Ministerio de Cultura y Educación **(Programa del año 2022)**
Universidad Nacional de San Luis
Facultad de Ciencias Físico Matemáticas y Naturales
Departamento: Mineria
Area: Mineria

I - Oferta Académica

Materia	Carrera	Plan	Año	Período
FUNDAMENTOS DE GEOESTADISTICAS	ING.EN MINAS	6/15	2022	2° cuatrimestre

II - Equipo Docente

Docente	Función	Cargo	Dedicación
VARGAS, ANTONIO ROLANDO	Prof. Responsable	P.Adj Exc	40 Hs
GIL COSTA, GRACIELA VERONICA	Prof. Colaborador	SEC F EX	10 Hs
BASSAN, JOSE ANTONIO	Prof. Co-Responsable	P.Adj Simp	10 Hs
ROSSI, MARIO EDUARDO	Prof. Co-Responsable	P.Adj Simp	10 Hs

III - Características del Curso

Credito Horario Semanal				
Teórico/Práctico	Teóricas	Prácticas de Aula	Práct. de lab/ camp/ Resid/ PIP, etc.	Total
4 Hs	Hs	Hs	Hs	4 Hs

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

Duración			
Desde	Hasta	Cantidad de Semanas	Cantidad de Horas
08/08/2022	18/11/2022	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 estudiantes 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 Univariables, Multivariables, 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 Multivariables.
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 regular, rindiendo una evaluación general que consiste de los temas evaluados en las dos pruebas.
. Los estudiantes 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 estudiante 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 estudiantes 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] Spiegel, Murray R., Estadística, 2da Edición, McGraw-Hill, 1988

[2] David, M., Geostatistical Ore Reserve Estimation, Elsevier, Amsterdam, 1977.

[3] Davis, J.C., Statistical and Data Analysis in Geology, 2da Edición, John Wiley and Sons, New York, 646p, 1986.

[4] Deutsch, C.V., 2002, Geostatistical Reservoir Modeling, Oxford University Press, New York, 376 p.

[5] Deutsch, C.V., and Journel, A.G., GSLIB: Geostatistical Software Library and User's Guide, Oxford University Press,New York, 340p., con CD-ROM, 1997.

[6] Gentry, D.W., y O'Neil, T.J., Mine Investment Análisis, Society of Mining Engineers, New York, 502p, 1984.

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

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

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

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

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

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

[13] Kennedy, B.A., Editor, Surface Mining, Segunda Edición, Port City Press Inc., Baltimore, 1194p., 1990.

[14] Lane, K.F., The Economic Definition of Ore, Mining Journal Books Ltd., London, 149p., 1988.

[15] Lapin, L.L., Probability and Statistics for Mmodern Engineering, PWS Publ., Boston, 624p, 1983.

[16] Peters, W.C., Exploration and Mining Geology, 2da Edición, John Wiley and Sons, New York, 685p, 1987.

[17] Ripley, B.D., Stochastic Simulation, John Wiley and Sons, New York, 237p, 1987.

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

[19] Tukey, J.W., Exploratory Data Análisis, Addison-Wesley Publ. Co., Reading, Mass., 688p., 1977.

[20] Vogely, W.A., Editor, Economics of the Mineral Industries, 4ta Edición, Society of Mining Engineers, New York, 660p, 1985.

X - Bibliografia Complementaria

[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.

[2] Amos, Q.G., 1998, Resources and Risk – The Lender's View, en "Ore Reserves and Finance: a Joint Seminar between AusIMM and ASX", Sydney, Australia. Junio 15, 1998.

[3] Baker, C.K., and Giacomo, S.M., Resource and Reserves: Their Uses and Abuses by the Equity Markets, en "Ore Reserves and Finance: a Joint Seminar between AusIMM and ASX", Sydney, Australia, Junio 15, 1998.

[4] 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.

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

[6] Davis, B.M., Some Methods of Producing Interval Estimates for Global and Local Resources, Preprint No. 97-5, Pre-print de la Convención Anual del SME, Denver, CO, Febrero 24-27, 1997.

[7] 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.

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

[9] Guibal, D. and Remacre, A., Local Estimation of the Recoverable Reserves: Comparing Various Methods with thReality on a Porphyry Copper Deposi,. Geostatistics for Natural Resources characterization, Part 1: 435-448, 1984.

[10] Isaaks, E. and Davis, B., The Kriging Oxymoron: Conditionally Unbiased and Accurate Prediction, Pre-print de la Convención Anual del SME, Denver, CO, 1999.

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

[12] Journel, A.G., Constrained Interpolation and Qualitative Information, Mathematical Geology, 18(3):269-286, 1986.

[13] Journel, A.G., Non-Parametric Estimation of Spatial Distributions, Mathematical Geology, 15(3):445-468, 1983.

[14] Krige, D.G. y Assibey-Bonsu, W., Limitations in Accepting Repeated Simulations to Measure the Uncertainties in Recoverable Resource Estimates Particularly for Sections of an Ore Deposit, 6to Congreso Internacional de Geoestadística,

Ciudad del Cabo, Sud África, 2000.
[15] Krige, D.G., A Practical Analysis of the Effects of Spatial Structure and Data Available and Used, on Conditional Biases in Ordinary Kriging, 5to Congreso Internacional de Geoestadística, Wollongong, Australia, 1996.
[16] Krige, D.G., Conditional Bias and Uncertainty of Estimation in Geostatistics, Relator Principal, APCOM'99 International Symposium, Colorado School of Mines, Golden, Octubre 1999.
[17] Lerchs, H., y Grossman, L., Optimum Design of Open-Pit Mines, Transactions C.I.M., Vol. LXVIII, 17-24, 1965.
[18] Matheron, G., A Simple Substitute for Conditional Expectation: Disjunctive Kriging, en "Geostat 75", pp. 221-236,1975a.
[19] Matheron, G., Forecasting Block Grade Distributions: The Transfer Functions, en "Geostat 75", pp. 237-251,1975b.
[20] Marcotte, D. and David, M., The Bi-Guassian Approach: A Simple Method for Recovery Estimation, Mathematical Geology, 17(6): 625-644, 1985.
[21] National Instrument 43-101; FORM 43-101F1. Technical Report. Table of Contents. Rules and Policies. Noviembre, 2010.
[22] Parker, H.M., The Volume-Variance Relationship: A Useful Tool for Mine Planning, en Geostatistics (Mousset-Jones, P., ed.), pp.61-91, McGraw Hill, New Cork, 1980.
[23] Parker, H.M., Statistical Treatment of Outlier Data in Epithermal Gold Deposit Reserve Estimation, Mathematical Geology, v23, pp. 125-199, 1991.
[24] Richmond, A.J., Maximum Profitability with Minimum Risk and Effort, 4to Simposio APCOM Regional, Tampere, Finland, 2001.
[25] 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.
[26] Rossi, M.E., Uncertainty and Risk-Models for Decision-Making Processes, 28vo Simposio Internacional sobre Aplicaciones de Computadores a la Industria Minera (APCOM), Golden, Colorado, USA, Octubre, 1999.
[27] Rossi, M.E., Improving on the Estimation of Recoverable Reserves, Mining Engineering, January 2000.
[28] Rossi, M.E., Practical Aspects of Large-Scale Conditional Simulations, 31er Simposio Internacional sobre Aplicaciones de Computadores a la Industria Minera (APCOM), Ciudad del Cabo, Sudáfrica, 2003.
[29] Rossi, M., Geoestadística Aplicada al Cálculo de Recursos y Reservas. Edición 2008. (UNSL-Tabla de libros)
[30] Rossi, M.E., and Alvarado C., S.B., Conditional Simulations Applied to Recoverable Reserves, 27mo Simposio Internacional sobre Aplicaciones de Computadores a la Industria Minera (APCOM), Londres, Inglaterra, Abril 19-23, 1998.
[31] Rossi, M.E., and Camacho V., J., Applications of Geostatistical Conditional Simulations to Assess Resource Classification Schemes, 102da Convención Anual del Instituto Canadiense de Minería, Metalurgia, y Petróleo, (CIM), Quebec City, Canada, Abril 29-Mayo 2, 2001.
[32] 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.
[33] 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.
[34] Rossi, M.E., y Van Brunt, B.H., Optimizing Conditionally Simulated Orebodies with Whittle 4D, Proceedings de la Conferencia "Optimizing with Whittle", Perth, Australia, 8-9 Abril, 1997.
[35] Srivastava, R.M., Minimum Variance or Maximum Profitability, en CIMM, Vol. 80, no. 901, 63-68, 1987.
[36] Sullivan, J., Conditional Recovery Estimation through Probability Kriging: Theory and Practice, en Verly, G. et al.,editores, "Geostatistics for Natural Resources Characterization", pp. 365-384, 1984.
[37] Van Brunt, B.H., and Rossi, M.E., "Mine Planning Under Uncertainty Constraints", Proc. of the Optimising With Whittle '99 Conference, March 22-25, 1999, Perth, Australia.
[38] Verly, G., The MultiGuassian Approach and its Applications to the Estimation of Local Reserves, Mathematical Geology, 15(2):259-286.
[39] Whittle, J., Beyond Optimization in Open Pit Design, Primera Conferencia Canadiense de Aplicación de las Computadoras a las Industrias Mineras, A.A. Balkema, Rotterdam, p.331-337, 1988.
[40] 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.
[41] 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

. 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 Univariables, Multivariables, 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. 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 Multivariables.
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

De ocurrir algún imprevisto, se coordinará con los estudiantes las acciones a llevar a cabo a fin de continuar con el normal dictado de la materia.

XIV - Otros