

Diploma de Postítulo

Modelamiento Avanzado en Minería y Metalurgia

1ª Versión

2024 - 2025

Modalidad Online

Nadia Mery

Directora Académica

Departamento de Ingeniería de Minas

Universidad de Chile

8^o LUGAR
RANKING
QS 2023

Introducción

El Departamento de Ingeniería de Minas de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, ofrece el Diploma de Postítulo en [Modelamiento Avanzado en Minería y Metalurgia](#).

El Diploma en Modelamiento Avanzado en Minería y Metalurgia tiene como objetivo introducir a las y los profesionales y tomadores de decisiones en innovación, minería digital y distintas áreas técnicas de la Industria Minera y Metalúrgica en los aspectos fundamentales de análisis y modelamiento necesarios para la generación de aplicaciones predictivas, que consideran la incertidumbre y que ayudan a la toma de decisiones, en base a información abundante y diversa.

El público objetivo del programa son las y los profesionales que trabajan en compañías mineras, en compañías proveedoras de la minería y consultoras especializadas, que desean tener una visión más profunda y práctica respecto de las técnicas y conceptos relacionados con las herramientas de modelamiento avanzado, para mejorar la toma de decisiones en distintos niveles de la cadena productiva minera.

Los módulos están diseñados para entregar conocimientos, aplicaciones y elementos avanzados, en los tópicos que se imparten, de manera tal de alcanzar un público con distintos niveles de formación básica en áreas de la ingeniería, geología y afines relacionados con la actividad minera y metalúrgica.

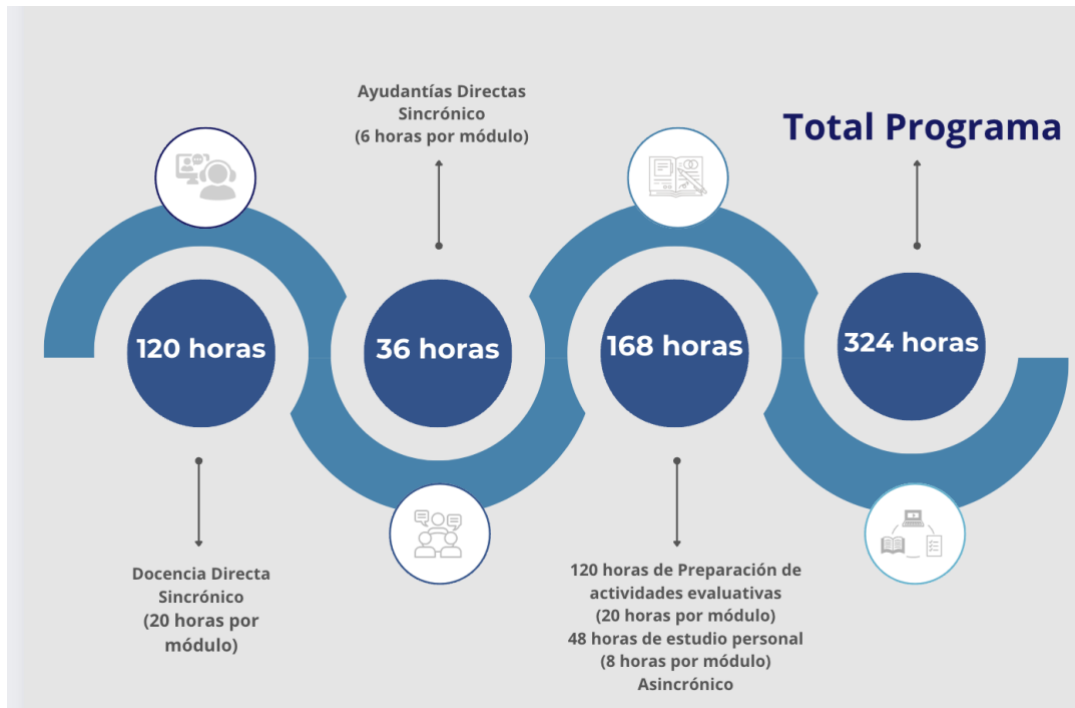
El programa está dirigido a personas poseedoras de un grado académico de licenciatura y/o título profesional, preferentemente en las áreas de ingeniería de minas, metalurgia, química, ambiental y civil, así como geología, u otras carreras profesionales afines al rubro minero.

El Diploma no requiere conocimientos avanzados en programación, debido a que se facilitarán herramientas preparadas para la experimentación y aplicación directa, con técnicas algorítmicas y de modelamiento avanzado, de manera que el foco esté en el análisis de los resultados.

Organización del Programa

Matemática y Estadística fundamental para el Modelamiento	20 horas
Elementos de aprendizaje estadístico y de máquinas para el modelamiento minero y metalurgia	20 horas
Modelamiento de incertidumbre y toma de decisiones en geociencias, minería y metalurgia	20 horas
Analítica Avanzada de procesos mineros y metalúrgicos	20 horas
Modelos y procesamiento de imágenes en minería y metalurgia	20 horas
Modelamiento espacial de recursos minerales y fusión sensorial en exploración minera	20 horas

Total de Horas



Nota: Se considera a la docencia directa (120 horas), 36 horas de ayudantía que se realizarán los 2 miércoles siguientes (asistencia no obligatoria) concluido cada módulo, con el propósito de apoyar el trabajo de proyecto que deberán desarrollar.

Calendario 2024 - 2025

Módulo	Fechas	Ayudantías
Matemática y estadística fundamental para el modelamiento en minería y metalurgia	15 al 19 de julio	24 y 31 de julio
Elementos de aprendizaje estadístico y de máquinas para el modelamiento en minería y metalurgia	19 al 23 de agosto	28 de agosto y 4 de septiembre
Modelamiento de incertidumbre y toma de decisiones en geociencias, minería y metalurgia	7 al 11 de octubre	16 y 23 de octubre
Analítica Avanzada de procesos mineros y metalúrgicos	18 al 22 de noviembre	27 de noviembre y 4 de diciembre
Modelos y procesamiento de imágenes en minería y metalurgia	13 al 17 de enero, 2025	23 y 29 de enero, 2025
Modelamiento espacial de recursos minerales y fusión sensorial en exploración minera	9 al 14 de marzo, 2025	19 y 26 de marzo, 2025

Profesores/as del Programa

Docentes	Formación Académica
Gonzalo Díaz	Ph.D. en Ingeniería de Minas. U. de Chile
Álvaro Egaña	Ph.D© en Tecnología y Modelización en Ingeniería Civil, Minera y Ambiental, Universidad Politécnica de Cartagena. I. Civil en Computación. U. de Chile
Alejandro Ehrenfeld	Ingeniero Civil Eléctrico. U. de Chile
Xavier Emery	Doctor, Ecole des Mines de Paris. Francia
Felipe Garrido	Magíster en Ciencias mención Computación, I. Civil en Computación. U. de Chile
Pía Lois	Ph.D. en Procesamiento de Minerales, The University of Queensland. Australia
Nadia Mery	Ph.D. in Mineral Engineering, Ecole Polytechnique Montreal. Canadá
Felipe Navarro	Ph.D© en Tecnología y Modelización en Ingeniería Civil, Minera y Ambiental, Universidad Politécnica de Cartagena. Magíster en Computación. U. de Santiago, Chile
Fabián Soto	Magíster en Minería, I. Civil en Computación. U. de Chile
Marcia Ojeda	Magíster en Geología, Geóloga. U. de Chile
Brian Townley	Doctor, University of Queens. Canadá

Nota: Ante la eventualidad del retiro de algún docente, el Programa se compromete a encontrar un reemplazante idóneo.

Requisitos de Admisión y Postulación

El proceso de postulación está abierto y el plazo vence el **31 de mayo de 2024**.
Los cupos son 20 y se ofrecen por estricto orden de inscripción y cumplimiento de requisitos.

Podrán postular al programa quienes cumplan con los siguientes requisitos:



- ⇒ Estar en posesión del Grado de Licenciado/a 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 Licenciado/a de la Universidad de Chile.
- ⇒ Enviar currículum vitae resumido.
- ⇒ Formulario de postulación: <https://forms.gle/AtiGmQtddeytqpYt5>

Formato de Clases

Las clases se dictan online (streaming) a través de la plataforma educativa ZOOM.

Para cursar el **Diploma de Postítulo en Modelamiento Avanzado en Minería y Metalurgia**, 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 docente y la coordinación académica del programa. No podrá ser justificación su turno de trabajo de las inasistencias o la entrega de las evaluaciones.

Horario

Las clases se realizarán de lunes a viernes en las fechas indicadas, en horario de 17:00 a 21:00 horas de Chile.

Adicionalmente se consideran 6 horas de ayudantías para el desarrollo del proyecto del módulo los dos miércoles siguientes a la fecha indicada en cada módulo de 17:00 a 20:00 horas de Chile. Cada clase y ayudantía (sincrónica) será grabada.

Evaluación

Cada uno de los seis módulos del programa, se evaluará de manera individual mediante:

1. La entrega de reportes y/o códigos de Python de proyectos de aplicación (65%)
2. Test para evaluar contenidos teóricos (35%)

- ⇒ La estructura evaluativa podría cambiar según lo determine el Comité Académico del Programa.
- ⇒ La nota mínima de aprobación es 4.0 en escala de 1.0 a 7.0.
- ⇒ La nota final se determina como el promedio simple de las notas de cada uno de los módulos cursados.
- ⇒ Cada curso deberá contar con un mínimo de 85% de asistencia.

Valores y forma de pago

El costo del Programa son CLP **4.990.000** – USD **5.252**.

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

- ⇒ Todo/a postulante al ser aceptado/a deberá cancelar una inscripción de **CLP 500.000 - 550 dólares** para asegurar su cupo en el Programa. Este monto es incluido en el valor total del programa.
- ⇒ El valor en dólares podrá variar dependiendo el tipo de cambio publicado por la U. de Chile en el momento de facturación. Se considera t/c \$ 950, el valor final se ratificará al momento de la facturación.
- ⇒ 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 Orden de Compra (OC) a más tardar el 15 de junio de 2024. La empresa patrocinadora, deberá hacer llegar la información respectiva de pago (transferencia bancaria, depósito o vale vista).
- ⇒ La forma de pago es a través de webpay.
- ⇒ Antes del 10 de marzo de 2025, deberá estar pagado completamente el programa.
- ⇒ En caso de pagar la inscripción y luego desistir de realizar el programa, se podrá solicitar la devolución del valor, pero descontando el monto de overhead del 35% por parte de la Universidad de Chile.

Certificado

A la aprobación de todos los requisitos del programa, el/la estudiante recibirá un Diploma de Postítulo en Modelamiento Avanzado en Minería y Metalurgia, emitido por la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile.

Sede y Contacto

Universidad de Chile
Departamento Ingeniería de Minas
Beauchef 850 Santiago Centro
Chile

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

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

Anexo

Programa Académico

Diploma

Modelamiento Avanzado en Minería y Metalurgia



Módulo 1: Matemática y estadística fundamental para el modelamiento en minería y metalurgia

Objetivos y descripción general

El propósito es que cada estudiante comprenda los fundamentos matemáticos y la base estadística que se utiliza en el modelamiento avanzado de procesos minero-metalúrgicos. Se espera que se utilicen las diferentes herramientas matemáticas y estadísticas enmarcadas en el modelamiento y que se comprendan sus alcances, limitaciones y supuestos.

El curso incluye una importante componente de trabajo práctico por medio de herramientas especialmente preparadas por las y los investigadores del Laboratorio ALGES, en formato de Notebooks Jupyter de Python, mediante las cuales será posible experimentar, entender y aplicar los diferentes fundamentos matemáticos y estadísticos considerados en el módulo.

Contenidos

- 1. Fundamentos del modelamiento**
 - a. Necesidad del modelamiento
 - b. Introducción a las bases de datos
 - c. Ética en el modelamiento
- 2. Fundamentos de probabilidades y estadísticas**
 - a. Conceptos básicos y definiciones
 - b. Distribuciones de probabilidad
 - c. Tipos de distribuciones: discretas y continuas
 - d. Estadística descriptiva
- 3. Estadística aplicada**
 - a. Inferencia estadística
 - i. Inferencia Bayesiana
 - ii. Intervalos de confianza
 - b. Pruebas de hipótesis
 - i. Test de ajustes
 - ii. Test de independencia
 - iii. Test de outliers
 - c. Estadística comparativa
 - i. Test de Student
 - ii. Test de Fisher
 - iii. Test de ANOVA
- 4. Introducción a las herramientas computacionales para el modelamiento avanzado**
 - a. Fundamentos de Python
 - i. Números, strings, listas, diccionarios, tuplas, sets, booleanos
 - ii. Iteraciones
 - iii. Operadores
 - iv. Listas
 - v. Funciones
 - vi. Módulos y librerías
 - b. Obtención y preparación de datos en Python
 - i. Numpy arrays
 - ii. Pandas
 - iii. Dataframes
 - iv. Lectura de archivos
 - c. Análisis exploratorio y estadístico de datos en Python
 - i. Visualización
 - ii. Herramientas estadísticas: heatmaps, boxplots, histogramas, violín plots, etc.



Módulo 2: Elementos de aprendizaje estadístico y de máquinas para el modelamiento en minería y metalurgia

Objetivos y descripción general

- ⇒ Comprender los fundamentos del aprendizaje de máquinas en el contexto del modelamiento avanzado de procesos minero-metalúrgicos.
- ⇒ Utilizar, analizar e interpretar las herramientas asociadas al aprendizaje de máquinas.
- ⇒ Identificar los algoritmos que pueden responder a un determinado problema
- ⇒ Explicar los pasos críticos y las consideraciones que se requieren en su implementación.

El curso incluye una importante componente de trabajo práctico, por medio de herramientas especialmente preparadas por las y los investigadores del Laboratorio ALGES, en formato de Notebooks Jupyter de Python, mediante las cuales será posible experimentar y entender los diferentes modelos y algoritmos considerados en el módulo.

Contenidos

1. Datos

- a. Tipos de datos
- b. Calidad de datos
 - i. Representatividad y confiabilidad
 - ii. Errores típicos y preprocesamiento

2. Fundamentos del aprendizaje de máquinas

- a. Necesidad del aprendizaje de máquinas
- b. Tipos de modelos de aprendizaje
- c. Aplicaciones del aprendizaje de máquinas en contexto minero-metalúrgico

3. Aprendizaje supervisado

- a. Fundamentos del aprendizaje supervisado
- b. Regresión y clasificación
- c. Métricas de evaluación de desempeño
- d. Técnicas de regresión
- e. Técnicas de clasificación

4. Aprendizaje no supervisado

- a. Fundamentos del aprendizaje no supervisado
- b. Clustering
 - i. Tipos de clústers
 - ii. Técnicas de clustering
 - iii. Métricas de validación
- c. Reducción de dimensionalidad
 - i. Técnicas de selección de variables
 - ii. Análisis de Componentes Principales

5. Herramientas computacionales para el aprendizaje de máquinas

- a. Trabajo con aplicaciones preparadas en Python para utilizar bases de datos y diferentes métodos de aprendizaje supervisado
- b. Trabajo con aplicaciones preparadas en Python para utilizar bases de datos y diferentes métodos de aprendizaje no supervisado
- c. Análisis de resultados obtenidos

Módulo 3:

Modelamiento de incertidumbre y toma de decisiones en geociencias, minería y metalurgia

Objetivos y descripción general

Comprender los conceptos básicos asociados al modelamiento de la incertidumbre, orientado a la toma de decisiones en procesos minero-metalúrgicos y utilizar los modelos de simulación (generativos) y las distintas herramientas disponibles para el análisis e interpretación de problemas donde se deben tomar decisiones bajo incertidumbre.

El curso incluye una importante componente de trabajo práctico, por medio de herramientas especialmente preparadas por los investigadores del Laboratorio ALGES, en formato de Notebooks Jupyter de Python, mediante las cuales será posible experimentar y entender los diferentes modelos y algoritmos considerados en el módulo.

Contenidos

1) Modelos de simulación

- a. Simulaciones de Montecarlo y su análisis
 - i. Incertidumbre v/s variabilidad
 - ii. Medidas de incertidumbre
 - iii. Funciones de pérdida
 - iv. Precisión

2) Modelos de probabilidad

- a. Grados de creencia y probabilidad
- b. Teorema de Bayes
- c. Representación en redes bayesianas
 - i. Variables observadas y no observadas
 - ii. Independencia condicional
- d. Inferencia en redes bayesianas
 - i. Aprendizaje de parámetros
 - ii. Aprendizaje estructural

3) Decisiones bajo incertidumbre

- a. Teoría de utilidad y riesgo
 - i. Restricciones en elecciones racionales
 - ii. Funciones de utilidad
 - iii. Principio de máxima utilidad esperada
 - iv. Irracionalidad
- b. Redes de decisión

4) Ejercicios prácticos con herramientas computacionales para el modelamiento de incertidumbre

- a. Ejemplos de simulaciones de Montecarlo
- b. Comparación entre estimaciones y simulaciones
- c. Codificación y extracción de conocimiento de una base de datos

Módulo 4:

Analítica Avanzada de procesos mineros y metalúrgicos

Objetivos y descripción general

Comprender los aspectos relevantes de un proyecto aplicado de modelamiento en sistemas y procesos mineros y metalúrgicos, e identificar los aspectos relevantes a tener en cuenta en un proyecto de sensorización virtual o de creación de gemelos digitales en distintos escenarios operativos.

El curso incluye una importante componente de trabajo práctico, por medio de herramientas especialmente preparadas por los investigadores del Laboratorio ALGES, en formato de Notebooks Jupyter de Python, mediante las cuales será posible experimentar y entender los diferentes modelos y algoritmos considerados. Se hará uso de diferentes técnicas de análisis y modelación de datos asociados a series de tiempo, por ejemplo: sensores, registros de datos secuenciales.

Algunas tecnologías, modelos y datos a considerar:

- ⇒ Análisis de datos sensoriales provenientes de equipos de transporte, chancado, molienda o flotación.
- ⇒ Modelos predictivos aplicados en el contexto minero o metalúrgico.
- ⇒ Mención a gemelos digitales y sensores virtuales de equipos y/o sistemas.

Contenidos

- 1. Consideraciones en un proyecto de Analítica Avanzada**
 - a. Contexto del problema (ej. soporte utilizado, variables disponibles, quién va a utilizar / consultar este modelo)
 - b. Tipo de modelación utilizada (en base a datos, empírica, fenomenológica, mezcla de modelos)
 - c. Formas de entregar los resultados (gráfica, métrica, sistema recomendador)
 - d. Procesamiento y limpieza de datos
- 2. Series de tiempo**
 - a. Características comúnmente consideradas
 - b. Análisis exploratorio (univariable y multivariable)
 - c. Suavizado y soporte temporal
- 3. Modelamiento de series de tiempo basados en datos**
 - a. Modelos autorregresivos
 - b. Modelos ML
 - c. Métricas utilizadas y técnicas de validación
- 4. Modelos gráficos probabilísticos**
 - a. Introducción
 - b. Causalidad
 - c. Formas de relación e independencia entre variables
- 5. Trabajo con herramientas computacionales diseñadas en el contexto del curso para demostración de aspectos fundamentales de la analítica avanzada**
 - a. Análisis exploratorio de una base de datos temporal
 - b. Aplicación de modelos a una serie de tiempo
 - c. Aplicación de modelos gráficos probabilísticos

Módulo 5

Modelos y procesamiento de imágenes en minería y metalurgia

Objetivos y descripción general

El curso incluye una importante componente de trabajo práctico, por medio de herramientas especialmente preparadas por los investigadores del Laboratorio ALGES, en formato de Notebooks Jupyter de Python, mediante las cuales será posible experimentar y entender los diferentes modelos y algoritmos considerados.

El propósito es que cada estudiante comprenda los fundamentos del procesamiento de imágenes y de datos espectroscópicos, en el contexto de su uso como herramientas de caracterización para el modelamiento de procesos minero-metalúrgicos.

Se Considera el uso de técnicas computacionales para trabajar con imágenes digitales en conjunto con modelos que responden a necesidades específicas. A través de estudio de casos y conocimiento de algunas de las herramientas existentes y desarrolladas especialmente para el curso, se busca que las y los estudiantes puedan analizar los resultados obtenidos, además de comprender los pasos críticos de las metodologías empleadas y las consideraciones que se requieren para su implementación y aplicación.

Tecnologías, modelos y datos a considerar:

- ⇒ Modelos de Deep Learning para trabajar con imágenes.
- ⇒ Bases de datos de imágenes digitales y su uso para clasificación de variables geológicas o metalúrgicas.
- ⇒ Imágenes hiperespectrales tomadas sobre muestras minerales y su uso para clasificación de variables geológicas y mineralógicas.

Contenidos:

1) Imágenes digitales

- a. Tipos de imágenes
- b. Imágenes en el espectro visible y espacios de colores
- c. Imágenes como matrices

2) Procesamiento de imágenes digitales

- a. Histograma
- b. Operaciones de suavizamiento y detección de bordes
- c. Extracción de características de alto nivel

3) Redes neuronales y aplicaciones a imágenes

- a. Componentes de una red neuronal
- b. Funciones de pérdida
- c. Entrenamiento y predicción
- d. Arquitecturas comunes de redes neuronales

4) Tipos de modelos utilizados con imágenes

- a. Clasificación de imágenes
- b. Segmentación de imágenes

5) Trabajo con herramientas computacionales disponibles y especialmente preparadas para procesamiento de imágenes en el curso

- a. Lectura y estudio exploratorio de un conjunto de imágenes
- b. Utilización de transformadas y extracción de características
- c. Aplicación de modelos en imágenes digitales

Módulo 6

Modelamiento espacial de recursos minerales y fusión sensorial en exploración minera

Objetivos y descripción general

Analizar la naturaleza de los diferentes datos geospaciales para desarrollar su criterio en el uso de datos asociados a proyectos de exploración minera y estimación geoestadística de yacimientos.

Se pretende que experimenten con la lectura y preprocesamiento de datos geospaciales diversos, y con transformaciones de acuerdo con los tipos de datos, para aplicar modelos de inteligencia artificial, sobre variables de respuesta particulares para generar mapas de probabilidad u otras salidas útiles para la toma de decisiones o generación de recomendaciones.

El curso incluye una importante componente de trabajo práctico, por medio de herramientas especialmente preparadas por los investigadores del Laboratorio ALGES, en formato de Notebooks Jupyter de Python, mediante las cuales será posible experimentar y entender la parametría.

Algunas tecnologías, modelos y datos a considerar:

- ⇒ Interpolación espacial no lineal sin variograma con *Ensamble Spatial Interpolation - ESI*
- ⇒ Fusión sensorial mediante regresión sobre datos espaciales 2D
- ⇒ Cálculo de gradientes, distancias y filtros de imágenes sobre capas geospaciales

Contenidos:

1) Procesamiento de datos diversos:

- a. Datos espaciales diversos - distintas fuentes
- b. Escala o soporte de los datos
- c. Categorización de datos geospaciales
 - i. Raster/Vectorial
 - ii. Numérico/categorico
 - iii. Distribución espacial de los datos (Grillados o dispersos)

2) Unificación de escala o soporte de la información

- a. Definición de grilla
- b. Distancia a POI
- c. Interpolación de los datos
- d. Indicadores de categorías (dummies)
- e. Cálculo de nuevas variables a partir de las originales
- f. Variable de interés

3) Generación de mapas de probabilidad:

- a. Regresión logística y áreas de interés diversas
- b. Métricas de comparación estadísticas y mapas de similitud
- c. Formas de integrar la información en un único mapa resultante
- d. Modelos espaciales 2D y 3D

4) Herramientas computacionales para el modelamiento espacial y fusión sensorial

- a. Categorización y preprocesamiento de datos
- b. Generación de áreas de interés
- c. Aplicación de modelo general e interpretación

Diploma de Postítulo

Modelamiento Avanzado en Minería y Metalurgia

1ª Versión

2024 - 2025

Modalidad Online

Nadia Mery

Directora Académica

Departamento Ingeniería de Minas

Universidad de Chile

8^º LUGAR
RANKING
QS 2023

