

## **CURSO DE POSTGRADO**

# **Los isótopos estables y radiogénicos como herramientas para caracterizar procesos geológicos y ambientales**

**DOCENTES:** Dres. Juan A. Dahlquist – Diego Gaiero – Gabriela García – Fernando Gómez

**MODALIDAD:** híbrida

### **FUNDAMENTACIÓN**

La aplicación de métodos y conceptos propios de la química y la física a la geología permitió desarrollar el campo de la Geoquímica Isotópica, introduciendo herramientas muy valiosas para la comprensión del Sistema Tierra y del medio ambiente. Esto fue posible gracias a los importantes avances en el desarrollo de tecnologías de alta precisión y sensibilidad para la detección de isótopos estables y radiactivos que se produjeron en las últimas cuatro décadas. En la actualidad, el uso de los isótopos como cronómetros y trazadores de fuentes y procesos se ha convertido en una herramienta primordial en numerosas disciplinas de las Ciencias de la Tierra, posibilitando nuevos descubrimientos y el avance en el conocimiento de los procesos geoquímicos que ocurren tanto en la superficie como a grandes profundidades en la Tierra. Así, los isótopos han permitido establecer la edad de formación de nuestro planeta, dimensionar el tiempo geológico y establecer los procesos que han edificado la corteza continental, sustrato donde se desarrolló la vida. Existen especialidades dentro de las ciencias de la Tierra (por ej., Geología Histórica, Paleontología o Petrología de roca ígneas), donde el tiempo cobra una importancia singular y difícilmente se puedan obtener resultados satisfactorios sino se conoce la edad de las rocas. Además de su utilidad en geocronología, los isótopos son excelentes trazadores y permiten identificar procesos geológicos. Así, podemos diferenciar rocas formadas en el manto de aquellos resultados de la fusión de la corteza, o analizar antiguas calizas y establecer su edad en base a su isotopía (y conocer, por ej., si se depositó en un mar Neoproterozoico o Cámbrico).

Las herramientas isotópicas han permitido en los últimos años, profundizar en el conocimiento del ciclo biogeoquímico de sustancias orgánicas e inorgánicas en los distintos subsistemas de la Tierra (litósfera, hidrósfera, atmósfera, biósfera); en la caracterización y datación de procesos petrogenéticos, en la comprensión de los procesos de meteorización y erosión de rocas, así como de la dinámica de los sedimentos. Los isótopos son además herramientas fundamentales para las reconstrucciones paleoclimáticas y paleoambientales, la identificación de mezclas de aguas, así como para el trazado del origen y la producción de alimentos y de contaminantes en el cuerpo humano, con aplicaciones directas en estudios

arqueológicos y antropológicos. En Estratigrafía y Sedimentología, los isótopos estables y radiogénicos son de gran utilidad para mejorar el marco cronoestratigráfico de unidades estratigráficas mediante dataciones absolutas o como herramienta de correlación. A su vez son de gran importancia para entender los principales ciclos biogeoquímicos registrados en los sedimentos y los procesos diagenéticos que pueden afectar dicho registro.

### **OBJETIVO GENERAL**

Introducir al alumno en los principios básicos y fundamentos que rigen el comportamiento de los isótopos estables y radiogénicos, además de la metodología de trabajo de campo y laboratorio y sus aplicaciones como herramientas para la caracterización de procesos geológicos y ambientales.

### **OBJETIVOS PARTICULARES**

- Adquirir conocimientos acerca de la utilización de los isótopos radiogénicos como herramientas para datar los procesos geológicos que originan las rocas y, al mismo tiempo, establecer el origen y evolución de los magmas que edificaron (y edifican) la corteza continental.
- Comprender notaciones isotópicas y realizar cálculos isotópicos. Comprender las diferencias entre fraccionamiento isotópico en equilibrio y cinético, usos en geoquímica ambiental, hidroquímica, meteorización, quimioestratigrafía, análisis de cuencas y biogeoquímica.
- Plantear y resolver numéricamente modelos de tipo reservorio (Box Models) de ciclos biogeoquímicos, usando como ejemplo isótopos de carbono y azufre aplicados a casos y ejemplos concretos.
- Conocer las principales herramientas de muestreo y de interpretación isotópica.
- Identificar posibles campos de aplicación mediante la presentación de casos de estudio

### **CONTENIDOS MÍNIMOS**

Isótopos estables e inestables. Mecanismos de fraccionamiento. Medidas isotópicas y estándares. El Sistema Rb-Sr. El Sistema Sm-Nd. El Sistema U-Pb y Lu-Hf. Isótopos estables del O y del H en el ciclo hidrológico. Isótopos del Carbono y el Ciclo del Carbono. Isótopos de azufre y el ciclo del azufre. Isótopos del Litio y ciclo del Litio. Isótopos del Boro y ciclo del Boro. Métodos de análisis y modelado isotópico. Aplicaciones.

## PROGRAMA ANALÍTICO

### I. LOS ISOTOPOS RADIOGÉNICOS

#### 1. Conceptos Generales

- 1.1. **Introducción.** Conceptos básicos. El principio del decaimiento radioactivo. Modos de decaimiento radioactivo. Ecuaciones básicas del decaimiento radioactivo. Decaimiento radioactivo, energía y masa.
- 1.2. **Estabilidad nuclear.** Carta de decaimiento de nucleídos: sistemática. Defectos de masa. Decaimiento radioactivo, masa y energía. Energía de unión.
- 1.3. **Nucleosíntesis 1.** Estrellas. Principio básico de la fusión de núcleos. El diagrama de Hertzsprung-Russell. El espectro electromagnético. La edad del Universo. Principales estadios de las estrellas.
- 1.4. **Nucleosíntesis 2.** Fusión de H y proceso C-O-N. Transición hacia Gigantes Rojas. Estadio final hacia Gigantes Rojas. Estadio final de Supergigantes/Gigantes. Proceso-S. Supernovas. Proceso-R.

#### 2. Los isótopos radiogénicos como herramientas para la datación de rocas y como trazadores de procesos petrogenéticos

- 2.1. **El Sistema Rb-Sr.** Geoquímica del Rb-Sr. Principios y metodología. Isócronas Rb-Sr. Dataciones de rocas de basamento. Usando Rb-Sr como trazadores de procesos petrogenéticos. Los meteoritos y el Rb-Sr parental. Dataciones de rocas carbonáticas.
- 2.2. **El Sistema Sm-Nd.** Geoquímica del Sm-Nd. Principios y metodología. Isócronas Sm-Nd. Dataciones de rocas de basamento. Usando Sm-Nd como trazadores de procesos petrogenéticos. Los meteoritos y el Sm-Nd parental. Diagramas de evolución isotópica. El concepto de edad modelo. Usando edades modelos en rocas ígneas y sedimentarias.
- 2.3. **El Sistema U-Pb y Lu-Hf.** Mineralogía y composición del circón. Geoquímica del U-Pb. Principios y metodología. Diagramas de concordia. De las edades de concordia convencionales al microanálisis. El refinamiento analítico. Geoquímica del Lu-Hf. Principios y metodología. Dataciones de rocas de basamento. Usando el Hf como trazador de procesos geológicos. La edad modelo usando Hf.
- 2.4. **Práctico.** Usando isótopos radiogénicos con diferentes situaciones problemáticas en rocas ígneas. Cálculos e interpretaciones.

### II. LOS ISÓTOPOS ESTABLES

#### 1. Conceptos Generales

- 1.1. **Introducción.** Notaciones, estándares y materiales con los que se trabaja. Procesos de fraccionamiento isotópico, notaciones y cálculos (aspectos teóricos).

Fraccionamiento isotópico en equilibrio y cinético. Fraccionamiento isotópico dependiente e independiente de las diferencias de masa. Comentarios sobre los usos generales de los isótopos estables en estratigrafía y biogeoquímica.

## **2. Los isótopos estables como herramienta para estudios hidrogeológicos**

**2.1. Isótopos de oxígeno e Hidrogeno y el ciclo hidrológico.** Variabilidad global en los isótopos de O e H. Procesos de fraccionamiento Rayleigh. Ejemplos de uso: Isótopos de O e H en lagos hipersalinos. Isótopos de oxígeno como paleo termómetros. Isótopos de oxígeno y el registro de variaciones climáticas y glaciaciones. Isótopos de oxígeno como *proxies* para variaciones relativas del nivel del mar.

## **3. Los isótopos estables como herramienta para estudios paleoambientales y en quimioestratigrafía**

**3.1. Isótopos del Carbono y el Ciclo del Carbono.** El ciclo del Carbono de largo y corto plazo y el sistema carbonato (e isótopos de carbono) en el océano. Isótopos de carbono tradicionales y “Clumped isotopes”. Reconociendo perturbaciones en el ciclo del carbono utilizando isótopos: Casos de estudio: La excursión isotópica del Steptiano (Cámbrico Superior), perturbación de la bomba biológica (*biological pump*) en el límite K-T, isótopos de carbono durante la oxigenación de la atmósfera en el límite Arqueano-Proterozoico. Isótopos de carbono en lagos hipersalinos y en sistemas de travertinos y tufas.

**3.2. Isótopos de azufre y el ciclo del azufre.** Aspectos fundamentales del ciclo del azufre y su conexión con el ciclo del carbono. Fraccionamiento isotópico del azufre durante la degradación de materia orgánica y los metabolismos del azufre. Isótopos de azufre y la oxidación de la atmósfera. Relación entre los ciclos del carbono y azufre a través de sus isótopos. Fraccionamiento independiente de masa en isótopos de azufre antes y luego de la oxigenación de la atmósfera.

## **4. Los isótopos estables como herramienta para el estudio de la meteorización y proveniencia de solutos**

**4.1. Isótopos del Litio y ciclo del Litio.** Origen y abundancia en el sistema solar. Afinidad y compatibilidad geoquímica. La abundancia del Li en la litósfera y la hidrósfera. Minerales portadores de Litio. Los isótopos del litio. Sistemática. Fraccionamiento isotópico. La composición isotópica del litio en aguas meteóricas (superficiales y subterráneas) y aguas termales. Los isótopos de Li en ambientes marinos. El uso de los isótopos de Li como trazadores de la meteorización. Isótopos de Li y CIA. Ejemplos y ejercicios prácticos.

**4.2. Isótopos del Boro y ciclo del Boro.** Origen y abundancia en el sistema solar. Afinidad y compatibilidad geoquímica. La abundancia del B en la litósfera y la hidrósfera. Minerales portadores de Boro. Incorporación de B en carbonatos marinos. Los isótopos del Boro. Sistemática. Fraccionamiento isotópico. Fraccionamiento en

sistemas acuosos. La señal  $\delta^{11}\text{B}$  en los carbonatos como trazador de pH y  $\text{CO}_2$  en el tiempo geológico. El comportamiento de los isótopos de B durante la meteorización. Biogeoquímica del B en la zona crítica. Ejemplos y ejercicios prácticos.

## 5. Métodos de análisis y modelado isotópico

### 5.1. Métodos analíticos de separación y determinación de los isótopos de Li y B.

Digestión de las muestras. Resinas de intercambio iónico. análisis mediante TIMS y MC-ICP-MS.

### 5.2. Modelado de ciclos biogeoquímicos: Modelos de reservorios (Box Models).

Aspectos fundamentales sobre modelos de reservorio o "*Box Models*" (definición de reservorios y flujos, cálculos). Como construir un modelo de reservorio, ecuaciones. Aspectos matemáticos y numéricos. Uso de Python en el planteo y solución de modelos de reservorios. Trabajos sobre casos clásicos, por ejemplo: 1) El evento de excursión isotópica del Steptiano (Cambrio Superior) y 2) la bomba biológica durante el límite K-T.

## DESTINATARIOS

Profesionales o estudiantes de postgrado en ciencias de la Tierra (preferentemente geólogos, geoquímicos, químicos, físicos, agrónomos, biólogos)

**MODALIDAD TEÓRICA-PRÁCTICA:** clases presenciales teórico-prácticas, con presentaciones y discusión de casos de estudio.

**EVALUACIÓN:** Al finalizar el curso se tomará un examen virtual sobre los contenidos conceptuales de los temas tratados o resolución de un problema-ejercicio.

**CARGA HORARIA:** 45 hs

**MATERIAL Y BIBLIOGRAFÍA:** Se entregará a los participantes la presentación de las clases en pdf, textos básicos, libros, artículos.

## BIBLIOGRAFÍA

- Baskaran M. 2019. Handbook of Environmental Isotope Geochemistry. Springer-Verlag. 951pp.
- Dicking, A.P., 1995. Radiogenic isotope geology. Cambridge University Press. 490 pp.
- Faure, 1986. Principles of Isotope Geology, 2nd ed. 589 pp. John Wiley & Sons.
- Faure, G., Mensing, T.S., 2005. Isotopes: Principles and Applications. Editorial John Wiley & Sons. 897 pp.
- Faure, G., 1998. Principles and applications of geochemistry. Editorial Prentice Hall, New Jersey. 625 pp.
- Hoefs, J., 2018. Stable Isotope Geochemistry (8th ed.). Springer. ISBN 978-3-319-78527-1. 437 pages.
- Kump, L., and Slingerlang, R., 2011. Mathematical Modeling of Earth's Dynamical Systems: A Primer. 248 páginas, Princeton University Press, ISBN-10 : 0691145148, ISBN-13 : 978-0691145143.
- Marschall, H., Foster, G. 2018. Boron Isotopes. The Fifth Element. Advances in Isotope Geochemistry series. Springer International Publishing.

Penniston-Dorland S, Liu X-M, Rudnick RL, 2017. Lithium isotope geochemistry. *Reviews in Mineralogy & Geochemistry*, 82, 165-217.

Tomascak, P.B., Magna, T., Dohmen, R., 2016. *Advances in Lithium Isotope Geochemistry*. *Advances in Isotope Geochemistry series*. Springer International Publishing.

White, W.M., 2005. *Geochemistry*, 660 pp. (solicitar a la Cátedra archivos pdf referidos a Geología de Isótopos Radiogénicos y Cosmoquímica).

White, W.M., 2015. *Isotope Geochemistry*. ISBN: 978-0-470-65670-9, Wiley-Blackwell, 496, pages.

Zharp, Z., 2006. *Principles of Stable Isotope Geochemistry*. Prentice Hall, ISBN 10: 0130091391, ISBN13: 9780130091390.

Papers y capítulos de libros adicionales.