

PROGRAMA DE CURSO GEOLOGÍA ECONÓMICA

A. Antecedentes generales del curso:

Departamento	Geología (DGL)					
Nombre del curso	Geología económica	Código	GL6301	Créditos	6	
Nombre del curso en inglés	<i>Economic Geology</i>					
Horas semanales	Docencia	3	Auxiliares	2	Trabajo personal	5
Carácter del curso	Obligatorio	X		Electivo		
Requisitos	GL5321: Geología aplicada a la ingeniería, GL5311: Metalogénesis					

B. Propósito del curso:

El curso teórico-práctico de Geología Económica tiene como propósito que los y las estudiantes apliquen las distintas metodologías necesarias para la resolución de problemas asociados a yacimientos minerales, incluyendo su importancia dentro del ciclo de desarrollo de proyectos mineros, y también su sostenibilidad. Tendrán que utilizar todas las competencias adquiridas durante sus estudios e identificar e integrar los distintos procesos geológicos para resolver problemas relativos al desarrollo de la profesión en el ámbito minero, incluyendo la exploración y explotación de recursos minerales. Además, comprenderán y analizarán los fundamentos del negocio minero y el rol del geólogo/a en la industria minera.

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

CE1: Caracterizar e interpretar las estructuras geológicas de una zona, a distintas escalas, para proyectos de investigación científica y aplicada.

CE3: Caracterizar los minerales formadores de rocas para determinar sus condiciones físico-químicas de formación y sus aplicaciones.

CE4: Analizar e interpretar procesos geoquímicos y petrogenéticos caracterizando las rocas ígneas y metamórficas de una región.

CE7: Evaluar en terreno los recursos minerales y energéticos, para definir su distribución espacial, volumen, calidad, potencial económico y factibilidad de explotación sustentable.

CE8: Interpretar los procesos de formación de los recursos minerales y energéticos para la investigación científica y aplicada.

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.

CG2: Comunicación en inglés

Leer y escuchar de manera comprensiva en inglés variados tipos de textos e informaciones sobre temas concretos o abstractos, comunicando experiencias y opiniones, adecuándose a diferentes contextos de acuerdo a las características de la audiencia.

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, CE3, CE4, CE7, CE8	RA1: Analiza y utiliza antecedentes bibliográficos y observaciones de terreno para comprender los procesos geológicos de formación y modificación de depósitos minerales.
CE3, CE4	RA2: Analiza afloramientos de roca y muestras de mano para identificar la mineralogía de mena y minerales de alteración hidrotermal, estableciendo los procesos físico-químicos responsables de su formación.
CE1, CE8	RA3: Identifica e interpreta estructuras geológicas y su relación con la mineralización metálica y de alteración hidrotermal.

CE7	RA4: Analiza y sintetiza la información geológica/minera recolectada durante las actividades de terreno elaborando un informe técnico y un mapa geológico.
CE7, CE8	RA5: Comprende y analiza aspectos fundamentales de la geología de minas y la exploración minera incluyendo el proceso de planificación minera, los procesos productivos de una faena y el rol del geólogo/a en la actividad minera.
CE7	RA6: Utiliza modelos de yacimientos para la identificación y caracterización de ocurrencias minerales, definiendo su prospectividad y potencial económico.
Competencias genéricas	Resultados de aprendizaje
CG1	RA7: Elabora, de manera clara, un informe técnico del trabajo de terreno, cuyos resultados y conclusiones centrales expone, en forma oral, fundamentado en conceptos teóricos y observaciones geológicas.
CG1, CG2	RA8: Lee textos y artículos científicos en español e inglés sobre yacimientos minerales, sintetizando y relacionando datos e información con aspectos teórico-técnicos de la geología económica.
CG3, CG4, CG5	RA9: Trabaja con sus pares en las actividades de terreno y en discusiones sobre los yacimientos como fuente necesaria para el desarrollo industrial y tecnológico, demostrando organización, colaboración y respeto por las opiniones divergentes.

D. Unidades temáticas:

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
1	RA5, RA8	Fundamentos de la Geología de Minas y Exploración Minera	10 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
1.1. Definiciones y conceptos generales. 1.2. La industria minera en Chile. 1.3. La exploración en el ciclo de desarrollo minero. 1.4. Métodos de exploración minera. 1.5. La geología en el proceso de planificación minera. 1.6. Los procesos de una operación minera. 1.7. Evaluación de recursos mineros. 1.8. Provincias y épocas metalogénicas andinas. 1.9. Modelos de yacimientos chilenos.		El/la estudiante: 1. Reconoce la importancia de la minería como una actividad económica crucial para el desarrollo tanto a nivel país como a nivel global. 2. Reconoce el concepto de minerales críticos y su rol en el desarrollo tecnológico de la sociedad, incluyendo su impacto en la descarbonización y transición energética. 3. Analiza el ciclo de desarrollo de un proyecto minero, considerando conceptos y variables de la geología económica. 4. Reconoce el rol e importancia del geólogo(a) en la industria minera y en el cuidado del medio ambiente. 5. Reconoce los tipos de exploración minera y sus distintas etapas. 6. Discute con sus pares, en un clima de respeto, sobre los factores a considerar en la evaluación económica y sustentable de recursos minerales. 7. Analiza la formación de provincias metalogénicas y su evolución geológica a través del tiempo. 8. Identifica los distintos tipos de yacimientos minerales más importantes de Chile reconociendo sus características mineralógicas y de alteración.	
Bibliografía de la unidad		Arndt et al. (2017); Arribas & Mauk (2018); Camus (2003); Camus et al. (1997); Camus & Castelli (2021); Edwards & Atkinson (1986); Evans (1995); Hedenquist et al. (2005); Hoal & Frenzel (2022); Kesletr & Simon (2016); Peters (1987); Pirajno (2009); Pirajno (2012); Sillitoe et al. (2004); US Critical Minerals List (2021).	

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
2	RA1, RA2, RA3, RA4, RA5, RA6, RA7, RA8, RA9	Trabajo de Campo	5 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
<p>2.1. Levantamiento geológico de zona mineralizada identificando litología, mineralización, alteración y estructuras.</p> <p>2.2. Confección de un mapa geológico integrado con información litológica, estructural y de alteración/mineralización.</p> <p>2.3. Estimación visual de volumen y ley de mineral en zonas mineralizadas.</p> <p>2.4. Visita a prospectos de exploración y operacion(es) minera(s) identificando los procesos de planificación y producción.</p>		<p>El/la estudiante:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Planifica estrategias de trabajo de mapeo, estableciendo escala de trabajo, y selección de secciones o transectas y puntos de control. 2. Registra y sintetiza información geológica en esquemas y secciones. 3. Identifica y describe litología, alteración, mineralización y estructuras en afloramientos o faenas mineras registrando la información en forma clara y precisa de manera gráfica y escrita. 4. Realiza levantamiento de información estructural usando brújula geológica y GPS, registrando la información de manera gráfica en esquemas y/o perfiles. 5. Determina la secuencia de eventos de mineralización y alteración de zonas mineralizadas o yacimientos. 6. Interpreta los procesos geológicos responsables de la mineralización. 7. Identifica los controles de la mineralización en distintas zonas mineralizadas, y a distintas escalas. 8. Confecciona un mapa geológico del área de estudio, cartografiando los tipos litológicos, la alteración y la mineralización, además de las estructuras, incluyendo fallas, diaclasas, vetas y vetillas. 9. Discute con sus pares los resultados de sus observaciones e interpretaciones, demostrando colaboración y respeto por todas las opiniones del grupo de trabajo. 10. Evalúa en terreno la distribución espacial, volumen y potencial económico de zonas mineralizadas. 11. Reconoce el rol del geólogo/a en la faena manera. 12. Relaciona los conceptos de modelos de yacimientos con la explotación de recursos en faenas mineras. 13. Identifica los procesos de una operación minera, como también sus desafíos ambientales y de sostenibilidad. 	
Bibliografía de la unidad		Arndt et al. (2017); Arribas & Mauk (2018); Camus (2003); Camus et al. (1997); Camus & Castelli (2021); Edwards & Atkinson (1986); Evans (1995); Hedenquist et al. (2005); Hoal & Frenzel (2022); Kesletr & Simon (2016); Peters	

(1987); Pirajno (2009); Pirajno (2012); Sillitoe et al. (2004); US Critical Minerals List (2021).

E. Estrategias de enseñanza:

- El curso se estructura en base a distintas metodologías de enseñanza y aprendizaje, entre las que se pueden mencionar:
- **Clases expositivas:** presentación de los principales conceptos de la sesión, en la cual los y las estudiantes analizan y discuten conceptos fundamentales sobre el negocio minero.
- **Charlas invitadas:** presentación de temas relacionados a la actividad minera incluyendo exploración minera, evaluación de recursos, procesos productivos, planificación minera, métodos de explotación, geometalurgia, y sustentabilidad en minería, entre otros. Estas charlas pueden ser realizadas por académicos/as de otros departamentos y/o profesionales de la industria minera, y su propósito es entregar no solo aspectos técnicos sino también una visión desde el mundo profesional sobre el desarrollo profesional de geólogas y geólogos egresados del Departamento de Geología.
- **Descripción de muestras:** actividades aplicadas y planificadas donde se clasifican y describen diferentes tipos de roca, minerales de mena y alteración con el propósito de identificar los procesos involucrados en su formación. El propósito es que los/las estudiantes interpretan sus observaciones y determinen los procesos asociados a la formación de depósitos minerales.
- **Levantamiento geológico:** confección de un mapa geológico sobre la base de la toma de datos en terreno. Este estudio se realiza de manera grupal desarrollando la colaboración, discusión y respecto entre integrantes del grupo. Los/las estudiantes utilizan herramientas clásicas de la geología, como son brújula, martillo, lupa, huincha para la adquisición de datos para su posterior interpretación y confección de un mapa geológico.
- **Visitas a prospectos de exploración y faenas mineras:** permite que los/las estudiantes se familiaricen de manera directa con la labor del geólogo/a en faenas mineras interiorizándose tanto de la exploración como de los procesos productivos de extracción, diseño y planificación de explotación minera y procesamiento mineral, y su gestión ambiental.
- **Análisis de casos:** los y las estudiantes analizan distintos tipos de zonas mineralizadas identificando sus características mineralógicas, litológicas y estructurales determinando los controles físico-químicos responsables de la formación del depósito mineral. Discuten además los distintos modelos genéticos propuestos para explicar la formación de depósitos minerales en Chile.

F. Estrategias de evaluación:

Las instancias de evaluación que se contemplan son:

Tipo de evaluación	Resultado de aprendizaje asociado a la evaluación
<ul style="list-style-type: none"> Elaboración de resúmenes ejecutivos de charlas invitadas y control parcial 	Evalúan RA5, RA8
<ul style="list-style-type: none"> Informe técnico de terreno 	Evalúa RA1, RA2, RA3, RA4, RA5, RA6, RA7, RA8, RA9

Al inicio del semestre se informará sobre el tipo de evaluación y la ponderación que se asignará a cada evaluación.

G. Recursos bibliográficos:

Bibliografía complementaria:

- [1] Arndt, N.T., Fontboté, L., Hedenquist, J.W., Kesler, S.E., Thompson, J.F.H. & Wood, D-G. (2017) Future Global Mineral Resources. *Geochemical Perspectives* vol. 6, n. 1, 171 pp.
- [2] Arribas, A.M. & Mauk, J.L. (2018) *Metals, Minerals, and Society*. Society of Economic Geologists Special Publication 21, SEG, Littleton, Colorado, 375 pp.
- [3] Camus, F. (2003) *Geología de los sistemas porfíricos en los Andes de Chile*. SERNAGEOMIN, 267 pp.
- [4] Camus, F., Sillitoe, R., Petersen, R. (1997) *Andean Copper Deposits: New Discoveries, Mineralization, Styles and Metallogeny*. Society of Economic Geologists Special Publication 5, SEG, Littleton, Colorado, 190 pp.
- [5] Camus & Castelli (2021) *Historia, exploración y geología de los yacimientos metalíferos de Chile*. Origo Ediciones, Chile, 1338 pp.
- [6] Edwards, R. & Atkinson, K. (1986) *Ore Deposit Geology and its Influence on Mineral Exploration*. Springer, 482 pp.
- [7] Evans, A.M. (1995) *Introduction to Mineral Exploration*. Blackwell Science, 396 pp.
- [8] Hedenquist, J.W., Thompson, J.F.H., Goldfarb, R.J. & Richards, J.P. (Eds.) (2005) *Economic Geology, One Hundredth Anniversary Volume, 1905-2005*, SEG, Littleton, Colorado, 1136 pp.
- [9] Hoal, K.E & Frenzel, M. (2022). *Ores drive operations - Economic Geology Is the Foundation of Geometallurgy*. *SEG Discovery* 129: 30–43.
- [10] Kesler & Simon (2016) *Mineral Resources, Economics and the Environment*, 2nd Edition, Cambridge University Press, 446 pp.
- [11] Peters, W.C. (1987) *Exploration and Mining Geology*. John Wiley & Sons, 685 pp.
- [12] Pirajno, F. (2009) *Hydrothermal Processes and Mineral Systems*. Springer, 1291 pp.
- [13] Pirajno, F. (2012) *Hydrothermal Mineral Deposits: Principles and Fundamental Concepts for the Exploration Geologist*. Springer, 1136 pp.
- [14] Sillitoe, R.H., Perello, J. & Vidal, C.E. (2004) *Andean Metallogeny: New Discoveries, Concepts, and Updates*. Society of Economic Geologists Special Publication 11, SEG, Littleton, Colorado, 358 pp.
- [15] U.S. Critical Minerals List: U.S. Geological Survey Open-File Report 2021-1045, 31 p., <https://doi.org/10.3133/ofr20211045>.

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

Vigencia desde:	Primavera, 2023
Elaborado por:	Fernando Barra
Validado por:	Validación académico par: Martin Reich Validación CTD de Geología
Revisado por:	