

## ESTUDIOS

### [EL TIEMPO EN UN GEÓLOGO]

**Francisco Hervé A.**

Profesor Titular

Universidad de Chile

Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas

Departamento de Geología

## RESUMEN

Uno de los mayores aportes de la Geología a la cultura universal es haber dado dimensión al tiempo geológico. Se analiza los conceptos de tiempo relativo y tiempo absoluto, y se da cuenta de diversos métodos ideados por los geólogos para establecer la edad de la Tierra y de las rocas que la conforman. Se discute finalmente un caso real de determinación de edad de formación de ciertas rocas en Aysén, resaltando algunas de las dificultades que para ello se debe enfrentar y resolver.

## Introducción

Durante un raro momento sin ninguna de esas obligaciones que la tarea universitaria nos impone, pienso acerca de estos ya más de treinta años de dedicación a la investigación y docencia en geología. Siento que ellos probablemente son demasiados en la mente de muchos de mis actuales alumnos. En este lapso han cambiado tantas cosas en mi interior, en mi exterior, y en la sociedad. También la ciencia que practico ha cambiado en muchos de sus conceptos esenciales, revolución provocada por la formulación de la teoría de la Tectónica Global mediante. El correr del tiempo tiene su mejor indicador en los cambios.

Miro el cerro Manquehue, sigo con la mirada hasta el Plomo, el San Ramón. Están allí, iguales como los recuerdo de niño, en particular después de los días de lluvia que este año han corrido fugazmente el velo de smog que ha adquirido Santiago. ¿No transcurrió el tiempo para ellos que están iguales? Si Doña Inés de Suárez me los describiera, probablemente coincidiríamos en como son. Sin embargo, estos años de práctica de la geología me han enseñado que esta permanencia de los paisajes, que dan continuidad a nuestras vidas, es una ilusión: ellos también cambian, y mucho.

## La geología

Ciencia poco conocida en esta conservadora sociedad chilena es la nuestra, pese a los ya más de cuarenta años que se imparte sistemáticamente como

carrera en la Universidad de Chile, y al importante efecto que su aplicación tiene en el desarrollo del sector minero, energético y económico del país. La mayor parte de la sociedad chilena, hasta insospechados niveles socio-culturales, tiene aún la imagen que la actividad del geólogo es excavar en busca de vestigios arqueológicos, y para los más osados, alguien que utiliza el método del carbono 14. Pienso que esta confusión radica principalmente en la percepción que el ciudadano no iniciado, tiene del tiempo. De alguna manera se asocia geología con el estudio de lo antiguo, y antiguo, en este caso, significa ruinas, actividad humana prehispánica o colonial.

La geología es una ciencia histórica, que pretende entender la evolución del planeta. Evolución implica cambio, y cambio necesariamente tiempo. El tiempo es pues un elemento esencial en el razonamiento y en la investigación geológica, en todas sus facetas, desde aquellas de ciencia básica hasta las de aplicación. En un balance personal, con seguridad la mayor parte de mi esfuerzo intelectual ha ido a intentar establecer la edad - tiempo transcurrido desde su formación - de las rocas - y de los ambientes en que se generaron.

### El tiempo en geología

Se percibe de dos maneras diferentes, bajo los conceptos de *tiempo relativo* y de *tiempo absoluto*.

Al estudiar un sector cualquiera de la corteza terrestre, un yacimiento mineral, o cualquier otro objeto geológico, el geólogo tiene como una de sus tareas centrales, establecer el orden relativo de formación de las rocas, minerales o estructuras componentes de ese sistema. Ello se expresa como tiempo relativo, que establece cual elemento es más antiguo que otro. Además, interesa situar en una escala de tiempo, el tiempo absoluto, la formación de estos elementos. Los procedimientos para establecer ambos "tiempos" son muy diferentes entre sí, y se indican a continuación.

#### Tiempo relativo

Para establecer el tiempo relativo se utilizan 4 sencillos principios fundamentales del razonamiento geológico, cuya aplicación se basa en la observación directa de los cuerpos geológicos en la naturaleza. En muchos casos, permiten establecer la sucesión temporal de los elementos que constituyen el sistema estudiado.

Estos principios son:

- a) De la superposición: si una roca se deposita encima de otra, es más joven.
- b) De la inclusión: si un fragmento de una roca se encuentra dentro de otra, esta última es la más joven.
- c) De las relaciones de corte: si el límite de un cuerpo de roca corta a los límites

entre otras, es más joven que aquellas

d) De la sucesión de faunas: más complejo que los otros, este principio establece que las faunas fósiles, ordenadas cronológicamente por los principios anteriores, pueden usarse por sí mismas para establecer edades relativas entre las rocas que las contienen.

### Tiempo absoluto

El concepto cuantitativo de la duración del tiempo geológico, el tiempo transcurrido desde la formación de la Tierra, ha evolucionado enormemente en los últimos tres siglos. La determinación de la edad de la Tierra es probablemente la contribución más importante que la ciencia geológica ha hecho a la concepción global que el hombre tiene de la naturaleza y de su posición en ella, y que ha permitido formular teorías tan fundamentales como la de la evolución de las especies y la del actualismo.

En 1658 el arzobispo anglicano James Ussher publicó una cronología de la Tierra basada en la interpretación de la genealogía bíblica, en la que establecía que la Tierra había sido creada en la tarde del 22 de Octubre del año 4004 antes de Cristo. Este dato fue introducido como pie de página en la edición de 1701 de la biblia inglesa y permaneció en ella hasta 1900. Este marco temporal estaba en concordancia, y condicionaba las hipótesis catastrofistas y creacionistas que hasta comienzos del siglo XIX se concebían para explicar la sucesión y diversidad de las faunas fósiles que se conocía en las rocas.

Sin embargo, la edad para la Tierra propuesta por Ussher, comenzó a ser puesta en duda por geólogos y físicos en el siglo XVIII y particularmente en la primera mitad del siglo XIX. En 1758 en su Teoría de la Tierra, el geólogo inglés Sir James Hutton, después de realizar prolongadas observaciones geomorfológicas y estratigráficas, concluyó que.... "no hay indicios de un comienzo, ni prospecto de un final..." para la historia de la Tierra. La naciente mentalidad científica no se satisfacía de una impresión cualitativa de ese tipo, y se comenzó a buscar maneras de calcular la edad de la Tierra. Para medir el tiempo, es necesario conocer un proceso que sea cíclico, o bien progresivo de tasa de variación constante y del cual se conozcan los estados inicial y final. En el s.XIX se creyó encontrar sistemas con esas características y se desarrollaron principalmente 4 metodologías para calcular la edad de la Tierra: dos de ellas basadas principalmente en cálculos físicos y astronómicos (el enfriamiento de la Tierra y la física orbital), y dos basadas en observaciones de procesos geológicos (la química de los océanos y la acumulación de sedimentos observable en las rocas). Todas ellas produjeron gran diversidad de resultados, y mencionaremos a continuación algunos de ellos a modo de ejemplos.

Lord Kelvin, basado en cálculos del enfriamiento de la Tierra a partir de una temperatura inicial (supuesta) de 3870 C, de una conductividad térmica promedio de las rocas que constituyen la Tierra (medida), una gradiente geotérmica

(medida) de  $33\text{C}/\text{km}$ , y un modelo de enfriamiento por conductividad, llegó en 1862 a la cifra de 99 millones de años, que su prestigio como científico hizo aceptable para muchos científicos hasta los inicios del siglo XX.

Joly, basado en la cantidad de Na presente en el agua de mar (medido), en el aporte anual de Na de los ríos al mar (medido) y en la suposición que no se perdía Na del mar, calculó en 1899 una edad de la Tierra de,.... °99 Millones de años! Esta coincidencia con los valores obtenidos por Lord Kelvin, es una poderosa demostración que llegar a un mismo resultado por dos métodos distintos, no asegura la veracidad del resultado.

Sobre la base de cálculos astronómicos, el segundo hijo de Charles Darwin concluyó (1898) una edad mínima de 56 Ma. para la Tierra.

Walcott, basado en la medición del espesor de los estratos geológicos observables en Estados Unidos, y suponiendo una velocidad de sedimentación constante de 1 metro por cada 9.483 años, calculó en 1893 la edad de la Tierra en 55 Ma.

Pero el descubrimiento de la radioactividad, a principios del siglo XX, echaría por tierra los cálculos acerca del enfriamiento de la Tierra, que no consideraban esta fuente de calor, y entregaría al mundo diversos y precisos relojes para medir la edad de las rocas y de la Tierra. El desarrollo del espectrómetro de masas fue el necesario avance tecnológico que permitió medir con precisión las proporciones en que están los diversos isótopos en los minerales y rocas, y con ello aplicar los más diversos sistemas radioisotópicos a la datación de los materiales naturales, terrestres y extraterrestres.

El principio de la determinación de edad por métodos isotópicos es simple: si un isótopo radioactivo P da origen a isótopos radiogénicos H a una velocidad constante, medible, entonces de la proporción entre P y H se puede deducir una edad de comienzo de operación del sistema. Premisas necesarias para la aplicación del método es que la cantidad inicial de H sea conocida, que el sistema haya sido cerrado para P y H desde su origen y que la constante de desintegración sea constante en el tiempo. De esta manera numerosos sistemas isotópicos pueden usarse para determinar la edad de rocas y minerales: K-Ar,  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$ , Rb-Sr, Nd-Sm, Ru - Os, U -Pb, Pb-Pb por mencionar sólo algunos. Una impresionante inversión en tecnología y en laboratorios especializados apoya con estos métodos la incesante necesidad de los geólogos de determinar la edad de las rocas, y con ello la de los eventos que se han sucedido en la historia de la Tierra.

Dotado con esta batería de métodos, y con la ayuda de las muestras traídas de la Luna y caídas de otras partes del sistema solar en forma de meteoritos, se calcula hoy la edad de la Tierra en 4.54 Ga. Las edades más antiguas obtenidas en minerales terrestres son de ca. 4.1 Ma, en circones detríticos en rocas

sedimentarias, lo que indica claramente que ya antes de eso había una corteza sólida en la Tierra. Es probable que ella haya desaparecido para siempre debido a la actividad tectónica del planeta.

### **Determinación de la edad de las rocas : un ejemplo real**

Lo señalado anteriormente podría hacer pensar al lector que hoy día determinar la edad de formación de las rocas es una empresa fácil. En muchos casos ello dista bastante de ser así, dada la inmensa complejidad de los procesos geológicos que pueden afectar a las rocas después de ser formadas.

Hace ya más de 20 años que he dedicado gran parte de mis esfuerzos de investigación a estudiar el Complejo Metamórfico del Archipiélago de los Chonos. En ese momento, se venía de identificar en una localidad restos fósiles que fueron asignados al Devónico inferior (400 Ma). Se interpretó además que una buena parte de ese complejo de rocas era más antigua que esa edad, usando el principio de la superposición y de la inclusión. Después de varias prolongadas y esforzadas campañas de terreno realizadas con colegas del Departamento de Geología, llegamos a la conclusión que los principios mencionados habían sido mal aplicados, y que en realidad todas las rocas del complejo habían sido metamorfizadas, y por lo tanto formadas en su estado actual, después de la depositación de los fósiles devónicos. Vino entonces un gran esfuerzo para aplicar métodos geocronológicos isotópicos, para saber la edad de ese proceso metamórfico. Efectivamente, obtuvimos edades más jóvenes con los métodos K-Ar y Rb-Sr, practicados con esfuerzo en laboratorios de Brasil e Inglaterra. Sin embargo, toda la interpretación de estos números estaba basada en la edad que indicaban los fósiles. Muchos indicios me hicieron comenzar a dudar de esta edad, lo que puede ocurrir si los fósiles fueron mal determinados, ya que ellos no estaban muy bien preservados. Varias campañas me permitieron buscar más fósiles en los mismos lugares donde ellos habían sido señalados. Consulté a mis colegas paleontólogos del British Antarctic Survey, a quien era el máximo especialista mundial en braquiopodos devónicos, y a la Universidad de Oregon partieron los fósiles recientemente colectados. Al cabo de un tiempo llegó el diagnóstico del especialista: los fósiles con seguridad no eran braquiopodos, ni tampoco devónicos, pero él no podía decir más que eso. Era ya suficiente, la duda sobre la validez de las primeras determinaciones era una realidad. Se buscó a los más diversos especialistas en bivalvos paleozoicos, hasta dar con el nombre de un profesor en la Universidad de Nanjing, China, quien aceptó estudiar el material. Al cabo de un tiempo, en una amarillenta hoja manuscrita, llegó a mis manos, a fines de 1997, una nueva determinación de los fósiles: eran bivalvos típicos del Triásico Superior (220 Ma). Mientras tanto yo había tenido la oportunidad de ir a la Universidad Nacional de Australia, donde existe un instrumento único en el mundo, el SHRIMP (Super High Resolution Ion Micro Probe), capaz de determinar la edad de cristales individuales de circon por el método isotópico U - Pb. Con ese instrumento, analicé circones detríticos existentes en la roca que contiene los fósiles, los que por el principio de la

inclusión son necesariamente más antiguos que la roca. Esos circones dieron diversas edades, entre las cuales las más jóvenes eran de 230 Ma. Con esta información, que yo no di a conocer a los paleontólogos, yo estaba seguro que los fósiles no eran devónicos. Una vez más, se daba el caso que por dos métodos totalmente independientes, se establecía de manera muy sólida, una edad Triásico superior para estas rocas. Este resultado, reciente, que se publica por primera vez en este texto, va necesariamente a transformar toda la interpretación que tenemos acerca del desarrollo del margen continental de esa región de los Andes. Sólo el tiempo dirá si este resultado es reproducible, por el momento debemos utilizarlo como si fuera cierto: la verdad en la ciencia es a menudo transigente, y nuevos métodos u observaciones quizás en el futuro vuelven a modificar estos resultados. Esta última posibilidad no desmerece en absoluto el valor del resultado obtenido con los mejores métodos y observaciones que han sido posibles utilizar hasta el momento.

### **Bibliografía**

Claude C. Albritton Jr (1980) *The abyss of time*. Freeman, Cooper & Company, San Francisco, USA, 251 p.

G. Brent Dalrymple (1991) *The age of the earth*. Stanford University Press, Stanford, California, 474 p.

W. Kenneth Hamblin (1982) *The earth's dynamic systems*. Burgess Publishing Company, Minneapolis, Minnesota, 529 p.