



Ministerio de Cultura y Educación
Universidad Nacional de San Luis
Facultad de Ciencias Físico Matemáticas y Naturales
Departamento: Minería
Area: Minería

(Programa del año 2025)

I - Oferta Académica

Materia	Carrera	Plan	Año	Período
FUNDAMENTOS DE GEOESTADÍSTICA	ING.EN MINAS	OCD- 3-11/ 23	2025	2° cuatrimestre

II - Equipo Docente

Docente	Función	Cargo	Dedicación
ROSSI, MARIO EDUARDO	Prof. Responsable	P.Adj Simp	10 Hs
GIL COSTA, GRACIELA VERONICA	Prof. Colaborador	P.Tit. Exc	40 Hs
BASSAN, JOSE ANTONIO	Prof. Co-Responsable	P.Adj Simp	10 Hs
PEREZ, BEATRIZ LILIAN	Auxiliar de Práctico	JTP Exc	40 Hs

III - Características del Curso

Credito Horario Semanal				
Teórico/Práctico	Teóricas	Prácticas de Aula	Práct. de lab/ camp/ Resid/ PIP, etc.	Total
0 Hs	0 Hs	0 Hs	0 Hs	3 Hs

Tipificación	Periodo
C - Teoria con prácticas de aula	2° Cuatrimestre

Duración			
Desde	Hasta	Cantidad de Semanas	Cantidad de Horas
14/08/2025	30/11/2025	15	45

IV - Fundamentación

Asignatura de carácter teórico-práctico, cuya finalidad es entregar a los estudiantes los conceptos generales y básicos de geoestadística utilizados en la industria minera, con énfasis en la Estimación de Recursos Minerales. Se busca desarrollar en los alumnos su capacidad de análisis y pensamiento sistémico sobre el rol de la geoestadística y la aplicabilidad de las metodologías de estimación y evaluación de riesgos geológicos y mineros en la evaluación de yacimientos mineros.

V - Objetivos / Resultados de Aprendizaje

El docente a cargo en el rol Profesor Adjunto Interino con Dedicación Simple, alcanzará con los alumnos los siguientes objetivos:

- 1) Conocer las mejores prácticas metodológicas que emplea la industria minera en la aplicación de métodos geoestadísticos.
- 2) Revisión y entendimiento de los aspectos básicos de la teoría geoestadística, con énfasis en aplicaciones prácticas. Este objetivo será convenido con los alumnos en el desarrollo de, al menos, dos actividades prácticas.
- 3) Se incluye una definición de buenas prácticas en el sentido dado por los estándares internacionales utilizados para la estimación de recursos. Se enfatiza el grado de esfuerzo requerido y/o preferido para los distintos niveles de detalle según el

estado de avance del proyecto minero.

4) Descripción somera de los reglamentos Canadienses (43-101) y Australianos (ASZX< basado en el JORC). Análisis de los objetivos de cada reglamento. Breve mención de otros reglamentos regionales vigentes.

5) Entender los requerimientos de una estimación de recursos según el 43-101 y JORC. Aspectos técnicos-geoestadísticos fundamentales para el cumplimiento de los reglamentos internacionales para tabular y reportar recursos y reservas.

6) Desarrollo de un proyecto de estimación de recursos (en conjunto con la cátedra de Exploración y Evaluación de Yacimientos) de principio a fin a lo largo del año lectivo.

EJES Y ENUNCIADOS MULTIDIMENSIONALES Y TRANSVERSALES, SU ABORDAJE Y EVALUACIÓN

La materia de "Fundamentos de Geoestadística" para la carrera de Ingeniería en Minas, se abordan diversos temas que se alinean con algunos de los 16 ejes multidimensionales y transversales propuestos:

Eje N°1: Diseño, cálculo, evaluación, gerenciamiento y planificación de las etapas de exploración, explotación, procesamiento de minerales y derivados, voladura y movimiento de rocas en operaciones mineras y civiles.

El programa pone énfasis en la estimación de recursos minerales, lo que implica una planificación y evaluación detallada del proyecto minero, lo cual se relaciona con el diseño y cálculo de estos recursos. Nivel: Alto

Eje N°2: Realización y supervisión de trabajos topográficos y geotécnicos.

Aunque no se menciona de manera explícita en los módulos del programa, la evaluación y estimación de recursos incluye consideraciones geotécnicas que impactan el análisis de yacimientos. Nivel: Medio.

Eje N°3: Proyecto, dirección, supervisión, gerenciamiento y control de la construcción, operación y mantenimiento de las obras de exploración, explotación, procesamiento de minerales y derivados, voladura y movimiento de rocas en operaciones mineras y civiles.

En el curso, los estudiantes desarrollan un proyecto completo de estimación de recursos, aplicando metodologías industriales y reglamentaciones internacionales, alineado con la supervisión de la construcción y mantenimiento de obras mineras. Nivel: Alto.

Eje N°4: Certificación de las condiciones o estado de las operaciones, obras de exploración, explotación, procesamiento de minerales y derivados, voladura y movimiento de rocas en operaciones mineras y civiles.

El módulo de clasificación de recursos está directamente relacionado con las normativas de certificación de recursos y reservas bajo estándares internacionales (43-101, JORC). Nivel: Alto.

Eje N°6: Identificación, formulación y resolución de problemas de ingeniería en minas

El enfoque en análisis de datos, modelamiento y estimación de recursos fomenta la capacidad de resolución de problemas complejos en ingeniería minera. Nivel: Alto.

Eje N° 7: Concepción, diseño y desarrollo de proyectos de ingeniería en minas.

El desarrollo del proyecto final, en el que los estudiantes estiman recursos mineros, cubre este eje en gran medida. Nivel: Alto.

Eje N°8: Gestión, planificación, ejecución y control de proyectos de ingeniería en minas.

A través del proyecto final, los estudiantes deben planificar y gestionar la estimación de recursos, lo que implica controlar el avance del trabajo a lo largo del curso. Nivel: Alto.

Eje N°9: Utilización de técnicas y herramientas de aplicación en la ingeniería en minas.

Los módulos incluyen el uso de herramientas estadísticas y técnicas de geoestadística específicas como el Kriging y variogramas, fundamentales para la ingeniería en minas. Nivel: Alto.

Eje N°11: Desempeño en equipos de trabajo.

Los estudiantes deben trabajar en equipo para completar las actividades prácticas y presentaciones, desarrollar habilidades colaborativas. Nivel: Alto.

Eje N°12: Comunicación efectiva.

Las presentaciones orales y escritas son componentes esenciales de la evaluación, permitiendo desarrollar competencias comunicativas. Nivel: Alto.

Eje N°13: Actuación profesional ética y responsable.

Aunque el programa no aborda directamente la ética, el cumplimiento de normativas internacionales (como JORC y 43-101) implica un enfoque en la responsabilidad profesional. Nivel: Medio.

Eje N° 15: Aprendizaje continuo.

La estructura del curso fomenta el aprendizaje a lo largo de todo el proyecto, incentivando a los estudiantes a mantenerse actualizados con las mejores prácticas internacionales. Nivel: Alto.

Eje N°16: Desarrollo de una actitud profesional emprendedora.

Al simular una presentación de directorio, los estudiantes desarrollan habilidades relacionadas con la defensa de proyectos y

el emprendimiento dentro del contexto minero. Nivel: Medio.

VI - Contenidos

CONTENIDOS MÍNIMOS: Elementos de un modelo de recursos. Controles geológicos, dominios de estimación y modelos de bloques. Variografía y continuidad espacial. Recursos recuperables: estimación lineal. Validaciones y reconciliación del modelo de recursos. Clasificación de recursos.

MÓDULO 1: Introducción

1. Objetivos y Alcances de curso; Metodología de trabajo;

2. Elementos de un Modelo de Recursos;
3. Perspectiva Histórica;
4. Integración e Inferencia de Datos;
5. Transformaciones de Datos.
6. Variables de leyes minerales;
7. Elementos de la Teoría de Muestreo
8. Muestras originales y compositación a largo fijo;
9. Aglomeración espacial; técnicas de desaglomeración;
10. Valores extremos;
11. Determinación de la densidad in-situ de la roca;
12. Variables geometalúrgicas y geotécnicas;
13. Análisis exploratorio de datos;

MÓDULO 2: Controles Geológicos, Dominios de Estimación, y Modelos de Bloques

1. Definición de controles geológicos y de mineralización;

2. Elementos básicos de la interpretación y modelamiento geológico;
3. Visualización;
4. Definición de los Dominios de Estimación;
5. Uso del análisis exploratorios de los datos para la definición de dominios de Estimación;
6. Contactos y tendencias espaciales de leyes de minerales;

MÓDULO 3: Variografía y Continuidad Espacial

1. Descripción de los Conceptos Involucrados;

2. Variogramas Experimentales;
3. Modelos de Variogramas en 3-D;

MÓDULO 4: Recursos Recuperables: Estimación Lineal

1. Definición de estimaciones lineales;

2. Breve mención de los métodos del Inverso de la Distancia y del Vecino más cercano;
3. Kriging Puntual vs. Kriging de Bloque;
4. Kriging Simple, Kriging Ordinario, Kriging Universal;
5. Cómo escoger el método para estimar; Estrategias y planes para estimar;

MÓDULO 5: Validaciones y Reconciliación del Modelo de Recursos

1. Chequeos y Validaciones del Modelo de Recursos;

2. Re-muestreo y Validación Cruzada;
3. Validación del Modelo Geológico;
4. Validación de los Modelos de Leyes;
5. Comparaciones con Modelos Anteriores y Alternativos;
6. Reconciliación con Producción;

MÓDULO 6: Clasificación de Recursos**1. Modelos de Incertidumbre; Incertidumbre y Riesgo; Definición de “local” y “global”;**

2. Resumen de los Sistemas Internacionales más utilizados;
3. National Instrument 43-101, Canada;
4. Joint Ore Resource Committee, Australia;
5. Breve mención de otros reglamentos;
6. Clasificación de Recursos:
 - a. Métodos Geométricos;
 - b. Métodos Probabilísticos;

VII - Plan de Trabajos Prácticos

1. Introducción al Proyecto Final del Curso; descripción del Proyecto Minero, y de las tareas involucradas en el cálculo de recursos del proyecto.
2. Práctico No. 1: Análisis exploratorio de las muestras originales; compositado; análisis estadísticos de los compósitos de estimación.
3. Práctico No. 2: Definición de Dominios de Estimación para el Proyecto Final del curso.
4. Práctico No. 3: Definición de Modelos de Variogramas para el Proyecto Final del curso.
5. Práctico No. 4: Estimación por Kriging Ordinario de una de las variables para el Proyecto Final del curso.
6. Práctico No. 5: Validación del Modelo de Recursos para el Proyecto Final del curso.
7. Práctico No. 6: Clasificación de los Recursos estimados para el Proyecto Final del curso; Inventario Final de los Recursos estimados.

VIII - Regimen de Aprobación

La nota final de la materia, será el resultado de:

Descripción	Nota	Ponderador
Participación y asistencia:	0 a 10	20%
Trabajos Prácticos:	0 a 10	50%
Presentación de tópicos:	0 a 10	20%
Control tipo elección múltiple:	0 a 10	10%

Se requiere un mínimo total del 70% para aprobar la asignatura. En caso de que no se alcance este objetivo, el Docente conjuntamente con el Director del Departamento de Minería y el alumno resolverán los pasos a seguir para la evaluación final.

IX - Bibliografía Básica**[1] LIBROS:**

- [2] 1. David, M., Geostatistical Ore Reserve Estimation, Elsevier, Amsterdam, 1977.
- [3] 2. Davis, J.C., Statistical and Data Analysis in Geology, 2da Edición, John Wiley and Sons, New York, 646p, 1986.
- [4] 3. Deutsch, C.V., 2002, Geostatistical Reservoir Modeling, Oxford University Press, New York, 376 p.
- [5] 4. Deutsch, C.V., and Journel, A.G., GSLIB: Geostatistical Software Library and User's Guide, Oxford University Press,

New York, 340 p., con CD-ROM, 1997.

[6] 5. Goovaerts, P., Geostatistics for Natural Resources Evaluation, Oxford University Press, 483p., 1997.

[7] 6. Guilbert, J.M., y Park, C.F., Jr., The Geology of Ore Deposits, W.H. Freeman and Co., 985p., 1986.

[8] 7. Gy, P.M., Sampling of Particulate Materials: Theory and Practice, 2nd. Ed., Elsevier Amsterdam, 1982.

[9] 8. Hartman, H.L., Sr. Editor, SME Mining Engineering Handbook, Port City Press Inc., Baltimore, 2 vol., 2260p., 1992.

[10] 9. Isaaks, E.H., y Srivastava, R.M., 1989, An Introduction to Applied Geostatistics, Oxford University Press, 561 p.

[11] 10. Journel, A.G., y Huijbregts, Ch.J., Mining Geostatistics, Academic Press, 600 p., 1978.

[12] 11. Rossi, M.E., y Deutsch, C.V., "Mineral Resource Estimation", ed. Springer, 2014.

[13] 12. Tukey, J.W., Exploratory Data Analysis, Addison-Wesley Publ. Co., Reading, Mass., 688p., 1977.

X - Bibliografía Complementaria

[1] PUBLICACIONES:

[2] 1. Aguilar C., A.G., y Rossi, M.E., 1996. San Cristóbal: Aplican Método de Maximización de Ganancias, Minería Chilena, Santiago, Chile, 15(175):63-69.

[3] 2. Bruna Novillo, J. & Bassan, J. & Rossi, M.E., "Los Fundamentos del Modelo de Recursos Recuperables". SIMIN 2009. XVI Simposium de Ingeniería en Minas. Santiago, 18-21 Agosto, 2009.

[4] 3. Código para la Certificación de Prospectos de Exploración, Recursos y Reservas Mineras. Instituto de Ingenieros de Minas de Chile. Ministerio de Minería. Chile. 2003

[5] 4. Douglas, I.H., Rossi, M.E., y Parker, H.M, Introducing Economics in Grade Control: The Expected Revenue Method, Pre-print de la Convención Anual del SME, Febrero 14-17, Albuquerque, New Mexico, 1994.

[6] 5. Girardi, J.P., Geoestadística. Fundación Universidad Nacional de San Juan, Argentina. Edición septiembre 2008. (UNSL-Tabla de libros)

[7] 6. JORC, Código de Australasia para informar sobre Recursos Minerales y Reservas de Mena. AUSIMM. 2012.

[8] 7. National Instrument 43-101; FORM 43-101F1. Technical Report. Table of Contents. Rules and Policies. Noviembre, 2010.

[9] 8. Parker, H.M., Statistical Treatment of Outlier Data in Epithermal Gold Deposit Reserve Estimation, Mathematical Geology, v23, pp. 125-199, 1991.

[10] 9. Rossi, M.E., Optimising Grade Control: A Detailed Case Study, Proceedings de la 101 Convención Anual del Instituto Canadiense de Minería, Metalurgia, y Petróleo (CIM), Calgary, Canada, Mayo 2-5, 1999.

[11] 10. Rossi, M.E., Improving on the Estimation of Recoverable Reserves, Mining Engineering, January 2000.

[12] 11. Rossi, M., Geoestadística Aplicada al Cálculo de Recursos y Reservas. Edición 2008. (UNSL-Tabla de libros)

[13] 12. Rossi, M.E., y Parker, H.M., 1993, Estimating Recoverable Reserves, Is It Hopeless?, in Geostatistics for the Next Century (Dimitrakopoulos, R., ed.), pp. 259-276, Kluwer Academic Publ., Boston.

[14] 13. Rossi, M.E., Parker, H.M., y Roditis, Y.S., Evaluation of Existing Geostatistical Models and New Approaches in Estimating Recoverable Reserves, presentación no publicada en el 24to Simposio Internacional sobre Aplicaciones de Computadores a la Industria Minera (APCOM), Montreal, Canadá, Octubre 1993.

[15] 14. Srivastava, R.M., Minimum Variance or Maximum Profitability, en CIMM, Vol. 80, no. 901, 63-68, 1987.

[16] 15. Yang, R.L., y Kavetsky, A., A Three Dimensional Model of Muckpile Formation and Grade Boundary Movement in Open Pit Blasting, International Journal of Mining and Geological Engineering, Londres, Chapman y Hall, pp. 13-34, Septiembre 1990.

[17] 16. Zapata, R., Bassan, J.A., y Bruna, J., "Mineral Control System in Bajo de La Alumbrera Mine, Catamarca, Argentina". Minin2008. III International Conference on Mining Innovation. Santiago, Chile.

XI - Resumen de Objetivos

El docente a cargo en el rol Profesor Adjunto Interino con Dedicación Simple, alcanzará con los alumnos los siguientes objetivos:

- Conocer las mejores prácticas metodológicas que emplea la industria minera en la aplicación de métodos geoestadísticos.
- Revisión y entendimiento de los aspectos básicos de la teoría geoestadística, con énfasis en aplicaciones prácticas. Este objetivo será convenido con los alumnos en el desarrollo de, al menos, dos actividades prácticas.
- Se incluye una definición de buenas prácticas en el sentido dado por los estándares internacionales utilizados para la estimación de recursos. Se enfatiza el grado de esfuerzo requerido y/o preferido para los distintos niveles de detalle según el

estado de avance del proyecto minero.

- Descripción somera de los reglamentos Canadienses (43-101) y Australianos (ASX) basado en el JORC). Análisis de los objetivos de cada reglamento. Breve mención de otros reglamentos regionales vigentes.
- Entender los requerimientos de una estimación de recursos según el 43-101 y JORC. Aspectos técnicos-geoestadísticos fundamentales para el cumplimiento de los reglamentos internacionales para tabular y reportar recursos y reservas.
- Desarrollo de un proyecto de estimación de recursos (en conjunto con la cátedra de Exploración y Evaluación de Yacimientos) de principio a fin a lo largo del año lectivo.

XII - Resumen del Programa

4.-Actividades

El primer día de clases habrá una reunión introductoria con todos los alumnos del curso. En esta reunión se explicará el contenido y las actividades del curso.

#730; Participación y Asistencia

No se exige un porcentaje de asistencia mínima, aunque la participación del individuo es evaluada por cada clase dictada. Se requiere del 100 % de asistencia a controles y presentación de casos.

#730; Trabajos Prácticos

Los trabajos prácticos que se irán completando para cada módulo serán parte del Proyecto Final que se debe entregar, en parte a ser coordinado con la cátedra de Exploración y Evaluación de Yacimientos, y bajo las pautas preestablecidas por el docente.

Los trabajos prácticos parciales deberán ser aprobado con una nota mínima de 7 (condición: no se aplica redondeo).

Para el último trabajo práctico se hará una presentación resumiendo los trabajos completados anteriormente y mostrando los resultados finales. El Proyecto Final será evaluado conjuntamente entre el docente y los alumnos, en donde se simulará que los participantes pertenecen al directorio de una importante empresa del sector que cotiza en el mercado de valores canadiense. El expositor defenderá su estimación de recursos, y los demás alumnos cuestionarán la metodología y estrategia de estimación utilizada.

#730; Discusión de Tópicos

Los alumnos se organizarán de forma individual o por equipos. Por cada Módulo se les entregará una pregunta o tema en forma individual o por equipo, cuya respuesta y análisis deben exponer al día siguiente. Los equipos deberán reorganizarse para la segunda presentación, es decir los equipos deberán ser distintos para la siguiente presentación. Cada equipo o individuo deberá entregar un breve informe de 2 páginas y una exposición de no más de 10 láminas de Powerpoint.

La posible lista de tópicos para exponer será derivada del desarrollo teórico de cada módulo, y a convenir con los alumnos; no todos los tópicos detallados deberán ser desarrollados por los alumnos, o bien el docente puede agregar nuevos tópicos según el interés de los alumnos.

Este desarrollo servirá de evaluación del aprendizaje de/los temas teóricos de cada módulo.

#730; Controles

Se realizarán 4 controles escritos para medir el grado de avance en el cumplimiento de los objetivos del curso. Estos controles serán con respuestas de verdadero o falso.

XIII - Imprevistos

No Aplica

XIV - Otros

No Aplica
