

Diploma de Postítulo

Geoestadística Aplicada a la Evaluación de Yacimientos

19ª Versión – Formato Online

2024

Xavier Emery

Director Académico
Departamento Ingeniería de Minas
Universidad de Chile

Nadia Mery

Directora Académica
Departamento Ingeniería de Minas
Universidad de Chile



Introducción

El Departamento Ingeniería de Minas de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, ofrece a la comunidad minera el Diploma de Postítulo en **Evaluación Geoestadística de Yacimientos**.

El programa busca ofrecer de manera sistemática una visión acerca de las distintas etapas involucradas en el cálculo de recursos y reservas minerales, incluyendo un análisis crítico del estado del arte en la materia y de las nuevas técnicas de modelamiento existentes, de modo de formar en las y los participantes una base de conocimiento de suficiente profundidad para poder aplicar las metodologías estudiadas y entender nuevas propuestas en el área.

Este programa está dirigido a Geólogos/os, Ingenieras/os de Minas y otras/os profesionales involucradas/os en las distintas etapas de la evaluación de recursos y reservas minerales, que deseen profundizar sus conocimientos en temáticas de modelamiento de yacimientos, muestreo, geoestadística y su aplicación práctica al problema de evaluación de recursos y reservas minerales, categorización y cuantificación de incertidumbre geológica.

Objetivos

El objetivo del programa es entregar a las y los participantes las herramientas teóricas y prácticas avanzadas de evaluación de recursos y reservas minerales, incluyendo aspectos de modelos geológicos de yacimientos, teoría de muestreo y geoestadística aplicada a la evaluación de yacimientos.

Al finalizar el programa, los y las participantes serán capaces de desarrollar un proyecto de evaluación de yacimientos utilizando herramientas avanzadas con una visión de todos los aspectos relevantes del proceso.

Organización del Programa

El Diploma de Postítulo en Evaluación Geoestadística de Yacimientos se divide en 6 cursos de una semana de duración cada uno:

Modelos Geológicos de Yacimientos	40 horas
Geoestadística Aplicada a la Evaluación de Yacimientos	40 horas
Muestreo y Control de Calidad para Evaluación de Yacimientos	40 horas
Simulación Geoestadística de Geología y Leyes	40 horas
Tópicos Especiales de Geoestadística	40 horas
Categorización y Reporte de Recursos y Reservas	40 horas

El programa contempla un total de 320 horas:



- ⇒ 5 cursos intensivos de una semana de duración cada uno, en temas formativos y de actualización de conocimiento.
- ⇒ Dedicación personal entre los cursos, donde se desarrollan las evaluaciones de cada curso y un trabajo individual que debe materializarse en una entrega final en la última unidad del Programa.
- ⇒ Una sesión final de categorización y reporte de recursos y reservas, donde se realizan además las presentaciones finales del trabajo de término (unidad 6).
- ⇒ Se requiere que las y los estudiantes tengan un manejo adecuado del idioma inglés de modo que puedan estudiar el material bibliográfico entregado como parte del contenido de este Diploma.
- ⇒ A la docencia se debe agregar el estudio personal de las y los estudiantes, en periodos de receso del programa, orientado a preparar cada curso.

Calendario 2024

MÓDULO	CURSO	FECHA
1	Modelos Geológicos de Yacimientos	27 al 31 de Mayo
	Geoestadística Aplicada a la Evaluación de Yacimientos	24 al 28 de Junio
2	Muestreo y Control de Calidad para Evaluación de Yacimientos	29 de Julio al 2 de Agosto
	Simulación Geoestadística de Geología y Leyes	23 al 27 de Septiembre
3	Tópicos Especiales de Geoestadística	21 al 25 de Octubre
	Categorización y Reporte de Recursos y Reservas	18 al 22 de Noviembre

Profesores del programa

PROFESORES	TÍTULO, GRADO	UNIVERSIDAD
Xavier Emery	Ing. Matemático, PhD.	Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, Francia
Antoni Magri	Ing. Agrónomo, PhD.	Cornell University, USA
Eduardo Magri	Ing. Civil de Minas, PhD.	University of the Witwatersrand, Sudáfrica
Mohammad Maleki	Ing. Civil de Minas, PhD.	Universidad de Chile
Nadia Mery	Ing. Civil de Minas, PhD	Ecole Polytechnique Montréal, Canadá
Brian Townley	Geólogo, PhD.	Queen's University, Canadá

Requisitos de Admisión y Postulación

El proceso de postulación está abierto y el plazo vence el **15 de marzo de 2024** [\(o antes en caso de completarse los cupos\)](#)

Los cupos son 25 y se ofrecen por estricto orden de inscripción y cumplimiento de requisitos.

Podrán postular al Programa, directo en la página web, quienes cumplan con los siguientes requisitos:



- ⇒ Estar en posesión del Grado de Licenciatura en una disciplina afín al programa. Asimismo, podrán postular quienes posean un título profesional cuyo nivel, contenido y duración de estudios correspondan a una formación equivalente a la del grado de Licenciatura de la Universidad de Chile. Este deberá acreditarse mediante fotocopia notarial del certificado correspondiente.
- ⇒ Enviar currículum vitae resumido.
- ⇒ Formulario de postulación: <https://forms.gle/quPHso1o6aZ51Zyi9>

Cada postulación será resuelta por los Directores Académicos del Programa quienes decidirán la aceptación o rechazo a su admisión, según los antecedentes presentados.

Formato de Clases

Online - Plataforma ZOOM (clases no grabadas)

Para cursar el **Diploma de Postítulo en Evaluación Geoestadística de Yacimientos**, se considera que cada estudiante dedique exclusividad a los horarios de clases, para así lograr el buen rendimiento y aprendizaje en cada curso. En caso contrario si el/la estudiante trabaja simultáneamente cuando se dictan las clases, será de exclusiva responsabilidad de cada uno/a su rendimiento y cumplir con las evaluaciones en los tiempos establecidos por cada curso y la Coordinación Académica del programa. No podrá ser justificación su turno de trabajo de las inasistencias o el no rendimiento de las evaluaciones.

Horario

Lunes a Viernes de 9:00 a 13:00 - 14:00 a 18:00 horas (Chile)

Evaluaciones

Cada uno de los cursos del programa se evaluarán por separado mediante controles, lecturas, presentaciones, informes y/o examen. Una vez finalizado el curso, cada docente informará los plazos de desarrollo/entrega de la evaluación.

- ⇒ La nota mínima de aprobación es 4.0; escala de 1.0 a 7.0.
- ⇒ Cada curso deberá contar con 85% de asistencia mínima.

Para completar el programa cada estudiante debe realizar un proyecto personal (caso estudio) cuyo objetivo es realizar un estudio geoestadístico avanzado con datos reales. Este proyecto se desarrolla a lo largo del programa y considera diferentes entregables parciales para evaluar el nivel de avance. La nota mínima de aprobación es 4.0 en escala de 1.0 a 7.0.

Valor y forma de pago

El costo del Programa es de **CLP 6.270.000 – USD 6.967**

La forma de pago dependerá si es financiado de manera personal o patrocinado por su empresa.

- ⇒ Todo/a postulante al ser aceptado/a deberá cancelar una inscripción de **CLP 500.000 / USD545** para asegurar su cupo en el Programa; este monto está incluido en el total del programa.
- ⇒ El valor del programa en dólares podrá variar dependiendo el tipo de cambio publicado por la U. de Chile en el momento de facturación. Se considera t/c \$ 900. El valor final se ratificará al momento del pago.
- ⇒ En caso de financiamiento personal (Chile y extranjeros):
 - El pago se realiza antes del inicio de cada módulo.
- ⇒ Si es financiado por empresas chilenas: deberán enviar O.C. a más tardar el 28 de marzo de 2024. La empresa patrocinadora deberá hacer llegar la información respectiva de pago (transferencia bancaria, depósito o vale vista).
- ⇒ La forma de pago para todos las y los estudiantes es Webpay. Este pago se realiza antes del inicio de cada curso y es responsabilidad de cada uno/a enviar los comprobantes de pagos.
- ⇒ Antes del 18 de noviembre de 2024 el Programa deberá estar pagado en su totalidad.
- ⇒ En caso de pagar la inscripción y luego desistir de realizar el programa, se podrá solicitar la devolución del valor, pero considerará el descuentos de overhead del 34% por parte de la Universidad de Chile.

Certificado

A la aprobación de todos los requisitos del programa, cada estudiante recibirá un **Diploma de Postítulo en Evaluación Geoestadística de Yacimientos**, emitido por la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile.

Sede

Universidad de Chile
Departamento Ingeniería de Minas
Beauchef 850 Santiago
Chile
diploma@minas.uchile.cl

www.minas.uchile.cl

Contacto

Ingrid Thiele - Verónica Möller
diploma@minas.uchile.cl
www.minas.uchile.cl

Nota: los organizadores se reservan el derecho a cancelar el Diploma, si los/as inscritos/as no se ajustan a un número mínimo necesario y/o por motivos de fuerza mayor.



Anexo

Programa Académico

Diploma

Evaluación Geoestadística de Yacimientos



CURSO: Modelos Geológicos de Yacimientos

OBJETIVO

El propósito del curso es entregar a las y los participantes los conocimientos y herramientas (competencias) necesarias para reconocer, clasificar e interpretar los tipos y estilos de alteración y mineralización hidrotermal y la paragénesis de estos. Además aprenderán a interpretar ambientes de formación, para evaluar los impactos físicos y químicos aplicados, tanto a exploraciones mineras como al modelamiento geológico y geometalúrgico de yacimientos minerales. Finalmente los/as participantes adquirirán una base crítica para entender y aplicar lo que observan directamente en terreno, en superficie o sondaje, y a partir de ello, ser capaz de evaluar aspectos relevantes a modelar, ya sea para exploraciones o producción.

CONTENIDOS

Introducción

- ⇒ Conceptos y definiciones
- ⇒ El negocio minero

Hidrotermalismo

- ⇒ Fuente de fluidos hidrotermales
- ⇒ Alteración hidrotermal
- ⇒ Estabilidad de sulfuros
- ⇒ Procesos de alteración y Mineralización hidrotermal

Modelos de Depósitos

- ⇒ Modelos de depósitos-introducción
- ⇒ Yacimientos de tipo pórfido cuprífero
- ⇒ Yacimientos del tipo skarn
- ⇒ Yacimientos del tipo epitermal de metales preciosos
- ⇒ Yacimientos del tipo estrato ligado de Cu
- ⇒ Yacimientos del tipo óxido Fe-Cu-Au y óxido Fe-P
- ⇒ Otros tipos de yacimientos minerales

En las presentaciones se muestran ejemplos fotográficos de sitios y muestras, de tal forma de ilustrar los conceptos con casos reales. Además, se incorporará discusión y ejemplos de aplicación de conocimiento.

CURSO: Geoestadística Aplicada a la Evaluación de Yacimientos

OBJETIVOS

El objetivo del curso es entregar herramientas necesarias para conocer los principales métodos geoestadísticos y sus aplicaciones a la industria minera, en especial, en lo que se refiere a la evaluación de los recursos y reservas minerales a partir de una toma de muestras. Los conceptos estarán ilustrados con aplicaciones prácticas a ejemplos reales.

Al finalizar la actividad, los y las participantes estarán en condiciones de manejar y analizar una base de datos regionalizados, modelar su comportamiento espacial y llevar a cabo la estimación de recursos o reservas minerales, tanto a nivel global como local.

CONTENIDOS

Conceptos Básicos de Evaluación de Yacimientos y Geoestadística

- ⇒ Introducción
- ⇒ Objetivos y aplicaciones de la geoestadística
- ⇒ Nociones fundamentales
- ⇒ El modelo geoestadístico

Estudio Exploratorio de Datos Regionalizados

- ⇒ Validaciones preliminares
- ⇒ Herramientas exploratorias: univariadas, bivariadas, multivariadas, espaciales
- ⇒ Representatividad de los datos; desagrupamiento
- ⇒ Compósitos
- ⇒ Definición de unidades geológicas; análisis de contacto

Análisis Variográfico

- ⇒ El variograma experimental
- ⇒ Definición y propiedades de un variograma teórico
- ⇒ Modelos básicos de variograma y modelos anidados
- ⇒ El efecto pepita
- ⇒ Modelamiento de anisotropías
- ⇒ Recomendaciones prácticas
- ⇒ Validación cruzada

Estimación de Recursos y Reservas

- ⇒ Construcción del kriging, Plan de kriging y Propiedades del kriging
- ⇒ Variantes del kriging; kriging de bloques
- ⇒ Elementos sobre categorización de recursos y reservas
- ⇒ Elementos sobre simulación geoestadística.

CURSO: Muestreo y Control de Calidad para Evaluación de Yacimientos

OBJETIVOS

El objetivo del curso es entregar a las y los participantes conceptos teóricos y prácticos de muestreo y control de calidad. Se explorarán múltiples aplicaciones de estos conceptos en los diversos procesos de una operación minera, por ejemplo, al estudiar la heterogeneidad de diferentes sectores, evaluar y optimizar protocolos de toma y preparación de muestras de pozos de tronadura y de sondajes de exploración, en el muestreo en las plantas de concentración y el muestreo de los productos finales.

Los conceptos y criterios prácticos se expondrán en detalle a través de presentaciones y en ejercicios prácticos que las y los participantes deberán desarrollar usando datos reales.

Temas asociados, tales como buenas prácticas y auditorías, certificaciones de laboratorios, etc. también forman parte del curso, con el objetivo de desarrollar en las y los participantes un conjunto de criterios esenciales para poder evaluar el desempeño de las actividades que respaldan los datos de estimación de recursos minerales, de explotación del yacimiento y de la operación de los procesos de recuperación.

Al finalizar el curso, las y los participantes estarán en condiciones de aplicar herramientas estadísticas para cuantificar y mejorar la calidad de la información proveniente de muestras y evaluar críticamente el control de calidad asociado.

CONTENIDOS

- ⇒ Definiciones
- ⇒ Tipos de errores
- ⇒ Equipos de toma y preparación de muestras
- ⇒ Error fundamental
- ⇒ Método paramétrico
- ⇒ Tests de heterogeneidad
- ⇒ Desarrollo de protocolos de toma y preparación de muestras
- ⇒ Diseño de estaciones/torres de muestreo
- ⇒ Muestreo de distribución granulométrica
- ⇒ Error de agrupamiento y segregación
- ⇒ Error de delimitación
- ⇒ Error de extracción
- ⇒ Error de preparación
- ⇒ Control de calidad
- ⇒ Tratamiento de resultados para duplicados
- ⇒ Tratamiento de resultados para estándares
- ⇒ Error de análisis: Test de Ingamells
- ⇒ Principios de la Cronoestadística
- ⇒ Mediciones de densidad
- ⇒ Certificaciones de laboratorios

- ⇒ Tipos especiales de muestreo
- ⇒ Auditorías
- ⇒ Códigos y buenas prácticas.

CURSO: Simulación Geoestadística de Geología y Leyes

OBJETIVOS

El objetivo del curso es entregar a las y los participantes la teoría y práctica de la simulación geoestadística, para aplicaciones en minería.

La actividad cubrirá las herramientas típicamente utilizadas en el desarrollo de una evaluación de recursos o reservas minerales, de manera de poder incorporar la incertidumbre en la definición de los tipos de roca y de las leyes. En conjunto pondrán en práctica los conceptos en detalle, a través de casos de estudio y aplicaciones prácticas desarrolladas por las y los participantes con datos reales.

Al finalizar el curso, los y las participantes estarán en condiciones de aplicar herramientas de simulación geoestadística, para la evaluación de recursos y reservas minerales, considerando la incertidumbre geológica.

CONTENIDOS

Modelamiento de Incertidumbre Geológica

- ⇒ Introducción
- ⇒ Repasos de técnicas de análisis variográfico y predicción espacial
- ⇒ Modelamiento de incertidumbre local; ejemplo del modelo multi-Gaussiano
- ⇒ Modelamiento de incertidumbre espacial

Modelos y Algoritmos de Simulación Geoestadística

- ⇒ Simulación multi-Gaussiana para variables continuas (leyes)
- ⇒ Simulación plurigaussiana para variables categóricas (tipos de roca)
- ⇒ Validación de las simulaciones
- ⇒ Post-proceso de las simulaciones

Aplicaciones y Casos de Estudio



CURSO: Tópicos Especiales de Geoestadística

OBJETIVOS

El objetivo del curso es entregar a las y los participantes los conocimientos y aplicaciones para profundizar los principales métodos geoestadísticos y sus aplicaciones a la industria minera, en especial en lo que se refiere a la evaluación de los recursos y reservas minerales a partir de una toma de muestras. Los conceptos estarán ilustrados con aplicaciones prácticas a ejemplos reales.

Al finalizar el curso, las y los participantes conocerán métodos para el cálculo de recursos y reservas recuperables, manejo de conjuntos de datos multivariados y aplicaciones avanzadas de herramientas geoestadísticas.

CONTENIDOS

Geoestadística Multivariable

- ⇒ Introducción
- ⇒ Análisis de datos multivariados
- ⇒ Variogramas directos y cruzados
- ⇒ Cokriging
- ⇒ Cosimulación
- ⇒ Aplicaciones

Evaluación de Recursos Recuperables

- ⇒ Curvas de selectividad
- ⇒ Evaluación global de recursos recuperables
- ⇒ Evaluación local de recursos recuperables

Casos de Estudio

- ⇒ Exposición de casos de estudio en modelamiento geoestadístico, evaluación de recursos minerales, cuantificación de incertidumbre geológica, planificación minera, geotecnia y geometalurgia
- ⇒ Desarrollo práctico de un caso de estudio.

CURSO: Categorización y Reporte de Recursos y Reservas

OBJETIVOS

El objetivo es entregar a las y los participantes es conocer los códigos, conceptos básicos y metodologías prácticas para categorizar y reportar recursos y reservas minerales.

Esta unidad considera también las presentaciones de parte de las y los estudiantes de sus trabajos finales (miércoles, jueves y/o viernes las y los estudiantes harán sus presentaciones finales de su trabajo personal).

CONTENIDOS

- ⇒ Introducción
- ⇒ Códigos internacionales de reporte de recursos y reservas
- ⇒ Principios de categorización y caso de estudio
- ⇒ Metodologías de categorización
- ⇒ Lectura de códigos internacionales y artículos técnicos
- ⇒ Presentaciones de expertos de la industria sobre categorización y reporte de recursos y reservas
- ⇒ Presentaciones finales de trabajos individuales.

Nota: Para el desarrollo de su Proyecto Personal (caso de estudio), se recomienda contar con datos que permitan realizar una estimación de recursos minerales. Para esto, se recomienda que los datos tengan información de control de calidad, geología, geoquímica u otras propiedades geo referenciadas.

