

PROGRAMA DE CURSO

RECURSOS HÍDRICOS PARA ABASTECIMIENTO MINERO: INNOVACIÓN Y VISIÓN FUTURO

A. Antecedentes generales del curso:

Departamento	Ingeniería de Minas (DIMIN)					
Nombre del curso	Recursos hídricos para abastecimiento minero: Innovación y visión futuro	Código	MI5053	Créditos	6	
Nombre del curso en inglés	<i>Water resources for mining supplying: Innovation and future vision</i>					
Horas semanales	Docencia	3	Auxiliares	0	Trabajo personal	3
Carácter del curso	Electivo				X	
Requisitos	MI4250: Procesamiento de Minerales II, MI5160: Medio Ambiente y Comunidades					

B. Propósito del curso:

El curso tiene como propósito que los y las estudiantes sean capaces de comprender el requerimiento de agua por parte del sector minero actual y la proyección futura, correlacionando las necesidades de dicho recurso con la proyección de baja disponibilidad, en el contexto de escasez hídrica y de cambio climático.

En base a ello, el y las estudiantes podrán examinar fuentes alternativas de abastecimiento de agua para el sector minero, considerando oportunidades en la recirculación de agua de procesos, el tratamiento de efluentes mineros y el uso de agua de mar (directa o desalinizada), evaluando aspectos técnico-económicos y de sustentabilidad ambiental de estas estrategias, e identificando sus principales desafíos.

Finalmente, las y los estudiantes tendrán las bases para proponer soluciones conceptuales innovadoras y sustentables para el abastecimiento y gestión del agua en la minería del futuro, mediante el análisis de ejemplos nacionales e internacionales sobre estrategias de abastecimiento hídrico y su gestión, o planteando alternativas creativas y/o disruptivas.

Las competencias específicas (CE) y genéricas (CG) a las que tributa el curso son:

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.

CG6: Innovación:

Concebir ideas viables y novedosas que generen valor para resolver necesidades latentes, materializadas en productos, servicios o en mejoras a procesos dentro de un sistema u organización, considerando el contexto sociocultural y económico y los beneficios para el usuario.

C. Resultados de aprendizaje:

Competencias específicas	Resultados de aprendizaje
CE5	RA1: Analiza el requerimiento de agua del sector minero actual, correlacionando las necesidades de dicho recurso con la proyección de baja disponibilidad futura en el contexto de escasez hídrica y de cambio climático.
	RA2: Evalúa aspectos técnico-económicos y de sustentabilidad ambiental en fuentes posibles de abastecimiento de agua para el sector minero, considerando oportunidades en la recirculación de agua de procesos, el tratamiento de efluentes y el uso de agua de mar (directa o desalinizada).
CE5 CG3, CG5, CG6	RA3: Propone, con perspectiva ética, soluciones conceptuales innovadoras y sustentables para el abastecimiento y gestión del agua en la minería del futuro, analizando ejemplos sobre estrategias de abastecimiento hídrico y su gestión o planteando alternativas creativas.

Competencias genéricas	Resultados de aprendizaje
CG4	RA4: Ejecuta con su equipo actividades para el análisis de oportunidades de abastecimiento y gestión de agua y para propuestas de innovación, considerando el respeto por la opinión de los pares, así como una comunicación efectiva de la información al definir soluciones conjuntas.
CG1	RA5: Expone sobre las oportunidades de abastecimiento y gestión de agua del sector y las propuestas de innovación, logrando diseñar presentaciones en las que explica su propuesta con un lenguaje objetivo y claro, y que respalda con información de múltiples fuentes. RA6: Redacta informes sobre casos de abastecimiento y gestión de agua y propuestas de innovación y desarrolla un análisis crítico de estas materias, considerando en su discurso rigor, objetividad, respaldo de sus ideas con citas y antecedentes previos.

D. Unidades temáticas:

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
1	RA1	Agua en Minería: Consumo de agua del proceso minero, disponibilidad actual y proyecciones futuras	2 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
1.1. Hidrología y ciclo hidrológico. 1.2. Disponibilidad de agua del sector minero en Chile, cuencas hidrográficas relevantes. 1.3. Cambio climático y cambio hidrológico. Escenario actual y proyecciones futuras. 1.4. Consumo de agua del proceso minero en toda su cadena productiva. Proyecciones y escenarios futuros. 1.5. Eficiencia hídrica en minería.		El/la estudiante: <ol style="list-style-type: none"> 1. Maneja conceptos básicos y procesos relacionados con hidrología y ciclo hidrológico, así como herramientas para comprender la disponibilidad y calidad de agua, transporte de contaminantes y el cambio climático. 2. Analiza el consumo de agua del proceso minero en toda su cadena productiva. 3. Correlaciona las necesidades del recurso hídrico frente a la disponibilidad actual, el déficit de agua y las proyecciones en el contexto de cambio climático. 4. Reconoce los escenarios futuros y desafíos para mejorar la eficiencia hídrica en un contexto de escasez del recurso. 	
Bibliografía de la unidad		1, 2	

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
2	RA2, RA3, RA4, RA5, RA6	Reúso y recuperación de aguas: Oportunidades y desafíos	5 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
<p>2.1. Modelo descarga cero de líquidos (ZLD).</p> <p>2.2. Recirculación de aguas en el proceso minero: escenario actual, ventajas y desafíos.</p> <p>2.3. Efluentes mineros con oportunidad de recuperación de aguas.</p> <p>2.4. Drenajes ácidos de mina: Problema/oportunidad.</p> <p>2.5. Aguas de cubetas de relaves: características y oportunidades.</p>		<p>El/la estudiante:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Identifica las oportunidades del sector minero de abastecerse de recurso hídrico desde a) la recirculación de aguas de procesos y b) la recuperación de aguas desde efluentes mineros. 2. Reconoce los principales desafíos técnicos, económicos y de sustentabilidad de la recirculación y recuperación de agua. 3. Analiza, de forma reflexiva, el impacto de una propuesta o proyecto de ingeniería, considerando sus efectos sobre el medio natural (recirculación y recuperación de aguas). 4. Analiza ejemplos nacionales e internacionales sobre estrategias de abastecimiento hídrico por parte del sector industrial/minero. 5. Propone, en un proyecto que considere el desarrollo de la confianza creativa, soluciones innovadoras/disruptivas, sustentables, con perspectiva ética, para atender las necesidades de agua en la minería del futuro, promoviendo el reúso y recuperación de aguas. 6. Gestiona de forma adecuada citas directas, indirectas, figuras e información, elaborando un discurso que evidencia rigor, objetividad, y que cuestione antecedentes previos. 7. Diseña presentaciones orales ajustadas a audiencias múltiples, las que consideran recursos (verbales, no verbales y paraverbales) para explicar tanto el análisis de oportunidades frente a posibles fuentes de abastecimiento de agua para el sector, así como sobre las propuestas de innovación desarrolladas. 8. Respeta las ideas y opiniones de sus compañeros para definir acuerdos, compartiendo ideas que permitan dar cumplimiento con la presentación de los proyectos de innovación. 	
Bibliografía de la unidad		1, 3, 4, 5, 7, 8, 11	

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
3	RA2, RA3, RA4, RA5, RA6	Agua de mar como fuente de abastecimiento minero	5 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
<p>3.1. Uso de agua de mar en minería: Escenario actual y proyecciones futuras.</p> <p>3.2. Agua de mar directa en el proceso minero: Desafíos técnicos, ejemplos de casos implementados.</p> <p>3.3. Desalinización de agua de mar: Tecnologías de desalinización, Desaladoras en el mundo y en Chile. Proyección nacional.</p> <p>3.4. Proceso de osmosis inversa para desalinización: proceso, desafíos técnicos, económicos y de sustentabilidad (consumo de energía, impulsión de agua, manejo de salmueras de rechazo, manejo de membranas de descartes, impactos ambientales posibles).</p> <p>3.5. Oportunidades frente al uso de agua de mar en el proceso minero.</p>		<p>El/la estudiante:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Identifica las oportunidades del sector minero para abastecerse de recurso hídrico desde el agua de mar. 2. Reconoce y analiza los principales desafíos técnicos, económicos y de sustentabilidad del sector, tanto en el uso de agua de mar directa, como en el uso de agua de mar desalinizada. 3. Propone soluciones creativas/disruptivas, sustentables y con perspectiva ética para los principales desafíos (técnicos, económicos o de sustentabilidad) asociados al abastecimiento de agua de mar por parte del sector minero. 4. Genera y explora ideas como posibilidades diversas para promover el óptimo y sustentable del uso de agua de mar en el proceso minero, en un proyecto que considera el desarrollo de la confianza creativa. 5. Utiliza de forma adecuada citas directas, indirectas, figuras e información proveniente de múltiples fuentes, con las cuales cuestionar y polemizar con antecedentes válidos. 6. Expone oralmente a una audiencia las propuestas de innovación sobre un desafío técnico, económico o de sustentabilidad, relacionado al uso de agua de mar directa o desalinizada, considerando el uso apropiado de recursos (verbales, no verbales y paraverbales). 7. Respeta las ideas y opiniones de sus compañeros, compartiendo ideas que permitan dar cumplimiento a la presentación de los proyectos de innovación. 	
Bibliografía de la unidad		5, 6, 7, 9, 10, 11	

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
4	RA1, RA2, RA4, RA5, RA6	Sector minero en la gestión integrada del recurso hídrico	4 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
<p>4.1. Gestión del recurso hídrico: definiciones y principales desafíos del sector minero.</p> <p>4.2. Marco normativo: leyes y políticas.</p> <p>4.3. Visión futura de la gestión integrada del recurso hídrico y la participación del sector minero. Ejemplos de modelo internacionales.</p>		<p>El/la estudiante:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Comprende la relevancia de la gestión integrada del recurso hídrico en el territorio. 2. Reconoce de forma generalizada el marco legal y de gobernanza existente e inexistente, para lograr la gestión del agua y su aprovechamiento sostenible. 3. Reconoce normas y regulaciones vigentes, relacionadas con la sustentabilidad, en el ámbito en que se desempeña su accionar (recurso hídrico). 4. Analiza ejemplos nacionales e internacionales sobre la gestión integrada de recurso hídrico considerando la participación del sector industrial/minero. 5. Propone, con perspectiva ética, estrategias creativas/disruptivas y sustentables de gestión integrada de recurso hídrico, considerando la participación, colaboración y concertación de todos los sectores demandantes de agua, entre ellos el sector minero. 6. Genera y explora ideas como posibilidades diversas para promover la gestión integrada de recurso hídrico, a partir de un proyecto que considere el desarrollo de la confianza creativa. 7. Gestiona de forma adecuada citas directas, indirectas, figuras e información proveniente de diversas fuentes lo que le permite otorgar a su discurso rigor, objetividad, respaldo de sus ideas, así como cuestionar y polemizar con dichos antecedentes. 8. Diseña presentaciones orales ajustadas a audiencias, considerando recursos (verbales, no verbales y paraverbales) donde explica la propuesta de gestión integrada de recurso hídrico, considerando un análisis del sector minero. 9. Define acuerdos comunes, compartiendo ideas con las cuales cumplir con la actividad propuesta (presentación del proyecto de gestión de recurso 	

	hídrico).
Bibliografía de la unidad	1, 2, 3, 10, 11, 12

E. Estrategias de enseñanza - aprendizaje:

El curso considera las siguientes estrategias de enseñanza:

- Clases expositivas.
- Lectura de textos y artículos especializados.
- Seminarios, presentaciones orales.
- Estudio de casos.
- Proyecto de innovación.

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
» Discusiones en clase sobre el análisis de lecturas de textos especializados.	Evalúa RA1, RA2, RA3
» Seminarios.	Evalúa RA2, RA3
» Análisis de casos reales (Presentación de informes y exposiciones orales).	Evalúa RA4, RA5, RA6
» Proyectos de innovación (Presentación de informes y exposiciones orales).	Evalúa RA3, RA4, RA5, RA6

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

G. Recursos bibliográficos:

Bibliografía

1. Cochilco (2020), Proyección de consumo de agua en la minería del cobre 2020-2031.
2. Oyarzún J. y Oyarzún R (2011) Minería sostenible: principios y prácticas. Ediciones GEMM, Aula2punto.net
(www.aulados.net/GEMM/Libros_Manuales/Libro_Mineria_Sostenible.pdf).
3. Eldon R. Rene Veeriah Jegatheesan Li Shu. Integrated Water Management for Enhanced Water Quality and Reuse to Create a Sustainable Future. 2021. IWA Publishing, USA.
4. EPA Wastewater Reuse Guidelines (2017).
5. Vesilind, P.A. y Morgan, S.M (2004). Introduction to environmental engineering. Brooks/Cole-Thomson Learning. 2nd Edition.
6. Joseph Cotruvo, Nikolay Voutchkov, John Fawell, Pierre Payment, David Cunliffe, Sabine Lattemann. Desalination Technology: Health and Environmental Impacts (2010). IWA Publishing, USA. ISBN13: 9781843393474.
7. Bettina Minder & Astrid Heidemann Lassen (2018). The Designer as Facilitator of Multidisciplinary Innovation Projects, The Design Journal, 21:6, 789-811, DOI:10.1080/14606925.2018.1527513
8. Al-Atabi Mushtak (2014) "Think like an Engineer".
9. Moya, P. (2016) "Habilidades de Innovación", Área de investigación Openlab.
10. Abarca, J., Bedard, A., Carlson, D., Carlson, L., Hertzberg, J., Louie, B., Milford, J., Reitsma, R., Schwartz, T., Sullivan, J. (2007). "Introducción al Diseño de Ingeniería: Un Enfoque Basado en Proyectos", Universidad de Colorado, Traducción Universidad de Chile.
11. Bilbao, G. Fuertes, J. Guibert, J.M. (2006) "Ética para Ingenieros", Desclée de Brouwer, España, 2da Edición.
12. Ayuk et al 2020. Mineral Resource Governance in the 21st century. UN Environment Programme and International Resource Panel.

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

Vigencia desde:	Primavera, 2022
Elaborado por:	Andreina García
Validado por:	Validación de académico par: Emilio Castillo, Luis Felipe Orellana Validación CTD de Minas
Revisado por:	Área de Gestión Curricular