

PROGRAMA DE CURSO METALOGÉNESIS

A. Antecedentes generales del curso:

Departamento	Geología (DGL)					
Nombre del curso	Metalogénesis	Código	GL5311	Créditos	6	
Nombre del curso en inglés	<i>Metallogeny</i>					
Horas semanales	Docencia	3	Auxiliares	3	Trabajo personal	4
Carácter del curso	Obligatorio	X		Electivo		
Requisitos	GL4401: Introducción a yacimientos minerales, GL4403: Petrología metamórfica					

B. Propósito del curso:

El curso Metalogénesis del IX semestre de la carrera de Geología tiene como propósito que los y las estudiantes comprendan y analicen los principales eventos de la evolución geológica, paleogeográfica y paleoclimática de la Tierra y su relación con la formación de los depósitos minerales a través del tiempo geológico.

Para ello, determinan los controles tectónicos, petrogenéticos y paleoambientales y su variación a través del tiempo en la formación de los distintos tipos de yacimientos y provincias metalogénicas.

Asimismo, analizan los modelos genéticos de los diferentes tipos de yacimientos determinando sus características mineralógicas, alteración y relación con procesos geológicos como son magmatismo, sedimentación, metamorfismo y meteorización.

Finalmente, los y las estudiantes identifican y caracterizan mineralización metálica y de alteración hidrotermal en muestra de mano y mediante técnicas de microscopía óptica para determinar las relaciones paragenéticas y secuencia temporal de eventos de mineralización/alteración.

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, secciones delgadas y pulidas para caracterizar la mineralogía de mena y ganga, como así también minerales de alteración hidrotermal, estableciendo la secuencia paragenética, los procesos físico-químicos responsables de su formación y la génesis de depósitos minerales.
CE4, CE6	RA2: Determina los eventos principales en la evolución de la Tierra, explicando su relación con la formación de distintos yacimientos minerales durante épocas metalogénicas específicas.
CE6, CE8	RA3: Analiza materiales de origen geológicos, considerando los procesos de transformación en la corteza en el marco del Ciclo de Wilson, a fin de comprender la relación entre varios procesos geológicos con la formación de depósitos minerales.
CE6, CE8	RA4: Explica la relación entre la teoría de la tectónica de placas, épocas metalogénicas y provincias metalogénicas reconociendo su implicancia para efectos de exploración minera a nivel mundial. RA5: Utiliza conceptos y modelos para explicar la génesis de yacimientos, reconociendo sus diferencias e importancia para efectos de exploración, explotación minera y procesamiento de minerales.
CE8	RA6: Analiza los factores geológicos y climáticos que controlan la formación de distintas franjas metalogénicas a través de la evolución geológica del país, considerando la importancia de los modelos para la minería nacional.
Competencias genéricas	Resultados de aprendizaje
CG1	RA7: 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	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	RA9: Trabaja con sus pares en tareas de laboratorio, exposiciones 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	RA10: Analiza distritos mineros y épocas metalogénicas a nivel mundial y nacional, 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	RA2, RA3, RA4, RA8, RA10	Metalogénesis, evolución de la Tierra y el Ciclo de Wilson	3 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
1.1.Introducción. 1.2.Métodos de estudio de yacimientos minerales. 1.3.Definición de conceptos fundamentales en metalogénesis. 1.4.Elementos de Tectónica de Placas. 1.5.Evolución temprana de la Tierra. 1.6.Formación de cratones y cinturones de rocas verdes (greenstone belts) y su relación con yacimientos minerales. 1.7.El Ciclo de Wilson: Supercontinentes a través del tiempo geológico. 1.8.Evolución de la atmósfera-hidrosfera-biosfera y su efecto en la concentración de metales en la corteza. 1.9.Sistemas minerales y su relación con el ciclo de los supercontinentes.		El/la estudiante: 1. Identifica los procesos geológicos que contribuyen a la formación de yacimientos minerales. 2. Define conceptos básicos de provincias, épocas y franjas metalogénicas, determinando su importancia en la exploración minera. 3. Relaciona los conceptos de la Tectónica de Placas con la formación de depósitos minerales. 4. Comprende el concepto de tiempo geológico estableciendo como se ha dado la evolución e interacción entre las distintas esferas del sistema terrestre. 5. Describe las grandes etapas en la evolución cortical de la Tierra en el marco del Ciclo de los Supercontinentes. 6. Relaciona la distribución de las grandes provincias metalogénicas con los eventos y procesos globales a lo largo de la historia de la Tierra. 7. Lee textos y artículos científicos en español e inglés sobre la evolución temprana de la Tierra, sintetizando información relevante sobre la historia de la Tierra.	
Bibliografía de la unidad		[Windley (1995)]; [Evans (1997)]; [Misra (2000)]; [McDonald et al. (2005)]; [Robb (2020)]	

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
2	RA2, RA3, RA4, RA5, RA6, RA10	Metalogénesis del Arqueano y Proterozoico	4 semana
Contenidos		Indicador de logro	
2.1. Sistemas minerales formados en márgenes convergentes. 2.2. Depósitos de Au orogénico. 2.3. Sulfuros masivos volcanogénicos (VMS). 2.4. Pórfidos de Cu-Au-Mo. 2.5. Sistemas magmáticos y magmático-hidrotermales formados en márgenes de cratones. 2.6. Depósitos ortomagmáticos de Cr y Ni-Cu-PGE. 2.7. Sistemas tipo IOCG. 2.8. Yacimientos tipo Kiruna 2.9. Depósitos de óxidos de Fe-Ti-V en anortositas. 2.10. El gran evento de oxigenación. 2.11. Yacimientos sedimentarios tipo BIF: tipos y épocas. 2.12. Yacimientos estratiformes albergados en sedimentos. 2.13. Grandes provincias metalogénicas del Precámbrico.		El/la estudiante: 1. Reconoce los diferentes tipos de yacimientos y predice sus posibles ubicaciones en relación con la evolución dinámica de la corteza terrestre. 2. Analiza los distintos procesos geológicos que concentran metales en la corteza y como han variado desde el Arqueano al Proterozoico. 3. Relaciona los procesos concentradores de metales con conceptos de la Tectónica de Placas. 4. Usa modelos de yacimientos de minerales para analizar la relación entre los yacimientos y el tipo de ambiente geodinámico. 5. Integra diversos tipos de datos geológicos (geoquímicos, petrológicos, tectónicos/estructurales) con el fin de comprender la tipología de los depósitos minerales. 6. Relaciona la distribución de los grandes yacimientos con los eventos globales durante el Precámbrico. 7. Lee textos y artículos científicos en español e inglés sobre modelos de yacimientos y procesos geológicos relevantes durante el Arqueano y Proterozoico.	
Bibliografía de la unidad		[Stanton (1972)]; [Edwards, R. & Atkinson, K. (1986)]; [Sawkins (1990)]; [Kirkham et al. (1995)]; [Misra (2000)]; [Hedenquist et al. (2005)]; [Ridley (2013)]; [Robb (2020)]	

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
3	RA2, RA3, RA4, RA5, RA6, RA7, RA8, RA9, R10	Metalogénesis en el Fanerozoico	4 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
<p>3.1. Orogénesis Pan-Africana, el arco Lufuliano y el Copperbelt.</p> <p>3.2. Orogénesis Caledoniana y depósitos tipo asociados.</p> <p>3.3. Orogénesis Hercínica o Varisca y yacimientos metalíferos relevantes.</p> <p>3.4. Orogénesis Tianshan.</p> <p>3.5. Orogénesis Alpina.</p> <p>3.6. Orogénesis Sevier y Larámica.</p> <p>3.7. Provincia de pórfidos del SW Norteamericano.</p>		<p>El/la estudiante:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Reconoce y caracteriza los distintos tipos de yacimientos asociados a las orogénesis más importantes del Fanerozoico. 2. Identifica los aspectos físicos y químicos que controlan la formación de las provincias metalogénicas del Paleozoico. 3. Correlaciona la formación de grandes depósitos de la época con la geodinámica global. 4. Interpreta información geológica que determinan los procesos formadores de yacimientos, mediante modelos. 5. Analiza cómo se relaciona la distribución de los grandes yacimientos con los eventos globales durante el Fanerozoico. 6. Relaciona e integra información leída en textos o artículos sobre los procesos geológicos y su importancia en la generación de depósitos minerales. 7. Analiza los impactos o beneficios de la explotación de recursos mineros en los aspectos ambiental, social y económico, en escalas globales y locales. 8. Trabaja con sus pares en una exposición discutiendo sobre los modelos de formación de yacimientos y su importancia desarrollo industrial y tecnológico, demostrando organización, colaboración y respeto por las opiniones divergentes. 9. Expone en forma oral y escrita sobre tipos de yacimientos minerales existentes, discutiendo, de manera clara, sobre su origen. 	
Bibliografía de la unidad		<p>[Gilbert & Park (1986)]; [Edwards, R. & Atkinson, K. (1986)]; [Sawkins (1990)]; [Kirkham et al. (1995)] [Pierce & Bolm (1995)]; [Misra (2000)]; [Hedenquist et al. (2005)]; [Pirajno (2012)]; [Ridley (2013)]; [Robb (2020)]</p>	

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
4	RA1, RA2, RA3, RA4, RA5, RA7, RA6, RA8, RA9, R10	Metalogénesis Andina	3 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
4.1. Franja metalogénica del Jurásico-Cretácico (IOA-IOCG, Yacimientos estratoligados de Cu-Ag, pórfidos Cu-Mo Cretácicos). 4.2. Pórfidos cupríferos paleocenos. 4.3. Franja de pórfidos Eocenos-Oligocenos. 4.4. Franja metalogénica El Indio. 4.5. Franja de pórfidos Plioceno.		El/la estudiante: <ol style="list-style-type: none"> 1. Identifica las franjas metalogénicas y los principales distritos mineros de Chile. 2. Utiliza muestras de laboratorio para describir la mineralización y alteración característica de los distintos tipos de depósitos chilenos. 3. Determina las condiciones geológicas que controlan la mineralización y alteración de los diferentes depósitos chilenos. 4. Analiza los distintos modelos genéticos propuestos para explicar la formación de los yacimientos minerales. 5. Relaciona las distintas franjas metalogénicas con los diferentes condiciones geodinámicas y magmáticas. 6. Analiza los impactos o beneficios de la minería nacional en los aspectos ambiental, social y económico, a una escala local. 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 la metalogénesis andina y su evolución desde el Jurásico al Plioceno. 	
Bibliografía de la unidad		[Misra (2000)]; [Sillitoe et al. (2004)]; [Hedenquist et al. (2005)]; [Pirajno (2009)]; [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. Interpreta observaciones y descripciones de muestras de yacimientos para la determinación de los parámetros físico-químicos que conllevan a la precipitación mineral y su temporalidad de precipitación.
- **Análisis y exposición de casos:** 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
• Controles parciales de cátedra.	Evalúan RA2, RA3, RA4, RA5, RA6, RA8, RA10.
• Trabajos teóricos y prácticos de laboratorio con reportes de actividades.	Evalúa RA1, RA5, RA6, RA8, RA9.
• Controles parciales en el laboratorio.	Evalúan RA1.
• Exposición oral e informe sobre yacimientos tipos.	Evalúan RA2, RA3, RA4, RA5, RA6, RA7, RA8, RA9, RA10.
• Un examen final.	Evalúa RA2, RA3, RA4, RA5, RA6, RA8, RA10.

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:

- [1] Edwards, R. & Atkinson, K. (1986) Ore Deposit Geology and its Influence on Mineral Exploration. Springer, 482 pp.
- [2] Gilbert, J.M. & Park, C.F. (1986) The Geology of Ore Deposits. W. H. Freeman, 985 pp.
- [3] 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.
- [4] Kirkham, R.V., Sinclair, W.D., Thorpe, R.I. & Duke, J.M. (Eds.) (1995) Mineral Deposit Modeling, GAC Special Paper 40, 798 pp.
- [5] McDonald, I., Boyce, A.J., Butler, I.B., Herrington, R.J. & Polya, D.A. (2005) Mineral Deposits and Earth Evolution. Geol. Soc. Special Publication 248.
- [6] Misra, K.C. (2000) Understanding Mineral Deposits. Springer, 860 pp.
- [7] Pierce, F.W. & Bolm, J.G. (Eds.) (1995). Porphyry Copper Deposits of the American Cordillera. Arizona Geological Society Digest 20, 656 pp.
- [8] Pirajno, F. (2009) Hydrothermal Processes and Mineral Systems. Springer, 1291 pp.
- [9] Pirajno, F. (2012) Hydrothermal Mineral Deposits: Principles and Fundamental Concepts for the Exploration Geologist. Springer, 1136 pp.
- [10] 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] Sawkins, F.J. (1990) Metal Deposits in Relation to Plate Tectonics, 2da Edición, Springer-Verlag, 461 pp.
- [13] Sillitoe, R.H., Perelló, J. & Vidal, E. (Eds) (2004) Andean Metallogeny: New Discoveries, Concepts and Updates. Society of Economic Geologists Special Publication 11, SEG, Littleton, Colorado, 357 p
- [14] Stanton, R.L. (1972). Ore Petrology. Mc Graw Hill, 713 pp.
- [15] Wilson, B.F. (1995) The Evolving Continents, 3rd Edition, John Wiley & Sons, 526 pp.

Bibliografía complementaria:

- Apuntes de curso, disponible en U cursos.
- Artículos científicos relacionados a metalogénesis, orogénesis, épocas y provincias metalogénicas, 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:	Validación par: Brian Townley CTD de Geología
Revisado por:	Área de Gestión Curricular