

# GEOQUÍMICA

## 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 Geoquímica es una disciplina científica perteneciente al grupo que conforman las ciencias de la Tierra, destinada a establecer, desarrollar y aplicar los principios fisicoquímicos que permitan explicar de un modo general el comportamiento de los componentes químicos en los medios naturales. Es intención principal de la cátedra, en este aspecto, desarrollar los objetivos primarios de la geoquímica sobre la base de una estructura edificada con el apoyo permanente de las leyes fundamentales de la Física, la Química y la Matemática, junto con el conocimiento básico de los temas esenciales de la Geología y la Mineralogía, tal cual se presentan en asignaturas como Fundamento de Geología y Mineralogía. En este contexto la cátedra imprime al curso un carácter fundamentalmente formativo.

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

Los objetivos generales y específicos de esta asignatura se refieren al tratamiento de las etapas que componen el ciclo geoquímico de los elementos con el desarrollo de sus diferentes modelos de distribución y características de migración a través y entre las distintas esferas geoquímicas componentes de la Tierra.

Importante es destacar que estos conceptos deben impartirse con criterio moderno, desechando el tratamiento individual de los elementos y haciendo prevalecer el carácter general de la enseñanza con aplicación permanente de las leyes de la geoquímica en la descripción y explicación fundamentada de los procesos magmáticos, sedimentarios y metamórficos. De este modo el alumno manejando con propiedad los principios básicos geoquímicos podrá construir el ciclo geoquímico de cualquier componente químico sin haberlo considerado en modo sistemático en ningún momento de su curso.

Un aspecto importante que facilita la comprensión del comportamiento de los elementos en sus medios naturales y que constituye de este modo un auxiliar inestimable de la enseñanza, es el conocimiento de las propiedades químicas de los elementos en medio acuoso, especialmente referidas a sus diferentes solubilidades en función de características fisicoquímicas tales como, pH y potencial redox, y de composición química de los medios naturales supergénicos (aguas, suelos, sedimentos, etc.).

Ello permitirá establecer en forma clara el modo de presentación del componente químico en el sistema que lo contiene y su grado de movilidad relativa, aspectos importantes que hacen al estudio de los principios básicos de prospección geoquímica.

### **3.- Contenidos de la materia presentados en unidades temáticas y fundamentación de la selección de los mismos.**

#### PROGRAMA ANALÍTICO

#### SEMESTRE I

1- INTRODUCCIÓN. Definición; objetivos. Disciplinas auxiliares. La Tierra y el sistema solar. Abundancia de los elementos en el Cosmos: ley de Goldschmidt y de Oddo-Harkins. Origen de los elementos. Estabilidad de los nuclidos. Estructura y composición geoquímica de la Tierra: corteza, manto y núcleo. Clasificación geoquímica de los elementos. Ciclo geoquímico.

2- CRISTALOQUIMÍA. Sólidos cristalinos. Tipos de unión: cristales iónicos y covalentes. Tamaño de los iones y número de coordinación. Regla de la relación de los radios. Fuerza de polarización. Energía de retículo cristalino. Potencial iónico. Electronegatividad. Unión metálica y de van der Waals. Isomorfismo; sustitución y polimorfismo. Estructura cristalina de silicatos.

3- EQUILIBRIO QUÍMICO EN SISTEMAS HOMOGÉNEOS. Ley de acción de masas. Velocidad de una reacción química y constante de equilibrio. Principio de Le Chatelier. Equilibrio químico en sistemas homogéneos: el agua; sus propiedades físicas y químicas; disociación. Concepto de pH. Ácidos y bases. Constante de disociación de ácidos y bases débiles. Hidrólisis. Sistemas reguladores. Efecto de ión común. Ejemplos de interés geológico: efecto regulador del agua de mar.

4- EQUILIBRIO QUÍMICO EN SISTEMAS HETEROGÉNEOS. Sustancias poco solubles. Solubilidad y producto de solubilidad. Soluciones saturadas. Factores que la modifican: temperatura, efecto de ión común, efecto salino, etc. Concepto de fugacidad y actividad. Fuerza iónica. Ejemplos de precipitados: solubilidad del carbonato de calcio en agua pura y de mar. Condiciones de precipitación de calizas. Formación de toscas.

5- TERMODINÁMICA. Principio de la conservación de la energía: primera ley de la Termodinámica; energía interna y trabajo máximo. Entalpía. Segunda ley de la Termodinámica: irreversibilidad de los procesos espontáneos. Entropía y energía libre. Potencial químico. Condiciones de equilibrio y criterio de transformación espontánea. Relación entre la energía libre y la constante de equilibrio. Tercera ley de la Termodinámica. Ecuación de Clapeyron. Cambios de la constante de equilibrio con la temperatura: ecuación de Van't Hoff.

6- GEOLOGÍA ISOTÓPICA. Isótopos estables e inestables. Mecanismos de decaimiento. Principios de datación radimétrica. Métodos radimétricos: Rubidio-Estroncio; Potasio-Argón; Uranio-Plomo y Neodimio-Samarium. Isocronas y errorcronas. Isótopos estables: Oxígeno, Azufre y Carbono. Fraccionamiento. Paleotermometría. Fraccionamiento biogénico. Aplicaciones.

7- GEOQUÍMICA DE ROCAS ÍGNEAS (I). Clasificación de rocas ígneas desde el punto de vista geoquímico. Composición química y mineralógica: minerales félsicos y máficos, esenciales, accesorios y secundarios. Cristalización de magmas: Principio de Reacción de Bowen; series de reacción continua y discontinua. Propiedades características. Casos particulares.

8- GEOQUÍMICA DE ROCAS ÍGNEAS (II). Equilibrio de fases. Regla de las fases: concepto de fase y número de componentes; grado de libertad. Regla mineralógica de las fases. Sistema de un componente (agua) y de dos sistemas eutécticos. Sistemas binarios con punto de fusión congruente e incongruente. Sistemas de tres componentes; diagramas triangulares. Eutéctico ternario, mínimos térmicos y líneas cotécticas. Sistemas de cuatro componentes; su representación. Ejemplos de interés geológico: diagramas de cristalización de silicatos componentes de magmas.

9- GEOQUÍMICA DE ROCAS ÍGNEAS (III). Distribución de elementos mayoritarios y minoritarios. Diagramas de variación. Sistema petrogénico residual. Origen de rocas granitoides y basálticas, diagrama de Kushiro. Estadios finales de cristalización magmática: teoría de formación de aplitas, pegmatitas y depósitos hidrotermales.

10- GEOQUÍMICA DE ROCAS SEDIMENTARIAS (I). Definiciones. Diagrama del ciclo menor. Clasificación geoquímica de sedimentos. Composición química y mineralógica de rocas sedimentarias. Secuencia de alteración: Serie de estabilidad de Goldich. Factores que afectan la estabilidad de los minerales.

11- GEOQUÍMICA DE ROCAS SEDIMENTARIAS (II). Factores fisicoquímicos del proceso sedimentario. Función del pH y aplicación del concepto de potencial iónico. Electroquímica:

concepto de oxidación y reducción. Electroodos. Potenciales normales y serie electroquímica de los elementos. Convención de signos. Energía libre y potencial de electrodo. Ecuación de Nernst. Diagramas de Eh-pH. Ejemplos de interés geológico.

12- GEOQUÍMICA DE ROCAS SEDIMENTARIAS (III). Factores fisicoquímicos del proceso sedimentario. Estado coloidal: definiciones y clasificación. Propiedades. Factores de estabilidad. Fenómenos de adsorción. Coagulación y peptización. Intercambio iónico. Procesos de meteorización química: solubilización, hidratación, ataque por ácidos, oxidación e hidrólisis. Meteorización de rocas: ejemplos. Formación de arcillas y suelos lateríticos.

13- GEOQUÍMICA DE ROCAS METAMÓRFICAS. Definición. Causas del proceso y tipos de metamorfismo. Composición química y mineralógica de las rocas metamórficas. Diagramas ACF: aplicaciones. Fundamentos fisicoquímicos del metamorfismo: factores termodinámicos y equilibrio de fases. Reacciones acopladas y nociones del principio de las facies. Ejemplos de transformaciones metamórficas.

14- HIDRÓSFERA Y ATMÓSFERA. Composición del agua de mar y de las aguas terrestres. Balance geoquímico de las sustancias disueltas. Génesis y evolución de los océanos. Ejemplos de evaporitas: evaporación del agua de mar. Reglas de cristalización de mezclas de sales. Diagrama de Janecke. Composición química de la atmósfera: componentes constantes y variables. Tropósfera, Estratósfera e Ionósfera. Génesis y evolución de la Atmósfera: atmósfera primordial y adiciones y pérdidas atmosféricas.

15- BIÓSFERA. Definición y composición química. Depósitos biogénicos: caustobiolitos y acaustobiolitos. Origen de la hulla y del petróleo. Composición química. Contenido de elementos minoritarios en depósitos biogénicos. Ciclo geoquímico del carbono.

16- PROSPECCIÓN GEOQUÍMICA. Definiciones. Principios básicos; el medio geoquímico; movilidad iónica en diferentes medios. Asociaciones de elementos y dispersiones. Modelos de distribución geoquímica: concepto de umbral y anomalía geoquímica. Dispersión primaria y secundaria. Selección de métodos de prospección: litogeoquímicos, hidroggeoquímicos, biogeoquímicos, y atmoggeoquímicos. Estudios preliminares. Principios generales de la etapa de exploración de reconocimiento y de prospección de detalle.

## SEMESTRE II

17- GEOQUÍMICA ANALÍTICA (I). Objeto de la geoquímica analítica. Clasificación. Vías del análisis químico. Toma y preparación de la muestra: trituración, pulverización, cuarteo, etc. Ensayos preliminares. Solubilización de sustancias: disolución y disgregación. Tipos de disgregantes y aplicaciones geoquímicas más importantes. Seguridad e Higiene en el laboratorio.

18- GEOQUÍMICA ANALÍTICA (II). Análisis químico cualitativo. Esquema general de análisis. Marcha sistemática. Identificación de los cationes del primero, segundo y tercer grupo: plata, plomo, mercurio (I), hierro, cobalto, níquel, cobre, manganeso, mercurio (II), aluminio, estaño, zinc y molibdeno. Reacciones generales.

19- GEOQUÍMICA ANALÍTICA (III). Análisis químico cualitativo. Marcha sistemática. Identificación de los cationes del cuarto y quinto grupo: calcio, estroncio, bario, magnesio, sodio, potasio y amonio. Reacciones generales.

20- GEOQUÍMICA ANALÍTICA (IV). Análisis químico cualitativo. Identificación de los aniones. Reacciones para la detección de los principales aniones de interés geológico: carbonatos, sulfuros, cloruros, sulfatos, nitratos, fosfatos, silicatos, fluoruros y boratos.

## FUNDAMENTACIÓN

Los programas de los cursos teóricos y prácticos de una materia, esto es, los contenidos de la asignatura, surgen a los efectos de dar cumplimiento con los objetivos específicos.

De este modo en función de las características explicitadas en el apartado anterior se estima que un programa de la asignatura Geoquímica debe considerar los siguientes aspectos fundamentales:

1- Descripción de las diferentes esferas geoquímicas de la Tierra con especial contenido químico y fisicoquímico dentro de un marco de características geológicas: estructura interna de la Tierra; composición química y mineralógica del manto superior y corteza. Diferenciación geoquímica primaria. Clasificación geoquímica de los elementos y sus configuraciones electrónicas. Nociones fundamentales de la teoría de la tectónica global. Hidrósfera, Atmósfera y Biósfera.

Considero importante incluir en este estudio nociones de Cosmoquímica y de origen de los elementos para complementar aquellos temas y darles unidad pedagógica.

2- Geología isotópica. Mecanismos de decaimiento. Principios de la datación radiométrica. Métodos: Rb-Sr, K-Ar, Sm-Nd y radio-Carbono. Isocronas. Isótopos estables: Oxígeno, Azufre y Carbono. Fraccionamiento isotópico. Paleotemperaturas. Aplicaciones.

3- Desarrollo con orientación y ejemplos geológicos y geoquímicos de los principios fisicoquímicos que se aplican a los efectos de fundamentar el comportamiento de los elementos en sus medios naturales. Ellos son:

3.1- Leyes del equilibrio químico en sistemas homogéneos; Ley de acción de masas; principio de Le Chatelier; constante de equilibrio en reacciones reversibles; disociación del agua y de ácidos y bases fuertes y débiles; concepto de hidrólisis congruente e incongruente y de soluciones reguladoras.

3.2- Leyes del equilibrio químico en sistemas heterogéneos:

3.2.1- sistemas conformados por un sólido poco soluble en equilibrio con una solución saturada de sus iones: concepto de solubilidad y producto de solubilidad. Ejemplos de formación de precipitados y de evaporitas.

3.2.2- Sistemas conformados por un sólido en equilibrio con una masa fundida: regla de las fases y diagramas de equilibrio de uno, dos, tres y cuatro componentes con ejemplos típicos extraídos del proceso de cristalización magmática.

3.3- Termodinámica: primer, segundo y tercer principio y sus aplicaciones con ejemplos de interés geológico y geoquímico. Cálculos de parámetros termodinámicos (H, F y S) para definir el sentido de una reacción química o de una transformación mineralógica. Campos de estabilidad de minerales y reacciones acopladas en procesos metamórficos.

3.4- Electroquímica: Conceptos fundamentales y sus aplicaciones geoquímicas: potencial redox ( $E_H$ ). Valores de pH y  $E_H$  naturales y campos de estabilidad de especies químicas (Fe, Mn, S) y sus reacciones de equilibrio.

3.5- Cristalografía. Especial referencia a tipos de unión química de compuestos cristalinos; regla de la relación de radios y concepto de energía de retículo cristalino. Elementos normales y de transición. Potencial iónico y de ionización. Electronegatividad. Isomorfismo y polimorfismo. Formación de soluciones sólidas y concepto de sustitución diadámica. Clasificación estructural de silicatos y fórmulas químicas de minerales.

3.6- Estado coloidal. Clasificación y propiedades de las dispersiones coloidales. Fenómenos de adsorción y mecanismos de estabilidad de los sistemas coloidales.

Es oportuno aclarar que muchos de estos conceptos de fisicoquímica se desarrollan de un modo general en la asignatura "Química General" que se dicta en el primer año de las carreras de esta Facultad, pero sin otorgarles una aplicación geológica y geoquímica específica.

4- Geoquímica de Rocas Ígneas: Clasificación. Composición química y mineralógica. Origen y evolución magmática. Aplicación de los principios fisicoquímicos: equilibrio y regla de las fases; conceptos cristalográficos y termodinámicos. Leyes de distribución de elementos mayoritarios y vestigio. Origen de rocas granitoides y de rocas filonianas.

5- Geoquímica de Rocas Sedimentarias. Clasificación. Composición química y mineralógica. Factores que afectan la estabilidad de los minerales. Factores fisicoquímicos del proceso sedimentario. Reacciones químicas de meteorización. Formación de arcillas y de suelos lateríticos.

6- Geoquímica de Rocas Metamórficas. Clasificación y composición química y mineralógica. Factores fisicoquímicos. Facies metamórficas.

7- Fundamentos de Geoquímica Analítica. Con contenidos específicos de la Química Analítica Cualitativa. En este aspecto la intención es desarrollar nociones elementales para la identificación de cationes y aniones de interés geológico recurriendo a reacciones simples y directas con procedimientos que muestran simplificaciones importantes respecto de las clásicas marchas analíticas.

Necesario es destacar que la preocupación mayor al incorporar este tema al programa, es la de impartir al alumno conocimientos firmes respecto del comportamiento de los elementos químicos según las propiedades químicas y fisicoquímicas que caractericen al ambiente, de modo tal que en el contenido del programa analítico deben figurar las reacciones generales con reactivos típicos que definan condiciones variables de pH, potencial redox y presencia de componentes concomitantes. Este aspecto se considera de mucha mayor gravitación que el adquirir destreza en el análisis químico que, con toda seguridad, difícilmente pueda lograrse en un curso de la intensidad y extensión que en esta asignatura pueda impartirse.

8- Desarrollo de los principios básicos de prospección geoquímica. Este tema resulta el corolario natural de los aspectos anteriormente señalados. Si se quisiera impartir la enseñanza de prospección geoquímica al comienzo del curso de geoquímica, sin previamente haber desarrollado los contenidos globales de esta asignatura, difícilmente el alumno llegue a recibir un conocimiento ordenado y bien fundamentado de los principios generales en que se basa este tema de importancia primaria en el campo de las ciencias aplicadas.

**4.- Contenidos a desarrollar, según unidades temáticas, en teóricos, trabajos prácticos y otras modalidades llevadas a cabo por la cátedra: seminarios, salidas de campo, visitas, monografías, trabajos de investigación, etc.**

Los contenidos a desarrollar por la cátedra según unidades temáticas, están explícitamente incluidos en el apartado anterior en donde se ha presentado el programa analítico de la materia Geoquímica. A este programa teórico es necesario agregarle el contenido de los trabajos prácticos, que se presenta seguidamente:

## TRABAJOS PRACTICOS

### SEMESTRE I

#### PROBLEMAS

1- Equilibrio químico en sistemas homogéneos (I). Resolución de problemas numéricos sobre pH, disociación de ácidos y bases débiles y grado de disociación. Cálculo de la constante de equilibrio. Aplicaciones de interés geológico.

2- Equilibrio químico en sistemas homogéneos (II). Resolución de problemas referentes a soluciones reguladoras y efecto de ión común. Hidrólisis. Aplicaciones de interés geológico.

3- Equilibrio químico en sistemas heterogéneos. Resolución de problemas de solubilidad y producto de solubilidad. Orden de precipitación. Solubilidad en función de factores fundamentales del medio geológico: pH, temperatura, efecto de ión común y efecto salino.

4- Estequiometría y factor gravimétrico. Ejercicios relativos a la determinación de las relaciones estequiométricas. Uso del concepto de factor gravimétrico. Su aplicación a la expresión de resultados.

5- Termodinámica (I). Resolución de problemas numéricos y discusión de temas teóricos fundamentales referentes a la primera ley de la Termodinámica. Entalpía. Calor de reacción y de formación. Cálculos.

6- Termodinámica (II). Problemas referentes a temas de la segunda ley de la Termodinámica. Entropía y energía libre. Relación de la constante de equilibrio con la energía libre. Entropía de formación y de reacción.

7- Geología isotópica. Ejemplos de transmutaciones nucleares. Construcción de isocronas. Cálculos de edades. Determinación de relaciones isotópicas.

8- Fórmulas químicas minerales. Significado cuantitativo de las fórmulas químicas de los minerales y rocas. Expresión porcentual en elementos y óxidos.

9- Interpretación de análisis (I). Procedimiento de cálculo de transformación de la composición química elemental o en óxidos a la fórmula de un mineral.

10- Interpretación de análisis (II). Procedimiento de cálculo para la conversión de la composición porcentual de una roca en su composición mineralógica: desarrollo de normas de rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas.

11- Diagramas de variación. Construcción de diferentes diagramas de variación. Manejo de variables: composición química porcentual y composición mineral normativa. Análisis de distintos modelos de variación con tendencias evolutivas.

12- Equilibrio de fases (I). Aplicaciones de la regla de las fases a sistemas de uno y dos componentes, con ejemplos extraídos fundamentalmente de los procesos de cristalización magmática. Construcción de diagramas de equilibrio. Mezclas eutécticas y soluciones sólidas.

13- Equilibrio de fases (II). Aplicación de la regla de las fases a sistemas de tres componentes, con ejemplos. Diagramas de equilibrio. Cálculo del grado de libertad y del número de fases.

14- Electroquímica. Ejercicios referentes al desarrollo de ecuaciones de óxido-reducción. Cálculos de potenciales normales de electrodos y pilas. Problemas referentes al cálculo de las constantes de equilibrio en función de los potenciales normales. Determinación de relaciones de especies oxidadas a reducidas según condiciones del medio geológico.

## SEMESTRE II

### LABORATORIO

1- Primer grupo de cationes. Seguridad e Higiene en el laboratorio. Separación e identificación de los cationes plata, plomo y mercurio (I). Comportamiento frente a reactivos generales.

2- Segundo grupo de cationes. Principales reacciones de separación e identificación de los cationes hierro, cobalto, níquel, cobre, manganeso y mercurio (II).

3- Tercer grupo de cationes. Reacciones generales y de identificación de los cationes aluminio, cinc, estaño y molibdeno. Separaciones.

4- Cuarto y quinto grupo de cationes. Separación e identificación de los cationes calcio, estroncio, bario, magnesio, sodio, potasio y amonio. Comportamiento frente a reactivos generales.

5- Identificación de aniones. Caracterización de los principales aniones de interés geológico: carbonatos, sulfuros, cloruros, sulfatos, nitratos, fosfatos, silicatos, fluoruros y boratos.

6- Análisis químico cualitativo de muestra sólida. Identificación de los componentes catiónicos y aniónicos de una roca. Aplicaciones de reacciones específicas. Ataque de la muestra.

### **5.- Metodología a utilizar en las diferentes actividades de la materia y su fundamentación.**

Respondiendo a una línea realista, la metodología aquí propuesta se ajusta a la capacidad real de que dispone la Cátedra para brindar atención al estudiantado. En este sentido el curso se basa en el dictado de clases teóricas convencionales y las correspondientes clases prácticas.

A los fines de lograr la máxima eficiencia didáctica, el dictado de tales clases teóricas (lunes y miércoles de 14h a 15:30 h) se desarrolla con técnica expositiva abierta, donde se induce la participación del alumnado, pudiendo surgir la discusión y la contestación acerca de los temas expuestos. Además, a los efectos de lograr agilización y mejor organización, a partir de 1989, se ha considerado apropiado entregar previamente a los alumnos, copia de los dibujos, esquemas, gráficos, etc., relacionados con el tema a desarrollar, de modo de evitar su presentación en el pizarrón o con medios audiovisuales, pues en general esto genera discontinuidad y pérdida de tiempo, a la vez que quita eficiencia a la clase.

En promedio el desarrollo total del programa analítico de la materia demanda unas 75 horas de clases teóricas, incluyendo los dos semestres.

El programa de trabajos prácticos comprende clases de problemas (Semestre I) y prácticas de laboratorio (Semestre II). En la primera parte resulta indispensable la participación directa y permanente del alumno, ejercitándose en la resolución de problemas numéricos para afianzar y autoevaluar los conocimientos adquiridos, juntamente con la respuesta a cuestionarios orientados a la aplicación de principios fundamentales a situaciones o casos problemáticos que reflejan una realidad concreta. Para ello el curso de aproximadamente 100 alumnos en promedio, es dividido en dos comisiones de modo tal que cada grupo así conformado pueda ser asistido con la mayor eficiencia posible, lo que facilita la participación activa de todo el alumnado. En tales sesiones el empleo de la dinámica de grupos, permite el interrogatorio individual en cada clase de problemas, el cual se efectúa en forma oral en el pizarrón.

En clases de trabajos prácticos de laboratorio se brindan al alumno todos los recursos disponibles para que adquiera habilidades experimentales en el empleo de materiales específicos y puedan cumplirse con los objetivos establecidos. A los efectos de una mejor organización y eficiencia en el desarrollo de los mismos se hace entrega al alumnado, al comienzo del curso, de un cajón conteniendo todo el material que necesita para llevar a cabo su trabajo práctico.

Importante es destacar que todos los temas comprendidos en el programa de trabajos prácticos son desarrollados previamente en las clases teóricas, de modo tal que el estudiante cuente para preparar los mismos con material didáctico suficiente, conformado también por una guía de trabajos prácticos conteniendo las bases esenciales de los temas que se desarrollan en las clases de problemas y de laboratorio, así como una bibliografía específica y una exposición previa resumida del personal docente auxiliar.

### **6.- Formas y tipos de evaluación.**

A través de la evaluación se trata de definir los niveles del alumnado en aspectos tales como: participación en clase, juicio crítico demostrado en el análisis de situaciones y grado de alcance de los objetivos propuestos.

Para cumplimentar todo aquello se lleva a cabo en el desarrollo del curso regular de la materia una evaluación sumativa a través de:

Semestre I: Dos exámenes parciales, uno al promediar y otro al finalizar la serie de catorce trabajos prácticos correspondientes a las clases de problemas, con posibilidad de ser recuperado en dos oportunidades cada uno (en total tres fechas cada uno).

Semestre II: Evaluación diaria del tipo de interrogatorio escrito durante las clases en que se desarrollan los trabajos prácticos de laboratorio.

### 7.- Bibliografía a utilizar.

El alumno cuenta con una guía de Trabajos Prácticos que incluye información teórica y práctica, suficiente para la realización de los trabajos prácticos, además de un conjunto de dibujos, esquemas, gráficos, etc. que está estrechamente ligado a las clases teóricas. A este material se le agrega la siguiente bibliografía general:

- 1- Bard, A.J. (1970). "Equilibrio Químico"- Harper y Row Publishers Inc. New York.
- 2- Barrow, G.M. (1968). "Química Física"- Ed. Reverté. S.A. Barcelona.
- 3- Burriel, F.; Lucena, F. y Arribas, S. (1963). "Química Analítica Cualitativa". Paraninfo, Bs. As.
- 4- Charlot, G.; Bezier, D. y Gaugin, R. (1954). "Rapid detection of cation" - Chemical Publishing Comp. Inc. New York.
- 5- Degens, E.T. (1965). "Geochemistry of Sediments: a brief survey" - D. Van Nosstrand Comp. Inc. New York.
- 6- Ehlers, E.G. (1972). "The interpretation of geological phase diagrams" - Freeman.
- 7- Faure, G. (1977). "Principles of Isotope Geology" - John Wiley and Sons.
- 8- Garrels, M.R.(1965). "Minerals, Solutions and Equilibria" - Harper and Row, Publishing Inc. N.Y.
- 9- Gilreath, E. (1960). "Análisis cualitativo" - Ed. Del Atlántico S.A. Bs. As.
- 10- Glasstone, S. (1950). "Elementos de Físico-Química" - Ed. Médico-Quirúrgica, Bs. As.
- 11- Goldschmidt, V. M. (1954). "Geochemistry" - Claredos Press. Oxford.
- 12- Hawkes, H.E. y Webb, J.S. (1962). "Chemistry in Mineral Exploration" - Harper and Row, Publishers, New York.
- 13- King, E. (1959). "Qualitative Analysis and Electrolitic Solutions" - Harcourt Brace and World, Inc. New York.
- 14- Krauskopf, K. (1967). "Introduction to Geochemistry" - Mc-Graw Hill Co. New York.
- 15- Mason, B. (1960). "Principios de Geoquímica" - Ed. Omega, Barcelona.
- 16- Brownlow, A.H. (1979). "Geochemistry" - Prentice-Hall, Inc. New York.
- 17- O'Nions, R.K. (1979). "Geochemical and Cosmochemical Applications of Nd- Isotope Analysis" An. Rev. Earth Planet. Sc., 7, 11-38.
- 18- Rankama, K. y Sahama, G. (1962). "Geoquímica" - Aguilar, Madrid.
- 19- Ringwood, A.E. (1979). "Origin of the Earth and Moon" – Springer -Verlag.
- 20- Wood, B.J. y Fraser, D.G. (1978). "Elementary Thermodynamic for Geologist" - Oxford Univ. Press.

**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 el régimen de  cursada anual, dividida en dos semestres. En el primer semestre se dictan los temas correspondientes a los principios generales de la Geoquímica, y en el segundo semestre, los de Geoquímica Analítica, con inclusión de los temas esenciales de la Química Analítica Cualitativa orientados a los materiales geológicos.

El horario de la cátedra es el siguiente:

**Clases teóricas:**

Lunes y miércoles de 14:00 a 15:30 horas.

**Clases de trabajos prácticos:**

Lunes y miércoles de 15:40 a 18:00 horas.

El responsable de la materia es el Dr. Julio César Merodio, Profesor Titular, Consulto de la misma, con dedicación exclusiva. Los trabajos prácticos están a cargo de la Lic. Claudia E. Cavarozzi, Profesora Adjunta de la cátedra con dedicación simple. Colabora en el dictado de la asignatura el Dr. Carlos W. Rapela con el tema "Geología Isotópica" de tres clases (4,5 horas) de duración.

**9.- Equipo docente de la cátedra: nombre, apellido y cargo.**

Profesor Titular: Dr. Julio C. Merodio.

Profesor Adjunto: Lic. Claudia E. Cavarozzi

Jefe de Trabajos Prácticos: Lic. Claudia V. Di Lello

Ayudante Diplomado: MSc. Mario Speziale.

Ayudante Alumna: S<sup>ta</sup> Johanna Kaufman

La Plata, 30 de Marzo de 2010.

Dr. Julio C. Merodio  
Profesor

# GEOQUÍMICA

## DISEÑO COMPENDIADO

### 1.- Síntesis de metas y objetivos de la materia.

La Geoquímica es una disciplina científica perteneciente al grupo que conforman las ciencias de la Tierra, destinada a establecer, desarrollar y aplicar los principios fisicoquímicos que permitan explicar de un modo general el comportamiento de los componentes químicos en los medios naturales. Es intención principal de la cátedra, en este aspecto, desarrollar los objetivos primarios de la geoquímica sobre la base de una estructura edificada con el apoyo permanente de las leyes fundamentales de la Física, la Química y la Matemática, junto con el conocimiento básico de los temas esenciales de la Geología y la Mineralogía, tal cual se presentan en asignaturas como Fundamento de Geología y Mineralogía. En este contexto la cátedra imprime al curso un carácter fundamentalmente formativo.

Los objetivos generales y específicos de esta asignatura se refieren al tratamiento de las etapas que componen el ciclo geoquímico de los elementos con el desarrollo de sus diferentes modelos de distribución y características de migración a través y entre las distintas esferas geoquímicas componentes de la Tierra.

### 2.- Síntesis de los contenidos de la materia y de las unidades temáticas.

#### PROGRAMA ANALÍTICO

#### SEMESTRE I

1- INTRODUCCIÓN. Definición; objetivos. Disciplinas auxiliares. La Tierra y el sistema solar. Abundancia de los elementos en el Cosmos: ley de Goldschmidt y de Oddo-Harkins. Origen de los elementos. Estabilidad de los nuclidos. Estructura y composición geoquímica de la Tierra: corteza, manto y núcleo. Clasificación geoquímica de los elementos. Ciclo geoquímico.

2- CRISTALOQUÍMICA. Sólidos cristalinos. Tipos de unión: cristales iónicos y covalentes. Tamaño de los iones y número de coordinación. Regla de la relación de los radios. Fuerza de polarización. Energía de retículo cristalino. Potencial iónico. Electronegatividad. Unión metálica y de van der Waals. Isomorfismo; sustitución y polimorfismo. Estructura cristalina de silicatos.

3- EQUILIBRIO QUÍMICO EN SISTEMAS HOMOGÉNEOS. Ley de acción de masas. Velocidad de una reacción química y constante de equilibrio. Principio de Le Chatelier. Equilibrio químico en sistemas homogéneos: el agua; sus propiedades físicas y químicas; disociación. Concepto de pH. Ácidos y bases. Constante de disociación de ácidos y bases débiles. Hidrólisis. Sistemas reguladores. Efecto de ión común. Ejemplos de interés geológico: efecto regulador del agua de mar.

4- EQUILIBRIO QUÍMICO EN SISTEMAS HETEROGÉNEOS. Sustancias poco solubles. Solubilidad y producto de solubilidad. Soluciones saturadas. Factores que la modifican: temperatura, efecto de ión común, efecto salino, etc. Concepto de fugacidad y actividad. Fuerza iónica. Ejemplos de precipitados: solubilidad del carbonato de calcio en agua pura y de mar. Condiciones de precipitación de calizas. Formación de toscas.

5- TERMODINÁMICA. Principio de la conservación de la energía: primera ley de la Termodinámica; energía interna y trabajo máximo. Entalpía. Segunda ley de la Termodinámica: irreversibilidad de los procesos espontáneos. Entropía y energía libre. Potencial químico.

Condiciones de equilibrio y criterio de transformación espontánea. Relación entre la energía libre y la constante de equilibrio. Tercera ley de la Termodinámica. Ecuación de Clapeyron. Cambios de la constante de equilibrio con la temperatura: ecuación de Van't Hoff.

6- GEOLOGÍA ISOTÓPICA. Isótopos estables e inestables. Mecanismos de decaimiento. Principios de datación radimétrica. Métodos radimétricos: Rubidio-Estroncio; Potasio-Argón; Uranio-Plomo y Neodimio-Samario. Isocronas y errorcronas. Isótopos estables: Oxígeno, Azufre y Carbono. Fraccionamiento. Paleotermometría. Fraccionamiento biogénico. Aplicaciones.

7- GEOQUÍMICA DE ROCAS ÍGNEAS (I). Clasificación de rocas ígneas desde el punto de vista geoquímico. Composición química y mineralógica: minerales félsicos y máficos, esenciales, accesorios y secundarios. Cristalización de magmas: Principio de Reacción de Bowen; series de reacción continua y discontinua. Propiedades características. Casos particulares.

8- GEOQUÍMICA DE ROCAS ÍGNEAS (II). Equilibrio de fases. Regla de las fases: concepto de fase y número de componentes; grado de libertad. Regla mineralógica de las fases. Sistema de un componente (agua) y de dos sistemas eutécticos. Sistemas binarios con punto de fusión congruente e incongruente. Sistemas de tres componentes; diagramas triangulares. Eutéctico ternario, mínimos térmicos y líneas cotécticas. Sistemas de cuatro componentes; su representación. Ejemplos de interés geológico: diagramas de cristalización de silicatos componentes de magmas.

9- GEOQUÍMICA DE ROCAS ÍGNEAS (III). Distribución de elementos mayoritarios y minoritarios. Diagramas de variación. Sistema petrogénico residual. Origen de rocas granitoides y basálticas, diagrama de Kushiro. Estadios finales de cristalización magmática: teoría de formación de aplitas, pegmatitas y depósitos hidrotermales.

10- GEOQUÍMICA DE ROCAS SEDIMENTARIAS (I). Definiciones. Diagrama del ciclo menor. Clasificación geoquímica de sedimentos. Composición química y mineralógica de rocas sedimentarias. Secuencia de alteración: Serie de estabilidad de Goldich. Factores que afectan la estabilidad de los minerales.

11- GEOQUÍMICA DE ROCAS SEDIMENTARIAS (II). Factores fisicoquímicos del proceso sedimentario. Función del pH y aplicación del concepto de potencial iónico. Electroquímica: concepto de oxidación y reducción. Electroodos. Potenciales normales y serie electroquímica de los elementos. Convención de signos. Energía libre y potencial de electrodo. Ecuación de Nernst. Diagramas de Eh-pH. Ejemplos de interés geológico.

12- GEOQUÍMICA DE ROCAS SEDIMENTARIAS (III). Factores fisicoquímicos del proceso sedimentario. Estado coloidal: definiciones y clasificación. Propiedades. Factores de estabilidad. Fenómenos de adsorción. Coagulación y peptización. Intercambio iónico. Procesos de meteorización química: solubilización, hidratación, ataque por ácidos, oxidación e hidrólisis. Meteorización de rocas: ejemplos. Formación de arcillas y suelos lateríticos.

13- GEOQUÍMICA DE ROCAS METAMÓRFICAS. Definición. Causas del proceso y tipos de metamorfismo. Composición química y mineralógica de las rocas metamórficas. Diagramas ACF: aplicaciones. Fundamentos fisicoquímicos del metamorfismo: factores termodinámicos y equilibrio de fases. Reacciones acopladas y nociones del principio de las facies. Ejemplos de transformaciones metamórficas.

14- HIDRÓSFERA Y ATMÓSFERA. Composición del agua de mar y de las aguas terrestres. Balance geoquímico de las sustancias disueltas. Génesis y evolución de los océanos. Ejemplos de evaporitas: evaporación del agua de mar. Reglas de cristalización de mezclas de sales. Diagrama de Janecke. Composición química de la atmósfera: componentes constantes y

variables. Tropósfera, Estratósfera e Ionósfera. Génesis y evolución de la Atmósfera: atmósfera primordial y adiciones y pérdidas atmosféricas.

15- BIÓSFERA. Definición y composición química. Depósitos biogenéticos: caustobiolitos y acaustobiolitos. Origen de la hulla y del petróleo. Composición química. Contenido de elementos minoritarios en depósitos biogénicos. Ciclo geoquímico del carbono.

16- PROSPECCIÓN GEOQUÍMICA. Definiciones. Principios básicos; el medio geoquímico; movilidad iónica en diferentes medios. Asociaciones de elementos y dispersiones. Modelos de distribución geoquímica: concepto de umbral y anomalía geoquímica. Dispersión primaria y secundaria. Selección de métodos de prospección: litogeoquímicos, hidroggeoquímicos, biogeoquímicos, y atmoggeoquímicos. Estudios preliminares. Principios generales de la etapa de exploración de reconocimiento y de prospección de detalle.

## SEMESTRE II

17- GEOQUÍMICA ANALÍTICA (I). Objeto de la Geoquímica Analítica. Clasificación. Vías del análisis químico. Toma y preparación de la muestra: trituración, pulverización, cuarteo, etc. Ensayos preliminares. Solubilización de sustancias: disolución y disgregación. Tipos de disgregantes y aplicaciones geoquímicas más importantes. Seguridad e Higiene en el laboratorio.

18- GEOQUÍMICA ANALÍTICA (II). Análisis químico cualitativo. Esquema general de análisis. Marcha sistemática. Identificación de los cationes del primero, segundo y tercer grupo: plata, plomo, mercurio (I), hierro, cobalto, níquel, cobre, manganeso, mercurio (II), aluminio, estaño, zinc y molibdeno. Reacciones generales.

19- GEOQUÍMICA ANALÍTICA (III). Análisis químico cualitativo. Marcha sistemática. Identificación de los cationes del cuarto y quinto grupo: calcio, estroncio, bario, magnesio, sodio, potasio y amonio. Reacciones generales.

20- GEOQUÍMICA ANALÍTICA (IV). Análisis químico cualitativo. Identificación de los aniones. Reacciones para la detección de los principales aniones de interés geológico: carbonatos, sulfuros, cloruros, sulfatos, nitratos, fosfatos, silicatos, fluoruros y boratos.

## **TRABAJOS PRÁCTICOS**

### SEMESTRE I

#### **PROBLEMAS**

1- Equilibrio químico en sistemas homogéneos (I). Resolución de problemas numéricos sobre pH, disociación de ácidos y bases débiles y grado de disociación. Cálculo de la constante de equilibrio. Aplicaciones de interés geológico.

2- Equilibrio químico en sistemas homogéneos (II). Resolución de problemas referentes a soluciones reguladoras y efecto de ión común. Hidrólisis. Aplicaciones de interés geológico.

3- Equilibrio químico en sistemas heterogéneos. Resolución de problemas de solubilidad y producto de solubilidad. Orden de precipitación. Solubilidad en función de factores fundamentales del medio geológico: pH, temperatura, efecto de ión común y efecto salino.

4- Estequiometría y factor gravimétrico. Ejercicios relativos a la determinación de las relaciones estequiométricas. Uso del concepto de factor gravimétrico. Su aplicación a la expresión de resultados.

5- Termodinámica (I). Resolución de problemas numéricos y discusión de temas teóricos fundamentales referentes a la primera ley de la Termodinámica. Entalpía. Calor de reacción y de formación. Cálculos.

6- Termodinámica (II). Problemas referentes a temas de la segunda ley de la Termodinámica. Entropía y energía libre. Relación de la constante de equilibrio con la energía libre. Entropía de formación y de reacción.

7- Geología isotópica. Ejemplos de transmutaciones nucleares. Construcción de isocronas. Cálculos de edades. Determinación de relaciones isotópicas.

8- Fórmulas químicas minerales. Significado cuantitativo de las fórmulas químicas de los minerales y rocas. Expresión porcentual en elementos y óxidos.

9- Interpretación de análisis (I). Procedimiento de cálculo de transformación de la composición química elemental o en óxidos a la fórmula de un mineral.

10- Interpretación de análisis (II). Procedimiento de cálculo para la conversión de la composición porcentual de una roca en su composición mineralógica: desarrollo de normas de rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas.

11- Diagramas de variación. Construcción de diferentes diagramas de variación. Manejo de variables: composición química porcentual y composición mineral normativa. Análisis de distintos modelos de variación con tendencias evolutivas.

12- Equilibrio de fases (I). Aplicaciones de la regla de las fases a sistemas de uno y dos componentes, con ejemplos extraídos fundamentalmente de los procesos de cristalización magmática. Construcción de diagramas de equilibrio. Mezclas eutécticas y soluciones sólidas.

13- Equilibrio de fases (II). Aplicación de la regla de las fases a sistemas de tres componentes, con ejemplos. Diagramas de equilibrio. Cálculo del grado de libertad y del número de fases.

14- Electroquímica. Ejercicios referentes al desarrollo de ecuaciones de óxido-reducción. Cálculos de potenciales normales de electrodos y pilas. Problemas referentes al cálculo de las constantes de equilibrio en función de los potenciales normales. Determinación de relaciones de especies oxidadas a reducidas según condiciones del medio geológico.

## SEMESTRE II

### **LABORATORIO**

1- Primer grupo de cationes. Seguridad e Higiene en el laboratorio. Separación e identificación de los cationes plata, plomo y mercurio (I). Comportamiento frente a reactivos generales.

2- Segundo grupo de cationes. Principales reacciones de separación e identificación de los cationes hierro, cobalto, níquel, cobre, manganeso y mercurio (II).

3- Tercer grupo de cationes. Reacciones generales y de identificación de los cationes aluminio, cinc, estaño y molibdeno. Separaciones.

4- Cuarto y quinto grupo de cationes. Separación e identificación de los cationes calcio, estroncio, bario, magnesio, sodio, potasio y amonio. Comportamiento frente a reactivos generales.

5- Identificación de aniones. Caracterización de los principales aniones de interés geológico: carbonatos, sulfuros, cloruros, sulfatos, nitratos, fosfatos, silicatos, fluoruros y boratos.

6- Análisis químico cualitativo de muestra sólida. Identificación de los componentes catiónicos y aniónicos de una roca. Aplicaciones de reacciones específicas. Ataque de la muestra.

### 3.- Requerimientos para aprobar la materia.

Para aprobar la materia se requiere cumplir con los siguientes requisitos:

- Cumplir con la asistencia al 80 % de los trabajos prácticos.
- Cumplir con el 100 % de las clases de trabajos prácticos de problemas (Semestre I).
- Cumplir con el 100 % de las clases de trabajos prácticos de laboratorio (Semestre II).
- Aprobar dos exámenes parciales, uno al promediar y otro al finalizar los trabajos prácticos del Semestre I.
- Aprobar una evaluación diaria del tipo de interrogatorio escrito durante el desarrollo de las prácticas del Semestre II.
- Devolver a la cátedra el material de laboratorio que le fuera entregado con cargo al inicio del Semestre II.
- Aprobar el examen final.

Cabe aclarar que los exámenes parciales del Semestre I pueden ser recuperados en dos oportunidades cada uno, existiendo en total tres fechas para la aprobación de cada uno de ellos.

Asimismo la cátedra organiza adecuadamente las clases de recuperación de los trabajos prácticos de ambos semestres.

### 4.- Metodología de la enseñanza y evaluación.

Respondiendo a una línea realista, la metodología aquí propuesta se ajusta a la capacidad real de que dispone la Cátedra para brindar atención al estudiantado. En este sentido el curso se basa en el dictado de clases teóricas convencionales y las correspondientes clases prácticas.

A los fines de lograr la máxima eficiencia didáctica, el dictado de tales clases teóricas (lunes y miércoles de 14h a 15:30 h) se desarrolla con técnica expositiva abierta, donde se induce la participación del alumnado, pudiendo surgir la discusión y la contestación acerca de los temas expuestos. Además, a los efectos de lograr agilización y mejor organización, a partir de 1989, se ha considerado apropiado entregar previamente a los alumnos, copia de los dibujos, esquemas, gráficos, etc., relacionados con el tema a desarrollar, de modo de evitar su presentación en el pizarrón o en diapositivas, pues en general esto genera discontinuidad y pérdida de tiempo, a la vez que quita eficiencia a la clase.

En promedio el desarrollo total del programa analítico de la materia demanda unas 75 horas de clases teóricas, incluyendo los dos semestres.

El programa de trabajos prácticos comprende clases de problemas (Semestre I) y prácticas de laboratorio (Semestre II). En la primera parte resulta indispensable la participación directa y permanente del alumno, ejercitándose en la resolución de problemas numéricos para afianzar y autoevaluar los conocimientos adquiridos, juntamente con la respuesta a cuestionarios orientados a la aplicación de principios fundamentales a situaciones o casos problemáticos que reflejan una realidad concreta. Para ello el curso de aproximadamente 100 alumnos en promedio, es dividido en dos comisiones de modo tal que cada grupo así conformado pueda ser asistido con la mayor eficiencia posible, lo que facilita la participación activa de todo el alumnado. En tales sesiones el empleo de la dinámica de grupos reducidos, permite el interrogatorio individual en cada clase de problemas, el cual se efectúa en forma oral en el pizarrón.

En clases de trabajos prácticos de laboratorio se brindan al alumno todos los recursos disponibles para que adquiera habilidades experimentales en el empleo de materiales específicos y puedan cumplirse con los objetivos establecidos. A los efectos de una mejor organización y eficiencia en el desarrollo de los mismos se hace entrega al alumnado, al comienzo del curso, de un cajón conteniendo todo el material que necesita para llevar a cabo su trabajo práctico.

Importante es destacar que todos los temas comprendidos en el programa de trabajos prácticos son desarrollados previamente en las clases teóricas, de modo tal que el estudiante cuente para preparar los mismos con material didáctico suficiente, conformado también por una

guía de trabajos prácticos conteniendo las bases esenciales de los temas que se desarrollan en las clases de problemas y de laboratorio, así como una bibliografía específica y una exposición previa resumida del personal docente auxiliar.

### **5.- Duración de la materia.**

La materia está incluida en el régimen de  cursada anual, dividida en dos semestres. En el primer semestre se dictan los temas correspondientes a los principios generales de la Geoquímica, y en el segundo semestre, los de Geoquímica analítica, con inclusión de los temas esenciales de la química analítica cualitativa orientados a los materiales geológicos.

El horario de la cátedra es el siguiente:

#### Clases teóricas:

Lunes y miércoles de 14,00 a 15,30 horas.

#### Clases de trabajos prácticos:

Lunes y miércoles de 15.40 a 18.00 horas.

El responsable de la materia es el Dr. Julio César Merodio, Profesor Titular, Consulto, con dedicación exclusiva. Los trabajos prácticos están a cargo de la Lic. Claudia Cavarozzi, Profesora Adjunta con dedicación simple.

### **6.- Porcentaje de tiempo distribuido en las distintas actividades de la materia en un cronograma que incluya el tipo de encuentros, fechas de evaluaciones y/o (en caso de contemplarse) presentación de trabajos.**

La realización de los trabajos prácticos insume por cada comisión, no menos de dos horas semanales. Los mismos se distribuyen en catorce clases de problemas (Semestre I), con un 70 % del total del curso práctico, y dos evaluaciones (exámenes parciales) al promediar y al finalizar el mismo. En el Semestre II se desarrollan cinco clases de trabajos prácticos de laboratorio, que comprenden el 30 % restante del curso total.

El primer examen parcial se efectúa en el mes de Junio y el segundo en el mes de Septiembre. Ambos tienen dos oportunidades de recuperación: a los quince y a los treinta días de la primera fecha.

### **7.- Bibliografía esencial y/o materiales para cursar la materia.**

El alumno cuenta con una Guía de Trabajos Prácticos que contiene la información teórica y práctica requerida para la realización de los trabajos prácticos.

Como complemento de las clases teóricas el alumno cuenta con un grupo de gráficos, figuras, tablas, etc. que le facilita enormemente el seguimiento de la exposición del profesor.

Para la realización de los trabajos prácticos de laboratorio la cátedra provee al alumno de todo el material necesario. Este material debe ser devuelto al finalizar el curso.

### **8.- Bibliografía opcional.**

- 1- Bard, A.J. (1970). "Equilibrio Químico". Harper y Row Publishers Inc. New York.
- 2- Barrow, G.M. (1968). "Química Física". Ed. Reverté. S.A. Barcelona.
- 3- Burriel, F.; Lucena, F. y Arribas, S. (1963). "Química Analítica Cualitativa". Paraninfo, Bs.As.
- 4- Charlot, G.; Bezier, D. y Gaugin, R. (1954). "Rapid detection of cation". Chemical Publishing Comp. Inc. New York.
- 5- Degens, E.T. (1965). "Geochemistry of Sediments: a brief survey". D. Van Nosstrand Comp. Inc. New York.
- 6- Ehlers, E.G. (1972). "The interpretation of geological phase diagrams". Freeman.
- 7- Faure, G. (1977). "Principles of Isotope Geology". John Wiley and Sons.

- 8- Garrels, M.R.(1965). "Minerals, Solutions and Equilibria". Harper and Row, Publishing Inc.N.Y
- 9- Gilreath, E. (1960). "Análisis cualitativo". Ed. Del atlántico S.A. Bs. As.
- 10- Glasstone, S. (1950). "Elementos de Físico-Química". Ed. Médico-Quirúrgica, Bs. As.
- 11- Goldschmidt, V. M. (1954). "Geochemistry". Claredos Press. Oxford.
- 12- Hawkes, H.E. y Webb, J.S. (1962). "Chemistry in Mineral Exploration". Harper and Row, Publishers, New York.
- 13- King, E. (1959). "Qualitative Analysis and Electrolytic Solutions". Harcourt Brace and World, Inc. New York.
- 14- Krauskopf, K. (1967). "Introduction to Geochemistry". Mc-Graw Hill Co. New York.
- 15- Mason, B. (1960). "Principios de Geoquímica". Ed. Omega, Barcelona.
- 16- Brownlow, A.H. (1979). "Geochemistry". Prentice-Hall, Inc. New York.
- 17- O'Nions, R.K. (1979). "Geochemical and Cosmochemical Applications of Nd- Isotope Analysis" An. Rev. Earth Planet. Sc., 7, 11-38.
- 18- Rankama, K. y Sahama, G. (1962). "Geoquímica". Aguilar, Madrid.
- 19- Ringwood, A.E. (1979). "Origen of the Earth and Moon". Springer-Verlag.
- 20- Wood, B.J. y Fraser, D.G.(1978). "Elementary Thermodynamic for Geologist". Oxford Univ. Press.

**9.- Equipo docente de la cátedra: nombre, apellido y cargo.**

Profesor Titular: Dr. Julio C. Merodio.

Profesor Adjunto: Lic. Claudia E. Cavarozzi.

Jefe de Trabajos Prácticos: Lic. Claudia Viviana Di Lello

Ayudante Diplomado: MSc. Mario Speziale.

Ayudante Alumna: S<sup>ta</sup> Johanna Kaufman

La Plata, 27 de diciembre de 2016.

Dr. Julio C. Merodio  
Profesor