

Capítulo IV: Métodos de datación

Florencia Mari

Si todo el conocimiento científico fuera destruido por un cataclismo y solo una frase pudiera pasar a las siguientes generaciones, ¿cuál sería la que contendría la mayor cantidad posible de información en menos palabras? Yo creo que es la hipótesis atómica que explica que "todas las cosas están formadas por átomos, pequeñas partículas que se desplazan en movimiento continuo, atrayéndose unas a otras cuando están a corta distancia y repeliéndose cuando se intenta juntarlas".

RICHARD FEYNMAN, SIX EASY PIECES

El campo de la Geocronología abarca más que la determinación de la edad, incluye la cronoestratigrafía de la Tierra y, en un sentido más amplio, la cosmocronología del universo. Las secuencias cronoestratigráficas reflejan la historia de la Tierra de manera cualitativa. Su importancia radica en la posibilidad de disponer de registros naturales ampliamente dispersos y asignarlos a una secuencia de tiempo previamente reconstruida. En estudios cronoestratigráficos, se requiere por ejemplo, la composición isotópica para asignar un período específico de tiempo. En estudios bioestratigráficos, los fósiles son las evidencias que permiten correlaciones globales de gran importancia de secuencias geológicas, cuyas biofacies y litofacies difieren completamente de un lugar a otro.

Existen muchas áreas del conocimiento que se apoyan fuertemente en diversos análisis cronológicos, particularmente, aquellos basados en los estudios estratigráficos de los sedimentos o material incluido en ellos.

Para la cronología, podemos distinguir dos categorías: relativa y absoluta (a menudo, se utiliza "cronología numérica", ya que algunos autores recomiendan su uso en reemplazo de la palabra "absoluto"). Las relaciones estratigráficas observadas proporcionan cronologías relativas (según el orden de aparición, los estratos inferiores son más antiguos que los estratos superiores, pero sin edades numéricas). Las cronologías absolutas derivan de secuencias de fechas, basadas en registros históricos y métodos de datación como análisis radiocarbónico,

dendrocronología, termoluminiscencia, paleomagnetismo, entre otros (Geyh and Schleicher, 1990).

Entre la extensa variedad de métodos disponibles para datar los eventos ocurridos a lo largo de la historia de la Tierra, algunos son más precisos que otros. Los métodos geocronológicos se pueden clasificar según el tipo de resultado en edades calibradas, edades relativas, edad correlacionada o, de acuerdo con el tipo de método en siderales, isotópicos, radiogénicos, químicos y biológicos, geomorfológicos y de correlación (Colman y Pierce, 2000). Los tres primeros métodos de datación mencionados, arrojan edades absolutas mientras que los métodos químicos y biológicos junto con los geomorfológicos brindan edades relativas.

Las edades absolutas dan estimaciones cuantitativas de edad, las calibradas son edades absolutas contrastadas entre dos métodos para convertir una escala de tiempo en otra. Las edades relativas dan una secuencia cronológica y, por último, la correlacionada da edades por equivalencias con otros depósitos o eventos datados. Desarrollaremos los métodos de datación disponibles para el Cuaternario (Hugget, 2007).

Métodos siderales

Determinan las fechas de calendario o cuentan eventos anuales. Además de los registros históricos, los tres métodos siderales son los siguientes:

Dendrocronología

La dendrocronología es la datación e interpretación de eventos del pasado mediante el análisis de los anillos de los árboles (Fig. 4.1). Fue descubierta por el astrónomo y arqueólogo americano Andrew Ellicott Douglass. Los árboles producen un anillo de crecimiento por año, pero estos anillos no tienen el mismo espesor, el mismo varía por la edad de los árboles y por las fluctuaciones del clima. Los dendrocronólogos los miden, los combinan y así crean un diagrama que indica el grosor de los anillos sucesivos de un árbol concreto. Los árboles que crecen en una misma zona y que son de la misma especie, presentarán el mismo patrón de anillos, de esta manera, se puede comparar la secuencia de crecimiento de troncos cada vez más antiguos para elaborar la cronología de un territorio.

La dendrocronología no es un método de datación universal debido a que sólo es aplicable a los árboles de las regiones exteriores a los trópicos, donde los marcados contrastes estacionales producen anillos anuales bien definidos. Una datación dendrocronológica directa se limita a la madera de aquellas especies que hayan proporcionado una serie directora que se remonte hacia atrás desde la actualidad y que las hayan utilizado en el pasado. (Renfrew y Bahn, 1993).



Figura 4.1. Corte de tronco de *Sequoia sempervirens* mostrando los anillos, Victoria and Albert Museum, London.

Los ambientes utilizados son aquellos que sufrieron perturbación y afectó el crecimiento de los árboles. Por ejemplo, depósitos, deslizamientos o sepultamiento eólico, terremotos, erupciones volcánicas, etc. Los materiales más utilizados son los troncos de árboles vivos que pueden ser longevos, troncos de árboles muertos, árboles inclinados, troncos enterrados, raíces. Proporciona edades numéricas, desde la actualidad hasta tiempos históricos y con un máximo de ca 10.000 años.

Cronología de varves

Es uno de los sistemas más antiguos para la determinación absoluta de edades. Fue desarrollado en el siglo pasado por el geólogo sueco barón Gerard de Geer, quien observó que ciertos depósitos sedimentarios se estratificaban de un modo uniforme. Estos estratos, se habían depositado en lagos en torno a las márgenes de los glaciares escandinavos debido a la fusión anual de las capas de hielo que habían ido retrocediendo regularmente desde el final del Pleistoceno (Fig. 4.2). El espesor de los niveles variaba de año en año, produciéndose un estrato grueso en un año cálido, con aumentos de la fusión glacial, y un nivel más fino bajo condiciones más frías. Midiendo los espesores sucesivos de una secuencia completa y comparando

el modelo con los varves de áreas próximas, se demostró que era posible vincular secuencias prolongadas entre sí (Renfrew y Bahn, 1993).

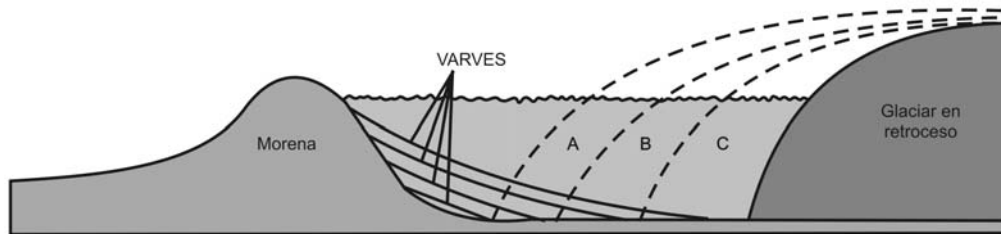


Figura. 4.2. Secuencia de depósito de varves en sucesivos retrocesos anuales (A,B,C) del glaciar.

Estos depósitos se dan especialmente en lagos glaciares, también en algunos ambientes lacustres (fig. 4.3), marinos y en depósitos de humedales. Se han distinguido varves en formaciones rocosas geológicas, incluso en sedimentos Precámbricos. Proporciona edades numéricas, de 0 a 200.000 años.



Figura 4.3. Deposición rítmica de la Fm Corral Amarillo, La Rioja.

Esclerocronología

Este es un método experimental basado en contar bandas de crecimiento anuales en los corales y moluscos (Fig. 4.4). Provee información valiosa sobre una variedad de elementos del clima como precipitación y temperatura, en escalas temporales amplias. Es empleado principalmente en estudios de cambio climático. Se utiliza en todos aquellos ambientes donde habitan o habitaron estos individuos, utilizándose en valvas de moluscos y corales, proporcionando edades numéricas de 0 a 800 años.



Figura 4.4. Valva de *Ameghinomia* sp. con microperforaciones para determinación de isótopos de oxígeno¹⁸

Métodos isotópicos

El medio ambiente contiene una serie de “relojes atómicos” que miden los cambios en la composición isotópica debido a la desintegración radiactiva. Los isótopos son átomos de un mismo elemento que se diferencian en la cantidad de neutrones (en sus núcleos).

Se presentan como un isótopo padre que se desintegra radiactivamente en un isótopo hijo.

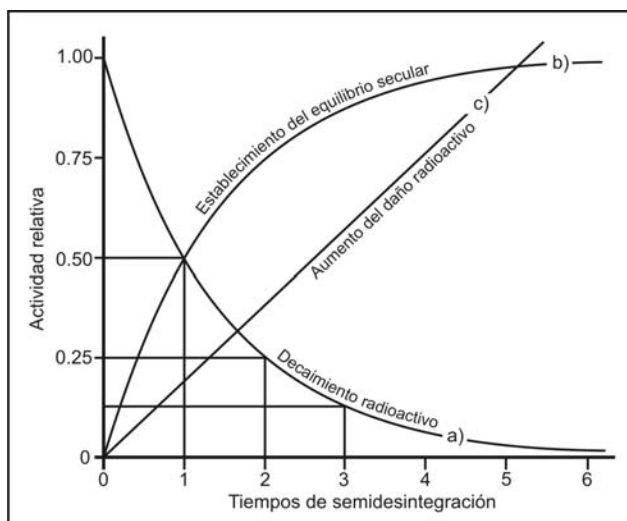


Figura 4.5. Desintegración radiactiva. a) decaimiento del isótopo radiactivo, b) establecimiento del equilibrio isótopo padre-hijo, c) incremento del daño producido por la radiación natural en función del tiempo.

La relación entre los isótopos padre e isótopos hijo, permite determinar la edad con un buen grado de precisión. La tasa de desintegración de un isótopo radiactivo disminuye de manera exponencial y está relacionada a un parámetro, el período o tiempo de semidesintegración. El tiempo necesario para que el número de átomos del isótopo radiactivo, originalmente presente, se reduzca a la mitad se llama tiempo de semidesintegración ($t_{1/2}$). Si se puede medir la variación de una cantidad física presente en un material cuando comenzó a funcionar el reloj y su valor en la actualidad, se puede determinar el tiempo transcurrido durante ese proceso, conociendo su tasa de producción.

Afortunadamente, los $t_{1/2}$ de diferentes isótopos radiactivos varían enormemente, lo que permite abarcar amplios rangos en la determinación de las edades por estos métodos.

El tiempo de desintegración de los isótopos más importantes son: 5.730 años para el Carbono-14; 75.000 años de Torio-230; 250 mil años para el Uranio-234; 1,3 mil millones de años para el Potasio-40; 4,5 mil millones de años para el Uranio-238 y 47 mil millones de años de Rubidio-87. Estos isótopos se encuentran en materiales ambientales. Para cuantificar la desintegración radiactiva se puede medir: a) la disminución de la concentración de un isótopo por decaimiento radiactivo en función del tiempo; b) el incremento de la concentración del isótopo hijo, en condiciones de saturación en un sistema cerrado y a una velocidad constante y c) el aumento lineal del daño de la radiación debido a la desintegración de los isótopos de altos tiempos de semidesintegración (Fig. 4.5).

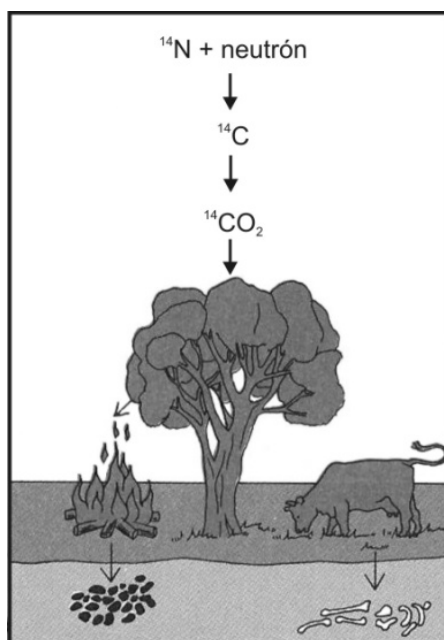


Figura 4.6. Producción de Carbono-14 y su incorporación en la biosfera. Carbón y hueso, ejemplos de materiales empleados.

Radiocarbono

El Carbono-14 es el método ampliamente utilizado por arqueólogos, paleontólogos y geólogos cuaternaristas, fue propuesto por el doctor Willard Libby (Libby, 1949), tiene una gran exactitud, especialmente para la datación de algunas evidencias arqueológicas (e.g. sedimentos, malacofauna), paleontológicas (e.g. huesos) y geológicas. Libby fue premio Nobel de Química (1960) por su trabajo en este campo. La producción de este isótopo ocurre cuando la radiación cósmica incide en las altas capas de la atmósfera y, como resultado de las colisiones de estos protones de alta velocidad (los rayos cósmicos) se producen neutrones térmicos. Éstos chocan con átomos de Nitrógeno-14 de la atmósfera, especialmente en la estratósfera y como consecuencia se produce Carbono-14 que es el isótopo radiactivo de este elemento. El intercambio de Carbono-14 entre la atmósfera y un organismo tiene lugar continuamente, mientras que el

organismo esté vivo. Cuando el organismo muere, este intercambio queda interrumpido pero el isótopo radiactivo continúa desintegrándose (Fig. 4.6). Se mide la cantidad residual del isótopo y se determina el tiempo transcurrido desde que cesó el intercambio con el entorno.

Los ambientes con sedimentos ricos en materia orgánica, suelos y paleosuelos, material biogénico incluido en sedimentos, concreciones de carbonato, donde el material biogénico y carbonatos (madera, carbón, turba, hueso, tejidos animales, conchas, espeleotemas, agua subterránea, agua de mar y el hielo) son los más utilizados.

Proporciona edades numéricas de 200 a 40.000 años AP. AP significa años antes del presente, considerándose como tal al año 1950, por convención.

Nucleidos cosmogénicos

El Berilio-10 radiactivo se produce en granos de cuarzo por radiación cósmica y la concentración de Berilio-10 en materiales de superficie que contienen cuarzo, es proporcional a la duración de la exposición. Esta técnica da una determinación muy precisa de la edad. El Aluminio-26, el Cloro-36, Helio-3 se están utilizando experimentalmente en una manera similar al Carbono-14.

Este método se utiliza en cualquier ambiente que haya sufrido formación, acumulación y descomposición de nucleidos cosmogénicos en rocas o suelos expuestos a la radiación cósmica, proporcionando edades numéricas, de 200 años a 8 Ma según el nucleido usado.

Potasio/Argón

Este es un método basado en la desintegración radiactiva del Potasio-40 (^{40}K) presente en minerales tan abundantes como los silicatos. El isótopo hijo es el Argón-40 (^{40}Ar) que es un gas que queda atrapado en el sistema cerrado.

Para que este sistema pueda funcionar como un reloj, se deben cumplir las siguientes condiciones: a) se deben conocer con precisión la constante de desintegración y la abundancia del ^{40}K ; b) no debe haberse dado ninguna incorporación externa de ^{40}Ar al mineral en la época de la cristalización; c) el sistema tiene que haber sido un sistema cerrado tanto para el ^{40}K como para el ^{40}Ar desde el momento de la cristalización.

El Potasio está presente en la mayor parte de materiales geológicos, como suelos y depósitos lacustres no-biogénicos, rocas ígneas y metamórficas. Proporciona edades numéricas de 10.000 años a más de 10 Ma.

Series del Uranio

Este es un método basado en la desintegración radiactiva del Uranio y sus nucleidos hijos Torio y Plomo (Th y Pb) en minerales de origen biogénico y sedimentarios. Las series constituyen tres relojes independientes: El ^{238}U se desintegra a través de varios elementos hasta producir ^{206}Pb ; el ^{235}U produce ^{207}Pb y el ^{232}Th produce ^{208}Pb . Se puede utilizar en rocas ígneas y metamórficas, siendo el mineral más adecuado el zircón, la monacita tiene alto contenido de U por lo que es adecuado para datar rocas jóvenes. También se utiliza thorita y materiales biogénicos como corales. El rango proporciona edades numéricas de 100 a 400.000 años dependiendo de la serie.

Plomo-210

Este es un método basado en la desintegración radiactiva del Plomo-210 a Plomo-206. Se usa rutinariamente para determinar tasas de sedimentación de sedimentos lacustres, fluviales y marinos costeros. El ^{222}Rn (radón) decae rápidamente en ^{238}U y éste en ^{210}Pb . Este nucleido es incorporado en el material sedimentario, se une a la materia orgánica de suelo, en océanos y lagos y precipita junto con hierro y óxidos de manganeso. Los ambientes con depósitos químicos y depósitos biogénicos de ambientes húmedos y en perfiles de hielo son utilizados, proporcionando edades numéricas menores a 200 años.

Uranio/Plomo

Este método es raramente usado para determinar edades radiométricas. La aplicación es principalmente en estudios de geoquímica isotópica del Plomo, que provee importante información de la génesis de rocas y magmas. Pueden estimarse la edad de mineralización del Plomo primordial con un contenido bajo o nulo de Uranio y la edad de formación de rocas ígneas. Este método utiliza relaciones de U/Pb y U/Th nunca mayores a las observadas en promedio en rocas derivadas de la corteza o el manto. El ^{204}Pb es el único isótopo estable de este elemento, se utiliza para normalizar los isótopos ^{208}Pb , ^{207}Pb y ^{206}Pb . (Holmes, 1946; Houtermans, 1946). Se utiliza para la determinación de la edad de la Tierra a través de lava, meteoritos (sobre minerales como galena, pirita, feldespatos, etc.). Proporciona edades numéricas de 10.000 años a más de 10 Ma.

Métodos radiogénicos

Estos métodos utilizan el daño por radiación producido en el retículo cristalino para determinar edades.

La interacción de sólidos no conductores con radiación alfa, beta, gama o cósmica, cambia sus propiedades físicas y químicas (densidad, parámetros ópticos, estabilidad química, etc.), estos cambios son acumulativos y se los conoce como daño por radiación. Al mineral que sufre este proceso se lo llama mineral metamict

Pistas o huellas de fisión

La fisión nuclear espontánea de Uranio-238 provoca un daño en el retículo cristalino de los minerales que lo portan. Durante la fisión, el isótopo de ^{238}U produce dos fragmentos de masa similar y carga positiva que se repelen y recorren cierta distancia en sentidos opuestos generando un daño en el cristal que se conoce como pista (Fleischer et al., 1975). Es un método de bajo costo para determinar la edad de los minerales. Las áreas dañadas de la red cristalina pueden ser contadas bajo un microscopio óptico normal. La densidad de pistas depende de la cantidad de isótopo padre y el tiempo transcurrido desde que se preserven. Las trazas de fisión son estables por debajo de cierto rango de temperatura (llamada temperatura de retención) que varía con el mineral. Pueden ser utilizados en rocas ígneas y sedimentarias que contengan minerales como apatita, zircón, titanita, alanita, epidoto, muscovita, biotita; obsidiana; vidrios naturales como los vidrios volcánicos o artificiales y madera petrificada. Normalmente solo zircón y vidrio se utiliza para datación de rocas cuaternarias. Proporciona edades numéricas de 2.000 años a más de 10 Ma.

Luminiscencia

Este fenómeno sucede en ciertos minerales que contienen naturalmente isótopos radiactivos o que fueron receptores de bajos niveles de radiación. Los cristales tienen defectos en su estructura que forman trampas en niveles de energía prohibidos (gap) entre la banda de valencia y la banda de conducción. Cuando se irradia este material algunos electrones quedan allí atrapados durante mucho tiempo (Walker, 2005) Estos pueden recuperarse al ser expuestos a calor (termoluminiscencia - TL) o a determinadas longitudes de onda de la luz (luminiscencia ópticamente estimulada - OSL), de modo que pasan a la banda de conducción, caen y se emite energía en la porción visible del espectro, esto se conoce como luminiscencia. La energía emitida está directamente relacionada con el tiempo que este cristal recibió radiación (Fig. 4.7).

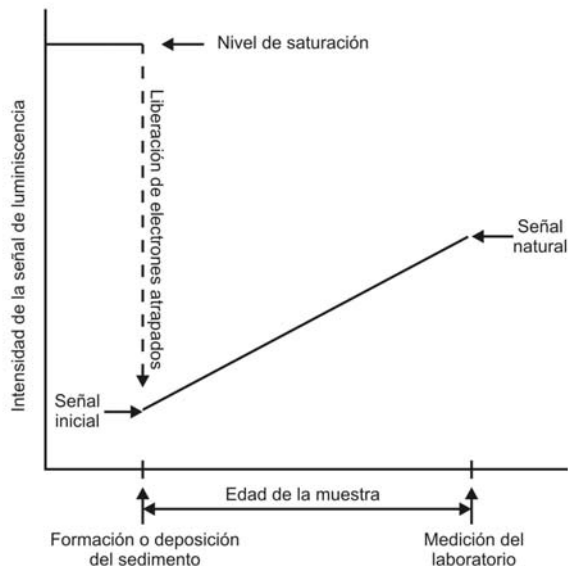


Figura 4.7. Señal lumínica producida por la liberación de electrones atrapados en defectos estructurales de los cristales.

Las zonas de fallas, líneas de costa, depósitos eólicos, fluviales, marinos y clásticos; vidrios volcánicos, ceniza, rocas ígneas y metamórficas, pueden ser utilizados. TL se utiliza habitualmente para objetos culturales arqueológicos (el análisis se realiza sobre la extracción de cuarzo, feldespato o zircón) como pigmentos, ladrillos, cerámica y sobre sedimentos o suelos quemados por lava, arenas de cuarzo y rocas. Herramientas líticas, valvas, huesos y dentina se datan con poca precisión al igual que las muestras geológicas. OSL se utiliza habitualmente para granos de sedimentos con cuarzo, zircón o apatita, proporcionando edades numéricas de 100 a 300.000 años.

Resonancia de espín electrónico-ESR

Este método, de manera similar al anteriormente descrito, se basa en los defectos en los cristales con trampas de electrones. También, los cationes que reemplazan a otros en un mineral, especialmente Mn, Fe, Ni y Co, representan trampas de electrones con alto tiempo de permanencia (varios millones de años). Estos electrones actúan como centros paramagnéticos cuya densidad puede medirse. Nuevamente, el número de electrones atrapados es proporcional a la edad.

Se utilizan en rocas ígneas, sedimentos pelágicos y carbonáticos. Los depósitos transgresivos de la Patagonia han sido datados con este método, obteniéndose muy buenos resultados. (Ver capítulo Litoral Patagónico, fig. 4.8). El cuarzo, feldespato, silicato, apatita, vidrio, fósiles marinos y terrestres, objetos culturales arqueológicos son materiales utilizados, proporcionando edades numéricas de 1.000 años a 1 Ma.



Figura 4.8. Valvas de moluscos en afloramientos de arenas gravosas en los depósitos transgresivos cuaternarios de la Patagonia.

Métodos químicos y biológicos

Estos métodos miden el resultado de procesos químicos o biológicos dependientes del tiempo.

Racemización de aminoácidos

Todos los organismos vivientes contienen proteínas que se conservan por largos períodos de tiempo, dentro de estructuras carbonáticas como en huesos o valvas de moluscos. Luego de la muerte del organismo quedan residuos de proteína (sus unidades estructurales, los aminoácidos) que permite determinar la edad relativa de fósiles cuaternarios. Los aminoácidos son moléculas que tienen la particularidad de existir en dos formas moleculares llamadas isómeros (L y D). En la naturaleza solo existen los L-aminoácidos. Este método se basa en un proceso químico natural de inversión de los isómeros de la forma L-aminoácido a la D-aminoácido solo dependiente del tiempo, llamado racemización. La tasa de racemización es influenciada por la temperatura, por lo que es necesario que las muestras provengan de sitios de temperatura uniforme, tales como los fondos de lagos profundos, fondos marinos, cuevas. Se utiliza en depósitos que contengan residuos orgánicos, como huesos, moluscos marinos, huevos, residuos orgánicos de suelos y residuos contenidos en carbonatos de cuevas (fig. 4.8). Provee edades relativas de 500 años a 1Ma.

Hidratación de obsidiana

La obsidiana y otros vidrios absorben agua en la superficie, formando una capa hidratada ligada químicamente, con un contenido de agua diez veces mayor que el silicato original. Este lento engrosamiento se da por difusión controlada y depende del tiempo. La densidad y las propiedades ópticas de esas capas son diferentes a las del material original. Se utilizan en

obsidianas, ignimbritas, vidrio volcánico, nódulos de manganeso, esquistos, escoria y otros vidrios naturales y provee edades relativas de 100 años a 1 Ma.

Liquenometría

Es un método basado en la tasa de crecimiento de líquenes en las superficies de roca expuesta. Los líquenes colonizan rápidamente las superficies y una vez establecidos incrementan progresivamente su tamaño con un lento crecimiento marginal (Beschel, 1973)(fig. 4.9). Pueden utilizarse en depósitos de deslizamientos o caída de roca, superficie de roca expuesta por agentes geomorfológicos, pudiendo registrarse edades relativas de 100 a 10.000 de años.



Figura 4.9. Liquen en bloque caído de cuarcita de la Fm Balcarce, Balcarce, provincia de Buenos Aires.

Métodos geomorfológicos

Se agrupan aquí los métodos que miden los resultados acumulativos de procesos químicos, físicos y biológicos complejos e interrelacionados en el paisaje.

Pedogénesis

Este método se basa en cambios sistemáticos en las propiedades del suelo debido a la exposición a la intemperie y los procesos pedogenéticos. Involucra el grado de desarrollo del suelo, tales como espesor y contenido orgánico del horizonte A, desarrollo del horizonte B, variaciones de tamaño de partícula, características micromorfológicas del suelo, profundidad de desarrollo, susceptibilidad magnética, etc. Existen Índices de desarrollo del suelo, como el índice de desarrollo del perfil (PDI), índice de desintegración de clastos (CDI). Estos índices se utilizan para determinar el orden relativo de edades. Pueden utilizarse en morenas, cordones litorales, terrazas fluviales, entre otros, proporcionando edades relativas.

Meteorización de rocas y minerales

Es un método que utiliza la alteración sistemática de rocas y minerales debido a la exposición a agentes atmosféricos.

Formas de escarpa

Es un método basado en el cambio progresivo del perfil de escarpa, desde empinada y angular a suave y redondeada, que resulta de los procesos geomorfológicos exógenos.

Métodos de correlación

Estos métodos permiten aplicar distintos enfoques que establecen edades equivalentes utilizando propiedades independientes del tiempo, proporciona edades relativas. Los principales tipos de correlación son: correlación litológica, correlación por contenido fosilífero y correlación cronológica.

Paleomagnetismo

El magnetismo es ampliamente conocido ya que sabemos que la Tierra es un gran magneto y como tal, tiene un campo magnético de una determinada intensidad. Este campo no es constante, cambia por períodos de tiempo y dejan señales de estos cambios en rocas y sedimentos que contengan minerales ferromagnéticos. Estos cambios paramagnéticos en los registros estratigráficos, marcan líneas de tiempo que permiten la correlación entre sitios. Si además, se puede asignar una edad por datación radiométrica o de algún otro tipo entonces se construye una escala de tiempo para el paleomagnetismo. Se utiliza en rocas ígneas y sedimentos que contienen magnetita y hematita de origen lacustres, fluviales, glaciales, eólicas y testigos de hielo. Provee edades correlacionadas de 100 años a 400 Ma. (Geyh and Schleicher, 1990)

Tefrocronología

Es una técnica que se basa en el estudio de capas discretas de ceniza u otros productos piroclásticos, para establecer correlaciones estratigráficas (Fig. 4.10). Se puede identificar el material que cada evento volcánico produce con una impronta química particular. Actúan como marcadores que permite unir secuencias muy distantes, correlacionar reconstrucciones paleoclimáticas continentales.



Figura 4.10. Afloramientos fluviales en el río Salado en la base de la Fm Luján con la intercalación de una lente de ceniza volcánica.

Pueden presentarse en ambientes volcánicos (paleosuelos, tobas), varves lacustres, testigos de fondo marino o de hielo, suministrando edades correlacionadas de 0 a más de 10 Ma. de años.

Paleontología

Este método experimental utiliza la variación de las especies producida por el cambio evolutivo. Se utilizan fósiles guía que son fósiles de especies que solo existieron durante cortos períodos de tiempo y en una amplia zona geográfica. Se utilizan fósiles o trazas fósiles, fundamentalmente durante el Fanerozoico.

Correlaciones climáticas

Este método correlaciona eventos climáticos basados en modelos de respuesta geomorfológica a cambios de clima y edades conocidas para eventos climáticos específicos.

Se utilizan en depósitos y formas de paisaje como depósitos glaciales, litorales y fluviales.

Agradecimientos

Por la lectura crítica y aportes al manuscrito al Dr. Fucks, al Ing. Huarte y a la Dra. Castiñeira. A la Téc. María Eugenia del Valle por su colaboración en la gráfica.

Bibliografía

- Beschel, E.E. (1973) Lichens as a measure of the age of recent moraines. *Arctic and Alpine Research*, 5, 303-309.
- Colman, S. M. and Pierce, K. L. (2000) Classification of Quaternary geochronologic methods. In J. S. Noller, J. M. Sowers, and W. R. Lettis (eds) *Quaternary Geochronology: Methods and Applications* (AGU Reference Shelf 4), 2–5. Washington, D.C.: American Geophysical Union.
- Fleischer, R. L., P. B. Price, y R. M. Walker, 1975, Nuclear tracks in solids. Principles and applications:
Los Angeles, Univ California Press, 605 p.
- Geyh, M.A. and Helmut Schleicher. *Absolute Age Determination. Physical and Chemical Dating Methods and Their Application*. Springer-Verlag, 1990. 503 p.
- Holmes, A. (1946). An estimate of the age of the Earth. *Nature (Lond)* 157:680 pp.
- Houtermans, F. G. (1946) The isotopes ratios in natural lead and the age of uranium. *Naturwissenschaften* 33:185-186.
- Hugget, R.J. *Fundamental of Geomorphology*. Second Edition. Routledge: Taylor & Francis e-Library, 2007. 458p.
- Libby, W.F, Anderson E.C. and Arnold, R. (1949). "Age determination by radiocarbon content: world- wide assay". *Science*, 109 : 227-228.
- Renfrew, Collin y Bahn, Paul. *Archaeology. Theories Methods and Practice*. ED. Akal. España. 1993. 543 p.
- Walker M.J. *Quaternary dating methods*. Chichester: J Wiley, 2005. 286 p.