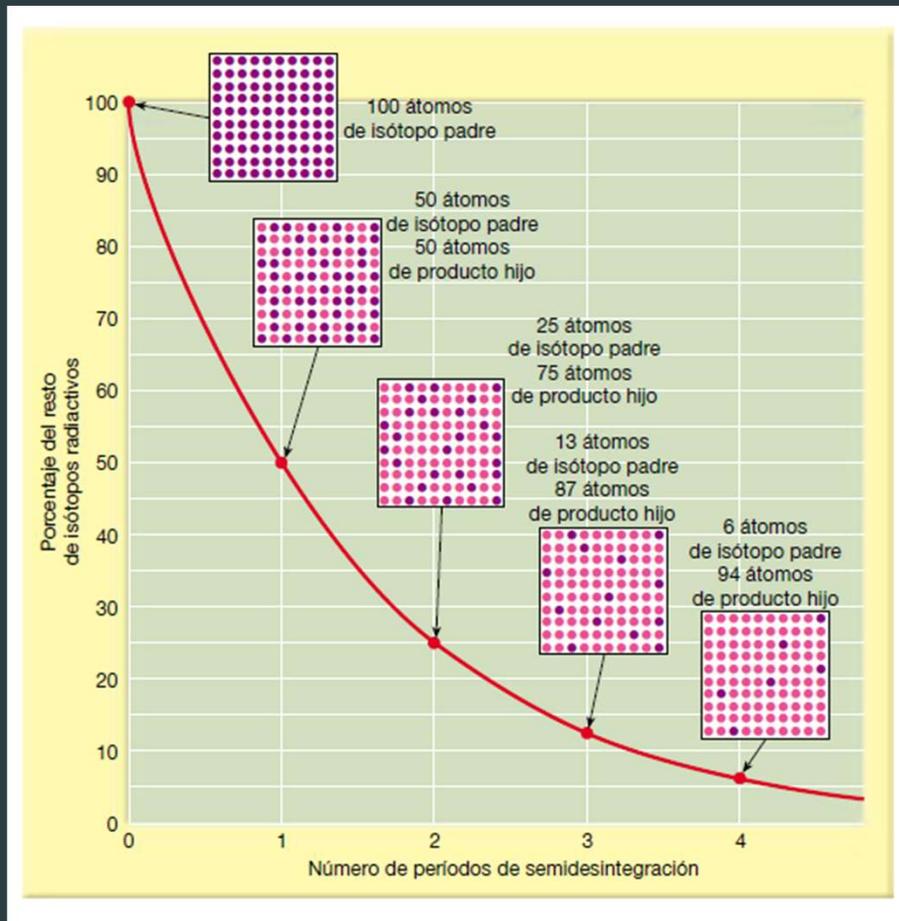
- ▶ Por supuesto, una de las consecuencias más importantes del descubrimiento de la radiactividad es que proporcionó un medio fiable para calcular la edad de las rocas y los minerales que contienen isótopos radiactivos concretos. El procedimiento se denomina datación radiométrica. ¿Por qué es fiable la datación radiométrica? Porque las velocidades de desintegración de muchos isótopos se han medido con precisión y no varían bajo las condiciones físicas que existen en las capas externas de la Tierra. Por consiguiente, cada isótopo radiactivo utilizado para datación ha estado desintegrándose a una velocidad fija desde la formación de las rocas en las que aparece, y los productos de su descomposición se han estado acumulando a una velocidad equivalente. Por ejemplo, cuando el uranio se incorpora en un mineral que cristaliza a partir de un magma, no existe plomo (el isótopo hijo estable) procedente de una desintegración previa. El «reloj » radiométrico empieza en ese momento. A medida que se desintegra el uranio de ese mineral recién formado, van quedando atrapados los átomos del producto hijo y acaban acumulándose cantidades medibles de plomo. A partir de esto se ha generado el siguiente concepto:

# LA DESINTEGRACIÓN RADIOACTIVA

## *Período de semidesintegración*

- ▶ El tiempo necesario para que se desintegre la mitad de los núcleos de una muestra se denomina período de semidesintegración del isótopo. El período de semidesintegración es una forma común de expresar la velocidad de desintegración radiactiva. En la Figura 9.11 se ilustra lo que ocurre cuando un radioisótopo padre se descompone directamente en el isótopo hijo estable. Cuando las cantidades del padre y del hijo son iguales (proporción 1/1), sabemos que ha transcurrido un período de semidesintegración. Cuando queda una cuarta parte de los átomos del radioisótopo padre original y las tres cuartas partes se han desintegrado para producir el isótopo hijo, la proporción padre/hijo es 1/3 y sabemos que han transcurrido dos vidas medias. Después de tres vidas medias, la proporción de átomos del padre a átomos del hijo es de 1/7 (un átomo padre por cada siete átomos hijos).
- ▶ Si se conoce el período de semidesintegración de un isótopo radiactivo y puede determinarse la proporción padre/hijo, puede calcularse la edad de la muestra. Por ejemplo, supongamos que el período de semidesintegración de un isótopo inestable hipotético es de un millón de años y la proporción padre/hijo de la muestra es 1/15, dicha proporción indica que han transcurrido cuatro períodos de semidesintegración y que la muestra debe tener 4 millones de años.

# LA DESINTEGRACIÓN RADIOACTIVA



# LA DESINTEGRACIÓN RADIOACTIVA

## *Datación radiométrica*

Obsérvese que el porcentaje de átomos radiactivos que se descomponen durante un período de semidesintegración es siempre el mismo: 50 por ciento. Sin embargo, el número real de átomos que se descomponen con cada período de semidesintegración disminuye continuamente. Por tanto, a medida que disminuye el porcentaje de átomos del radioisótopo padre, aumenta la proporción del isótopo hijo estable, coincidiendo exactamente el aumento de átomos hijo con la disminución de los átomos padre. Este hecho es la clave para la datación radiométrica. De los muchos isótopos radiactivos que existen en la naturaleza, cinco han demostrado ser particularmente útiles para proporcionar edades radiométricas de las rocas antiguas (Tabla 9.1). El rubidio-87, el torio-232 y los dos isótopos del uranio se utilizan sólo para la datación de rocas que tienen millones de años de antigüedad, pero el potasio-40 es más versátil.

**Tabla 9.1** Isótopos utilizados frecuentemente en la datación radiométrica

Radioisótopo padre	Producto hijo estable	Valores de períodos de semidesintegración actualmente aceptados
Uranio-238	Plomo-206	4.500 millones de años
Uranio-235	Plomo-207	713 millones de años
Torio-232	Plomo-208	14.100 millones de años
Rubidio-87	Estroncio-87	47.000 millones de años
Potasio-40	Argón-40	1.300 millones de años

# LA DESINTEGRACIÓN RADIOACTIVA

## *Potasio-argón*

Aunque el período de semidesintegración del potasio-40 es de 1.300 millones de años, las técnicas analíticas posibilitan la detección de cantidades muy bajas de su producto estable de desintegración, el argón-40, en algunas rocas que tienen menos de 100.000 años. Otra razón importante para su uso frecuente es que el potasio es un constituyente abundante de muchos minerales comunes, en particular las micas y los feldespatos.

Aunque el potasio (K) tiene tres isótopos naturales, K39, K40 y K41, sólo el K40 es radiactivo. Cuando se desintegra, lo hace de dos maneras. Aproximadamente el 11 por ciento cambia a argón-40 (Ar40) por medio de captura electrónica. El 89 por ciento restante del K40 se descompone en calcio-40 (Ca40) mediante emisión beta. La descomposición del K40 a Ca40, sin embargo, no es útil para la datación radiométrica, porque el Ca40 producido por desintegración radiactiva no puede distinguirse del calcio que podía estar presente cuando se formó la roca.

El reloj potasio-argón empieza a funcionar cuando los minerales que tienen potasio cristalizan a partir de un magma o se forman dentro de una roca metamórfica. En este momento, los nuevos minerales contendrán K40, pero carecerán de Ar40, porque este elemento es un gas inerte que no se combina químicamente con otros elementos. Conforme pasa el tiempo, el K40 se descompone continuamente por captura electrónica. El Ar40 producido por este proceso permanece atrapado dentro del retículo cristalino del mineral. Dado que no había Ar40 cuando se formó el mineral, todos los átomos hijo atrapados en el mineral deben proceder de la descomposición del K40. Para determinar la edad de una muestra, se mide con precisión la proporción K40/Ar40 y se aplica el período de semidesintegración conocido del K40.

# LA DESINTEGRACIÓN RADIOACTIVA

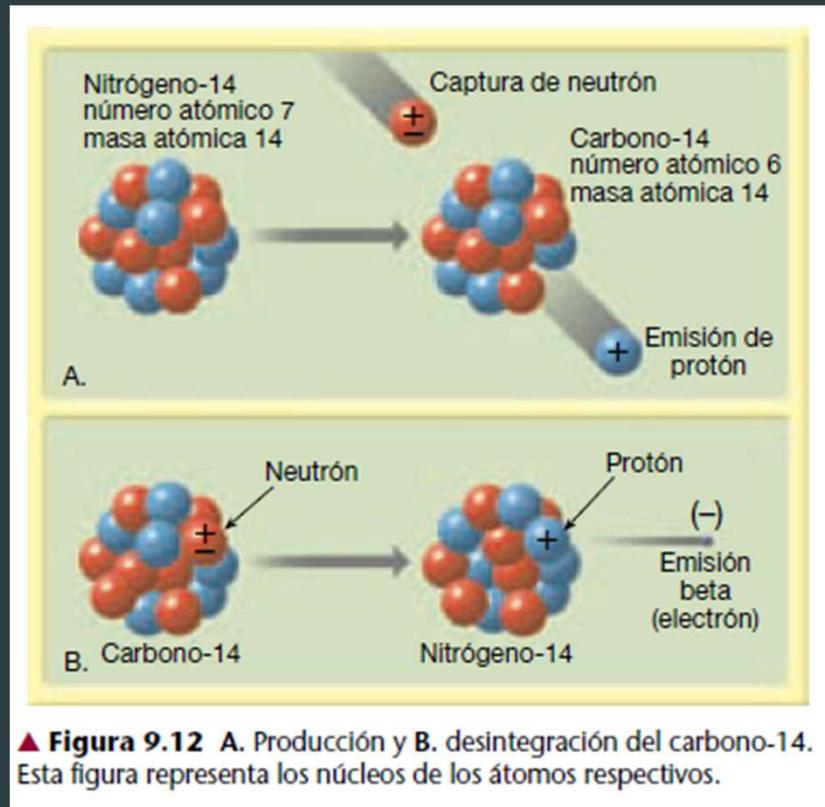
## *El Carbono 14*

El carbono-14 se produce continuamente en la atmósfera superior como consecuencia del bombardeo de rayos cósmicos. Los rayos cósmicos (partículas nucleares de alta energía) dispersan los núcleos de los átomos gaseosos, liberando neutrones. Algunos de los neutrones son absorbidos por los átomos de nitrógeno (número atómico 7, número másico 14), haciendo que cada núcleo emita un protón. Como consecuencia, el número atómico disminuye en uno (a 6), y se crea un elemento diferente, el carbono-14 (Figura 9.12A). Este isótopo del carbono se incorpora rápidamente en el dióxido de carbono, que circula en la atmósfera y es absorbido por la materia viva. Como consecuencia, todos los organismos contienen una pequeña cantidad de carbono-14, incluidos nosotros mismos.

Mientras un organismo está vivo, el carbono radiactivo en descomposición es sustituido continuamente, y las proporciones entre el carbono-14 y el carbono-12 permanecen constantes. El carbono-12 es el isótopo estable y más común del carbono. Sin embargo, cuando muere una planta o un animal, la cantidad de carbono-14 disminuye gradualmente conforme se desintegra en nitrógeno-14 por emisión beta (Figura 9.12B). Comparando las proporciones de carbono-14 y carbono-12 en una muestra, pueden determinarse las fechas mediante radiocarbono. Es importante destacar que el carbono-14 sólo es útil para datar los materiales orgánicos como la madera, el carbón vegetal, los huesos, la carne e incluso los tejidos hechos de fibras de algodón.

# LA DESINTEGRACIÓN RADIOACTIVA

## El Carbono 14



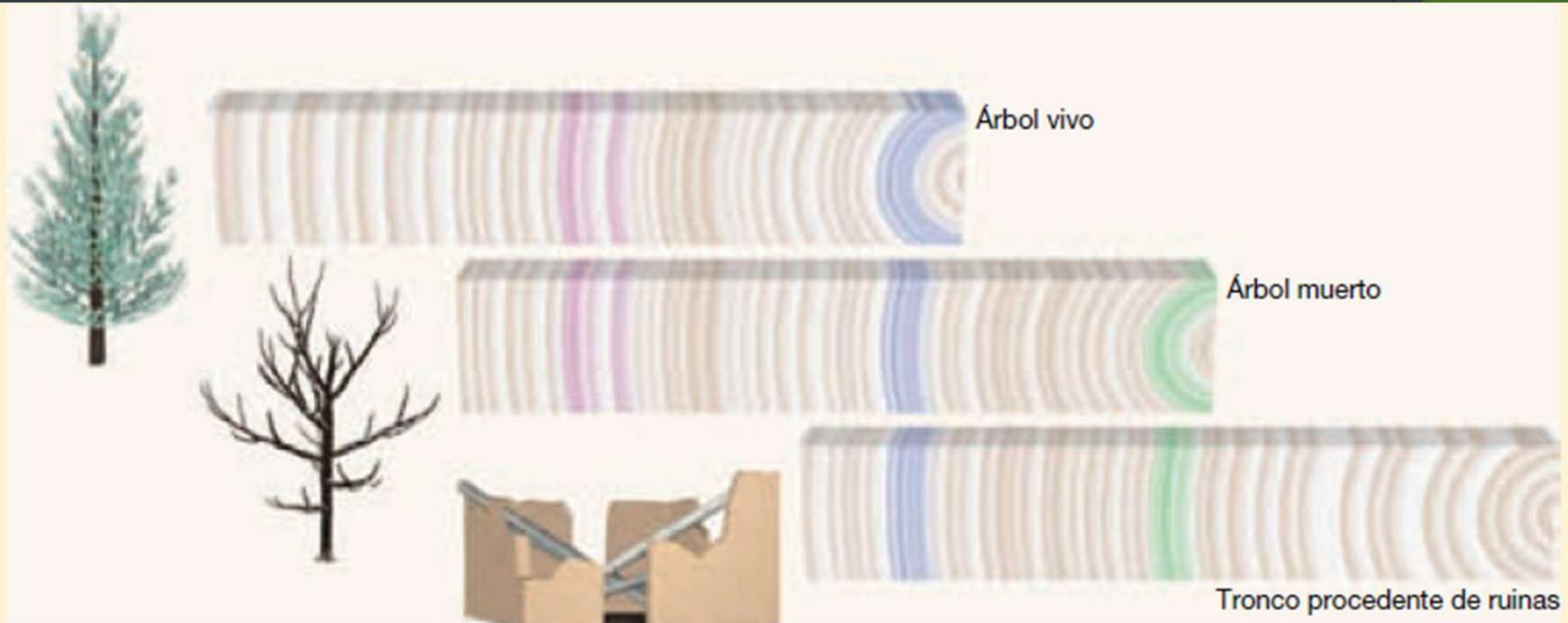
# LA DENDROCRONOLOGÍA

Las características de cada anillo, como el tamaño y la densidad, reflejan las condiciones ambientales (en especial el clima) predominantes en el año en el que se formó el anillo. Las condiciones favorables al crecimiento producen un anillo ancho; las desfavorables, un anillo estrecho.

Los árboles que crecen a la vez en la misma región presentan patrones de los anillos similares.

Dado que suele añadirse un solo anillo de crecimiento cada año, la edad del árbol talado puede determinarse contando los anillos. Si se conoce el año en el que se taló, pueden determinarse la edad del árbol y el año en el que se formó cada anillo contando desde el anillo más externo\*. Este procedimiento puede utilizarse para establecer las fechas de los acontecimientos geológicos recientes, como la cantidad mínima de años transcurridos desde que se creó una nueva superficie continental provocada por un deslizamiento o una inundación

# LA DENDROCRONOLOGÍA



▲ **Figura 9.A** La datación cruzada es un principio básico de la dendrocronología. Aquí se utilizó para datar un yacimiento arqueológico mediante la correlación de los patrones de los anillos de la madera procedente de árboles de edades distintas. En primer lugar, se establece una cronología de los anillos de los árboles de la zona utilizando muestras extraídas de los árboles vivos. Esta cronología se extiende hacia atrás comparando los patrones coincidentes de árboles muertos, más antiguos. Por último, se datan las muestras tomadas de las vigas de madera del interior de las ruinas mediante la cronología establecida a partir de las otras dos muestras.

# DATACIÓN ABSOLUTA-DIFICULTADES

## *Fuentes de error y dificultades*

Es importante tener en cuenta que sólo puede obtenerse una fecha radiométrica precisa si el mineral permaneció en un sistema cerrado durante todo el período desde que se formó. Sólo es posible una datación correcta si no ha habido adición ni pérdida de isótopos padre o hijo. Esto no siempre es así. De hecho, una limitación importante del método potasio-argón surge del hecho de que el argón es un gas y puede escapar de los minerales, falseando las medidas. De hecho, las pérdidas pueden ser significativas si la roca está sometida a temperaturas relativamente elevadas.

Por supuesto, una reducción de la cantidad de  $Ar^{40}$  lleva a una infravaloración de la edad de la roca. A veces, las temperaturas son lo bastante altas durante un período de tiempo suficientemente largo como para que escape todo el argón. Cuando esto ocurre, vuelve a empezar el reloj potasio-argón y la datación de la muestra proporcionará sólo el tiempo transcurrido desde el reajuste térmico, no la edad verdadera de la roca. En el caso de otros relojes radiométricos, puede producirse una pérdida de isótopos hijo si la roca ha sido sometida a meteorización o lixiviación. Para evitar dicho problema, un dispositivo de seguridad sencillo consiste en utilizar sólo material fresco, no meteorizado, ni muestras que puedan haber sido alteradas químicamente

# DATACIÓN ABSOLUTA-DIFICULTADES

## *Fuentes de error y dificultades*

Algo importante: estos métodos tienen plena aplicabilidad en rocas ígneas y un poco menos en metamórficas (la edad de un mineral concreto presente en una roca metamórfica no representa necesariamente la época en que la roca se formó por primera vez. En cambio, la fecha podría indicar cualquiera de una serie de fases metamórficas posteriores); y no sirven de mucho en sedimentarias (recordemos que la edad de la roca no puede determinarse con precisión porque los granos que la componen no tienen la misma edad que la roca en la que aparece. Es más, los sedimentos han sido meteorizados a partir de rocas de edades diversas).

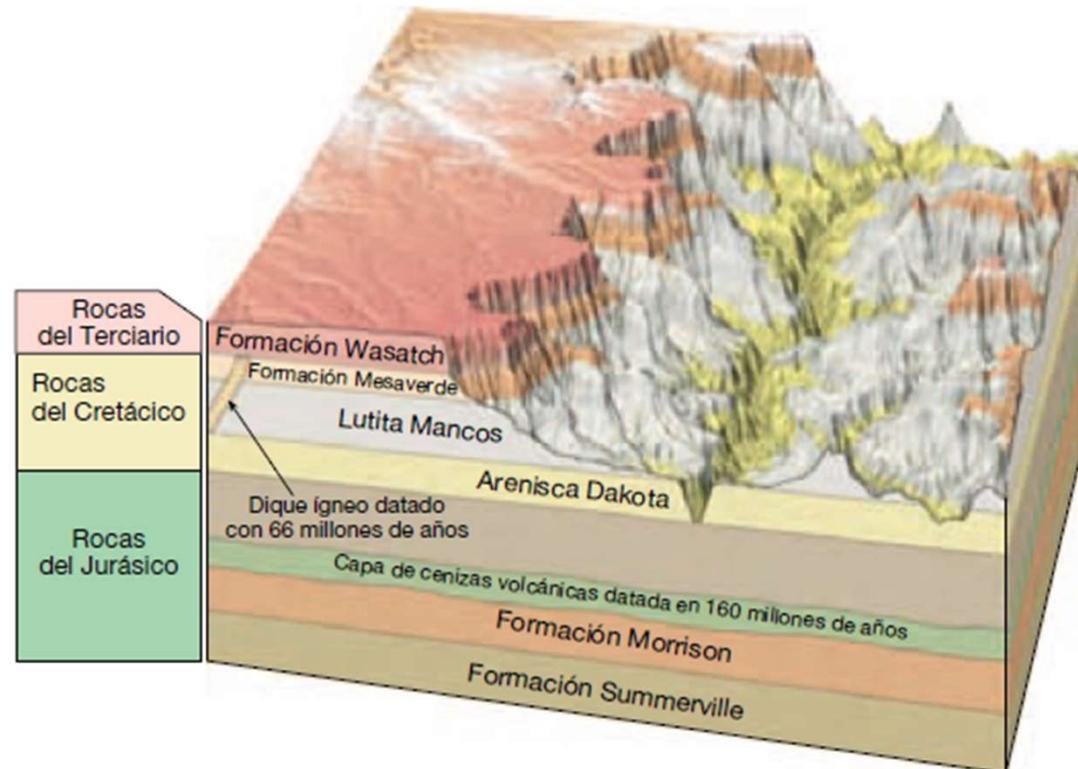
## *¿Cómo pueden asignarse fechas numéricas a los estratos sedimentarios?*

Normalmente el geólogo debe relacionar los estratos con masas ígneas fechables, relacionadas con los estratos sedimentarios como se muestra en la siguiente figura:

# DATACIÓN ABSOLUTA-DIFICULTADES

## Fuentes de error y dificultades

► **Figura 9.14** Las fechas numéricas para los estratos sedimentarios suelen determinarse examinando su relación con las rocas ígneas. (Tomado del U. S. Geological Survey.)



# DATACIÓN ABSOLUTA-DIFICULTADES

## *Fuentes de error y dificultades*

En este ejemplo, la datación radiométrica ha determinado la edad del estrato de cenizas volcánicas que hay dentro de la formación Morrison y el dique que corta la lutita Mancos y la formación Mesaverde. Los estratos sedimentarios que hay por debajo de la ceniza son obviamente más antiguos que ella, y todas las capas que hay por encima son más jóvenes. El dique es más joven que la lutita Mancos y la formación Mesaverde, pero más antiguo que la formación Wasatch, porque el dique no intruye en las rocas del Terciario.

Nótese que en este caso, se ha hecho una *combinación* de los métodos de datación absoluta con los métodos de datación relativa para poder aproximarse a la edad de los estratos sedimentarios. También muestra la importancia de las observaciones de campo para realizar una aproximación integral a la edad de las rocas.

# LA DESINTEGRACIÓN RADIOACTIVA

## *Importancia*

Finalmente, este conjunto de metodologías se le denomina “cronología absoluta” porque se supone que las metodologías basados en la desintegración radiactiva proporcionan fechas estables que le dan un marco temporal a los métodos de datación relativa vistos anteriormente.

Así y todo, estas metodologías no están exentas de error, como vimos.