



Ministerio de Capital Humano
República Argentina

Secretaría
de Educación

inet
Instituto Nacional de
Educación Tecnológica

CeNET
Centro Nacional de
Educación Tecnológica

Banco Federal de Proyectos Tecnológicos

Propuestas de Aprendizaje Basado en Proyectos

Título del proyecto

Yendo a la fuente

Autor/a

Emiliano Giuliani

Escuela

CET 5

Localidad

Cinco saltos

Jurisdicción

Río Negro

Familia profesional

Minería e Hidrocarburos

Áreas de implementación

Química. Lixivación del oro. Impacto ambiental en la región.



Contexto y destinatarios

La institución, el entorno formativo y el problema que da origen al proyecto

El proyecto se contextualiza en la provincia de Río Negro, específicamente en la Región Sur, tomando como eje el yacimiento minero Calcatreu, cercano a Ingeniero Jacobacci. Aborda dilemas socio científicos reales mediante el análisis del proceso industrial de lixiviación del oro, vinculándolo con la preservación hídrica en una estepa propensa a sequías y los derechos territoriales.

Está destinado a estudiantes de 15 años (3° o 4° año de la escuela secundaria). Los jóvenes se posicionan como sujetos activos, desarrollando el pensamiento crítico y la argumentación científica a través del Aprendizaje Basado en Problemas (ABP).

Fundamentación

Relevancia para la ETP y enfoque pedagógico

La enseñanza de las ciencias naturales en la escuela secundaria actual exige trascender la mera transmisión de fórmulas abstractas y descontextualizadas para avanzar hacia un modelo de alfabetización científica comprometido con la realidad territorial. El estudio del proyecto minero Calcatreu, ubicado en la provincia de Río Negro, se constituye como un escenario pedagógico de altísimo valor didáctico para los estudiantes de 15 años. Este caso real permite conectar conceptos estructurantes de la Química Ambiental —como sistemas materiales, soluciones diluidas, reacciones de equilibrio y escalas de pH— con un debate socio científico de profunda relevancia económica, ecológica y cultural en la región de la Patagonia argentina.

A los 15 años, los jóvenes consolidan su pensamiento abstracto y desarrollan una marcada sensibilidad hacia las problemáticas sociales y ambientales. Abordar el proceso industrial de lixiviación del oro los posiciona ante dilemas complejos del mundo real: el equilibrio entre la expansión de la matriz productiva provincial, la generación de puestos de trabajo locales, la preservación hídrica en una estepa xerófila propensa a las sequías crónicas y el respeto por los derechos territoriales de los pueblos originarios. El sentido pedagógico radica en evitar el reduccionismo binario de "minería buena" o "minería mala", promoviendo el pensamiento crítico basado en evidencias.

Objetivos y aprendizajes

Capacidades a desarrollar

- Explicar el fenómeno de lixiviación como un proceso químico de disolución selectiva mediante el uso de reactivos en circuito cerrado.



- Reconocer la importancia crítica del control de pH en sistemas industriales para prevenir la formación de compuestos volátiles altamente tóxicos como el cianuro de hidrógeno (HCN).
- Identificar y ponderar los impactos ambientales y socioculturales de la minería a cielo abierto frente a los factores socioeconómicos regionales.
- Desarrollar argumentos fundamentados en evidencia técnica para participar en debates sobre desarrollo sustentable y matrices productivas locales.

Contenidos

Organización por ejes de saber

- **Química General y Ambiental:** Sistemas materiales homogéneos y heterogéneos. Soluciones diluidas, soluto, solvente y concentración. Procesos de separación y extracción química selectiva (lixiviación).
- **Reactividad y Equilibrio Químico:** Escala de pH, soluciones alcalinas y ácidas. Factores de riesgo químico: descomposición del cianuro de sodio (NaCN) y generación de gas cianuro de hidrógeno (HCN).
- **Tecnología e Impacto Ambiental:** Circuitos cerrados de lixiviación, impermeabilización con geomembranas de alta densidad. Gestión de cuencas hídricas en zonas áridas. Pasivos ambientales y marcos regulatorios provinciales.

Secuencia de enseñanza

Etapas y actividades

Encuentro 1: La Química del Oro y el Circuito Cerrado (80 minutos)

Inicio (20 minutos): El Problema Disparador en el Territorio

La sesión comienza con el aula en semicírculo. El docente proyecta un mapa político y geográfico de la provincia de Río Negro, haciendo foco en la Región Sur, específicamente a unos 70 kilómetros de Ingeniero Jacobacci. Se exhiben imágenes actuales de la estepa patagónica y del yacimiento minero Calcatreu. El docente contextualiza históricamente el caso: explica que tras años de debates socioambientales y cambios legislativos, el yacimiento ha entrado formalmente en su fase de producción efectiva, proyectando extraer miles de onzas de oro y plata para su exportación.

Acto seguido, el docente plantea el gran interrogante problematizador: "En las rocas extraídas de Calcatreu, el oro no se encuentra en pepitas visibles, sino en micropartículas microscópicas dispersas dentro de toneladas de piedra estéril. ¿Cómo logra la ingeniería química separar y extraer este oro invisible de la roca maciza sin destruir o envenenar irreversiblemente el suelo y los acuíferos subterráneos de una región que padece sequías crónicas?". Los estudiantes registran la pregunta en sus carpetas individuales de campo. El docente introduce formalmente los conceptos de lixiviación como un método de extracción selectiva



química, diferenciándolo de los métodos físicos tradicionales como la molienda o el tamizado.

Desarrollo (45 minutos): Experimentación e Hidráulica del Circuito Cerrado

Los estudiantes se dirigen al laboratorio de ciencias y se organizan en grupos cooperativos de cuatro integrantes. Cada grupo recibe un kit de materiales diseñado para simular de forma analógica e inocua el funcionamiento de un PAD (plataforma) de lixiviación industrial minera. El dispositivo consta de un embudo plástico grande montado sobre un soporte universal, cuyo fondo está recubierto por papel de filtro de alta densidad. Sobre el filtro, los alumnos depositan una mezcla heterogénea preparada previamente: arena fina, piedras de granito trituradas y tiza común finamente molida (que simulará los carbonatos del mineral). Debajo del embudo, se conecta una manguera flexible de látex que conduce el líquido filtrado directamente hacia un vaso de precipitado, emulando un sistema de tuberías en circuito cerrado.

Antes de iniciar la irrigación, el docente realiza una explicación conceptual crítica en la pizarra utilizando ecuaciones químicas elementales. Explica que en la minería real se utiliza una solución extremadamente diluida de cianuro de sodio (NaCN) en agua. Detalla el riesgo ambiental más severo mediante la formulación de la siguiente ecuación química:



El profesor demuestra que si el medio acuoso se vuelve neutro o ácido (pH menor a 7), el equilibrio químico se desplaza de inmediato hacia la derecha, liberando cianuro de hidrógeno (HCN), un gas volátil extremadamente tóxico para cualquier forma de vida. Por el contrario, si se añade una base fuerte como la cal o el hidróxido de sodio para elevar el pH a un nivel fuertemente alcalino (pH mayor a 10), el equilibrio se desplaza hacia la izquierda, manteniendo el cianuro disuelto de manera segura en el agua. Los alumnos asimilan la importancia del control analítico.

Cada equipo procede a regar su pila mineral simulada utilizando una solución modelo segura (agua destilada coloreada con azul de metileno y alcalinizada ligeramente con bicarbonato de sodio). Los alumnos controlan el proceso en tres pasos estrictos: 1) Verifican con tiras reactivas universales que el pH inicial de la solución sea alcalino. 2) Irrigan el mineral lentamente con una pipeta, observando cómo la solución percola a través de la arena y extrae de forma selectiva el colorante disuelto. 3) Evalúan exhaustivamente la estanqueidad de su sistema físico, buscando cualquier gota o pérdida externa que simularía una rotura en las geomembranas plásticas que protegen el suelo de Calcatreu. Los datos, mediciones de pH y observaciones físicas se asientan de inmediato en la guía grupal de laboratorio.

Cierre (15 minutos): Sistematización de Variables Críticas

Los estudiantes limpian y ordenan sus mesadas de trabajo y regresan a sus asientos individuales. El docente coordina una puesta en común express en la que un portavoz de cada equipo expone oralmente los resultados de su simulación hidráulica. Se discuten las siguientes preguntas de síntesis: ¿Qué ocurrió con el color de la solución al atravesar el mineral? ¿Se detectaron filtraciones en el



circuito? ¿Por qué cayó o se mantuvo el nivel de pH? El profesor unifica los criterios técnicos, enfatizando que en la minería de oro actual, la impermeabilización absoluta del suelo mediante geomembranas soldadas y el monitoreo automatizado y continuo del pH constituyen las dos barreras tecnológicas fundamentales e innegociables para mitigar los riesgos de contaminación con compuestos cianurados.

Encuentro 2: El Impacto Ambiental a Debate (80 minutos)

Inicio (15 minutos): Introducción al Conflicto y Asignación de Roles

El docente inicia el segundo encuentro repasando brevemente los principios químicos del circuito cerrado analizados en la clase anterior. Inmediatamente después, introduce la complejidad social del caso Calcatreu: "La tecnología puede ser muy precisa en el papel, pero cuando se traslada a un territorio real, entran en conflicto diferentes visiones, necesidades e intereses humanos". El profesor explica que para comprender el impacto ambiental integral no basta con mirar las probetas del laboratorio, sino que se requiere analizar la interacción del proyecto con la sociedad.

El aula se reconfigura para simular un escenario institucional: una Mesa de Concertación de Impacto Ambiental o Audiencia Pública Regional. El docente distribuye a los alumnos en tres grandes grupos diferenciados y les hace entrega de carpetas con tarjetas de argumentos técnicos, legales y sociales específicos, adaptadas sintéticamente a partir de informes reales:

- **Sector 1: Desarrollo, Producción y Control Estatal.** Compuesto por estudiantes que representarán de forma conjunta a los ingenieros de la empresa operadora y a los inspectores de la Secretaría de Ambiente y Cambio Climático de Río Negro. Sus argumentos se basan en el cumplimiento de la Ley 80/20 de empleo local, los controles de cianuro bajo estándares internacionales y el bajo porcentaje de uso del agua en comparación con el consumo humano provincial.
- **Sector 2: Comunidad, Sindicatos y Territorio.** Integrado por alumnos que asumirán la representación de los vecinos de Ingeniero Jacobacci, pequeños productores rurales de la Región Sur y miembros de comunidades originarias de la zona (como la Comunidad Mapuche Lipetrén Chico). Sus argumentos se centran en el temor a la pérdida de napas freáticas, los derechos territoriales históricos y el destino de los pasivos ambientales tras el cierre planificado de la mina.
- **Sector 3: Comité de Peritos Científicos Independientes.** Actuarán como un tribunal técnico neutral encargado de evaluar los datos, hacer preguntas rigurosas a ambas partes y velar por la coherencia química y ecológica de los argumentos.

Desarrollo (50 minutos): Simulación del Debate y Contraargumentación Técnico-Social

Se da inicio formal al debate bajo la moderación estricta del docente, quien controla los tiempos de exposición mediante un cronómetro visible en la pizarra. En la primera etapa (15 minutos), cada sector expone sus líneas argumentales iniciales sin interrupciones. Los representantes de la empresa y el Estado destacan



las geomembranas plásticas soldadas a alta presión y el hecho de que el circuito cerrado de lixiviación no genera descargas de efluentes hacia los arroyos locales. Por su parte, el sector territorial objeta fuertemente que las voladuras continuas de roca liberan toneladas de polvo en suspensión y gases a la atmósfera, afectando la salud de la fauna autóctona y de las pasturas de las que depende la economía ganadera ovina de subsistencia.

En la segunda etapa (25 minutos), el Comité de Peritos Científicos Independientes toma el control de la audiencia. Interrogan de forma cruzada a ambos sectores exigiéndoles precisiones químicas y ecológicas: "¿Qué plan de contingencia específico existe si una tormenta extraordinaria desborda las piletas de solución enriquecida?" o "¿En base a qué mediciones hidrogeológicas afirman las comunidades que las napas disminuirán su caudal?". Los estudiantes del Sector 1 deben apelar a sus conocimientos sobre piletas de contingencia y neutralización química del cianuro, mientras que los del Sector 2 deben estructurar sus demandas de monitoreo comunitario participativo. Se genera un espacio de réplica dinámico donde los adolescentes ensayan la defensa de posturas complejas con lenguaje técnico formal.

Cierre (15 minutos): Registro de Consensos y Disensos Críticos

El docente cierra la ronda de intervenciones orales. Solicita a cada uno de los tres sectores que se reúna en una breve sesión interna para redactar una conclusión unificada de exactamente dos líneas en una tarjeta de registro. Esta síntesis debe identificar con total precisión el punto de acuerdo o el desacuerdo técnico más profundo e insuperable que detectaron durante la simulación. Un alumno de los peritos lee las tarjetas en voz alta. El docente concluye la clase remarcando que el impacto ambiental no es un dato estático, sino un proceso dinámico que exige una fiscalización permanente, transparente y democrática donde la ciencia aporta la base racional para la toma de decisiones.

Encuentro 3: Evaluación y Ficha Técnica de Cierre (80 minutos)

Inicio (15 minutos): Estructuración del Informe Técnico Individual

El último encuentro se destina a la consolidación escrita y la evaluación individual del proceso de aprendizaje. El docente da la bienvenida a los estudiantes, quienes se ubican de manera individual en sus bancos de trabajo habituales. El profesor realiza un breve mapa conceptual integrador en la pizarra que conecta de manera visual el circuito químico resuelto en el laboratorio de la Clase 1 con las tensiones ambientales y socioeconómicas debatidas en la Clase 2.

A continuación, se distribuye de manera impresa una tabla con las categorías para completar una Ficha Técnica de Impacto y Proceso Minero. El docente explica detalladamente los tres bloques que componen el instrumento de evaluación individual y las pautas formales de entrega: claridad en el lenguaje científico, precisión conceptual en las explicaciones químicas y fundamentación lógica de las posturas socioambientales adoptadas. Se explicita que esta ficha constituye la producción final integradora del proyecto áulico.



Desarrollo (50 minutos): Producción Escrita y Elaboración de Propuestas de Mitigación

Los estudiantes trabajan de forma autónoma y en absoluto silencio en el desarrollo de sus fichas individuales. Durante esta etapa, resuelven de forma escrita las consignas estructuradas del documento:

1. **Diseño del Diagrama de Flujo:** Los alumnos dibujan esquemáticamente la secuencia técnica de la roca mineralizada desde su extracción en el pit a cielo abierto, su trituración mecánica, su disposición en las pilas de lixiviación, el riego con reactivo, la recolección en las piletas de solución enriquecida y la posterior fundición final en hornos industriales.
2. **Justificación Química del Control Analítico:** Redactan una explicación rigurosa de los factores de riesgo asociados al cianuro, detallando matemáticamente el concepto de pH y fundamentando el motivo por el cual una caída accidental en la alcalinidad desataría una crisis ambiental por emanación de gases volátiles.
3. **Plan Escrito de Mitigación Ambiental:** Cada estudiante asume el rol de consultor ambiental y debe redactar dos propuestas concretas de mitigación. Una de ellas debe enfocarse obligatoriamente en la optimización y control del recurso hídrico superficial y subterráneo de la región sur. La segunda debe abordar el tratamiento de los pasivos ambientales mineros (escombreras y rocas estériles) para el periodo posterior al año 2033, fecha estimada para el cierre definitivo de las operaciones en Calcatreu.

Durante este bloque de producción, el docente recorre el aula ofreciendo andamiaje y asistencia técnica exclusiva a aquellos estudiantes que lo requieran o que formen parte de las estrategias de inclusión preestablecidas, asegurando que logren plasmar sus conocimientos de forma efectiva.

Cierre (15 minutos): Reflexión Epistemológica Final

Los estudiantes entregan sus producciones escritas finalizadas al docente. Los últimos quince minutos se reservan para una instancia de metacognición grupal abierta. El docente invita a los alumnos a responder de forma voluntaria e informal: ¿Qué prejuicios o ideas previas cambiaron a lo largo de estas tres clases? ¿Cómo modificó el conocimiento de las reacciones químicas su visión sobre una actividad industrial de su propia región? Varios estudiantes comparten sus reflexiones sobre el rol de la tecnología y la importancia de la participación ciudadana. El profesor clausura formalmente el proyecto pedagógico, destacando que el verdadero valor de la química ambiental radica en dotar a los ciudadanos de herramientas objetivas y científicas para analizar de forma autónoma el desarrollo de su territorio.



Recursos y materiales

Elementos necesarios para el desarrollo

Categoría	Descripción Detallada de los Materiales
Materiales de Laboratorio	Embudos plásticos de gran diámetro, soportes universales con aros metálicos, vasos de precipitado de 250 ml, mangueras delgadas de látex flexible, papel de filtro cualitativo, film de polietileno transparente (geomembrana simulada), pipetas graduadas de 10 ml, tiras reactivas universales de pH, varillas de vidrio.
Reactivos Modelos (Seguros)	Agua destilada, solución diluida de azul de metileno (reactivo extractor químico), bicarbonato de sodio y vinagre blanco de alcohol (para modificaciones controladas de pH), arena fina de río, tiza común blanca molida, piedras de granito pequeñas.
Material Didáctico e Impreso	Mapas político-hidrográficos de Río Negro, copias impresas de las tarjetas de argumentos técnico-sociales para los tres sectores del debate, guías impresas paso a paso de laboratorio, ejemplares de la Ficha Técnica de Cierre, tarjetas de registro para consensos.
Recursos Tecnológicos	Proyector multimedia de aula, computadora portátil escolar, cronómetro digital de visualización grupal para el control estricto de tiempos de exposición durante el debate.

Estrategia de evaluación

Qué, cómo y cuándo se evalúa

La estrategia de evaluación se define desde una perspectiva estrictamente formativa, procesual y holística, abandonando el examen memorístico para priorizar la valoración continua del desempeño a lo largo de las tres etapas. Se estructuran tres momentos: observación directa del desempeño técnico y de seguridad en el laboratorio (Encuentro 1); evaluación de las capacidades de argumentación y fundamentación científica durante la audiencia pública simulada (Encuentro 2); y corrección de la Ficha Técnica de Proceso e Impacto individual (Encuentro 3). Se evalúa el saber conceptual (pH, lixiviación), el saber hacer científico (control de variables hidráulicas, diagramas de flujo, bioseguridad) y el saber ser ciudadano (escucha activa, empatía, compromiso ético con la sustentabilidad hídrica). Se aplica una rúbrica analítica con descriptores de

Esta obra está bajo una licencia [Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](#)





logro (Logrado Destacado, Logrado en Proceso, En Inicio) para las dimensiones: Comprensión de Procesos Químicos, Análisis de Impacto Ambiental, y Trabajo en Equipo y Competencia Ciudadana.

Cronograma de implementación

Distribución temporal del proyecto

Encuentro / Bloque	Tiempo	Actividades y Foco Conceptual	Instrumento de Evaluación
Encuentro 1: La Química del Oro	20 minutos	Inicio: Contextualización del caso Calcatreu en Río Negro. Planteamiento del problema disparador e introducción a la lixiviación.	Evaluación Inicial: Registro de ideas previas en carpetas. Evaluación Formativa: Lista de control de desempeño técnico y seguridad en laboratorios.
	45 minutos	Desarrollo: Práctica de simulación del PAD hidráulico. Medición analítica de pH y modelado de la ecuación química de equilibrio del reactivo.	
	15 minutos	Cierre: Puesta en común express de fallas hidráulicas, filtraciones detectadas e importancia del pH alcalino industrial.	
Encuentro 2: Impacto a Debate	15 minutos	Inicio: Organización de la Audiencia Pública Simulada y distribución de carpetas de roles técnico-sociales.	Evaluación de Proceso: Registro observacional analítico de capacidades de argumentación y fundamentación científica.
	50 minutos	Desarrollo: Ejecución de la audiencia pública. Exposiciones sectoriales y cruce de preguntas técnicas del tribunal de peritos.	



Encuentro / Bloque	Tiempo	Actividades y Foco Conceptual	Instrumento de Evaluación
	15 minutos	Cierre: Plenario final y redacción escrita grupal de tarjetas de consensos o disensos ambientales insuperables.	
Encuentro 3: Ficha de Cierre	15 minutos	Inicio: Explicación de la estructura formal del informe final y pautas para el diseño del plan escrito de mitigación.	Evaluación Integradora Final: Calificación de la Ficha Técnica Individual mediante rúbrica analítica analizada en la sección 6.
	50 minutos	Desarrollo: Elaboración individual autónoma de la Ficha Técnica de Proceso (diagrama de flujo, justificación química de pH y mitigación).	
	15 minutos	Cierre: Instancia plenaria de metacognición grupal abierta sobre la relación ciencia, industria y ciudadanía soberana.	

Anexos

Rúbricas, listas de cotejo e instrumentos

—Rúbrica Analítica de Evaluación

Dimensión / Criterio	Logrado Destacado	Logrado en Proceso	En Inicio
Comprensión de Procesos Químicos	Deduce, formula y explica con rigurosidad científica el proceso de	Describe correctamente el uso de soluciones acuosas para la	Menciona reactivos o metales aislados (oro, cianuro) de forma inconexa, sin



Dimensión / Criterio	Logrado Destacado	Logrado Proceso	en En Inicio
	lixiviación en circuito cerrado y la dependencia matemática del pH alcalino para neutralizar gases tóxicos.	separación de metales, pero muestra imprecisiones al relacionar el equilibrio químico con el pH de seguridad.	lograr estructurar el concepto de solución, pH ni lixiviación extractiva.
Análisis de Impacto Ambiental	Identifica, jerarquiza y fundamenta los impactos socioambientales reales de Calcatreu utilizando datos técnicos, proponiendo dos planes lógicos de mitigación hídrica y de cierre.	Reconoce los riesgos ambientales principales (cianuro, agua, polvo), pero sus propuestas de mitigación son vagas, genéricas o carecen de sustento técnico contextual.	Enumera afirmaciones de carácter puramente emocional o eslóganes simples sobre contaminación, sin vinculación alguna con la realidad geológica del proyecto.
Trabajo en Equipo y Competencia Ciudadana	Desempeña con proactividad su rol grupal en el laboratorio y defiende con elocuencia y respeto técnico su sector en el debate, cumpliendo normas de bioseguridad y escucha.	Participa de manera pasiva en el armado instrumental del laboratorio o en el debate grupal, requiriendo el andamiar y la intervención constante del docente para finalizar la tarea.	Evidencia serias dificultades para integrarse armónicamente a los equipos cooperativos, desatiende las pautas de convivencia o infringe normas de seguridad en el laboratorio.



Uso de la IA

Declaración de uso de inteligencia artificial

¿Qué servicio/modelo de IA se ha utilizado? El servicio de IA es de Gemini. ¿Para qué fue utilizada? El uso está basado en la simplificación del tiempo de trabajo al momento de diagramar cuadros y ordenar ideas, leyes ambientales y fuentes.



Ministerio de Capital Humano
República Argentina

**Secretaría
de Educación**

inet
Instituto Nacional de
Educación Tecnológica

CeNET
Centro Nacional de
Educación Tecnológica