

31

1000-39638/2000

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA
**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES
Y MUSEO**

PROGRAMAS

AÑO 2000

Cátedra de Geología de Minas

Profesor FERNANDEZ, Raúl



DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DE LA MATERIA GEOLOGIA DE MINAS

Año 2000

1. CONTENIDOS Y FUNDAMENTOS

La materia desarrolla la problemática de la exploración minera desde la búsqueda hasta la catalogación de reservas utilizando primordialmente los criterios geológicos apoyados en una metodología y estrategia adecuada.

La actividad y funciones del geólogo en las tareas de Investigación Minera, principalmente aquellas ligadas a la exploración, sufre continuos cambios y adaptaciones, tanto en lo metodológico como en lo geológico (conocimiento de las nuevas tipologías de yacimientos minerales) y en las relaciones interdisciplinarias.

Los geólogos cumplen un papel cada vez más importante y de mayor responsabilidad, desde las etapas más tempranas de la exploración, que comprenden la selección de áreas y análisis de riesgo, pasando por el tratamiento y certificación de datos producidos en la exploración minera preliminar, y por último en la evaluación de bloques o sectores minables, que son parámetros de gran peso en la definición de un "depósito de mena".

El contenido de esta materia apunta a una actualización y profundización de las metodologías con las cuales se encararán los emprendimientos mineros actuales, las técnicas de control y orientación de la exploración y los soportes sobre los que se basan los modernos conceptos mineros de reservas y recursos, apoyados principalmente en técnicas geoestadísticas. De este modo ofrece a los estudiantes, algunas modernas técnicas profesionales y la posibilidad de desarrollo de nuevas metodologías de investigación minera.

La materia 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. Acorde a ello, podrá ser tomada tanto por alumnos de grado avanzado (5to año) como de postgrado que deciden orientarse hacia la geología minera.

2. OBJETIVOS

Al finalizar la materia se pretende que alumnos, con una formación previa en geología de yacimientos, 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.

Tiene por objetivo fundamental actualizar los conocimientos y desarrollar las habilidades, conforme a los avances científicos y de operaciones mineras actuales. Además se pretende contribuir a un aprendizaje que permita 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 y de otras disciplinas, con la adecuación al medio económico en que se desenvuelve la tarea minera.

Ese objetivo mayor, contando con la base de la formación geológica que ofrece nuestra facultad, puede alcanzarse a través de:

- capacitación para clasificar y utilizar información para la toma de decisiones;
- conocimientos para utilizar y/o elaborar nuevas metodologías tendientes a obtener la mejor información que permita esas decisiones;



- entrenamiento en las tareas profesionales que el geólogo debe desarrollar durante una exploración minera o los trabajos técnicos que debe dirigir.
- preparación para aplicar modernas técnicas de estimación de reservas.

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; a su vez, el desarrollo teórico-práctico y las ejercitaciones planteadas permiten una mejor comprensión de la teoría y visualización de posibles planteos que el trabajo de exploración minera nos pone enfrente.

3- CONTENIDOS

Objetivos y estrategias de la Investigación Minera, especialmente de las fases de Exploración, incluyendo el análisis de Riesgo. Sistemas de exploración minera y técnicas empleadas durante distintas etapas de su desarrollo. Variabilidad geológica y técnica de depósitos minerales; metodologías para su conocimiento y control. Introducción a la geoestadística (linear); herramientas de la geoestadística y aplicaciones en la exploración. Análisis comparativo de métodos de evaluación de leyes y reservas. Compatibilización de los métodos de exploración con la toma de decisiones, estrategias y riesgos de proyectos mineros.

Contenido temático

RIESGO Y EXPLORACION MINERA

Componentes del riesgo de la investigación minera. Probabilidades aplicada al Riesgo Minero. Análisis del Riesgo en Investigación Minera. Uso de Modelos de Depósitos Minerales.

HERRAMIENTAS ESTADISTICAS Y GEOESTADISTICAS

Variabilidad de depósitos minerales. Estadística aplicada a Exploración Minera. Introducción a la Geoestadística Aplicada: conceptos básicos, herramientas de la geoestadística, estimaciones globales y locales, usos de la geoestadística en estimaciones de leyes y reservas. Precisiones de la estimación

EVALUACION DE YACIMIENTOS

Minería Subterránea y a Cielo Abierto. Criterios de proyecto. Concepto de "Reservas in situ" y "Reservas recuperables". Evaluación técnica de Proyectos Mineros

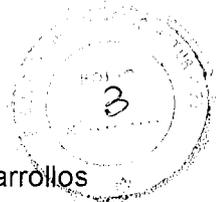
TECNICAS DE EXPLORACION MINERA

Análisis técnico-económico de la exploración. Planificación de los trabajos de exploración. Análisis de casos históricos. Control geológico en la exploración. Actividad en la producción minera. Perforaciones en la exploración geológico-minera. Nociones generales sobre explosivos, usos y normas de seguridad. Métodos de voladuras y cálculo de cargas,

Fundamentos de la selección de temas.

Los temas a desarrollar fueron seleccionados sobre la base de 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- sintetizan la idea de lo que comprende la investigación minera y su objetivo final: el hallazgo de un depósito de mineral económicamente aprovechable.

Esta selección y ordenamiento puede dar una buena formación para iniciarse como geólogo de minas o geólogo de exploración, tanto desde el punto de vista profesional, como para el desarrollo científico. La confrontación de ideas y estrategias de exploración puede permitir innovaciones o la creación de otras con 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)

TEORIA

Unidad A: Temas Generales

Esquema de una Investigación Minera (2 hs)

- Investigación Minera: definición, objetivos, componentes, interacción con la industria y economía.
- 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.
- Dinámica de la exploración en relación a los riesgos. Tiempos, inversiones e información.
- Planteos estratégicos en la investigación minera: la técnica numérica, la investigación científica, el planteo económico.

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. Desarrollo de Allais. Filtros económicos.

Planificación de los trabajos de exploración (6 hs)

- Fases de la Investigación Minera. Definición de prospección y exploración. Las etapas de exploración: tiempos y costos. Exploración preliminar y detallada.
- 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.

Variabilidad de depósitos minerales (6 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.
- Tratamiento de distintas distribuciones estadísticas. Determinación de "erráticos". Valoración de la información de distinto soporte o procedencia.



Unidad B: Temas Técnicos

Perforaciones en la exploración geológico-minera (3 hs)

- Sistemas de perforación mas utilizados en minería. Sondeos y barrenos. Equipamiento y maquinaria.
- Sistemas a rotación. Triconos. Rotación con corona de diamantes y tubo sacatestigos..
- Sistemas a rotopercusión. Sistemas de circulación reversa. Martillo de fondo (DTH). Martillo de cabeza. Recuperación lateral y de frente .

Nociones generales sobre explosivos (2 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.

Método de voladuras y cálculo de cargas (3 hs)

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

Unidad C: Temas De Control Geologico

Control Geológico (3 hs)

- Diagramación de programas de exploración. Control de operaciones. Confección de un programa ajustado de pozos. Trabajos 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.
- Control en laboreos mineros. Ejemplos en diferentes tipos de yacimientos.
- Control en la producción minera. Planimetría. Muestreos en producción.
- Relación con la ingeniería de minas. Ejemplos de organización en emprendimientos mineros.

Unidad D: Temas de Evaluacion de Yacimientos

Estimación de leyes y reservas (17 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: correlogramas, función de covarianza y variogramas.
- El Variograma: definición, construcción y aplicaciones.
- Anisotropías y análisis estructural mediante variogramas. Estructuras sobreimpuestas.



- Modelos de variogramas: con "meseta" y sin "meseta". El modelo de variograma en la estimación. Variogramas indicadores: concepto y construcción.
- Precisiones de la estimación: cambio de soporte; modelo de Wijs y coeficiente de dispersión absoluto (a). Varianzas de extensión y de estimación y sus efectos en la evaluación de reservas.
- Estimadores óptimos: introducción a la técnica de Krigado; análisis simple del sistema de Kkrigeado. Corrector de Matheron (modelo de Wijs). Krigado puntual y de bloques. Krigado indicador. Análisis comparativo con otros métodos.
- Conceptos de "Reservas in situ" y "Reservas recuperables".

Proyectos mineros (6 hs)

- El impacto ambiental de la exploración en el desarrollo de proyectos mineros. Legislación ambiental.
- 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). Diseño y evaluación de trabajos a cielo abierto. Canteras y Cortas.
- Relaciones entre planificación de labores, reservas y leyes. Criterios de optimización.

PRÁCTICA

- 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). Probabilidad de descubrimiento con cambios de densidad de malla y de forma de depósitos.
- 3: Métodos de delimitación de yacimientos en las distintas etapas de exploración.
- 4, 5 y 6: Determinación y usos de parámetros estadísticos en la exploración minera. Optimización de la malla de muestreo y análisis económico; correlación; límites de confianza y regiones de probabilidad. Tratamiento de valores erráticos. Comparación de muestras de distinta calidad o soporte.
- 7: Criterios de planificación y selección de equipos. Rendimiento y costos en perforaciones. Diseño de perforaciones. Análisis de costos y rendimiento de perforaciones. Datos estructurales de testigos de perforación. Ubicación de pozos de exploración.
- 8: Costos y rendimientos de voladuras. Cálculo de parámetros de voladura. Diseño de cargas.
- 9 y 10: Cálculo y construcción de Variogramas. Análisis de Variogramas uni y multidireccionales.
- 11: Modelado de Variogramas. Ajuste al modelo con una estructura o con estructuras sobreimpuestas.
- 12: Cálculo de las precisiones de la estimación.
- 13 y 14: Krigado. Trabajo con ábacos y eventualmente con computadora.

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

Dentro de los sistemas de cursadas vigentes en nuestra facultad, se propone un curso normal con dictado de clases teóricas y prácticas, evaluaciones parciales y aprobación de examen final de la totalidad de la materia..

El dictado de clases teóricas será del tipo convencional, pero se incluirán algunos desarrollos teórico-prácticos que permitan la mayor participación de los alumnos en las clases. Las clases prácticas consistirán en breves explicaciones teóricas, desarrollos generales de los métodos y planteo de problemas y ejercicios para su resolución. 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. Asimismo, en cada clase, se dispondrá de bibliografía específica relacionada a algunas resoluciones de problemas.

Se realizarán las reuniones de repaso necesarias a los fines de la mejor comprensión de las problemáticas planteadas. Dichas reuniones serán convenidas en horario fuera de clase, con el alumno o grupo de alumnos que lo soliciten.

6. EVALUACION

Se realizarán, al menos, dos (2) evaluaciones parciales durante el desarrollo del curso. 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 constituyan desarrollos normales durante la clase, de modo 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 14.

Calificación: aprobada o desaprobada.

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 JOURNAL, A.G. (1992). GSLIB Geostatistical software library and user's guide. *Oxford Univ. Press, New York.* (Con programas para PC).
- HARRIS, D.P. (1990). Mineral Exploration Decisions. A Guide to Economic Analysis and Modeling. *Ed. John Wiley & Sons, New York.*
- JOURNAL, 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.*
- KOCH, G. (1992). Geological solving problems with 123. *Pergamon Press plc.* (Con programas para PC).
- KOCH, G. y LINK, R. (1986). Statistical analysis of geological data. *Ed. Wiley, N. York (2 ed.).*
- 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).*



- STONE, J.G. & DUNN, P.G. (1998). Ore Reserve Estimates in the Real World. *Society of Economic Geologists. Special Publication N° 3 (2nd. Edition).*
- VARIOS AUTORES (1978 y 1979). Curso Latinoamericano de capacitación para la prospección y exploración de yacimientos uraníferos. *CIEN-CNEA, Buenos Aires.*
- WELLMER, F.-W., (1998). *Statistical Evaluations in Exploration for Mineral Deposits. Springer Verlag. Berlin-Heidelberg.*
- WHATELEY, M.G. & HARVEY, P.K. (1994). Mineral Resource Evaluation II: Methods and Case Histories. *Geological Society Special Publication No.79. London.*
- TULCANAZA, E. (1992). Técnicas geoestadísticas y criterios técnico-económicos para la estimación y evaluación de yacimientos mineros.. *E.Tulcanaza, Santiago, Chile.*

Revistas Periódicas

Chronique de la Recherche Minière; Economic Geology; Mineralium Deposita y otras vinculadas a la exploración minera.

8. DURACION DE LA MATERIA

La materia es semestral (segundo semestre) y se estima el dictado de unas 54 horas de clases teóricas, ya que de acuerdo al interés de los alumnos en algunos temas, podrían profundizarse con algún seminario o clase especial. Las clases prácticas tendrán una duración máxima de 4 hs (los problemas pueden ser resueltos más rápidamente), totalizando 56 horas. (Ver carga horaria por tema en el punto 4). Responsables Raúl Fernández (Prof. Asociado) y Raúl de Barrio (Prof. Adjunto).

9. AUTOEVALUACION DEL CURSO

Durante los años 1996 y 1997 se intentó una autoevaluación a través del desarrollo de un proyecto de exploración que debía ser expuesto por los alumnos (en forma grupal) y discutido por todo el curso (estudiantes y docentes). Esto sólo se pudo desarrollar parcialmente, debido a la carga de actividades que los alumnos –de grado- tienen hacia el final del año. Si bien se estima que un encuentro con el problema (similar a los reales) es la mejor autoevaluación de un curso de esta naturaleza, ante los resultados obtenidos, se piensa en implementar otras alternativas.



FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES
Y MUSEO

Calle: 122 y 60 - 1900 - La Plata - Argentina

SECRETARÍA ACADÉMICA, 24 de mayo de 2000

Pase a consideración del Consejo Consultivo Departamental de Geología y Geoquímica. Cumplido pase a la Comisión de Enseñanza.

Dra. MARIA LAURA de WYSIECKI
Secretaria de Asuntos Académicos

el Consejo Consultivo Departamental de Geología y Geoquímica ha aceptado observar, en su gestión, que para el presente programa, por lo tanto se celebrará su aprobación -
La Plata, 26 de junio de 2000. -



**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES
Y MUSEO**

Calle: 122 y 60 - 1900 - La Plata - Argentina

DIVISION DESPACHO, 20 de JUNIO de 2002.-

Visto, apruébase el Programa que obra en estas Actuaciones, para el presente año lectivo, tome conocimiento el Profesor Titular del dictamen de la Comisión de Enseñanza, Readmisión y Adscripción, y pase a sus efectos a la Dirección de Enseñanza y a la Biblioteca, cumplido ARCHÍVESE en la misma.-

f.d.m.
[Iniciales]

[Firma manuscrita]
P/A
MUSEO HISTÓRICO NATURAL
COMISIÓN ASISTENTE ARGENTINA
CALLE 122 Y 60 Y MUSEO

