



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

(Programa del año 2021)
 (Programa en trámite de aprobación)
 (Presentado el 11/08/2021 14:46:02)

I - Oferta Académica

Materia	Carrera	Plan	Año	Período
FUNDAMENTOS DE GEOESTADISTICAS	ING.EN MINAS	6/15	2021	2° cuatrimestre

II - Equipo Docente

Docente	Función	Cargo	Dedicación
BASSAN, JOSE ANTONIO	Prof. Responsable	P.Adj Simp	10 Hs
GIL COSTA, GRACIELA VERONICA	Prof. Colaborador	SEC F EX	10 Hs
ROSSI, MARIO EDUARDO	Prof. Co-Responsable	P.Adj Simp	10 Hs
PEREZ, BEATRIZ LILIAN	Auxiliar de Práctico	A.1ra Exc	40 Hs

III - Características del Curso

Credito Horario Semanal				
Teórico/Práctico	Teóricas	Prácticas de Aula	Práct. de lab/ camp/ Resid/ PIP, etc.	Total
Hs	Hs	Hs	Hs	5 Hs

Tipificación	Periodo
B - Teoria con prácticas de aula y laboratorio	2° Cuatrimestre

Duración			
Desde	Hasta	Cantidad de Semanas	Cantidad de Horas
23/08/2021	26/11/2021	15	60

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, y breves menciones de otras aplicaciones generales.

Incluye un repaso elemental de Estadística Clásica y de la Teoría de Probabilidades.

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 el proceso minero.

V - Objetivos / Resultados de Aprendizaje

Conocer y comprender conceptos básicos de Estadística clásica, incluyendo estadística descriptiva, de inferencia, y un conocimiento básico de probabilidades.

. 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.

. Incluir una definición de prácticas buenas, mejoras, y óptimas en el sentido dado por los estándares internacionales utilizados para el cálculo de recursos y reservas mineras. Se enfatiza el grado de esfuerzo requerido y/o preferido para los distintos niveles de detalle según el estado de avance del proyecto minero.

. Describir someramente los reglamentos Canadienses (43-101) y Australianos (ASZX basado en el JORC). Análisis de los objetivos de cada reglamento. Mención de otros reglamentos vigentes, incluyendo el reglamento Inglés (The Code), Sudafricano, Chileno, e internacional propuesto por CRIRSCO.

- . Entender los requerimientos de un cálculo de recursos y reservas según el 43-101 y JORC. Aspectos técnicos-geoestadísticos fundamentales para el cumplimiento de los reglamentos internacionales para tabular y reportar recursos y reservas.
- . Desarrollar un proyecto de estimación de recursos completo (en conjunto con la cátedra de Exploración y Evaluación de Yacimientos) de principio a fin a lo largo del año lectivo.

VI - Contenidos

MODULO 1: Introducción y Herramientas y Conceptos Estadísticos.

Objetivos y Alcances de curso. Metodología de trabajo.

Elementos de un Modelo de Recursos. Aspectos Críticos. Perspectiva Histórica. Estadística Descriptiva. Teoría de Probabilidades. Cálculo de Probabilidades. Inferencia Estadística. Distribuciones Univariadas, Multivariadas, y Espaciales. Teorema Central del Límite. Distribuciones Gausianas, Lognormal, y otras. Integración e Inferencia de Datos. Postulado de Bayes. Transformaciones de Datos.

MODULO 2: Variables y Manejo de los Datos

Variables de leyes minerales. Muestras originales y compositación a largo fijo. Aglomeración especial; técnicas de desaglomeración. Valores extremos. Determinación de la densidad in-situ de la roca. Variables geometalúrgicas y geotécnicas. Análisis exploratorio de datos. Introducción al Proyecto Final del Curso. Descripción del Proyecto Minero, y de las tareas involucradas en el cálculo de recursos del proyecto.

MODULO 3: Controles Geológicos, Dominios de Estimación, y Modelos de Bloques Definición de controles geológicos y de mineralización. Elementos básicos de la interpretación y modelamiento geológico.

Visualización. Definición de los Dominios de Estimación. Uso del análisis exploratorios de los datos para la definición de dominios de Estimación. Contactos y tendencias espaciales de leyes de minerales. Importancia y Factores de Riesgo en la definición de los dominios de estimación. Modelo de bloques y geometrías comúnmente utilizadas. Breve descripción de los sistemas de coordenadas que se pueden utilizar.

MODULO 4: Variografía y Continuidad Espacial Descripción de los Conceptos Involucrados. Variogramas Experimentales. Modelos de Variogramas en 3-D. Casos Multivariados.

MODULO 5: Dilución y Selectividad Minera

Recursos In-situ vs. Recursos Recuperables. Tipos de Dilución y Pérdidas de Mineral. Corrección del Efecto de Volumen-Varianza. Efecto de la Información.

VII - Plan de Trabajos Prácticos

MODULO 1: Introducción y Herramientas y Conceptos Estadísticos

MODULO 2: Análisis exploratorio de las muestras originales. Compositado. Análisis estadísticos de los compósitos de estimación.

MODULO 3: Definición de Dominios de Estimación para el Proyecto Final del curso.

MODULO 4: Definición de Modelos de Variogramas para el Proyecto Final del curso.

MODULO 5: Análisis del Efecto Volumen-Varianza para el Proyecto Final del curso.

VIII - Regimen de Aprobación

1) Sistema de regularidad

. Es obligatoria la asistencia al 80% de las clases.

. Aprobación de dos evaluaciones parciales con un porcentaje no inferior al 60%. Cada una de ellas tendrá una recuperación.

. En caso de no aprobar alguna de las evaluaciones parciales, podrá lograr la condición de alumno regular, rindiendo una evaluación general que consiste de los temas evaluados en las dos pruebas.

. Los alumnos que hayan obtenido la condición de regular, aprobarán la materia a través de un examen final en las fechas que el calendario académico prevé para esta actividad.

2) Sistema de promoción:

La materia se podrá aprobar directamente, sin el examen final, obteniendo calificaciones no inferiores al 70% en cada una

de las evaluaciones parciales o en las recuperaciones y aprobando una evaluación integradora oral.

. El alumno que aprobó alguna evaluación con menos del 70% (obtuvo entre 60% y menos de 70%), puede presentarse a la correspondiente recuperación para intentar la promoción. La nota que se le considerara será la última obtenida.

3) Para alumnos libres:

. La aprobación de la materia se obtendrá rindiendo un examen práctico escrito y en caso de aprobar éste, deberá rendir en ese mismo momento, un examen teórico.

IX - Bibliografía Básica

- [1] [1] Spiegel, Murray R., Estadística, 2da Edición, McGraw-Hill, 1988
- [2] [2] David, M., Geostatistical Ore Reserve Estimation, Elsevier, Amsterdam, 1977.
- [3] [3] Davis, J.C., Statistical and Data Analysis in Geology, 2da Edición, John Wiley and Sons, New York, 646p, 1986.
- [4] [4] Deutsch, C.V., 2002, Geostatistical Reservoir Modeling, Oxford University Press, New York, 376 p.
- [5] [5] 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.
- [7] [6] Gentry, D.W., y O'Neil, T.J., Mine Investment Análisis, Society of Mining Engineers, New York, 502p, 1984.
- [8] [7] Goovaerts, P., Geostatistics for Natural Resources Evaluation, Oxford University Press, 483p., 1997.
- [9] [8] Guilbert, J.M., y Park, C.F., Jr., The Geology of Ore Deposits, W.H. Freeman and Co., 985p, 1986.
- [10] [9] Gy, P.M., Sampling of Particulate Materials: Theory and Practice, 2nd. Ed., Elsevier Amsterdam, 1982.
- [11] [10] Hartman, H.L., Sr. Editor, SME Mining Engineering Handbook, Port City Press Inc., Baltimore, 2 vol., 2260p., [12] 1992.
- [13] [11] Isaaks, E.H., y Srivastava, R.M., 1989, An Introduction to Applied Geostatistics, Oxford University Press, 561 p.
- [14] [12] Journel, A.G., y Huijbregts, Ch.J., Mining Geostatistics, Academic Press, 600 p., 1978.
- [15] [13] Kennedy, B.A., Editor, Surface Mining, Segunda Edición, Port City Press Inc., Baltimore, 1194p., 1990.
- [16] [14] Lane, K.F., The Economic Definition of Ore, Mining Journal Books Ltd., London, 149p., 1988.
- [17] [15] Lapin, L.L., Probability and Statistics for Modern Engineering, PWS Publ., Boston, 624p, 1983.
- [18] [16] Peters, W.C., Exploration and Mining Geology, 2da Edición, John Wiley and Sons, New York, 685p, 1987.
- [19] [17] Ripley, B.D., Stochastic Simulation, John Wiley and Sons, New York, 237p, 1987.
- [20] [18] Rossi, M.E., y Deutsch, C.V., "Mineral Resource Estimation", ed. Springer, 2014.
- [21] [19] Tukey, J.W., Exploratory Data Análisis, Addison-Wesley Publ. Co., Reading, Mass., 688p., 1977.
- [22] [20] Vogely, W.A., Editor, Economics of the Mineral Industries, 4ta Edición, Society of Mining Engineers, New York, [23] 660p, 1985.

X - Bibliografía Complementaria

- [1] [1] Aguilar C., A.G., y Rossi, M.E., 1996. San Cristóbal: Aplican Método de Maximización de Ganancias, Minería
- [2] Chilena, Santiago, Chile, 15(175):63-69.
- [3] [2] Amos, Q.G., 1998, Resources and Risk – The Lender's View, en "Ore Reserves and Finance: a Joint Seminar between
- [4] AusIMM and ASX", Sydney, Australia. Junio 15, 1998.
- [5] [3] Baker, C.K., and Giacomo, S.M., Resource and Reserves: Their Uses and Abuses by the Equity Markets, en "Ore
- [6] Reserves and Finance: a Joint Seminar between AusIMM and ASX", Sydney, Australia, Junio 15, 1998.
- [7] [4] Bruna Novillo, J. & Bassan, J. & Rossi, M.E., "Los Fundamentos del Modelo de Recursos Recuperables". SIMIN
- [8] 2009. XVI Simposium de Ingeniería en Minas. Santiago, 18-21 Agosto, 2009.
- [9] [5] Código para la Certificación de Prospectos de Exploración, Recursos y Reservas Mineras. Instituto de Ingenieros de
- [10] Minas de Chile. Ministerio de Minería. Chile. 2003
- [11] [6] Davis, B.M., Some Methods of Producing Interval Estimates for Global and Local Resources, Preprint No. 97-5,
- [12] Pre-print de la Convención Anual del SME, Denver, CO, Febrero 24-27, 1997.
- [13] [7] Douglas, I.H., Rossi, M.E., y Parker, H.M, Introducing Economics in Grade Control: The Expected Revenue
- Method,
- [14] Pre-print de la Convención Anual del SME, Febrero 14-17, Albuquerque, New Mexico, 1994.

- [15] [8] Girardi, J.P., Geoestadística. Fundación Universidad Nacional de San Juan, Argentina. Edición septiembre 2008.
- [16] (UNSL-Tabla de libros)
- [17] [9] Guibal, D. and Remacre, A., Local Estimation of the Recoverable Reserves: Comparing Various Methods with the Reality on a Porphyry Copper Deposit. Geostatistics for Natural Resources Characterization, Part 1: 435-448, 1984.
- [18] [10] Isaaks, E. and Davis, B., The Kriging Oxymoron: Conditionally Unbiased and Accurate Prediction, Pre-print de la
- [19] Convención Anual del SME, Denver, CO, 1999.
- [20] [11] JORC, Código de Australasia para informar sobre Recursos Minerales y Reservas de Mena. AUSIMM. 2012.
- [21] [12] Journel, A.G., Constrained Interpolation and Qualitative Information, *Mathematical Geology*, 18(3):269-286, 1986.
- [22] [13] Journel, A.G., Non-Parametric Estimation of Spatial Distributions, *Mathematical Geology*, 15(3):445-468, 1983.
- [23] [14] Krige, D.G. y Assibey-Bonsu, W., Limitations in Accepting Repeated Simulations to Measure the Uncertainties in
- [24] Recoverable Resource Estimates Particularly for Sections of an Ore Deposit, 6to Congreso Internacional de Geoestadística,
- [25] Ciudad del Cabo, Sud África, 2000.
- [26] [15] Krige, D.G., A Practical Analysis of the Effects of Spatial Structure and Data Available and Used, on Conditional
- [27] Biases in Ordinary Kriging, 5to Congreso Internacional de Geoestadística, Wollongong, Australia, 1996.
- [28] [16] Krige, D.G., Conditional Bias and Uncertainty of Estimation in Geostatistics, Relator Principal, APCOM'99
- [29] International Symposium, Colorado School of Mines, Golden, Octubre 1999.
- [30] [17] Lerchs, H., y Grossman, L., Optimum Design of Open-Pit Mines, *Transactions C.I.M.*, Vol. LXVIII, 17-24, 1965.
- [31] [18] Matheron, G., A Simple Substitute for Conditional Expectation: Disjunctive Kriging, en "Geostat 75", pp. 221-236,
- [32] 1975a.
- [33] [19] Matheron, G., Forecasting Block Grade Distributions: The Transfer Functions, en "Geostat 75", pp. 237-251,
- [34] 1975b.
- [35] [20] Marcotte, D. and David, M., The Bi-Gaussian Approach: A Simple Method for Recovery Estimation, *Mathematical*
- [36] *Geology*, 17(6): 625-644, 1985.
- [37] [21] National Instrument 43-101; FORM 43-101F1. Technical Report. Table of Contents. Rules and Policies.
- [38] Noviembre, 2010.
- [39] [22] Parker, H.M., The Volume-Variance Relationship: A Useful Tool for Mine Planning, en *Geostatistics*
- [40] (Mousset-Jones, P., ed.), pp.61-91, McGraw Hill, New Cork, 1980.
- [41] [23] Parker, H.M., Statistical Treatment of Outlier Data in Epithermal Gold Deposit Reserve Estimation, *Mathematical*
- [42] *Geology*, v23, pp. 125-199, 1991.
- [43] [24] Richmond, A.J., Maximum Profitability with Minimum Risk and Effort, 4to Simposio APCOM Regional, Tampere,
- [44] Finland, 2001.
- [45] [25] Rossi, M.E., Optimising Grade Control: A Detailed Case Study, *Proceedings de la 101 Convención Anual del*
- [46] *Instituto Canadiense de Minería, Metalurgia, y Petróleo (CIM)*, Calgary, Canada, Mayo 2-5, 1999.
- [47] [26] Rossi, M.E., Uncertainty and Risk-Models for Decision-Making Processes, 28vo Simposio Internacional sobre
- [48] *Aplicaciones de Computadores a la Industria Minera (APCOM)*, Golden, Colorado, USA, Octubre, 1999.
- [49] [27] Rossi, M.E., Improving on the Estimation of Recoverable Reserves, *Mining Engineering*, January 2000.
- [50] [28] Rossi, M.E., Practical Aspects of Large-Scale Conditional Simulations, 31er Simposio Internacional sobre
- [51] *Aplicaciones de Computadores a la Industria Minera (APCOM)*, Ciudad del Cabo, Sudáfrica, 2003.
- [52] [29] Rossi, M., *Geoestadística Aplicada al Cálculo de Recursos y Reservas*. Edición 2008. (UNSL-Tabla de libros)
- [53] [30] Rossi, M.E., and Alvarado C., S.B., Conditional Simulations Applied to Recoverable Reserves, 27mo Simposio
- [54] *Internacional sobre Aplicaciones de Computadores a la Industria Minera (APCOM)*, Londres, Inglaterra, Abril 19-23, 1998.
- [55] [31] Rossi, M.E., and Camacho V., J., Applications of Geostatistical Conditional Simulations to Assess Resource
- [56] *Classification Schemes*, 102da Convención Anual del Instituto Canadiense de Minería, Metalurgia, y Petróleo, (CIM),
- [57] Quebec City, Canada, Abril 29-Mayo 2, 2001.
- [58] [32] Rossi, M.E., y Parker, H.M., 1993, Estimating Recoverable Reserves, Is It Hopeless?, in *Geostatistics for the Next*
- [59] *Century* (Dimitrakopoulos, R., ed.), pp. 259-276, Kluwer Academic Publ., Boston.
- [60] [33] Rossi, M.E., Parker, H.M., y Roditis, Y.S., Evaluation of Existing Geostatistical Models and New Approaches in
- [61] *Estimating Recoverable Reserves*, presentación no publicada en el 24to Simposio Internacional sobre Aplicaciones de
- [62] *Computadores a la Industria Minera (APCOM)*, Montreal, Canadá, Octubre 1993.
- [63] [34] Rossi, M.E., y Van Brunt, B.H., Optimizing Conditionally Simulated Orebodies with Whittle 4D, *Proceedings de la*
- [64] *Conferencia "Optimizing with Whittle"*, Perth, Australia, 8-9 Abril, 1997.
- [65] [35] Srivastava, R.M., Minimum Variance or Maximum Profitability, en *CIMM*, Vol. 80, no. 901, 63-68, 1987.
- [66] [36] Sullivan, J., Conditional Recovery Estimation through Probability Kriging: Theory and Practice, en Verly, G. et al.,

- [67] editores, "Geostatistics for Natural Resources Characterization", pp. 365-384, 1984.
- [68] [37] Van Brunt, B.H., and Rossi, M.E., "Mine Planning Under Uncertainty Constraints", Proc. of the Optimising With
- [69] Whittle '99 Conference, March 22-25, 1999, Perth, Australia.
- [70] [38] Verly, G., The MultiGuassian Approach and its Applications to the Estimation of Local Reserves, Mathematical
- [71] Geology, 15(2):259-286.
- [72] [39] Whittle, J., Beyond Optimization in Open Pit Design, Primera Conferencia Canadiense de Aplicación de las
- [73] Computadoras a las Industrias Mineras, A.A. Balkema, Rotterdam, p.331-337, 1988.
- [74] [40] Yang, R.L., y Kavetsky, A., A Three Dimensional Model of Muckpile Formation and Grade Boundary Movement
- [75] in Open Pit Blasting, International Journal of Mining and Geological Engineering, Londres, Chapman y Hall, pp. 13-34,
- [76] Septiembre 1990.
- [77] [41] Zapata, R., Bassan, J.A., y Bruna, J., "Mineral Control System in Bajo de La Alumbra Mine, Catamarca,
- [78] Argentina". Minin2008. III International Conference on Mining Innovation. Santiago, Chile.

XI - Resumen de Objetivos

- . Conocer y comprender conceptos básicos de Estadística clásica.
- . 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.
- . Entender los requerimientos de un cálculo de recursos y reservas.
- . Desarrollar un proyecto de estimación de recursos completo.

XII - Resumen del Programa

MODULO 1: Introducción y Herramientas y Conceptos Estadísticos.

Teoría de Probabilidades. Cálculo de Probabilidades. Distribuciones Univariadas, Multivariadas, y Espaciales. Teorema Central del Límite. Distribuciones Gaussianas, Lognormal, y otras. Integración e Inferencia de Datos. Postulado de Bayes. Transformaciones de Datos.

MODULO 2: Variables y Manejo de los Datos

Variables de leyes minerales. Muestras originales y composición a largo fijo. Valores extremos. Determinación de la densidad in-situ de la roca. Variables geometalúrgicas y geotécnicas. Análisis exploratorio de datos. 

MODULO 3: Controles Geológicos, Dominios de Estimación, y Modelos de Bloques

Definición de controles geológicos y de mineralización. Elementos básicos de la interpretación y modelamiento geológico. Visualización. Definición de los Dominios de Estimación.

MODULO 4: Variografía y Continuidad Espacial

Descripción de los Conceptos Involucrados. Variogramas Experimentales. Modelos de Variogramas en 3-D. Casos Multivariados.

MODULO 5: Dilución y Selectividad Minera

Recursos In-situ vs. Recursos Recuperables. Tipos de Dilución y Pérdidas de Mineral. Corrección del Efecto de Volumen-Varianza. Efecto de la Información.

XIII - Imprevistos

Dada la situación epidemiológica causada por el virus Covid-19, se reajusta el calendario académico según lo establecido por el Consejo Superior de la UNSL. Por tal motivo el crédito horario semanal será de 5 h afín de cumplir con los contenidos de la materia.

La metodología empleada será on line, utilizando para ello videoconferencias (zoom, meet u otra similar), apoyada con TIC. Se podrán prever algunas clases presenciales de acuerdo a la situación epidemiológica y las medidas de seguridad requeridas.

XIV - Otros

ELEVACIÓN y APROBACIÓN DE ESTE PROGRAMA

Profesor Responsable

Firma:

Aclaración:

Fecha: