

ACTUACION N° 2086
FECHA 3/9/96



GEOQUÍMICA AVANZADA Diseño y Planificación

1) Contenido global del curso y fundamentación de la inserción de la materia en el diseño curricular vigente, en relación a su articulación con otras asignaturas.

La asignatura Geoquímica Avanzada como su nombre lo indica, reúne un conjunto de tópicos o temas que requieren previamente del alumno un entrenamiento y conocimiento básico en otras disciplinas como matemática, química, geoquímica, mineralogía y petrología de rocas ígneas. Esta focalizada en la geoquímica de la corteza terrestre, los factores que controlan la distribución de los elementos en rocas ígneas y sedimentarias, modelos matemáticos de elementos traza y geoquímica isotópica de diversos sistemas. Su inserción a nivel del 4to. o 5to. año como materia obligatoria de la Licenciatura en Geoquímica, u optativa de Licenciatura en Geología se produce en función de las correlatividades con las asignaturas: Geoquímica, Mineralogía, Petrología de Rocas Ígneas y Petrología de Rocas Metamórficas.

2) Metas y objetivos generales que se espera alcance el alumno al finalizar toda la materia y específicos en cada unidad temática.

La temática de la asignatura ha sido seleccionada a los fines de que el alumno adquiera el suficiente conocimiento global, metodológico e informativo de la geoquímica inorgánica, elemental e isotópica. Teniendo a la corteza terrestre como objeto principal de investigación, se imparte la teoría fundamental de equilibrios de fase en sistemas de tres y cuatro componentes, modelado matemático de elementos mayoritarios y trazas, discriminación geoquímica del ambiente tectónico y geoquímica isotópica de en los sistemas Rb-Sr, Nd-Sm, U-Pb y ¹⁴C. En función de estos objetivos, los trabajos prácticos han sido divididos en dos áreas; una primera que consiste en la resolución de problemas y exposición de trabajos científicos a cargo de los alumnos. Estos abarcan temas de equilibrio multivariante, modelos matemáticos de elementos traza y geoquímica isotópica. En la segunda área se familiariza al alumno con los trabajos de laboratorio y metodología instrumental de determinación de elementos mayoritarios y traza por espectrometría de emisión en plasma de argón (ICP) y geología isotópica de los sistemas Rb-Sr y ¹⁴C.

3) Contenidos de las materia presentados en unidades temáticas y fundamentación de la selección de los mismos.

La materia está compuesta de cinco grandes unidades temáticas, las que comprenden a su vez varios subtemas o "bolillas" del programa analítico que se detalla en el ítem 4:

a) Distribución geoquímica de elementos mayoritarios y trazas en la corteza continental y oceánica. Modelos para determinar la composición química total, inferior y superior de las cortezas continental y oceánica. (Temas 1, 2 y 3 del programa analítico). Discriminación geoquímica del ambiente tectónico (Tema 15).

Fundamentación: En la materia se da preferencia a la corteza terrestre sobre otras esferas geoquímicas, como la geoquímica del manto o la cosmoquímica, por ser aquella el ámbito natural del hombre, y de donde extrae todos los recursos naturales renovables y no renovables. En la práctica se realizan problemas de cálculo teórico de diversos sectores de la corteza.



b) Los sistemas cuarzo-feldespáticos como ejemplos de equilibrios de fase en la corteza. Equilibrios complejos, fraccionamiento de elementos mayoritarios en procesos ígneos (Temas 4, 5 y 6 del programa analítico).

Fundamentación: Con esta temática se complementa la formación del alumno en la fisicoquímica de los equilibrios de fase, iniciada en la materia Geoquímica (2do. Año) con sistemas de 2 y 3 componentes. El funcionamiento de sistemas cuaternarios, sobre el que se desarrollan también prácticas, es utilizado para comprender los equilibrios fundamentales que definen la composición global de la corteza terrestre.

c) Los elementos traza en la corteza terrestre. Fisicoquímica de la distribución. Modelos matemáticos simples y complejos (Temas 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14).

Fundamentación: Esta es una temática central de la materia, porque introduce al alumno en una problemática nueva, de gran importancia básica y aplicada. Baste señalar que la mayoría de los elementos de importancia económica son "elementos traza" en la corteza terrestre. El modelaje matemático de elementos traza es tratado en detalle en la teoría y con problemas prácticos. Este tema es fundamental porque le da al alumno un claro concepto de los mecanismos que gobiernan la distribución geoquímica y la formación de las rocas ígneas. Práctica de determinación de lantánidos en rocas aluminosilicáticas por espectrometría de emisión en plasma de argón.

d) Geoquímica isotópica. Sistemas U-Pb, Nd-Sm, Lu-Hf, Rb-Sr, ^{14}C (Temas 16 y 17 del programa analítico).

Fundamentación: Esta temática también es complementaria de la tratada en la Geoquímica de 2do. Año. Se tratan aquí sistemas geocronológicos más complejos, y especialmente diversos aspectos de geoquímica isotópica, que es una metodología de importancia fundamental en la petrología ígnea. En la parte práctica se desarrollan problemas teóricos, y visitas a los laboratorios de nuestra Facultad donde se realizan determinaciones por las metodologías ^{14}C y Rb-Sr.

e) Geoquímica de rocas sedimentarias clásticas y carbonáticas (Temas 18 y 19).

Fundamentación: En esta unidad se tratan los equilibrios del agua de mar que conducen a la formación de las rocas carbonáticas, su geoquímica y geología isotópica. En las rocas clásticas se tratan las normas químicas y la discriminación geoquímica de los ambientes tectónicos. Se introduce al alumno en las metodologías propias de estas especializaciones, con ejemplos de investigaciones en cuencas sedimentarias argentinas.



4) Contenidos a desarrollar, según unidades temáticas, en teóricos, T.P. y otras modalidades desarrolladas por la cátedra: seminarios, salidas de campo, visitas, monografías, trabajos de investigación, etc.

Semestre I Programa teórico

- 1.- La corteza terrestre. Divisiones de la corteza. La corteza superior: métodos determinar su composición química. Factores geológicos que afectan la composición química de las rocas sedimentarias: meteorización, coeficientes de partición roca-agua, tiempo de residencia. Las sedimentitas como muestras de la composición química de la corteza.
- 2.- Modelos de composición química total de la corteza continental. El modelo "andesita". Problemas del Ni y el Cr. El modelo bimodal félsico-básico. La corteza inferior, problemas de muestreo. Los terrenos granulíticos. Xenolitos. Modelos de composición química de la corteza inferior. Variaciones temporales en la composición química de la corteza. El registro sedimentario.
- 3.- La corteza oceánica, naturaleza y modelos de composición química global. Características geoquímicas de los basaltos de las dorsales oceánicas: MORB tipos N, P y T.
- 4.- Los sistemas experimentales cuarzo-feldespáticos como ejemplos de equilibrios de fase en la corteza. Sistemas ternarios y cuaternarios. Cristalización y fusión cuantitativas, regla de la balanza. Influencia de la presión. Comparación con resultados experimentales.
- 5.- Fraccionamiento de elementos mayoritarios en procesos ígneos. tipos de magma y su discriminación geoquímica. Saturación en SiO_2 y Al_2O_3 , implicancias genéticas. Clasificación tectónica de los magmas: asociaciones de márgenes de placa y de intraplaca.
- 6.- Diagramas de variación de dos elementos. Problemas de mezcla; hipótesis gráfica de fraccionamiento. Cálculos mediante microcomputación. Efectos de solución sólida. Detección de inflexiones.
- 7.- Los elementos traza, resena histórica del conocimiento. Características cristaloquímicas de elementos diadócicos. Ley de Nernst-Berthelot, limitaciones, ley de Henry. Limitaciones termodinámicas: influencias de la temperatura, la presión y la composición. Clasificación de elementos traza: elementos incompatibles y compatibles; elementos LIL y HFS; móviles e inmóviles.
- 8.- Los elementos del grupo de las Tierras Raras. Abundancia en el sistema solar, la Tierra y la corteza. Presentación de los datos, normalización. Estados de oxidación. Coordinación y radio iónico. sustitución diadócica y coeficientes de partición.



9.- Comportamiento de elementos traza en los procesos generadores de magma. Modelos matemáticos de anatexis simple : a) fusión en equilibrio o en "batch"; b) fusión fraccionada o Rayleigh; c) fusión Rayleigh acumulativa. Campos de aplicabilidad.

10.- Introducción a modelos de anatexis complejos. Fusión incongruente e influencia de los volátiles. Ejemplos de fusión de rocas corticales.

11.- Comportamiento de elementos traza en la diferenciación magmática. Modelo matemático de cristalización en equilibrio. Modelos de cristalización fraccionada perfecta: ecuaciones de Rayleigh y Doerner-Hoskin. Alcances y límites de aplicación. Ejemplos de cristalización fraccionada en sistemas cuarzo-feldespatícos.

12.- Teoría generalizada del comportamiento de elementos traza durante la cristalización: ecuación de Greenland. Modelos de relaciones cúmulos-intercúmulos. Procesos en multiestadios. Modelos de realimentación de la cámara magmática.

13.- Modelos geoquímicos de mezcla, contaminación y asimilación. Modelos simples para uno y dos elementos. Modelos complejos, ecuaciones hiperbólicas. Modelos combinados de cristalización-asimilación, ecuaciones de De Paolo. Modelo de fusión zonal (zone refining).

Programa Práctico

1.- Clases de problemas:

- Estimación de la composición química de secciones corticales en base a balance de masas.
- Equilibrio de fases en el sistema Q:Ab:Or:An-H₂O. Representación gráfica de resultados e interpretación.
- Modelos matemáticos de elementos traza. Cálculo e interpretación.
- Distribución de elementos mayoritarios. Graficado e interpretación.

Semestre II

Programa teórico

14.- Otros mecanismos de diferenciación magmática: difusión termogravitacional y fraccionamiento líquido. Fraccionamiento químico en cámaras magmáticas zonadas.

15.- Discriminación geoquímica del ambiente tectónico de generación magmática. Fundamentos. Elementos inmóviles. Discriminación en base a elementos mayoritarios y trazas. Ambiente tectónico de formación de los magmas corticales.



16.- Geoquímica isotópica. Radioactividad y desintegración radioactiva. Sistemática Rb-Sr y U-Pb como trazadores de la evolución cortical. Fraccionamiento concomitante del oxígeno e hidrógeno. Método ^{14}C , características.

17.- Isótopos radioactivos de las Tierras Raras: sistemas Nd-Sm y Lu-Hf. Decaimiento radioactivo. Geocronología, datación de rocas y minerales. Notación. Edades modelo. Aplicaciones en petrogénesis.

18.- Geoquímica de rocas sedimentarias. Composición química de los principales tipos litológicos y su relación con los componentes mineralógicos. Tratamiento matemático de los datos químicos: normas de rocas sedimentarias y análisis estadístico.

19.- Clasificación química de las rocas sedimentarias. Inferencias geoquímicas sobre el origen del material sedimentario y de el ambiente tectónico de depositación. Las Tierras Raras en las rocas sedimentarias.

Programa Práctico

1. Clases de problemas:

- Geología isotópica. Cálculo de edades por los métodos Rb-Sr y Nd-Sm. Cálculo e interpretación del parámetro ϵ y edades modelo.

2.- Clases de laboratorio

- Determinación de elementos mayoritarios y traza en rocas silicatadas por espectrometría de emisión en plasma de argón. Manejo de datos geoquímicos mediante microcomputación. Visita y prácticas en el Laboratorio de Geoquímica del Centro de Investigaciones Geológicas.

- Determinación de elementos del grupo de las Tierras Raras (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Er, Yb y Lu) en rocas silicatadas por espectrometría de emisión en plasma de argón. Normalización, manejo de datos mediante microcomputación.

- Método ^{14}C . Técnica y cálculo de edades. Visita y práctica en el Laboratorio de Tritio y ^{14}C Carbono (LATYR).

- Técnica de separación de Sr para fines geocronológicos. Cálculo de edades. Visita al Laboratorio Rb-Sr del Centro de Investigaciones Geológicas.

3.- Seminario a cargo de los alumnos en el que se expone y comenta un trabajo científico reciente relativo a los temática general de la materia



4) Metodología a utilizar en las diferentes actividades de la materia y su fundamentación

- La parte teórica de la materia es impartida en la forma usual, en clases teóricas y en ocasiones teórico-prácticos, de aproximadamente 3-4 horas de duración, con un intervalo. A los alumnos se les ha entregado juegos de fotocopias con todas las gráficas y figuras de los temas teóricos y teórico-prácticos, con una semana de antelación al dictado de las clases respectivas. Como auxiliares didácticos se emplean habitualmente retroproyectors, proyección de diapositivos, y programas de computación para PC. En lo que respecta a la parte conceptual, después de explicada la parte teórica correspondiente, se ubica siempre al alumno con ejemplos de investigaciones sobre secuencias de rocas argentinas y su significado geológico, petrológico y económico.

- Para cada uno de los trabajos prácticos del área "problemas" existe un desarrollo teórico de los mismos que se imparte en la teoría, dictada siempre con anterioridad al mismo. En este caso también se les entrega previamente a los alumnos fotocopias con las tablas, información y bibliografía necesarios para la resolución de los problemas teórico-prácticos. Los problemas son resueltos en clases generales, individual y rotativamente a cargo de los alumnos. Al final de las mismas se realiza una discusión general a cargo de toda la clase, sobre los aspectos que puedan haber quedado menos claros. Dado que normalmente el número de alumnos que cursa es reducido, el contacto profesor-alumno es muy estrecho por lo que se alcanza gran dinámica y profundidad en muchos temas.

La parte práctica de la materia contempla visitas a los Laboratorios de Geoquímica y de Rb-Sr del Centro de Investigaciones Geológicas y al Laboratorio de Tritio y ¹⁴C Carbono (LATYR) de la Facultad de Ciencias Naturales. El alumno adquiere aquí un contacto directo con las metodologías que se emplean en la investigación geoquímica e isotópica.

6) Formas y tipos de evaluación.

El número reducido de alumnos que cursa la materia permite una muy completa visión de los avances de cada uno de los alumnos y el grado de alcance de comprensión obtenido. No se ha considerado necesario, por ejemplo recurrir a exámenes parciales de la parte práctica, toda vez que todos los alumnos que cursan deben participar activamente de cada uno de los trabajos prácticos. En los casos que se observan falencias de comprensión en algunas temáticas, se trata primero de identificar el problema y luego se lo discute en forma general en la clase. Los alumnos deben tener por lo menos de una asistencia no inferior al 70% de las clases prácticas y teóricas-prácticas para aprobar la cursada de la materia.

El examen final es de tipo oral, convencional. El alumno que lo requiera con anticipación puede tener una evaluación escrita.

7) Bibliografía a utilizar

Como se ha manifestado en el capítulo de la Metodología de la materia, cada alumno cuenta tanto para la teoría como para la práctica con fotocopias de todos los aspectos gráficos y numéricos necesarios para el desarrollo de la clase respectiva. A más de la bibliografía de artículos científicos para cada tema, se le agrega la siguiente bibliografía genera (libros exclusivamente):



- Albarède, F., 1995. Introduction to Geochemical Modelling. Cambridge University Press, Cambridge, 543pp.
- Allegre, C.J. y Hart, S.R. (Eds.), (1978). Trace elements in Igneous Petrology, Elsevier, 272pp.
- De Paolo, D.J., (1988). Neodymium Isotope Geochemistry. An Introduction. Springer, 187pp.
- Dickinson, W. (Ed.), (1974). Tectonics and Sedimentation. S.E.P.M. Special Publication N 22.
- Ehlers, E.G., (1972). The Interpretation of Geological Phase Diagrams. Freeman, 280pp.
- Garrels, R.M. y Mackenzie, F.T., (1971). Evolution of Sedimentary Rocks. Norton & Cia., New York.
- Faure, G., (1986). Principles of Isotope Geology, (2nd.Ed.). John Wiley, 589pp.
- Henderson, P. (Ed.), (1984). Rare Element Geochemistry, Elsevier, 510pp.
- Henderson, P., (1984). Inorganic Geochemistry. Pergamon, 353pp.
- Jager, E. y Hunziker, J.C. (Eds.), (1979). Lectures in Isotope Geology. Springer, 329pp.
- Richardson, S.M. y Mcsween Jr., H.Y., (1989). Geochemistry. Pathways and Processes. Prentice Hall, 488pp.
- Ringwood, A.E., (1979). Origin of the Earth and Moon. Springer, 295pp.
- Taylor, S.R. y McClennan, S.M., (1985). The Continental Crust: its Composition and Evolution. Blackwell, 312pp.
- Wood, B.J. y Fraser, D.G., (1978). Elementary Thermodynamics for Geologists. Oxford, 303pp.

8) Duración de la materia y cronograma con la distribución del tiempo para cada actividad y responsables de cada una.

La materia está incluida en un régimen de **cursada anual**, dividida en dos semestres:
Semestre I: marzo-julio y Semestre II: agosto-octubre. Los temas teóricos y prácticos correspondientes a cada semestre se detallan en el punto 4.



El firmante, Dr. Carlos W. Rapela, Profesor Titular con Dedicación Exclusiva, es el responsable y único docente específico de de la asignatura. Además de las clases teóricas, el mismo docente es responsable de la parte de problemas correspondiente a los Trabajos Prácticos en ambos semestres.

Debe destacarse, que aún sin tener un vínculo efectivo con la materia, varios profesores y también Auxiliares de la Facultad de Ciencias Naturales y Museo colaboran desde hace varios años, dictando temas específicos en los cuales son especialistas:

Dr. Julio C. Merodio: Geoquímica de rocas sedimentarias clásticas.

Lic. Aníbal Figini: Método 14C

Dr. Sergio Matheos: Geoquímica y geología isotópica de rocas carbonáticas.

Dr. Ricardo Varela: Separación cromatográfica de estroncio para datación radioisotópica.

Lic. Claudia Cavarozzi: Determinaciones de elementos traza por espectrometría de emisión en plasma de argón,

La Plata, 26 de marzo de 1996

Dr. Carlos W. Rapela

Profesor