



CATEDRA GEOLOGIA DE MINAS

FUNDAMENTOS Y PROGRAMA CURSO 1996

1. ASPECTOS GENERALES

El curso Geología de Minas, desarrolla temas inherentes a la actividad y funciones del geólogo en las tareas de Investigación Minera, principalmente aquellas ligadas a la exploración, desde sus etapas más tempranas que comprenden la selección de áreas y análisis de riesgo, a la evaluación de bloques o sectores minables, a través de la geoestadística.

La materia, tomada tanto por alumnos de grado como de post-grado que deciden orientarse a la geología minera, resulta un avance y complemento de los cursos básicos de Geología de Yacimientos y Geología Económica del programa actual de la Carrera de Geología de nuestra Facultad.

Dentro de los sistemas de cursadas vigentes en nuestra facultad, se propone un curso normal con aprobación de examen final de la totalidad de la materia y de dos evaluaciones parciales de los contenidos prácticos.

2. OBJETIVOS

Al finalizar la materia se pretende que los alumnos comprendan y puedan adaptarse rápidamente a la dinámica y exigencias de la actividad minera, ya sea desde los aspectos estrictamente técnicos hasta el contexto económico en que ella se desarrolla.

El objetivo fundamental que se desea alcanzar con el curso propuesto es que los estudiantes que opten por esta materia obtengan una serie de conocimientos que le permitan intervenir de manera eficaz en las tareas de exploración minera (excluidos los hidrocarburos). Esto implica la incorporación de mecanismos de interacción y tratamiento de datos provenientes de las ciencias geológicas, con la adecuación al medio económico en que se desenvuelve la tarea, y la orientación hacia un fin particular que es el descubrimiento de una concentración mineral rentable, o bien, detener las acciones ante resultados no satisfactorios.

Ese objetivo mayor, contando con la base de la formación geológica que ofrece nuestra facultad, se alcanza con una metodología de investigación que puede desglosarse -sólo a los fines de la mejor comprensión de la misma- en la capacitación para: clasificar y utilizar información para la toma de decisiones; elaborar nuevas metodologías para llegar a obtener la mejor información que permita esas decisiones y, el entrenamiento en las tareas profesionales que el geólogo debe desarrollar durante una exploración minera. Entonces se aborda el problema de búsqueda de soluciones a través de bases teóricas y



su práctica, y el problema de la actuación del futuro graduado en el medio laboral. Así, la temática teórica propuesta en el programa posibilita alcanzar un conocimiento en nuevas concepciones de la exploración minera, sobre la base de la experimentación y la crítica y, a su vez, el desarrollo teórico-práctico y las ejercitaciones planteadas permiten una mejor visualización de la teoría y comprender posibles planteos que el trabajo de exploración minera nos enfrenta.

A estos fines, la **Unidad de Temas Generales** (corresponde a los trabajos prácticos de las Clases 1 a 5) tiene por objetivo otorgar los fundamentos de la Investigación Minera y centra, además, la problemática que se desarrollará durante el curso. Asimismo expone los conceptos que rigen la selección de áreas extensas para emprendimientos mineros y las bases teóricas y prácticas para estimar los riesgos de esa actividad, teniendo en cuenta los tres parámetros principales: presencia, detección y economía de depósitos minerales. Posteriormente se plantean las tareas de planificación de la exploración minera de modo de minimizar los riesgos y las causas -como la variabilidad- que controlan, al menos parcialmente, dichos riesgos.

La **Unidad de Temas Técnicos** (corresponde a los trabajos prácticos de las clases 6 y 7), pretende que -aunque sea en forma teórica- los alumnos conozcan y tengan cierto grado de capacitación, para diseñar y evaluar perforaciones desde el punto de vista del uso de las herramientas y también de los trabajos vinculados a la explotación con explosivos, tanto en operaciones de canteras, a cielo abierto y subterráneas, los que son necesarios para la tarea profesional. Por otro lado la **Unidad de Temas de Control Geológico** (corresponde al trabajo práctico de la clase 8), propone diversas acciones en las que se verá inmerso el geólogo en distintas etapas de la actividad minera.

Por último la **Unidad de Temas de Evaluación de Yacimientos** (corresponde a los trabajos prácticos de las clases 9 a 13), que comprende cerca de un 30% de la carga horaria de la materia, da las herramientas básicas de la evaluación y análisis geoestadístico y posibilita el enlace de sus resultados con el riesgo de las operaciones; allí se sintetizan los aspectos geoestadísticos de la evaluación minera, enfocados desde un punto de vista más bien práctico. Esta temática en la actualidad es asiduamente utilizada en desarrollos mineros y su conocimiento puede ser importante para la inserción profesional de nuestros graduados. Dichas técnicas permiten el mejor análisis y estimación de leyes y reservas de mineral, y son aceptadas hoy día como las más aptas para reducir y/o prevenir los riesgos en las etapas previas a la toma de decisión de la explotación de un yacimiento. Además se desarrollan algunos aspectos que sugieren como programar esta última actividad. Se pretende que los alumnos conozcan estas técnicas y puedan, de esta forma, intervenir en la evaluación y planificación minera actuales.

3. PROGRAMA RESUMIDO (Temático)

UNIDAD TEMAS GENERALES

I- Esquema de una Investigación Minera. Bases y componentes del riesgo de la investigación minera. Planteos estratégicos.



II- Análisis del Riesgo en Investigación Minera. Presencia de depósitos minerales: modelos numéricos, geológicos y de depósitos. Detectabilidad. Economía.

III- Planificación de trabajos de exploración. Análisis técnico-económico de la exploración. Casos históricos.

IV- Variabilidad de depósitos minerales. Roles de la estadística y la geoestadística en la investigación minera. Estadística aplicada a yacimientos minerales.

UNIDAD TEMAS TECNICOS

V- Perforaciones en la exploración geológico-minera. Sistemas de perforación. Planificación de equipamiento. Rendimientos de perforaciones.

VI- Nociones generales sobre explosivos. Usos de explosivos en distintos tipos de trabajos mineros. Ley de armas y explosivos y normas de seguridad.

VII- Métodos de voladuras y cálculo de cargas. Disposición y cargado de barrenos. Elección del sistema de voladura y relación con el equipamiento minero.

UNIDAD TEMAS DE CONTROL GEOLOGICO

VIII- Control en la exploración por perforaciones: programación y control de operaciones; muestreos; síntesis de la información. Control en exploración por laboreos subterráneos; planimetría y mapeo; muestreo. Actividad en la producción minera.

UNIDAD TEMAS DE EVALUACION DE YACIMIENTOS

IX- Estimación de reservas: clásica, estadística y geoestadística. Estimación geoestadística y sus herramientas: variogramas. Análisis estructural mediante variogramas. Precisiones de la estimación: varianzas, estimadores (Matheron, Krigeado). Concepto de "Reservas in situ" y "Reservas recuperables".

X- Evaluación de proyectos mineros. Minería subterránea y "a cielo abierto". Criterios de proyecto en una explotación a cielo abierto.

Fundamentos de la selección de temas.

Los temas a desarrollar fueron seleccionados en base a experiencias propias de los docentes de la cátedra en la actividad minera, y a experiencias incorporadas a través del conocimiento de las metodologías de compañías mineras, instituciones y colegas dedicados a la minería y además, a libros de texto y trabajos publicados e inéditos sobre el tema. La combinación del análisis de riesgo, variabilidad, análisis de la variabilidad geológica y numérica a través de la geoestadística y la modelización de depósitos minerales -apoyados en las posibilidades técnicas y económicas- globalizan la idea de lo que comprende la investigación minera y su objetivo final: el hallazgo de un depósito de mena (económicamente aprovechable).

Se piensa que esta selección y ordenamiento da una buena formación para iniciarse como geólogo de minas o geólogo de exploración, tanto desde el punto de vista profesional o técnico, como porque puede permitir la confrontación de ideas y estrategias de exploración y de allí la elaboración y/o innovación de las mismas o la creación de otras con las que puedan obtenerse mejores resultados. La base para ello son los conocimientos de los procesos geológicos

formadores de menas, combinados con desarrollos de exploración.



4. PROGRAMA ANALITICO: TEORICO Y PRACTICO (con carga horaria)

CONTENIDO TEORICO

UNIDAD A: TEMAS GENERALES

Tema I: Esquema de una Investigación Minera (2,5 hs)

- Investigación Minera: definición, objetivos, componentes, interacción con la industria y economía.
- Amplitud del curso de Geología de Minas en relación a las etapas de la Investigación Minera. Funciones del geólogo de exploración.
- Distribución estadística de elementos y concentraciones minerales: el carácter anómalo de éstas.
- Bases y componentes del riesgo en la Investigación Minera. Análisis probabilístico general del riesgo; factores de presencia, detectabilidad y economicidad.
- Planteos estratégicos en la investigación minera: la estrategia numérica, la investigación científica, el planteo económico.

Tema II: Análisis de riesgo en investigación minera (6 hs)

- Presencia de depósitos minerales. Modelos probabilísticos de ocurrencia numérica. Análisis de regiones extensas. Distribuciones de densidad de yacimientos (binomial, Poisson, binomial negativa, lognormal).
- Modelos geológicos de ocurrencia geográfica (provincias metalogénicas y metalotectos). Generación de modelos de depósitos minerales. Modelos y subtipos: descriptivos, genéticos, de ley-tonelaje, etc. Información que brindan los modelos a la exploración. Introducción a los modelos cuantitativos.
- Detectabilidad de depósitos minerales. Probabilidad de detección. Densidad espacial de observaciones: puntuales y perfiles. Detección con perfiles. Modelos geométricos y aplicaciones.
- Economicidad de depósitos minerales. Factor de ganancia de la exploración. Método de Allais y modelos. Filtros económicos.

Tema III: Planificación de los trabajos de exploración (5 hs)

- Fases de la Investigación Minera. Definición de prospección y exploración. Las etapas de exploración: tiempos y costos. Exploración preliminar y detallada.
- Dinámica de la exploración en relación a los riesgos. Tiempos, inversiones e información.
- Definición de "sistemas de exploración". Revisión de los trabajos de exploración física: laboreos superficiales y subterráneos; perforaciones y trabajos mixtos.
- Factores que determinan la elección del "sistema de exploración" y su análisis técnico-económico. Posibilidades de aplicación de los "sistemas de exploración" a los distintos tipos de yacimientos; diagramación y diseño.

- Análisis de casos históricos de grandes descubrimientos.

Tema IV: Variabilidad de depósitos minerales (2,5 hs)

- Variabilidad de concentraciones minerales. Causas de la variabilidad. Caracteres morfológicos y genéticos de yacimientos y su variabilidad.
- Etapas de aplicación de técnicas estadísticas y geoestadísticas en el análisis de yacimientos.
- Descripción de parámetros estadísticos: estadística univariante, bi- y multivariante; límites de confianza; regiones de probabilidad. Su aplicación en la exploración minera.

UNIDAD B: TEMAS TECNICOS

Tema I: Perforaciones en la exploración geológico-minera (4 hs)

- Sistemas de perforación mas utilizados en minería. Sondeos y barrenos.
- Sistemas a rotación. Rotación pura. Rotación con corona de diamantes y tubo sacatestigos. Perforadoras, bombas, accesorios. Normas de fabricación.
- Sistemas a rotopercusión. Martillo de fondo (DTH). Martillo de cabeza. Sistemas de circulación reversa.
- Equipamiento y maquinaria. Wagon-drills, Jumbos.

Tema II: Nociones generales sobre explosivos (2,5 hs)

- Explosión y explosivos. Velocidad de reacción. Valor fuerza. Sensibilidad. Resistencia a la alteración. Clasificación y principales características de explosivos comercializables en el país.
- Detonadores: comunes y eléctricos; instantáneos y con retardo. Mechas: lentas y rápidas. Cordón detonante.
- Ley de armas y explosivos; normas de seguridad.

Tema III: Método de voladuras y cálculo de cargas (4 hs)

- Esquemas de disposición de barrenos para diferentes cortes en labores subterráneas y en voladura de bancos a cielo abierto. Concepto de "cara libre". Orden de encendido. Fórmulas para el diseño y cálculo de cargas.
- Problemas de voladuras de rocas de ornamentación. Explosivos y recuperación. Otros métodos.
- Cargado de barrenos: carga de fondo, de columna y cuello. Retacado.
- Elección del sistema de voladura en relación a los equipos de movimiento de rocas.

UNIDAD C: TEMAS DE CONTROL GEOLOGICO

Tema I: Control Geológico en exploración por perforaciones (2 hs)

- Diagramación de programas de perforación. Control de operaciones y confección de un programa ajustado de pozos. Control del desarrollo. Señalamiento y posicionamiento del equipo de sondeo; desde superficie y desde labores subterráneas.
- Obtención y recepción de muestras (testigos, cuttings, polvo).
- Descripción y síntesis de la información ("logging"). Interpretación, corrección y correlación de datos.

Tema II: Control Geológico en exploración por laboreos mineros (2 hs)
- Ejemplos en diferentes tipos de yacimientos. Planimetría y mapeo geológico. Representaciones gráficas.

- Muestreo; espaciamiento en relación al carácter de la mineralización; usos de las herramientas estadísticas y geoestadísticas en la densidad de muestreo.

Tema III: Control Geológico en la producción minera (1 h)

- Objetivos. Planimetría. Muestreos en producción.

- Relación con la ingeniería de minas. Ejemplos de organización en emprendimientos mineros.

UNIDAD D: TEMAS DE EVALUACION DE YACIMIENTOS

Tema I: Estimación de leyes y reservas (10 hs)

- Estimaciones Clásica (o geométrica), Estadística y Geoestadística.

- Métodos y análisis de la estimaciones. Modelos (determinístico y probabilístico). Estimación global y puntual. Análisis comparativo de los distintos métodos de estimación.

- Geoestadística y sus herramientas: introducción a las variables regionalizadas, efecto proporcional, continuidad espacial: Introducción a variogramas.

- El Variograma: definición, construcción, tipos y aplicaciones.

- Anisotropías y análisis estructural mediante variogramas.

- El variograma como modelo de la estimación.

- Precisiones de la estimación: cambio de soporte; varianza de extensión y de estimación y sus efectos en la evaluación de reservas; coeficiente de dispersión absoluto (α); varianza de dispersión.

- Estimadores óptimos: introducción a la técnica de Krigeado; corrector de Matheron. Análisis comparativo con otros métodos.

- Conceptos de "Reservas in situ" y "Reservas recuperables" .

Tema II: Proyectos mineros (5 hs)

- Elección entre minería a cielo abierto y subterránea.

- Criterios de proyecto en una explotación a cielo abierto. Relación Estéril/Mineral; relación Ley/Tonelaje; Ley de Corte (Cut-off); talud, altura de bancos, ancho de bermas, profundidad; manejo de "escombreras"; problemas ambientales. Diseño y evaluación de trabajos a cielo abierto. Canteras y Cortas.

TRABAJOS PRACTICOS

Clases 1 y 2: Detectabilidad de depósitos minerales: probabilidad de detección y densidad de observaciones; efecto de forma; factores de: economía de descubrimiento, de ganancia y de totalidad de búsqueda (Slichter). Ejercicios: probabilidad de descubrimiento con cambios de densidad de malla y de forma de depósitos.

Clase 3: Métodos de delimitación de yacimientos en las distintas etapas de exploración.

Clases 4 y 5: Determinación y usos de parámetros estadísticos en la exploración minera. Ejercicios: optimización de la malla de muestreo y análisis eco-



nómico; correlación; límites de confianza y regiones de probabilidad.

Clase 6: Criterios de planificación y selección de equipos. Rendimiento y costos en perforaciones. Ejercicios: Análisis de costos y rendimiento de perforaciones. Datos estructurales de testigos de perforación.

Clase 7: Costos y rendimientos de voladuras.

Clase 8: Ubicación de perforaciones de exploración. Simulación de descripción de testigos de perforación (logging).

Clases 9 y 10: Cálculo y construcción de Variogramas. Ejercicios: Análisis de Variogramas uni y multidireccionales.

Clase 11: Cálculo de las precisiones de la estimación.

Clases 12 y 13: Kriging. Trabajo con ábacos y eventualmente con computadoras. Carga horaria (máxima)/clase: 4 horas

En lo posible se tratará que los alumnos puedan realizar prácticas en alguna compañía o institución minera. El detalle del programa de otras salidas al campo, estará supeditado a posibilidades económicas, ambiente geológico y/o minero sobre el que se trabajará, tiempo, actividad propia del área a visitar, entre otras cosas que son indispensables conocer para este tipo de planificación.

5. METODOLOGIA

Se darán clases teóricas que incluirán algunos desarrollos teórico-prácticos para influir la mayor participación de los alumnos. Además se darán clases prácticas, basadas -previa explicación- en la resolución de ejercicios y/o problemas. En la medida de lo posible, se introducirán ejercicios a resolver con computadoras.

Se adopta la metodología de entrega de apuntes a los alumnos, a los efectos de su lectura crítica y discusión. Dichos apuntes son preparados por los docentes de la cátedra.

Se darán todas las clases de repaso que se necesiten a los fines de la mejor comprensión de las problemáticas planteadas.

6. EVALUACION

Se realizarán, al menos, 2 evaluaciones parciales durante el desarrollo del curso. Las mismas consistirán en la resolución de problemas que abarquen los tópicos ya ejercitados previamente; dichas evaluaciones no tendrán una fecha especial y se pretende que éstas, lo mismo que la resolución del problema, sean clases normales, tratando que los alumnos se encuentren con los problemas a resolver tal como ocurre en la realidad laboral.

Evaluación I: sobre los temas desarrollados en las clases prácticas 1 a 8.

Evaluación II: sobre los temas desarrollados en las clases prácticas 9 a 13.

Las evaluaciones se aprobarán con la nota mínima de 4 (cuatro), sobre un máximo de 10 (diez).

Para aprobar la materia será necesario rendir un examen final sobre



temas teóricos y prácticos, del tipo clásico.

7. BIBLIOGRAFIA

- ANNELS, A.E. (1991). Mineral deposit evaluation. A practical approach. Ed. Chapman & Hall, London.
- AZCARATE, J.E. (1982). Introducción a la Metodología de Investigación Minera. Ed. Inst. Geológico Minero de España, Madrid.
- COX, D.P. y SINGER, D.A., Editores (1986). Mineral Deposit Models. U.S. Geological Survey Bulletin 1693. USA.
- DAVID, M. (1977). Geostatistical ore reserve estimation. Ed. Elsevier, Amsterdam.
- DAVIS, J.C. (1973). Statistical and data analysis in geology. Ed. Wiley & Sons, N. York.
- DEUTSCH, C.V. y JOURNEL, A.G. (1992). GSLIB Geostatistical software library and user's guide. Oxford Univ. Press, New York. (Con programas para computadora)
- GOCHT, W.R.; ZANTOP, H. y EGGERT, R.G. (1988). International Mineral Economics. Ed. Springer Verlag, Heidelberg.
- HARRIS, D.P. (1990). Mineral Exploration Decisions. A Guide to Economic Analysis and Modeling. Ed. John Wiley & Sons, New York.
- JOURNEL, A.G. y HUIJTBREGTS, C.J. (1978). Mining geostatistics. Ed. Academic Press, London.
- ISAAKS, E.H. y SRIVASTAVA, R.M. (1989). An introduction to Applied Geostatistics. Ed. Oxford University Press, New York.
- KAZHDAN, A.B. (1982). Prospección de Yacimientos Minerales. Ed. MIR, Moscú.
- KOCH, G. (1992). Geological solving problems with 123. Pergamon Press plc. (Con programas para computadora).
- KOCH, G. y LINK, R. (1986). Statistical analysis of geological data. Ed. Wiley, N. York (2 ed.).
- KREITER, M. (1978). Investigación y Prospección Geológica. Ed. Paraninfo, Madrid.
- KUZVART, M. y BÖHMER, M. (1986). Prospecting and Exploration of Mineral Deposits. Developments in Economic Geology #21. Ed. Elsevier, Amsterdam.
- MC KINSTRY, H.E. (1961). Geología de Minas. Ed. Omega, Barcelona.
- MERODIO, J.C. (1985). Métodos Estadísticos en Geología. Asoc. Geol. Argentina; Serie B Didáctica y Complementaria #13. Buenos Aires.
- NOVITZKY, A. (1978). Prospección, Exploración y Evaluación. Ed. Banco. Nac. Desarrollo, pp. 734. Buenos Aires.
- PETERS, W.C. (1978). Exploration and Mining Geology. John Wiley & Sons, pp. 696. New York (Fue re-editado y ampliado en 1986).
- VARIOS AUTORES (1978 y 1979). Curso Latinoamericano de capacitación para la prospección y exploración de yacimientos uraníferos. CIEN-CNEA, Buenos Aires.
- TULCANAZA, E. (1992). Geoestadística y Exploración minera. Ed. E. Tulcanaza, Chile, pp. 220.

Revistas Periódicas

Chronique de la Recherche Minière; Economic Geology; Mineralium Deposita.



8. DURACION DE LA MATERIA

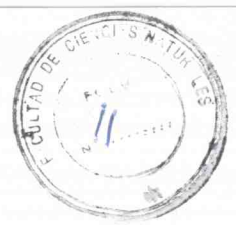
La materia es semestral (segundo semestre) y se estima el dictado de unas 46 horas de clases teóricas, ya que de acuerdo al interés de los alumnos en algunos temas, podrían profundizarse y llevar algunas horas más de clases, o algún seminario (aún no previsto). Las clases prácticas tendrán una duración máxima de 4 hs (los problemas pueden ser resueltos más rápidamente), totalizando 52 horas.

9. AUTOEVALUACION DEL CURSO

A mi juicio, la única autoevaluación significativa de los objetivos propuestos, podría consistir en un análisis de los puestos de trabajo conseguidos por los alumnos y el desempeño que hayan tenido. Por el momento y por las características de la actividad minera en nuestro país, este tipo de evaluación es impracticable y su planteo, prematuro.

Dr. RAUL R. FERNANDEZ
Profesor Geología de Minas
FCN y M - UNLP

CURSO GEOLOGIA DE MINAS
SINTESIS



El curso Geología de Minas, desarrolla temas inherentes a la actividad y funciones del geólogo en las áreas de Investigación Minera, principalmente aquellas ligadas a la exploración, desde sus etapas más tempranas que comprenden la selección de áreas y análisis de riesgo, a la evaluación de bloques o sectores minables, a través de la geoestadística.

El Curso es del tipo clásico, con 2 evaluaciones parciales y un examen final.

Al finalizar la materia se pretende que los alumnos comprendan y puedan adaptarse rápidamente a la dinámica y exigencias de la actividad minera, ya sea desde los aspectos estrictamente técnicos hasta el contexto económico en que ella se desarrolla.

PROGRAMA TEMATICO (resumido)

UNIDAD TEMAS GENERALES

- I- Esquema de una Investigación Minera. Bases y componentes del riesgo de la investigación minera. Planteos estratégicos.
- II- Análisis del Riesgo en Investigación Minera. Presencia de depósitos minerales: modelos numéricos, geológicos y de depósitos. Detectabilidad. Economicidad.
- III- Planificación de trabajos de exploración. Análisis técnico-económico de la exploración. Casos históricos.
- IV- Variabilidad de depósitos minerales. Roles de la estadística y la geo-estadística en la investigación minera. Estadística aplicada a yacimientos minerales.

UNIDAD TEMAS TECNICOS

- V- Perforaciones en la exploración geológico-minera. Sistemas de perforación. Planificación de equipamiento. Rendimientos de perforaciones.
- VI- Nociones generales sobre explosivos. Usos de explosivos en distintos tipos de trabajos mineros. Ley de armas y explosivos y normas de seguridad.
- VII- Métodos de voladuras y cálculo de cargas. Disposición y cargado de barrenos. Elección del sistema de voladura y relación con el equipamiento minero.

UNIDAD TEMAS DE CONTROL GEOLOGICO

- VIII- Control en la exploración por perforaciones: programación y control de operaciones; muestreos; síntesis de la información. Control en exploración por laboreos subterráneos; planimetría y mapeo; muestreo. Actividad en la producción minera.

UNIDAD TEMAS DE EVALUACION DE YACIMIENTOS

- IX- Estimación de reservas: clásica, estadística y geoestadística. Estimación geoestadística y sus herramientas: variogramas. Análisis estructural mediante variogramas. Precisiones de la estimación: varianzas, estimadores (Matheron, Krigeado). Concepto de "Reservas in situ" y "Reservas recuperables".
- X- Evaluación de proyectos mineros. Minería subterránea y "a cielo abierto". Criterios de proyecto en una explotación a cielo abierto.

La materia se dicta en el segundo semestre de cada año y se estima una duración del orden de las 46 horas de clases teóricas (con desarrollos teórico-prácticos) y 13 clases prácticas de un máximo de 4 horas cada una.

Se recomienda tener cursada la materia Geología de Yacimientos y resultará más beneficioso para los alumnos, si han comenzado el curso de Geología Económica.

Dr. RAUL R. FERNANDEZ
Profesor Geología de Minas
FCN y M - UNLP