

PROGRAMA DE CURSO

INTRODUCCIÓN A YACIMIENTOS MINERALES

A. Antecedentes generales del curso:

Departamento	Geología (DGL)					
Nombre del curso	Introducción a yacimientos minerales	Código	GL4401	Créditos	6	
Nombre del curso en inglés	<i>Introduction to ore deposits</i>					
Horas semanales	Docencia	3	Auxiliares	2	Trabajo personal	5
Carácter del curso	Obligatorio	X		Electivo		
Requisitos	IN3301: Evaluación de proyectos, GL4205: Geoquímica					

B. Propósito del curso:

El curso Introducción a Yacimientos Minerales del VIII semestre de la carrera de Geología tiene como propósito que los y las estudiantes manejen las distintas metodologías fundamentales utilizadas para comprender los procesos que generan y modifican los depósitos minerales. Para ello, identifican y caracterizan mineralización metálica y de alteración hidrotermal y aplican herramientas y métodos analíticos geoquímicos para determinar las condiciones fisicoquímicas de su formación.

Asimismo, los y las estudiantes contrastan las distintas características geológicas de los depósitos minerales más importantes a nivel mundial y en el país.

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

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.

CE5: Caracterizar las rocas y depósitos sedimentarios para establecer sus condiciones físico-químicas de formación.

CE6: Analizar y evaluar los procesos geológicos (volcánicos, geoquímicos, hidrogeológicos, sedimentológicos y geomorfológicos) con fines científicos y aplicados respecto a la planificación del territorio, diseño, construcción y mantenimiento de estructuras ingenieriles.

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
CE3, CE5	RA1: Usa muestras de mano para caracterizar la mineralogía de mena y ganga, como así también minerales de alteración hidrotermal, estableciendo la secuencia de eventos de mineralización, los procesos físico-químicos responsables de su formación y la génesis de depósitos minerales.
CE4, CE6	RA2: Utiliza distintas herramientas geoquímicas tales como diagramas de fase, inclusiones fluidas, geoquímica isotópica, así como distintas metodologías, para interpretar los procesos termodinámicos y cinéticos que controlan la precipitación de los minerales.
CE6, CE8	RA3: Analiza materiales de origen magmático, metamórfico y sedimentario, considerando la formación de las rocas y los procesos de transformación en la corteza, a fin de comprender la variedad de procesos geológicos relacionados con la formación de depósitos minerales.
CE6, CE8	RA4: Compara diferentes tipos de mineralización y modelos que explican la génesis de yacimientos, reconociendo sus diferencias e implicancias para efectos de exploración, explotación minera y procesamiento de minerales.
CE8	RA5: Explica la relación entre la teoría de la tectónica de placas, materiales y procesos geológicos con la formación de distintos tipos de yacimientos chilenos a través de la evolución geológica del país, considerando la importancia de estos para la minería como una actividad económica y de suministro de recursos minerales.
Competencias genéricas	Resultados de aprendizaje
CG1	RA6: Expone, de manera clara, en forma oral y escrita, sobre temas asociados a yacimientos minerales (análisis de datos geoquímicos, descripción de procesos mineralizadores, caracterización de yacimientos), sustentando su exposición en argumentos basados en conceptos teóricos y observaciones geológicas.
CG1, CG2	RA7: 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	RA8: Trabaja con sus pares en tareas de laboratorio (caracterización de materiales geológicos) y en discusiones sobre los yacimientos como fuente necesaria para el desarrollo industrial y tecnológico, demostrando organización, colaboración y respeto por las opiniones divergentes.
CG5	RA9: Identifica tipos de depósitos más importantes de Chile, considerando que su exploración y explotación debe realizarse en equilibrio con el cuidado y conservación del medio ambiente y el entorno social.

D. Unidades temáticas:

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
1	RA5, RA6, RA8, RA9	Recursos Minerales y el Negocio Minero	2 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
1.1.Importancia de la minería. 1.2.Rol del geólogo(a) en minería. 1.3.Definición de conceptos básicos en la Geología Económica. 1.4.Recursos Metálicos y No Metálicos. 1.5.Fundamentos del negocio minero. 1.6.La exploración en el ciclo del desarrollo minero. 1.7.Tipos de exploración. 1.8.La geología en el proceso de planificación minera. 1.9.Impacto ambiental de la minería y mitigación de polución.		El/la estudiante: 1. Explica, por medio de un análisis, la importancia de la minería como una actividad económica que permite satisfacer las necesidades de materiales geológicos para consumo humano. 2. Analiza la actividad minera como un proceso de suministro de recursos minerales. 3. Determina la importancia de la minería en Chile y la relevancia de Chile en la minería mundial. 4. Reconoce el rol e importancia del geólogo(a) en la actividad minera y en el cuidado del medio ambiente. 5. Define conceptos básicos de la Geología Económica, considerando aspectos relacionados con la extracción de materiales geológicos. 6. Discute con sus pares, en un clima de respeto, sobre los factores a considerar en la evaluación económica de recursos minerales.	
Bibliografía de la unidad		Evans (1997), Stevens (2011); Gandhi & Sarkar (2016); Kesler & Simon (2016).	

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
2	RA3, RA4, RA5, RA7	Origen y procesos concentradores de metales	1 semana
Contenidos		Indicador de logro	
2.1. Origen de los metales. 2.2. Diferenciación planetaria y "Late Veneer". 2.3. Concentración y fraccionamiento de metales. 2.4. Clasificación de elementos. 2.5. Procesos magmáticos. 2.6. Procesos hidrotermales. 2.7. Procesos metamórficos. 2.8. Procesos sedimentarios. 2.9. Procesos supérgenos. 2.10. Procesos residuales. 2.11. Tipos de depósitos minerales y el ambiente tectónico.		El/la estudiante: 1. Utiliza el concepto de nucleosíntesis para describir los procesos que dieron origen a los distintos metales 2. Identifica los principales reservorios de metales en la Tierra, a partir de ejemplos que se le presentan. 3. Reconoce los distintos procesos endógenos y exógenos que concentran metales en la corteza. 4. Relaciona los procesos concentradores de metales con conceptos de la Tectónica de Placas. 5. Lee textos en español e inglés sobre el origen de los elementos y los procesos que concentran metales en la corteza, sintetizando información relevante sobre estas materias.	
Bibliografía de la unidad		Ridley (2013); Robb (2020).	

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
3	RA2, RA3, RA5, RA8	Fluidos mineralizadores	2 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
3.1. Origen y naturaleza de fluidos mineralizadores. 3.2. El magma como un fluido mineralizador. 3.3. Concentración de metales en magmas. 3.4. Elementos compatibles e incompatibles. 3.5. Cristalización Fraccionada e Inmiscibilidad líquida. 3.6. Fluidos Hidrotermales. 3.7. Transporte de metales en soluciones acuosas. 3.8. Equilibrio químico. 3.9. Parámetros químicos de soluciones acuosas. 3.10. Solubilidad y especiación de metales en soluciones acuosas. 3.11. Procesos y mecanismos de precipitación mineral.		El/la estudiante: 1. Analiza los distintos tipos de fluidos y sus propiedades. 2. Utiliza el concepto de partición para determinar el comportamiento químico de los metales durante la cristalización o precipitación de minerales. 3. Utiliza conceptos de equilibrio mineral y diagramas de fase para determinar las condiciones de precipitación mineral. 4. Utiliza diagramas de fase para establecer la especiación de metales en fluidos hidrotermales. 5. Identifica los aspectos físicos y químicos que controlan la circulación de fluidos en la corteza y su precipitación. 6. Resuelve problemas relacionados con equilibrio químico y precipitación mineral en actividades de laboratorio, trabajando de manera planificada.	
Bibliografía de la unidad		Gilbert & Park (1986); Misra (2000); Pirajno (2012); Ridley (2013); Robb (2020).	

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
4	RA1, RA2, RA3, RA4, RA7, RA8	Alteración hidrotermal y mineralización de mena	2 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
4.1. Sistemas magmático-hidrotermales. 4.2. Metasomatismo. 4.3. Tipos de alteración. 4.4. Mecanismos y procesos de alteración hidrotermal. 4.5. Reacciones químicas. 4.6. Diagramas de fase. 4.7. El sistema de Fe–S. 4.8. El sistema Cu–S. 4.9. El sistema Cu–Fe–S. 4.10. Paragénesis y secuencia paragenética.		El/la estudiante: <ol style="list-style-type: none"> 1. Analiza los distintos tipos de alteración hidrotermal en actividades de laboratorio. 2. Utiliza diagramas de fase para establecer las condiciones de estabilidad y precipitación de minerales de mena y ganga. 3. Analiza materiales geológicos, identificando tipos de minerales (mena y ganga) considerando el trabajo en laboratorios. 4. Analiza, con sus pares, muestras de laboratorio para determinar temporalidad de eventos de alteración y mineralización. 5. Lee textos y artículos científicos en español e inglés sobre alteración hidrotermal y mineralización metálica, sintetizando información relevante sobre estabilidad mineral. 	
Bibliografía de la unidad		Stanton (1972); Barnes(1997); Misra (2000); Pirajno (2009); Robb (2020).	

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
5	RA1, RA2, RA4, RA7, RA8	Métodos de Estudio de los Yacimientos Minerales	2 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
5.1. Inclusiones Fluidas. Aplicaciones y métodos de análisis. 5.2. El sistema H ₂ O y H ₂ O–NaCl. 5.3. Determinación de Th y salinidad. 5.4. Isotopos estables de O, H, S. 5.5. Fraccionamiento isotópico. 5.6. Geotermometría de S y O. 5.7. Isotopos estables no tradicionales (Cu, Fe, Mo). 5.8. Isotopos radiogénicos. 5.9. Geocronología de yacimientos minerales. 5.10. Determinación del origen de metales. 5.11. Limitaciones y problemas.		El/la estudiante: <ol style="list-style-type: none"> 1. Utiliza datos microtermométricos para determinar la salinidad y temperatura de fluidos hidrotermales. 2. Aplica isotopos estables para determinar la temperatura de precipitación de fases minerales singenéticas 3. Analiza e interpreta datos geocronológicos, a partir de ejemplos que se le presentan y problemas a desarrollar en las actividades de laboratorio. 4. Trabaja de manera colaborativa y planificada en la resolución de problemas y actividades de laboratorio. 5. Lee textos y artículos científicos en español e inglés sobre fluidos hidrotermales, sintetizando información relevante sobre sus características y rol en el transporte de metales. 	
Bibliografía de la unidad		Guilbert & Park (1986); Barnes (1997); Misra (2000); Pirajno (2012); Robb (2020).	

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
6	RA1, RA2, RA3, RA4, RA5, RA6, RA7, RA8, RA9	Tipos de yacimientos minerales	6 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
6.1. Clasificación de depósitos minerales. 6.2. Pórfidos cupríferos. 6.3. Depósitos supérgenos y residuales. 6.4. Depósitos epitermales de metales preciosos. 6.5. Yacimientos de óxido de Fe (IOCG e IOA). 6.6. Skarns. 6.7. Yacimientos estratoligados de Cu-Ag. 6.8. Depósitos sedimentarios. 6.9. Depósitos VMS. 6.10. Depósitos magmáticos. 6.11. Metalogénesis andina.		El/la estudiante: <ol style="list-style-type: none"> 1. Identifica los tipos de yacimientos minerales más importantes de Chile. 2. Utiliza muestras de laboratorio para describir la mineralización y alteración característica de los distintos tipos de depósitos chilenos. 3. Interpreta información geológica que determinan los procesos formadores de yacimientos. 4. Determina las condiciones físico-químicas que controlan la mineralización y alteración de los diferentes depósitos. 5. Analiza los distintos modelos genéticos planteados para explicar la génesis de los yacimientos minerales. 6. Relaciona los tipos de yacimientos con los diferentes ambientes tectónicos. 7. Trabaja con sus pares en las actividades de laboratorio intercambiando ideas y opiniones de manera respetuosa. 8. Relaciona e integra información leída en textos o artículos sobre los procesos geológicos que generan depósitos minerales. 9. Expone en forma oral y escrita sobre tipos de yacimientos minerales, discutiendo, de manera clara, sobre los modelos de formación de yacimientos. 	
Bibliografía de la unidad		Guilbert & Park (1986); Edwards & Atkinson (1986); Misra (2000); Pirajno (2009); Ridley (2013); Kesler & Simon (2016); Robb (2020).	

E. Estrategias de enseñanza - aprendizaje:

El curso se estructura en base a distintas metodologías de enseñanza y aprendizaje, entre las que se pueden mencionar:

- **Clase expositivas:** presentación de los principales conceptos de la sesión y los y las estudiantes analizan y discuten conceptos fundamentales sobre yacimientos minerales.
- **Descripción de muestras y resolución de problemas:** actividades aplicadas y planificadas donde se clasifican y describen diferentes minerales de mena y alteración con el propósito de identificar los procesos involucrados en su formación. Analiza y resuelve problemas relacionados con el control de precipitación de minerales y el uso de herramientas para la determinación de los parámetros físico-químicos que conllevan a la precipitación mineral.
- **Análisis de caso:** los y las estudiantes analizan distintos tipos de yacimientos identificando sus

características mineralógicas y los controles físico-químicos responsables de su formación. Discuten además los distintos modelos genéticos propuestos para explicar la formación de depósitos minerales.

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

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"> Controles parciales de cátedra. 	Evalúan RA2, RA3, RA4, RA5, RA7, RA9.
<ul style="list-style-type: none"> Tareas, trabajos teóricos y prácticos de laboratorio con reportes de actividades. 	Evalúa RA1, RA2 RA6, RA8.
<ul style="list-style-type: none"> Controles parciales en el laboratorio. 	Evalúan RA1, RA3.
<ul style="list-style-type: none"> Un examen final. 	Evalúan RA2, RA3, RA4, RA5, RA7, RA9.

Al inicio del semestre, el cuerpo docente informará sobre el tipo y cantidad de evaluaciones que se considerarán durante el semestre y también la ponderación correspondiente.

G. Recursos bibliográficos:

- Barnes, H.L. (1997) *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits*. John Wiley & Sons.
- Edwards, R. & Atkinson, K. (1986) *Ore Deposit Geology and its Influence on Mineral Exploration*. Springer, 482 pp.
- Evans, A.M. (1997) *An Introduction to Economic Geology and Its Environmental Impact*. Wiley-Blackwell, 376 pp.
- Gandhi, S.M. & Sarkar, B.C. (2016) *Essentials of Mineral Exploration and Evaluation*. Elsevier, 410 pp.
- Gilbert, J.M. & Park, C.F. (1986) *The Geology of Ore Deposits*. W. H. Freeman, 985 pp.
- Kesler, S.E. & Simon, A.C. (2016) *Mineral Resources, Economics and the Environment*. Cambridge University Press, 2da Edición, 446 pp.
- Misra, K.C. (2000) *Understanding Mineral Deposits*. Springer, 860 pp.
- Pirajno, F. (2009) *Hydrothermal Processes and Mineral Systems*. Springer, 1291 pp.
- Pirajno, F. (2012) *Hydrothermal Mineral Deposits: Principles and Fundamental Concepts for the Exploration Geologist*. Springer, 1136 pp.
- Ridley, J. (2013) *Ore Deposit Geology*. Cambridge University Press, 409 pp.

11. Robb, L. (2020) Introduction to Ore-Forming Processes. Wiley-Blackwell, 2da Edición, 496 pp.
12. Sampson, I., Anderson, A. & Marshall, D. (eds.) (2003) Fluid Inclusions: Analysis and Interpretation. The Mineralogical Association of Canada, 374 pp.
13. Stanton, R.L. (1972). Ore Petrology. Mc Graw Hill, 713 pp.
14. Stevens, R. (2011) Mineral Exploration and Mining Essentials. Elsevier, 336 pp.

Bibliografía complementaria:

- Apuntes de curso, disponible en U cursos.
- Artículos científicos relacionados a procesos formadores de yacimientos y de tipos de depósitos minerales.

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

Vigencia desde:	Primavera, 2022
Elaborado por:	Fernando Barra
Validado por:	CTD de Geología
Revisado por:	Área de Gestión Curricular