

## PROGRAMA DE CURSO EVALUACIÓN DE YACIMIENTOS

### A. Antecedentes generales del curso:

Departamento	Minas (DIMIN)					
Nombre del curso	Evaluación de yacimientos	Código	MI4240	Créditos	6	
Nombre del curso en inglés	<i>Mineral deposit evaluation</i>					
Horas semanales	Docencia	3	Auxiliares	1,5	Trabajo personal	5,5
Carácter del curso	Obligatorio	X		Electivo		
Requisitos	MI3210: Introducción a yacimientos minerales, MI4040: Análisis estadístico y geoestadístico de datos					

### B. Propósito del curso:

El curso Evaluación de yacimientos, tiene como propósito que los y las estudiantes determinen la cantidad, calidad y ubicación espacial de recursos minerales de un yacimiento. Para ello, los y las estudiantes analiza técnicas y resultados de muestreo, pruebas industriales metalúrgicas e interpretación geológica, relacionando diferentes aspectos geo-minero-metalúrgicos a fin de determinar un procedimiento asociado a la estimación de recursos de un yacimiento minero.

Los y las estudiantes podrán interpretar, estimar y categorizar recursos minerales, mediante el análisis de bases de datos mineros.

El curso tributa a las siguientes competencias específicas (CE) y genéricas (CG):

CE1: Analizar datos y elaborar modelos para la caracterización geo-minero-metalúrgica de materiales, recursos minerales y procesos.

CE4: Gestionar, coordinar y supervisar de manera sustentable operaciones y proyectos en evaluación de yacimientos, geomecánica, explotación minera, procesamiento de minerales y metalurgia extractiva.

CE5: Evaluar y/u optimizar técnica y económicamente recursos, procesos y proyectos de ingeniería en el ámbito de la industria minera, incorporando las dimensiones sociales, ambientales e interpersonales.

#### CG1: Comunicación académica y profesional

Comunicar en español de forma estratégica, clara y eficaz, tanto en modalidad oral como escrita, puntos de vista, propuestas de proyectos y resultados de investigación fundamentados, en situaciones de comunicación compleja, en ambientes sociales, académicos y profesionales.

#### CG3: Compromiso ético

Actuar de manera responsable y honesta, dando cuenta en forma crítica de sus propias acciones y sus consecuencias, en el marco del respeto hacia la dignidad de las personas y el cuidado del medio social, cultural y natural.

#### CG4: Trabajo en equipo

Trabajar en equipo, de forma estratégica y colaborativa, en diversas actividades formativas, a partir de la autogestión de sí mismo y de la relación con el otro, interactuando con los demás en diversos roles: de líder, colaborador u otros, según requerimientos u objetivos del trabajo, sin discriminar por género u otra razón.

#### CG5: Sustentabilidad

Concebir y aplicar nuevas estrategias de solución a problemas de ingeniería y ciencias en el marco del desarrollo sostenible, considerando la finitud de recursos, la interacción entre diferentes actores sociales, ambientales y económicos, además de las regulaciones correspondientes.

### C. Resultados de aprendizaje:

Competencias específicas	Resultados de aprendizaje
CE1, CE5	RA1: Cuantifica el error de toma y preparación de muestras asociado a un protocolo de muestreo en un yacimiento para interpretar si los resultados obtenidos impactan materialmente la evaluación del yacimiento.
CE4, CE5	RA2: Ejecuta una evaluación de recursos minerales para cuantificar su calidad, cantidad y ubicación, en base a datos geológicos e información procedente del muestreo, y de la interpretación de modelos geológicos, aplicando métodos geoestadísticos.
CE5	RA3: Interpreta los resultados de la evaluación de recursos minerales, reconociendo su naturaleza incierta, a fin de clasificar dichos recursos en categorías reconocidas por la industria minera.
Competencias genéricas	Resultados de aprendizaje
CG1	<p>RA4: Expone con su equipo los resultados del proyecto de evaluación de yacimientos y su relevancia, demostrando en su presentación integración de los aprendizajes vistos en clase, formalidad, ceñirse a un tiempo, usar, con precisión y claridad, conceptos clave.</p> <p>RA5: Elabora, con claridad, precisión y concisión, un reporte técnico sobre los resultados del proyecto de evaluación de yacimientos, realizando un análisis de las tareas principales que deriven en conclusiones relevantes para el proyecto.</p>
CG3	RA6: Argumenta, de manera razonada y razonable, sobre las decisiones que surgen del modelamiento geológico y estimación de recursos, analizando la importancia técnico – económica de la declaración de recursos minerales, y la responsabilidad ética y legal de la figura de persona competente y calificada.
CG4	RA7: Trabaja con sus pares en un proyecto de evaluación de yacimientos, demostrando organización, colaboración para cumplir una meta común en un plazo establecido.

CG5	RA8: Analiza ejemplos del uso de técnicas de estimación de variables geometalúrgicas, considerando el beneficio de contar con estos modelos para efectos de planificación minera, así como aspectos de análisis asociados a la sustentabilidad.
-----	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

#### D. Unidades temáticas:

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
1	RA1	Muestreo de materiales particulados	4,5 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
1.1. Las fuentes de variabilidad y errores en la cuantificación de recursos. 1.2. Tipos de equipos de muestreo en exploración, producción. 1.3. Definiciones. 1.4. Tipos de errores de muestreo. 1.5. El error fundamental: ecuación de Pierre Gy. 1.6. Constante de muestreo: método paramétrico y test de heterogeneidad. 1.7. Consideraciones especiales para el caso del oro. 1.8. Aseguramiento y control de calidad. 1.9. Ejemplos y ejercicios. 1.10. Impacto de errores de muestreo en evaluación de yacimientos.		El/la estudiante:  1. Determina las fuentes de errores que surgen en la cuantificación de recursos minerales. 2. Identifica tipos de muestreo de exploración, de producción y de planta, considerando el uso de la información obtenida. 3. Utiliza terminología de teoría del muestreo y los distintos tipos de errores, aplicándola a casos concretos. 4. Cuantifica el error fundamental asociado a un procedimiento de toma y preparación de muestras. 5. Determina la importancia de ejecutar mejores prácticas de control y aseguramiento de calidad en el muestreo de materiales particulados. 6. Utiliza resultados de muestreos, interpretaciones geológicas, test de variabilidad geometalúrgica, analizando dicha información en el contexto de la evaluación de yacimientos.	
Bibliografía de la unidad		[1] [Abzalov]. [5] [Edwards, cap. 1-2]. [9] [Pitard, cap. 3, 5-11, 19]. [11] [Sinclair y Blackwell, cap. 1-2].	

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
2	RA2, RA5, RA6, RA8	Estimación de recursos minerales	9 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
<p>2.1. Modelamiento geológico.</p> <p>2.1.1. Unidades geológicas de estimación.</p> <p>2.1.2. Técnicas de modelamiento de unidades geológicas en el espacio.</p> <p>2.1.3. Tratamiento de fronteras entre unidades geológicas.</p> <p>2.1.4. Incertidumbre en la extensión espacial de las unidades geológicas.</p> <p>2.2. Estudio exploratorio de datos.</p> <p>2.2.1. Bases de datos mineros y validaciones preliminares.</p> <p>2.2.2. Preparación de datos: composición, capping.</p> <p>2.2.3. Estudio exploratorio.</p> <p>2.2.4. Desagrupamiento.</p> <p>2.2.5. Modelamiento de derivas.</p> <p>2.3. Modelamiento geoestadístico.</p> <p>2.3.1. Definiciones y conceptos básicos.</p> <p>2.3.2. Análisis variográfico: cálculo, interpretación y modelamiento de variogramas.</p> <p>2.3.3. Cambio de soporte y estimación global de recursos recuperables. Efecto de soporte y de información. Selectividad y curvas tonelaje-ley.</p> <p>2.3.4. Estimación local de recursos: métodos tradicionales y kriging.</p> <p>2.3.5. Aplicación de metodologías de estimación a variables geometalúrgicas y contaminantes con potencial impacto ambiental.</p> <p>2.3.6. Consideraciones prácticas.</p> <p>2.3.7. Validación de modelos; reconciliaciones.</p>		<p>El/la estudiante:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Cuantifica recursos minerales, utilizando el concepto de unidad geológica y herramientas estadísticas y geoestadísticas.</li> <li>2. Determina las dificultades que surgen en el modelamiento geológico y el análisis de bases de datos mineros, usando como ejemplos casos concretos y pertinentes.</li> <li>3. Aplica métodos geoestadísticos para cuantificar los recursos de un yacimiento, obtener curvas tonelaje-ley y modelos de bloques, utilizando información de muestreo y conocimientos geológicos.</li> <li>4. Reconoce las limitaciones del kriging y los alcances y aplicaciones de la simulación geoestadística.</li> <li>5. Elabora argumentos, razonados y razonables, para sustentar decisiones técnico económicas que derivan del modelamiento geológico y estimación de recursos, comprendiendo la responsabilidad ética y legal de la figura de persona competente y calificada.</li> <li>6. Analiza ejemplos del uso de técnicas de estimación de variables geo metalúrgicas, comprendiendo el beneficio de contar con estos modelos para efectos de planificación minera, en el contexto de la sustentabilidad.</li> </ol>	

<p>2.3.8. Evaluación multivariable para yacimientos polimetálicos.</p> <p>2.4. Principios de simulación geoestadística.</p> <p>2.4.1. Motivación: modelamiento de incertidumbre geológica.</p> <p>2.4.2. Modelos comunes para la simulación de leyes.</p> <p>2.4.3. Ejemplos de aplicación.</p>	
<p>Bibliografía de la unidad</p>	<p>[1] [Abzalov] [2] [Chilès y Delfiner, cap. 1-7] [4] [Dimitrakopoulos] [5] [Edwards, cap. 2-4] [6] [Emery and Séguret] [10] [Rossi and Deutsch] [11] [Sinclair y Blackwell, cap. 4-10,13-14].</p>

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
3	RA2, RA3, RA4, RA5, RA6, RA7	Categorización de recursos minerales y reservas mineras	1,5 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
<p>3.1. Definiciones: recursos medidos, indicados, inferidos.</p> <p>3.2. Conversión de recursos a reservas: factores modificadores; reservas probadas y probables.</p> <p>3.3. Códigos internacionales y código chileno para categorizar recursos y reservas.</p> <p>3.4. Importancia de la figura de “persona competente y calificada”.</p> <p>3.5. Criterios para cuantificar la incertidumbre espacial.</p> <p>3.6. Ejemplos de aplicación.</p>		<p>El/la estudiante:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Identifica y diferencia las distintas categorías para el inventario de recursos y reservas.</li> <li>2. Elabora un inventario de recursos, considerando las distintas categorías reconocidas por la industria minera.</li> <li>3. Determina éticamente el rol de la figura de persona competente y calificada, considerando las responsabilidades y toma de decisiones de declaración del inventario de recursos.</li> <li>4. Identifica distintos métodos de cuantificación de incertidumbre espacial de los recursos minerales, en ejemplos que se revisan.</li> <li>5. Coordina con su equipo el trabajo de proyecto para cumplir con la tarea asignada.</li> <li>6. Elabora, con claridad, precisión y concisión, un reporte técnico sobre los resultados del proyecto de evaluación de yacimientos, realizando un análisis de las tareas principales que deriven en conclusiones relevantes para el proyecto.</li> <li>7. Expone con su equipo los resultados del proyecto de evaluación de yacimientos, demostrando integración de los aprendizajes, expresando con precisión y claridad los términos clave.</li> </ol>	
Bibliografía de la unidad		<p>[1] [Abzalov]</p> <p>[3] [Código chileno]</p> <p>[5] [Edwards, cap. 9]</p> <p>[7] [JORC]</p> <p>[8] [Ley 20.235]</p> <p>[11] [Sinclair y Blackwell, cap. 18].</p>	

### E. Estrategias de enseñanza - aprendizaje:

El curso considera las siguientes estrategias de enseñanza:

- Clases expositivas.
- Análisis de casos.
- Aprendizaje basado en proyecto.
- Presentaciones orales (Exposiciones).

### F. Estrategias de evaluación:

El curso tiene distintas instancias de evaluación entre las que se pueden mencionar:

Tipo de evaluación	Resultado de aprendizaje asociado a la evaluación
• Controles.	Evalúan el RA1, RA2, RA3, RA6
• Tareas y ejercicios (actividades complementarias).	Evalúa el RA1, RA2, RA3, RA8
• Desarrollo de un proyecto de evaluación de yacimientos con informe escrito y presentación oral.	Evalúan el RA2, RA5, RA6, RA7
• Evaluación a través de rúbricas del "Proyecto semestral (en forma oral y escrita)".	Evalúa los RA5, RA6, RA7
• Examen.	Evalúa el RA1, RA2, RA3

*Al inicio de cada semestre, el cuerpo académico informará sobre los tipos de evaluación, la cantidad y las ponderaciones correspondientes.*



## G. Recursos bibliográficos:

### Bibliografía obligatoria

- [1] [Abzalov]  
Abzalov M (2016) "Applied mining geology". New York: Springer.
- [2] [Chilès y Delfiner]  
Chilès JP, Delfiner P (2012) "Geostatistics: modeling spatial uncertainty", New York: Wiley.
- [3] [CH20235]  
Comisión Calificadora de Competencias de Recursos y Reservas Mineras (2015) "Código para informar sobre los resultados de exploración, recursos minerales y reservas minerales".
- [4] [Dimitrakopoulos]  
Dimitrakopoulos R (ed) (2011) "Advances in orebody modelling and strategic mine planning". Melbourne: Australasian Institute of Mining and Metallurgy.
- [5] [Edwards]  
Edwards AC (ed) (2001) "Mineral resource and ore reserve estimation: the AusIMM guide to good practice". Melbourne: Australasian Institute of Mining and Metallurgy.
- [6] [Emery and Séguret]  
Emery X, Séguret SA (2020) "Geostatistics for the Mining Industry - Applications to Porphyry Copper Deposits". CRC Press: Boca Raton.
- [7] [JORC, NI43-101, CRIRSCO]  
JORC (2012) "Australasian code for reporting of exploration results, mineral resources and ore reserves (the JORC Code, 2012 Edition)". Joint Ore Reserve Committee of the Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Australian Institute of Geoscientists and Minerals Council of Australia.
- [8] [Ley 20.235]  
Ley 20.235 Regula la figura de las personas competentes y crea la Comisión Calificadora de Competencias de Recursos y Reservas Mineras. Diario Oficial 31/12/2007.
- [9] [Pitard]  
Pitard FF. (2019). "Theory of sampling and sampling practice". Boca Raton: CRC Press.
- [10] [Rossi and Deutsch]  
Rossi ME, Deutsch CV (2014) "Mineral Resource Estimation", New York: Springer.
- [11] [Sinclair y Blackwell]  
Sinclair AJ, Blackwell GH (2002) "Applied mineral inventory estimation", Cambridge: Cambridge University Press.
- [12] NI43-101 (2011) National Instrument 43-101 Standard of Disclosure for Mineral Projects. Canadian Securities Administrators, 44 p.
- [13] CRIRSCO (2019) "International Reporting Template for the Public Reporting of Exploration Targets, Exploration Results, Mineral Resources and Mineral Reserves". International Council on Mining and Metals, 79 p.

## H. Datos generales sobre elaboración y vigencia del programa de curso

Vigencia desde:	Primavera, 2022
Elaborado por:	Alejandro Cáceres
Validado por:	Validación académica por: Xavier Emery Validación CTD de Minas
Revisado por:	Área de Gestión Curricular