ENVIHEI

Título del reto de ABP:
Profundizando: Retos de sostenibilidad en el sector de las materias primas

Nombre del docente responsable

Marinella Passarella y Michael Tost

Universidad / Departamento / Programa de grado

Universidad Técnica de Leoben / Chair of Mining Engineering and Mineral Economics / Máster Internacional en Desarrollo Avanzado de Recursos Minerales

Curso / Asignatura en que se ha implementado

1° / Economía de los Recursos Minerales y Gestión de Proyectos

Periodo de implementación (fechas)

26 de octubre de 2025 – 30 de enero de 2026

Duración total (semanas/horas)

16 semanas / 150 horas

Número de estudiantes participantes

38 estudiantes

Todos los resultados desarrollados en el marco de ENVIHEI están disponibles bajo la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

Cofinanciado por la Unión Europea. No obstante, las opiniones y puntos de vista expresados son únicamente los del autor o autores y no reflejan necesariamente los de la Unión Europea o los del Servicio Español para la Internacionalización de la Educación (SEPIE). Ni la Unión Europea ni el SEPIE pueden ser considerados responsables de ellos. [2024-1-ES01-KA220-HED-000246733]

1. Diseño del proyecto

1.1 Breve descripción del proyecto y del reto propuesto

La asignatura ofrece una introducción básica a las múltiples bases conceptuales del Desarrollo Sostenible y la Sostenibilidad, así como a sus aplicaciones actuales en distintos estudios de caso reales sobre materias primas. La asignatura se basa en un enfoque innovador de aprendizaje basado en problemas (ABP) - inteligencia artificial (IA). Se fomenta especialmente la participación activa de los estudiantes en las actividades que se detallan a continuación. La docencia se organiza del siguiente modo:

1. Se proporcionará a los estudiantes una base de conocimientos sobre los complejos temas de la Sostenibilidad y el Desarrollo Sostenible, como su historia básica, los conceptos clave, la teoría (Passarella) y las aplicaciones actuales específicas de la minería y las materias primas (Tost). Esto incluye clases magistrales, clases grabadas, vídeos, lecturas (bibliografía científica y manuales seleccionados), etc.
2. Se presentarán varios problemas de desarrollo sostenible de difícil solución basados en estudios de caso reales sobre materias primas minerales. Los estudiantes se dividirán en grupos y trabajarán en un problema/estudio de caso concreto, aplicando la base de conocimientos y utilizando la IA como un miembro del equipo.
3. Cada grupo preparará un informe final del trabajo grupal y cada estudiante un diario de aprendizaje (los detalles se anunciarán por separado), y realizarán una presentación ante todo el grupo (la modalidad de presentación se anunciará por separado). En esta ocasión, los docentes moderarán una sesión de síntesis.

La base de conocimientos incluye los conceptos de desarrollo sostenible y sostenibilidad, con especial atención a su aplicación a las materias primas no

renovables. Se repasarán brevemente los orígenes de estos conceptos (procesos clave de la ONU, como la Comisión Brundtland, los ODM de la ONU, los ODS, etc.). Se presentará una visión general de los conceptos fundamentales subyacentes (p. ej., bienestar, formulaciones de sostenibilidad débil frente a fuerte, niveles de vida dignos, límites planetarios, etc.) y de los marcos (p. ej., economía de la rosquilla, MCA, etc.) desde una perspectiva multidisciplinaria que incluye la ética, la economía y las ciencias sociales y ambientales. La asignatura también revisa las aplicaciones actuales de los conceptos y principios del desarrollo sostenible en las industrias mineras y de materias primas, en particular los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la ONU y las ampliaciones en curso (p. ej., The World in 2050 Initiative); también se evalúan críticamente los marcos de políticas propuestos (sectoriales frente a integradores) para su implementación. Se prestará especial atención al debate sobre el caso de las industrias extractivas.

Tanto la estructura como los materiales de la asignatura se organizan con el apoyo supervisado de la IA. Además, los estudiantes deberán incluir la IA como miembro del grupo y utilizar (de forma crítica) herramientas basadas en IA para apoyar su trabajo grupal durante toda la asignatura.

La docencia se organiza para garantizar que la asignatura cubra las capacidades clave necesarias para fomentar la sostenibilidad (p. ej., las capacidades para el desarrollo sostenible de Harly y Clark-Harvard).

La asignatura se impartirá parcialmente en línea. Al menos una semana antes de cada clase, según lo especificado en el programa de la asignatura, se publicarán en línea todos los materiales pertinentes (diapositivas, bibliografía), así como un vídeo de la clase. En la fecha y hora designadas para la clase, una llamada de Webex reunirá a docentes y estudiantes para debatir y realizar una

sesión de preguntas/respuestas. Se espera que los estudiantes hayan visto el vídeo de la clase correspondiente y estudiado los materiales publicados antes de cada sesión de debate en línea. Se apoyará a los estudiantes mediante el trabajo grupal y la interacción a través de Moodle para el debate, y se fomenta la interacción mediante preguntas y respuestas. Los enlaces web específicos y las herramientas informáticas para el debate en línea se anunciarán por separado.

***Tabla 1**. Retos propuestos, docentes responsables y número de estudiantes de cada grupo.*

Grupo	Título	Docente	Nº de estudiantes
1	El proyecto Jadar - Equipo 1	Marinella Passarella	5
2	El proyecto Jadar - Equipo 2	Marinella Passarella	5
3	El reto del Salar de Atacama - Equipo 1	Michael Tost	4
4	El reto del Salar de Atacama - Equipo 2	Michael Tost	4
5	El gambito de Simandou	Michael Tost	4
6	La controversia del carbón de Glencore	Michael Tost	4
7	La inversión en el complejo de Fen	Michael Tost	4
8	Límites planetarios - Equipo 1 (Europa)	Marinella Passarella	4
9	Límites planetarios - Equipo 2 (Dubái)	Marinella Passarella	4

1.2 Resultados de aprendizaje previstos (competencias académicas y transversales)

Comprender y comenzar a desarrollar el pensamiento sistémico

- Definir y explicar conceptos clave de sostenibilidad (Objetivos de Desarrollo Sostenible, límites planetarios, niveles de vida dignos, distintas formas de capital y sostenibilidad débil frente a fuerte, etc.).
- Explicar los principios clave de sostenibilidad y su pertinencia para los recursos renovables frente a los no renovables.
- Explicar los conceptos de sostenibilidad mediante ejemplos del contexto de las materias primas/ minería.
- Explicar la interconexión de los sistemas (pensamiento sistémico).

Aplicar/analizar y desarrollar el pensamiento sistémico

- Examinar/analizar problemas complejos de sostenibilidad del mundo real en el contexto de las materias primas/minería.
- Contrastar distintos aspectos de la sostenibilidad de problemas complejos del mundo real relacionados con las materias primas/minería.
- Seleccionar y aplicar el marco/definición /concepto/método de sostenibilidad adecuado para analizar problemas complejos del mundo real relacionados con las materias primas/minería.
- Comparar distintos escenarios en problemas complejos del mundo real relacionados con las materias primas/ minería en relación con el desarrollo sostenible (p. ej., consideración de la equidad: sur global frente a norte global, beneficios frente a costes/externalidades de la extracción).
- Comprender y comparar los distintos puntos de vista de las diferentes partes interesadas (p. ej., empresa frente a comunidad; local frente a nacional frente a global).
- Analizar problemas complejos de sostenibilidad en el sector de las materias primas identificando interdependencias sistémicas entre las dimensiones ambiental, económica y social.

Crear/evaluar

- Argumentar y defender sus propias posiciones (y las del grupo) sobre la solución científica/de ingeniería de sostenibilidad propuesta ante sus compañeros.
- Evaluar críticamente las soluciones de sostenibilidad de los compañeros y los métodos seleccionados para abordar problemas complejos del mundo real relacionados con las materias primas/minería.
- Preparar un informe científico y/o técnico sobre las cuestiones de sostenibilidad del proyecto complejo del mundo real relacionado con las materias primas/minería abordado.

- Proponer soluciones innovadoras a una o varias cuestiones de sostenibilidad de problemas complejos del mundo real relacionados con las materias primas/minería.

Desarrollar el pensamiento crítico, la responsabilidad, la anticipación y la colaboración:

- Evaluar el impacto de las estrategias mineras en la sostenibilidad comparando alternativas basadas en criterios éticos, ambientales, sociales y económicos, mediante herramientas estructuradas de toma de decisiones.
- Cocrear soluciones viables para los retos de sostenibilidad en el sector de las materias primas y la minería mediante la colaboración interdisciplinaria y el análisis de las partes interesadas.

Desarrollar un cambio de mentalidad, capacidad de acción y empoderamiento

- Desarrollar una mentalidad crítica para transformar las trayectorias de desarrollo insostenibles en sostenibles.
- Vincular el conocimiento con la acción para la sostenibilidad.
- Considerar la equidad tanto dentro de cada generación como entre generaciones en la toma de decisiones al desarrollar soluciones innovadoras a una o varias cuestiones de sostenibilidad de problemas complejos del mundo real relacionados con las materias primas/minería.
- Reflexionar sobre el propio papel como agente activo de cambio y formular un plan de acción personal o grupal para promover prácticas sostenibles en la trayectoria profesional.

Habilidades interpersonales/Proceso

- Trabajar eficazmente en equipo, incluida la toma de decisiones grupales y la gestión de conflictos.

- Trabajar eficazmente en entornos multiculturales y considerar distintas perspectivas.
- Desarrollar la conciencia multicultural.
- Gestionar proyectos de un semestre de duración.
- Gestionar múltiples plazos de entrega.
- Comunicar y presentar ideas eficazmente en distintos formatos (p. ej., presentaciones orales, pósteres).
- Utilizar la IA de forma crítica y reflexiva para buscar información, evaluar fuentes y resultados de investigación y realizar trabajo grupal colaborativo, incluida la asignación de roles adecuados a la IA y la evaluación de sus contribuciones.

1.3 Competencias de sostenibilidad que se pretende desarrollar

El docente responsable pretendía integrar en los resultados de aprendizaje previstos (cuando fuera posible) las competencias de sostenibilidad de los investigadores de Harvard (Clark and Harley, 2020):

1. Capacidad para medir los avances hacia el desarrollo sostenible.
2. Capacidad para adaptar las trayectorias de desarrollo con el fin de proteger el bienestar humano frente a las perturbaciones.
3. Capacidad para transformar las trayectorias de desarrollo insostenibles en sostenibles.
4. Capacidad para promover la equidad tanto dentro de cada generación como entre generaciones.
5. Capacidad para gobernar, es decir, construir y mantener relaciones de colaboración en pos del desarrollo sostenible.
6. Capacidad para vincular el conocimiento con la acción para la sostenibilidad.

1.4 Enfoque de sostenibilidad y cómo se integra en el proyecto

Se proporciona a los estudiantes una base de conocimientos sobre los principales aspectos de la sostenibilidad y el desarrollo sostenible mediante clases en vídeo (p. ej., ODS, límites planetarios, marco de sostenibilidad de MCA y sus aplicaciones a las materias primas minerales y al sector minero, como la licencia social para operar).

1.5 Metodologías y herramientas utilizadas (estructura del ABP, técnicas de facilitación, etc.)

Cada grupo tenía asignado un mentor. El trabajo se organizó siguiendo el proceso de 7 pasos (modelo de Maastricht):

1. Aclarar términos desconocidos.
2. Definir el problema.
3. Realizar una lluvia de ideas (conocimientos previos, ideas).
4. Analizar el problema (Debatir explicaciones + hipótesis).
5. Formular objetivos de aprendizaje.
6. Estudio autónomo.
7. Comunicar los hallazgos.

La iteración y los ciclos adicionales pueden repetirse con problemas complejos.

1.6 Organización del proyecto (formación de grupos, cronograma, hitos)

Al comienzo de la asignatura, se informó a los estudiantes de las normas operativas de trabajo de las clases de ABP, incluidos los entregables, los criterios de evaluación, los plazos y los hitos, para garantizar un flujo de trabajo fluido (cada entregable tenía hitos intermedios obligatorios, p. ej., entregar un borrador y recibir retroalimentación tanto de los mentores como de los compañeros). Se explicaron los retos y se dividió a los estudiantes en grupos

siguiendo el criterio de optimizar la diversidad en términos de género (al menos 1 mujer en cada grupo), nacionalidad y estudiantes internacionales frente a locales.

1.7 Entregables solicitados a los estudiantes (tipo, formato, plazos)

Entregables (véase la Tabla 2):

Portafolio del itinerario de aprendizaje de los estudiantes

- Diario de aprendizaje: seguir los 7 pasos e informar periódicamente sobre lo aprendido (p. ej., formación del grupo, colaboraciones a mitad del periodo, objetivos de aprendizaje, final, reflexión)
- Informe técnico
    - Mapa sistémico
    - Revisión bibliográfica
    - Primer borrador del informe
    - Informe final
- Póster científico
    - Borrador del póster científico – presentación
    - Presentación del póster científico

***Tabla 2**. Calendario de clases y entregables. Las reuniones presenciales obligatorias se destacan en rojo, mientras que las franjas de tutoría grupal para consultas y preguntas y respuestas (en línea o presenciales) se destacan en negro.*

Fecha	Horario de clase	Entregable
6 de octubre (Marinella + Michael)	14:00-15:30	
9 de octubre (Marinella + Michael)	14:30-16:00	(Inicio del diario de aprendizaje)
13 de octubre (Marinella + Michael)	14:00-15:30	Hasta el 15 de octubre • Contrato de grupo
20 de octubre (Marinella + Michael)	13:00-15:30	• Mapa sistémico • Actualización del diario de aprendizaje
27 de octubre (Michael)	15:30-17:00	
30 de octubre (Marinella)	14:00-15:30	

3 de noviembre (Michael)	15:30-17:00		• Objetivos de aprendizaje • Actualización del diario de aprendizaje
6 de noviembre (Marinella)	14:00-15:30		
10 de noviembre (Michael)	15:30-17:00		
13 de noviembre (Marinella)	14:00-15:30		
17 de noviembre (opcional)			
20 de noviembre (Marinella)	14:00-15:30		
24 de noviembre (Michael + Marinella)	13:00-15:30	2.5h	• Revisión bibliográfica • Actualización del diario de aprendizaje
1 de diciembre (Michael)	14:00-15:30		
1 de diciembre (Marinella)	15:30-17:00		
9 de diciembre (Marinella)	15:30-17:00		
10 de diciembre (Michael)	15:30-17:00		
15 de diciembre (Michael + Marinella)	13:00-15:30	2.5h	• Primer borrador del informe • Actualización del diario de aprendizaje
12 de enero (Marinella)	13:00-14:30		
12 de enero (Michael)	14:30-16:00		
19 de enero (Michael + Marinella)	14:00-15:30		• Informe final • Borrador del póster en PPT • Actualización del diario de aprendizaje
26 de enero (Michael + Marinella)	13:00-15:30	2.5h	• Póster científico • Actualización del diario de aprendizaje
30 de enero (Michael + Marinella)	13:00-15:30	2.5h	• Diario de aprendizaje final

1.8 Colaboradores externos participantes (mentores, empresas, expertos...) y su función

Los docentes actuaron como mentores especializados en el sector investigado. A cada grupo se le asignó un mentor para apoyarlo en cuestiones técnicas y organizativas durante toda la asignatura. Los retos asignados son estudios de caso reales.

2. Evaluación del proyecto

2.1 Criterios y métodos de evaluación utilizados

Los criterios de evaluación y sus ponderaciones se muestran a continuación (Figura 1).

% of the overall grade	Deliverable	Group	Individual	Results	Process	AI	Grade / accomplished	Who is the grader?
25%	Portfolio of your learning path		X		X	X	Accomplishment	Teachers
35%	Technical Report	X		X		X	Grade (track where AI was used and include it in an appendix of the report)	Teachers
15%	Scientific Poster	X		X		X		Peer assessment
10%	Overall Participation		X		X		Level of participation? (minus or red flags + neutral)	Teachers
15%	Group Participation / collaboration		X		X		Grade	Peers verified by the teacher

Figura 1. *Criterios y métodos de evaluación utilizados para el ABP.*

2.2 Evidencias del aprendizaje de los estudiantes (ejemplos, productos, resultados)

Las evidencias del aprendizaje de los estudiantes incluyen los entregables completados, la asistencia a clases y reuniones presenciales y la participación activa y la colaboración en las actividades grupales.

3. Reflexiones y recomendaciones

3.1 Principales logros y fortalezas del proyecto

Los estudiantes se sintieron empoderados y demostraron un alto grado de compromiso e implicación en el trabajo grupal. Sus comentarios destacaron que trabajar en un entorno internacional, utilizar el inglés y abordar retos complejos del mundo real fue una experiencia valiosa y enriquecedora.

Los estudiantes desarrollaron su capacidad para gestionar en grupo un proyecto de varios meses de duración. Valoraron especialmente los hitos establecidos para cada entregable, incluidas las entregas intermedias, que les ayudaron a estructurar su trabajo y supervisar sus avances a lo largo del proyecto.

El proyecto también fomentó vínculos sólidos entre los miembros del grupo y ayudó a los estudiantes a desarrollar estrategias para superar los retos de forma colaborativa. Mediante el diario de aprendizaje, se animó a los estudiantes a reflexionar sobre su proceso de aprendizaje, sus retos, sus avances y su desarrollo personal a lo largo del proyecto.

La conexión entre los mentores/docentes y cada grupo de estudiantes fue otra fortaleza importante. Desde la perspectiva de los mentores, fue una experiencia gratificante acompañar a los estudiantes a lo largo de su itinerario de ABP, ofreciéndoles apoyo, asesoramiento y sugerencias, al tiempo que se les permitía asumir progresivamente la responsabilidad de su trabajo.

Desde la perspectiva de los docentes, el proyecto requirió una inversión inicial considerable de tiempo, recursos y preparación. Sin embargo, una vez desarrollados los materiales y la estructura, el enfoque puede replicarse fácilmente en años futuros con nuevos estudiantes.

El proyecto también ayudó a los estudiantes a reconocer la complejidad y la importancia de la sostenibilidad. Adquirieron una comprensión de los conceptos y marcos clave de sostenibilidad y aprendieron a aplicarlos a retos de sostenibilidad ambiental considerando sus conexiones con las dimensiones social y económica.

En conjunto, el proyecto fue una experiencia muy gratificante y enriquecedora tanto para estudiantes como para docentes, que combinó el aprendizaje colaborativo, los retos del mundo real, la sostenibilidad y el desarrollo personal.

3.2 Retos afrontados y cómo se abordaron

Al comienzo de la asignatura, disponer de la plataforma Moodle completamente preparada con todos los materiales necesarios supuso un reto. Este se abordó priorizando y preparando los materiales más esenciales para el inicio de la asignatura, como las descripciones de los retos. Los materiales restantes se desarrollaron durante el primer mes de la asignatura, paralelamente a la implementación.

La preparación de todos los vídeos para el enfoque de aula invertida también supuso un reto. Este se abordó grabando el último vídeo una vez iniciada la asignatura, ya que los estudiantes no necesitarían acceder a él hasta noviembre.

Otro reto fue que un mentor debía apoyar a varios grupos al mismo tiempo. Para abordarlo, se dedicó más tiempo a las actividades de mentoría del previsto inicialmente.

3.3 Lecciones aprendidas para futuras implementaciones

Los estudiantes destacaron en sus comentarios que les habría gustado disponer de más clases magistrales en el aula sobre las teorías, los marcos y los

conceptos de sostenibilidad y desarrollo sostenible. Los estudiantes tenían acceso a clases en vídeo en un formato de aula invertida, pero habrían preferido clases en directo, ya que consideraban que aprendían mucho más en las pocas sesiones impartidas presencialmente.

Distribuir los entregables de forma más equilibrada a lo largo de la asignatura, con más plazos de entrega hacia el final. Los estudiantes consideraron que el ritmo era demasiado rápido durante la primera parte de la asignatura, hasta mediados de noviembre, y que no tenían tiempo suficiente para comprender los conceptos clave de la base de conocimientos antes de aplicarlos a sus proyectos.

4. Material de apoyo

4.1 Materiales de los docentes y documentación del proyecto

Los materiales de los docentes y la documentación del proyecto están disponibles en el siguiente enlace: https://drive.google.com/drive/folders/1zVf8NVo86EeKvQcYep1lPMmSW-Xk62Wu?usp=drive_link

4.2 Entregables elaborados por los estudiantes, presentaciones finales o materiales de presentación breve

Algunos estudiantes expresaron su interés en publicar el contenido de sus informes técnicos y pósteres. Por tanto, los informes técnicos, los pósteres y los demás entregables relacionados no se pondrán a disposición del público hasta que los estudiantes hayan tenido la oportunidad de publicar su trabajo. Por último, los diarios de aprendizaje no se harán públicos, ya que contienen reflexiones personales de cada estudiante.

Un ejemplo de los entregables elaborados por los estudiantes está disponible en el siguiente enlace:

https://drive.google.com/drive/folders/1_4iWAocbkoPuXH_EG7PbjyFltRCEoY4r?usp=drive_link

Las presentaciones finales de los estudiantes están disponibles en el siguiente enlace: https://drive.google.com/drive/folders/1nIbrHmMgMMF_3HQIqHF1Z_j_jeiWlw3m?usp=drive_link

4.3 Imágenes/vídeos (con consentimiento)

Se tomaron fotografías y se grabaron vídeos con el consentimiento explícito de los estudiantes participantes, y están disponibles en el siguiente enlace: https://drive.google.com/drive/folders/18x19T8k4bCjGAmB50MobbuXbP9OVj4Py?usp=drive_link

4.4 Cualquier otro material pertinente

Todos los materiales, incluido este informe, están disponibles en el siguiente enlace: https://drive.google.com/drive/folders/1nKjMkwkTf7BZCzWY40b7798mHpfyM3um?usp=drive_link