

Aportes para la Enseñanza de las Ciencias de la Tierra

Una mirada sistémica y ambiental

Diego Arias Regalía

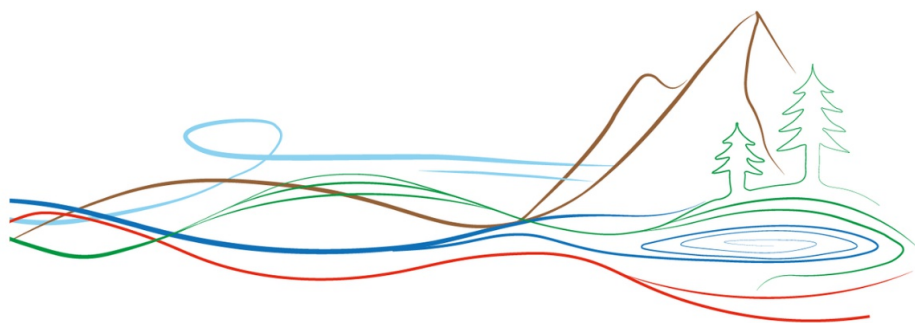
Natalia Couselo

Rodrigo Martín

Lucía Contardo

Cynthia Tunstall

José Salminci



Aportes para la Enseñanza de las Ciencias de la Tierra

Una mirada sistémica y ambiental

Diego Arias Regalía

Natalia Couselo – Rodrigo Martín

Lucía Contardo – Cynthia Tunstall – José Salminci



Grupo de Investigación en Enseñanza de las Ciencias de la Tierra

Instituto CEFIEC

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales

Universidad de Buenos Aires

Aportes para la enseñanza de las ciencias de la Tierra : una mirada sistémica y ambiental / Diego Arias Regalía ... [et al.] ; Coordinación general de Diego Arias Regalía. - 1a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires : Normal 3 Ediciones, 2026.

210 p. ; 21 x 15 cm.

ISBN 978-987-45224-6-7

1. Formación Docente. 2. Geociencias. 3. Ciencias Naturales. I. Arias Regalía, Diego II. Arias Regalía, Diego, coord.
CDD 370.711

Cita recomendada:

Arias Regalía, D., Couselo, N., Martín, R., Contardo, L., Tunstall, C., & Salminci, J. (2026). Aportes para la enseñanza de las Ciencias de la Tierra: una mirada sistémica y ambiental. Buenos Aires: Normal 3 Ediciones.
<https://doi.org/10.5281/zenodo.19322517>

Diseño de tapa: Rodrigo Martín.

1ª Edición: abril de 2026

Queda hecho el depósito que marca la ley 11723

Impreso en Argentina

© 2026 Universidad de Buenos Aires



La presente obra se distribuye con una licencia CC BY-NC-ND 4.0.
Se autoriza su reproducción con fines no comerciales
con la mención expresa y adecuada de la fuente.
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Este libro ha sido realizado gracias
al apoyo y financiamiento del programa
Proyectos de Desarrollo Estratégico (PDE) de la
Universidad de Buenos Aires, y la colaboración de la
Escuela Normal Superior N°3 "Bernardino Rivadavia"
de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires.



Descargá la versión digital del libro usando
el código QR, o desde el sitio web
del grupo DidacTerra:

<https://sites.google.com/view/didacterra>

DidacTerra

Grupo de Investigación en Enseñanza de las Ciencias de la Tierra
perteneciente al Instituto CEFIEC de investigaciones
en didáctica de las ciencias naturales y la matemática
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
Universidad de Buenos Aires.

ÍNDICE

Prólogo	7
Una perspectiva sistémica para la enseñanza de las ciencias naturales	11
Aportes desde la didáctica de las ciencias de la Tierra <i>Diego Arias Regalía</i>	
La comprensión del tiempo geológico	29
Dificultades e impactos de esta construcción <i>Diego Arias Regalía</i>	
Educación ambiental integral (Parte I)	49
EAI en clave latinoamericana <i>Natalia Couselo</i>	
Educación ambiental integral (Parte II)	73
Complejidad y transversalidad como desafíos didáctico-pedagógicos <i>Natalia Couselo</i>	
¿Consumidores de minerales o de tiempo?	101
El recorrido efímero de los minerales en nuestra vida cotidiana <i>Lucía Clarisa Contardo y Diego Arias Regalía</i>	
Leyendo las huellas del pasado	123
...para inferir la evolución de nuestro mundo <i>Rodrigo Martín y Diego Arias Regalía</i>	
La danza de las rocas	145
Ciclo de las rocas y volcanismo <i>Cynthia Tunstall y Diego Arias Regalía</i>	
Un planeta azul donde el agua ¿es escasa?	165
Agua subterránea, ciclo hidrológico y otras yerbas <i>José Salminci y Diego Arias Regalía</i>	
Todas las aguas, el agua	181
El ciclo hidrosocial y su mirada multidimensional e intercultural <i>Natalia Couselo y Diego Arias Regalía</i>	

Prólogo

Las Ciencias de la Tierra son un área del conocimiento que, a pesar de las discusiones y disputas históricas, hoy ganan con firmeza su lugar en las currículas escolares. Diversas jurisdicciones del sistema educativo, en sus distintos niveles y modalidades, han comenzado a incorporarlas, ya sea como espacios curriculares propios o mediante la integración de sus contenidos en otras áreas. Sin embargo, persisten dos vacancias críticas: el escaso desarrollo de una didáctica específica y la limitada presencia de la disciplina en la formación docente, tanto de grado como continua.

La llegada de este libro representa una oportunidad estratégica para que esas vacancias comiencen a disiparse. No se trata solo de una publicación técnica; es una obra escrita por docentes que mantienen un contacto directo con el aula y sus estudiantes, y que —punto no menor— son a la vez investigadores comprometidos con la temática. De ese cruce entre la realidad educativa y la labor científica surge una propuesta de mirada sistémica y ambiental, indispensable en tiempos de negacionismo y falta de valoración social de la ciencia.

Un libro sobre la enseñanza de las Ciencias de la Tierra hoy no puede ser un simple manual de procesos geológicos; es, ante todo, una invitación a cambiar la escala de nuestra mirada. Durante décadas, la didáctica tradicional nos enseñó a fragmentar el mundo: por un lado las rocas, por otro la atmósfera y, en un rincón distante, la vida. La realidad de nuestro tiempo —marcada por la urgencia de la crisis climática y la comprensión profunda de los ciclos biogeoquímicos— nos exige una pedagogía distinta.

Este libro nace de la convicción de que la Tierra no debe enseñarse como un catálogo de objetos estáticos, sino como un sistema dinámico de interacciones complejas. Abordar la didáctica desde una mirada sistémica implica reconocer que un cambio en la química de un océano reverbera en la biodiversidad de un continente y en la temperatura de la atmósfera. Al sumar una perspectiva ambiental, transformamos el aula en un espacio de formación ciudadana. Ya no se trata solo de entender cómo se formó una montaña, sino de comprender por qué nuestra relación con ese relieve determina la sostenibilidad de las comunidades que lo habitan.

Las páginas que siguen son una hoja de ruta para docentes que deseen despertar en sus estudiantes la capacidad de leer el paisaje como un texto vivo, donde la geósfera, la hidrósfera, la atmósfera y la biósfera escriben, en conjunto, la historia de nuestra casa común. El recorrido busca desarmar la fragmentación del conocimiento para construir una pedagogía de la complejidad. Quien lea estos capítulos encontrará que la comprensión del tiempo geológico no es un ejercicio de memorización de eras, sino una herramienta crítica para entender nuestro impacto efímero frente a la magnitud de los procesos planetarios. Es, en esencia, una cura contra la inmediatez del consumo.

La propuesta se sostiene sobre pilares fundamentales que atraviesan cada sección:

-La Tierra como sistema dinámico: Los procesos, desde el ciclo de las rocas hasta el vulcanismo, se presentan como una coreografía de energía y materia que moldea nuestra biografía como especie.

-La superación de obstáculos epistemológicos: Un énfasis especial en la comprensión del tiempo geológico, uno de los mayores desafíos en la enseñanza del área.

-La reconstrucción de la historia: El estudio de registros geológicos, paleontológicos y arqueológicos para inferir la evolución de nuestro mundo.

-Educación Ambiental Integral (EAI) en clave latinoamericana: Una ciencia que no se pretende neutral, sino que reconoce nuestras tensiones territoriales, nuestra historia y la necesidad de soberanía sobre nuestros recursos.

-Del ciclo hidrológico al ciclo hidrosocial: El agua deja de ser una fórmula química (H₂O) para entenderse como un derecho y un tejido de relaciones. Una mirada intercultural que cuestiona la paradoja del "planeta azul" frente a la escasez inducida.

-El rastro de nuestro consumo: Una geología que aterriza en el bolsillo del lector, analizando el costo oculto y el recorrido de los materiales cotidianos.

Este libro rompe con el modelo de educación geocientífica puramente descriptiva para proponer cuatro grandes ejes transformadores:

1. **Alfabetización científica reflexiva:** Enseñar a pensar en términos de flujos y retroalimentaciones. No basta con memorizar nombres; no se quiere una memoria mecánica sino en una memoria reflexiva. Es vital entender, y llevar a las aulas unas Ciencias de la Tierra como herramienta para comprender el cambio.

2. **Superación de la dicotomía Naturaleza vs. Sociedad:** Al humanizar las geociencias, estas dejan de ser "objetos lejanos" para volverse territorios habitados. Se contextualiza, por ejemplo, el recurso natural como un bien común en disputa y se discute su gestión soberana.

3. **Valor de la mirada latinoamericana (Epistemología del Sur):** Una invitación a descolonizar el saber. Necesitamos enseñar desde nuestra Cordillera de los Andes y nuestros acuíferos, comprendiendo que las disputas y las injusticias ambientales impactan muchas veces sobre vulnerabilidades sociales previas.

4. **Herramienta contra el negacionismo y la simplificación:** En la era de la posverdad y el neoliberalismo, este enfoque fomenta el pensamiento crítico. Permite comprender la brecha entre el tiempo geológico de formación de un yacimiento y el tiempo del mercado que lo agota, evidenciando la insustentabilidad del modelo actual.

En definitiva, esta obra no busca entregar recetas, sino sembrar preguntas que germinen en las aulas de nuestra región. El desafío para los y las docentes de Latinoamérica

es doble: explicar la danza de las rocas y el ciclo de los acuíferos, pero situando ese conocimiento en un territorio atravesado por tensiones sociales profundas.

Enseñar Ciencias de la Tierra en clave sistémica es un acto de resistencia contra la simplificación. Es invitar a los y las estudiantes a reconocerse como hilos vitales de una trama donde lo geológico y lo social son inseparables. No buscamos formar geólogos, sino ciudadanos y ciudadanas terrestres que, al mirar un paisaje, no vean solo "piedras, bichos y pasto", sino una historia compleja de la cual forman parte y por la cual deben responder.

Esta publicación es un enorme primer paso para afianzar la disciplina en la formación docente. Pero es, sobre todo, una invitación a crecer colectivamente, para que esta didáctica sea —como la ciencia que enseñamos— una construcción social y soberana. Agradecemos al equipo de autores por darnos esta oportunidad. Está en nosotros tomarla y sumarnos.

Marcelo Bazán
Educador y formador de docentes
Vicecoordinador de LAIGEO¹

¹ LAIGEO: capítulo latinoamericano de la International Geoscience Education Organisation (IGEO).

Una perspectiva sistémica para la enseñanza de las ciencias naturales

Aportes desde la didáctica de las ciencias de la Tierra

Diego Arias Regalía

Vivimos en un mundo complejo, entendida esta complejidad a partir de pensar el rico entramado de relaciones entre sus partes y la imprevisibilidad de muchos de los cambios espaciales y temporales que ocurren: la sociedad, la economía, el ambiente, el cerebro humano, la vida, el funcionamiento del planeta, la información y el conocimiento, entre muchas otras, son cuestiones cuya comprensión genuina parece estar vinculada a miradas que integren, en alguna medida, perspectivas y elementos provenientes de distintos campos disciplinares.

Rolando García (2006) sostiene que, desde esta concepción de la complejidad, se pone en cuestión la relación entre el objeto de estudio y las disciplinas a partir de las cuales realizamos el estudio, dado que las características de este tipo de fenómenos, procesos o situaciones resultan inabarcables desde una única disciplina específica. En otros términos, en el "mundo real", las situaciones y los procesos no se presentan de manera que puedan ser clasificados por su correspondencia con alguna disciplina en particular. En ese sentido, podemos hablar de una realidad compleja.

El desarrollo científico-tecnológico del mundo en el que vivimos tiene profundas implicancias en nuestra vida diaria: comunicaciones, transporte, producción de alimentos, medicina, manejo de recursos naturales, generación de energía, impacto ambiental, impacto sociocultural, distribución de la riqueza, acceso a los recursos, etc., y así, en el caso de la enseñanza de las ciencias naturales, existe un cierto consenso dentro de la comunidad educativa

respecto de la necesidad de lograr una alfabetización científica que capture al menos algunos aspectos de esta complejidad. Para ello se hace indispensable promover la reflexión sobre la naturaleza de la ciencia (qué es la ciencia, cómo produce realmente su conocimiento), sobre los fines de la educación científica (qué ciencia enseñar, para qué, para quiénes, con qué modelo de ciudadanos y ciudadanas en mente), sobre la conexión entre la ciencia, la tecnología, la sociedad y el ambiente (relaciones CTSA) o sobre sus implicancias éticas y culturales, de modo de abordar el estudio de conocimientos que tengan relevancia social.

Intentaremos mostrar, a partir de algunas reflexiones, que las ciencias de la Tierra tienen en su propia conformación de partida un enfoque que puede contribuir a una comprensión sistémica e integradora de las ciencias naturales, a la discusión de valores (éticos, morales, ideológicos, etc.) implícitos en la relación de la humanidad con el planeta y al análisis de las consecuencias sociales y ambientales de esta interacción.

Visión sistémica y paradigma de la complejidad

Diversas disciplinas se han dedicado al estudio analítico de los fenómenos naturales en el planeta (la geología, las ciencias de la atmósfera, la oceanografía o la ecología, entre otras). La convergencia de sus miradas con el objetivo de abordar la complejidad de los fenómenos de manera más integral ha dado lugar a una nueva perspectiva: las *ciencias del sistema Tierra*, lo que lleva a pensar las ciencias de la Tierra a la luz de la Teoría de los Sistemas. Esta teoría destaca el rol de conceptos tales como complejidad, interacción, propiedades emergentes o autoorganización para promover una mirada holística que resulta herramienta fundamental en el tratamiento de los problemas complejos.

¿En qué consiste, concretamente, este enfoque? Según Rojero (2000), el enfoque sistémico se asienta en una idea básica: que los objetos de estudio presentan una organización que emerge de la interacción entre elementos y que está sujeta a cambios. Y, dado que la organización se da como resultado de la interacción entre los elementos, no

alcanza con estudiar las características de cada elemento por separado para comprender el fenómeno.

Surge así también una categoría de objeto de estudio, el *sistema*, pensado como un entramado de elementos interactuantes, en el que se destaca la importancia de las interacciones por encima de las características específicas de cada elemento. La innovación de la propuesta pasa por el cambio en la perspectiva: la estructura y el comportamiento del sistema son los que determinan su evolución en el tiempo. Los modelos formales de los sistemas son dinámicos, y su campo de modelado y simulación constituye la “dinámica de sistemas” (Pascual Trillo, 2013).

La Teoría General de los Sistemas, propuesta por Ludwig von Bertalanffy en 1969, aspira a comprender estas interacciones basándose en la idea de que existen evidentes similitudes en la estructura y organización de una gran variedad de objetos de estudio, lo que permitiría comprender las propiedades emergentes (que son aquellas derivadas de la organización) independientemente de qué disciplina estudie las características de sus componentes particulares.

El estudio de sistemas complejos puede resumirse en la comprensión de cómo se relaciona el comportamiento de los fenómenos a diferentes escalas y cómo surgen patrones a mayor escala a partir de las interacciones entre los componentes a menor escala. Al estudiar los patrones que surgen y los procesos de interacción que los generan, se puede comprender mejor cómo los sistemas se adaptan, autoorganizan, fluctúan y alcanzan y/o mantienen el equilibrio.

El sistema presenta entonces propiedades y características que no se derivan exclusivamente de las propiedades y características de sus elementos, sino más bien de la naturaleza de las interacciones, como sintetiza la conocida frase de que el todo es más que la suma de las partes.

Desde esta mirada, un sistema complejo es una representación de un recorte de la realidad, conceptualizado como una totalidad organizada, en la cual

los elementos no son realmente "separables" y, por tanto, no pueden ser estudiados aisladamente. Rosnay (1977) propone la idea del "macroscopio" como metáfora para referirse a este enfoque, aludiendo a un hipotético instrumento que, al contrario que el microscopio, facultaría la observación de las totalidades.

Una característica del enfoque sistémico es que propone que cada sistema está formado por elementos que pueden, a su vez, ser pensados como sistemas ellos mismos (cambiando el nivel de "zoom" con el que se lo mira). Cada sistema queda entonces conformado por sub-sistemas y es, al mismo tiempo, un sub-sistema de algún sistema más abarcador.

Por ejemplo el Sistema Solar es la organización emergente de la interacción entre los subsistemas que lo componen (el Sol, los planetas, etc.). Cada subsistema está integrado a su vez por otros subsistemas (por ejemplo la Tierra tiene núcleo, astenósfera, litosfera, atmósfera, biosfera, etc.). No podemos comprender la dinámica litosférica sin comprender la del interior terrestre, pero tampoco sin ideas claras sobre los intercambios de materia y energía con los otros objetos del sistema Solar. Los problemas ecológicos son problemas de interrelaciones entre "eco" sistemas y otros sistemas terrestres, como la atmósfera y la hidrosfera. Un organismo es el resultado de las interacciones que establecen entre si las células que lo componen, y a la vez cada célula es el resultado de las interacciones entre biomoléculas, y así sucesivamente, en función de cuál sea el nivel de organización en el que ponemos la mirada.

Desde esta visión, los sistemas complejos (ecosistemas, placas litosféricas, atmósfera, seres vivos, etc.) poseen una dinámica compleja que no se deja reducir a esquemas simples y, por tanto, la comprensión del todo no se puede conseguir sólo a base de sumar estudios parciales.

Cómo se mantienen en equilibrio y cómo evolucionan son dos de los aspectos más interesantes del estudio de los sistemas, y cierran de alguna manera la trilogía sobre la que se asienta el pensamiento complejo: *interacción, organización y evolución*. Wagensberg (citado en Rojero,

2000), lo sintetiza diciendo que comprender el mundo acaso sólo sea comprender dos cosas: el cambio y la relación entre un todo y sus partes.

Existe hoy día un amplio consenso respecto de que el paradigma de la complejidad y su visión sistémica del mundo resulta el referente teórico más adecuado para el estudio de los problemas actuales.

Para ampliar, recomendamos la lectura del artículo de Fernando Rojero **“¿Una asignatura sistémica o sistemática?”**, publicado en la revista Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, nº 8.3 (2000).

Disponible en:

<https://www.raco.cat/index.php/ECT/article/view/88676/132825%20>

La Tierra como un sistema complejo

Si acordamos que el objetivo de la educación científica escolar no es el conocimiento declarativo de un cuerpo importante de hechos y teorías, sino la progresión hacia la comprensión de unas ideas clave que ayuden a explicar los fenómenos del mundo y por lo tanto puedan resultar útiles (en un sentido amplio) para la vida, entonces la selección de estas ideas clave resulta fundamental para la organización de la enseñanza.

¿Cuáles pueden ser estas grandes ideas sobre el funcionamiento de la Tierra que permitan pensar al planeta como un sistema complejo? ¿Qué elementos deberíamos tener en cuenta al diseñar secuencias de enseñanza desde una perspectiva sistémica?

Comenzaremos recurriendo a los consensos establecidos respecto del tema por la comunidad internacional de didactas y educadores de las ciencias de la Tierra. El trabajo más sistemático al respecto (en español) fue realizado por una comisión conformada a instancias de la Asociación Española para la Enseñanza de las Ciencias de la Tierra (AEPECT) en 2011. Coordinada por Emilio Pedrinaci, la

comisión integrada por más de veinte expertos elaboró una propuesta que tomó como punto de partida diversas experiencias internacionales, entre ellas los Earth Science Literacy Principles definidos en Estados Unidos de Norteamérica en 2009.

Las conclusiones se plasmaron en los documentos “Alfabetización en ciencias de la Tierra: propuesta curricular” (Pedrinaci et al., 2012) y “Alfabetización en ciencias de la Tierra” (Pedrinaci et al., 2013). En ellos se definen las 10 ideas clave de las ciencias de la Tierra que todos los ciudadanos deberían conocer, y que, por lo tanto, tendrían que quedar reflejadas en los planes de estudio de los sistemas educativos. Cada idea clave se estructura a su vez en distintas sub-ideas que se fundamentan en una visión moderna del conocimiento geocientífico y su aplicabilidad para la resolución de problemas globales y locales (Souza, Brusi y Calonge, 2017).

A partir de aquellas ideas clave relacionadas de manera más directa con el abordaje sistémico, proponemos las formulaciones que se muestran en el cuadro de la próxima página.

Como vemos, tanto desde el punto de vista general de la teoría de los sistemas como desde el particular de las geociencias, la idea de cambio ocupa un rol central. Bach y Marquez (2017) desglosan un modelo de cambio geológico para proponer a partir de ello una línea de trabajo que pone en juego los principales elementos de la mirada sistémica, y que podemos tomar como ejemplo para pensar propuestas en otros ámbitos de las ciencias de la Tierra, o de las ciencias naturales en general.

Para ampliar, recomendamos leer el documento **“Alfabetización en ciencias de la Tierra”** de Emilio Pedrinaci y colaboradores.

Disponible en:

<https://www.raco.cat/index.php/ECT/article/view/274145/362238>

Visión sistémica

La Tierra es un sistema dinámico cuyo aspecto ha ido cambiando a lo largo del tiempo, y en el que interactúan varios subsistemas: la geósfera, la hidrósfera, la atmósfera y la biósfera.

Para entender la evolución de la Tierra a lo largo del tiempo (pasado, presente y futuro), es fundamental no solo analizar sus componentes, sino también estudiar cómo interactúan entre sí y qué propiedades resultan de dichas interacciones.

Hay una relación intrínseca entre el tiempo y las transformaciones. Los subsistemas terrestres son dinámicos e interactúan en un amplio rango de escalas espaciales y temporales.

Los subsistemas terrestres pueden mostrar estabilidad o transformarse a diferentes ritmos, desde cambios lentos hasta eventos abruptos. Los cambios en una parte del sistema pueden influir en otras de manera compleja e interconectada. Además, la escala (espacial o temporal) a la que ocurre un proceso no siempre se relaciona de forma lineal con la magnitud o relevancia de sus efectos.

Los procesos en la Tierra son el resultado de los flujos de energía y ciclos de materia dentro y entre los subsistemas terrestres, así como del intercambio de materia y energía entre el planeta y el resto del Sistema Solar.

El sistema Tierra cuenta con tres fuentes de energía: su calor interno, su campo gravitatorio y la radiación solar. El planeta intercambia energía con el espacio a través de la radiación solar entrante, la pérdida de calor y la gravedad. Los flujos de energía activan la circulación de materia, impulsando cambios físicos y químicos en los materiales terrestres.

Los materiales de la Tierra se originan y modifican de forma continua a través de procesos cíclicos.

Los procesos geológicos internos y externos cambian las condiciones físico-químicas en las que se

encuentran los materiales terrestres favoreciendo ciclos de transformación a lo largo del tiempo geológico. Algunos ejemplos que resultan potentes para este enfoque son el ciclo de las rocas, los ciclos biogeoquímicos (como el ciclo hidrológico, el del carbono, etc.), o el ciclo de Wilson (para los fenómenos tectónicos).

La vida evoluciona e interactúa con la Tierra, modificándose mutuamente. El origen y evolución de la vida está ligada a la propia evolución de la Tierra como planeta.

Desde sus orígenes, la Tierra ha experimentado cambios constantes debido a procesos geológicos que se desarrollan a distintos ritmos, y que han modelado su estructura, su clima y sus ecosistemas, condicionando la evolución y supervivencia de las especies. Los fósiles constituyen un registro de esta evolución, proporcionando información sobre la antigüedad de las rocas, los organismos que habitaron el planeta y las condiciones climáticas y ambientales del pasado.

El clima es un ejemplo de cómo las interacciones complejas entre los subsistemas terrestres pueden ocasionar cambios impredecibles y significativos.

El registro geológico muestra la existencia de cambios climáticos globales que son el resultado de interacciones entre diversos componentes terrestres y extraterrestres del Sistema Solar (eventos tectónicos, vulcanismo, circulación oceánica, variaciones químicas de la atmósfera, actividad biológica, movimientos orbitales, etc.).

La actividad humana está alterando el planeta.

Las actividades humanas están provocando transformaciones significativas en la biosfera, la hidrosfera y la atmósfera y la superficie de la geosfera. Aunque sus consecuencias exactas largo plazo son difíciles de predecir, el estudio de la historia de la Tierra puede ofrecer claves para comprenderlos y proponer estrategias para mitigar sus impactos adversos.

Modelo de cambio geológico (Bach y Márquez, 2017)

- La Tierra está sometida a cambios, unos son graduales y continuos, otros esporádicos e intensos.
- Los cambios dejan huella, bien por los materiales que originan, bien por las formas y estructuras resultantes.
- Algunos de estos cambios son motivados por los agentes externos, que tienen en el Sol y en la gravedad sus fuentes de energía.
- Otros cambios son causados por procesos internos, que son activados por la energía térmica del interior terrestre y la gravedad.
- Las actividades humanas están alterando el planeta Tierra.

En esta línea, los materiales terrestres son concebidos como parte de un sistema dinámico en el que se originan y están en constante transformación, que hay ciclos más o menos continuos en los que la materia se recicla, que todo cambio requiere energía, y que estos cambios, a su vez, pueden tener impacto en el ambiente.

Como estrategia metodológica, el análisis de los cambios permite rastrear las interacciones que los han producido, los subsistemas involucrados y la escala temporal y espacial en la que se manifiestan.

Cada subsistema puede, entonces, analizarse a escalas diversas en un ida y vuelta desde lo local a lo global. La escala de trabajo ayuda a determinar los límites en los que se desarrolla el fenómeno, diferenciando los elementos que se encuentran dentro del sistema seleccionado de los que están fuera. En el mismo sentido, también ayuda a definir factores o agentes que resulten internos o externos, y los intercambios de energía y materia que tengan lugar.

Para estos autores, observar y pensar sobre el mundo desde una perspectiva sistémica implica considerar los materiales, la estructura y las relaciones espaciales de los subsistemas implicados; los cambios que permiten relacionar el estado final con el inicial y que configuran la dinámica del sistema; y las interacciones -inter e intra

sistémicas- que se generan y permiten interpretar el comportamiento del sistema y los procesos implicados.

La insistencia en lograr una visión sintética o global, que entienda principalmente a las interacciones como factor central en la comprensión del funcionamiento de los sistemas -la Tierra, en este caso-, supone el aporte fundamental del enfoque de sistemas a la enseñanza de las ciencias de la Tierra (Pascual Trillo, 2013). Algunos ejemplos pueden servir para ilustrar esto:

Pedrinaci (2001) indica que la tectónica de placas supuso un salto de gigante en esta dirección, al contemplar la Tierra sólida en su conjunto y proponer un modelo de flujo de materia y energía que explica de manera global y coherente los procesos geológicos internos y sus efectos en la superficie terrestre. Agrega también que explicar el relieve de cualquier zona requiere, como mínimo, tener en cuenta tanto procesos endógenos como exógenos y que justamente éstos últimos son, por definición, resultado de las interacciones de la litosfera con la atmósfera, la hidrosfera y la biosfera. En este caso, una perspectiva realmente sistémica debiera dejar de estudiar los procesos externos de manera unidireccional para pasar a considerar también los cambios recíprocos debidos a la interacción (por ejemplo, tener en cuenta que cuando la atmósfera meteoriza las rocas, ese proceso consume CO₂ atmosférico). Agrega el autor que, sin negar el indudable aporte al conocimiento del planeta realizado por los enfoques reduccionistas, no duda que la perspectiva sistémica enriquece la comprensión, incluso de aquellos procesos considerados estricta e intrínsecamente geológicos.

Para ampliar, recomendamos leer el artículo de Joan Bach y Conxita Márquez: **“El estudio de los fenómenos geológicos desde una perspectiva sistémica”**.

Disponible en:

<https://www.raco.cat/index.php/ECT/article/view/330135/420945>

Algunas preguntas pueden servirnos de guía para plantear el análisis de una situación o problema desde la perspectiva sistémica. El orden en el que se las lista a continuación es completamente arbitrario, ya que puede empezarse en análisis desde distintos lugares y siguiendo distintas lógicas:

¿Cuáles son los límites (físicos o conceptuales) del sistema? Esto posibilita diferenciar los elementos que forman parte del sistema de aquellos que resultarán externos. La propia definición de estos límites puede cambiar con la profundización del estudio, pero es importante tener un punto de partida para el análisis

¿Cuáles son los principales elementos que lo conforman? ¿Cómo es la estructura del sistema? Esto es, ¿cómo es la organización de esos elementos internos?, ¿es el sistema un subsistema de un sistema mayor?, ¿algunos de sus elementos internos puede pensarse a su vez como un subsistema?

¿Qué interacciones se producen (tanto inter como intra sistemas)? Son las interacciones las que organizan los sistemas materiales: hay que comprender el mundo a partir del análisis de las interacciones presentes y de cómo dichas interacciones generan organizaciones complejas (Morin, 1977). Preguntarse por las interacciones implicar mirar también qué intercambios de materia y energía se producen.

¿Qué cambios se producen? ¿Cómo es la evolución temporal del sistema? Los estímulos que recibe un sistema provocan alguna reacción, algún cambio, que pueden convertirse a su vez en nuevos estímulos para los otros sistemas. Esta interrelación provoca situaciones de retroalimentación (tanto positiva como negativa) que puede conducir a estados de equilibrio dinámico que, en general, son los que están en el centro del interés del análisis.

¿Pueden identificarse regularidades en el comportamiento del sistema? Los sistemas evolucionan con el tiempo de forma dinámica, construyendo su historia particular. Esta evolución no responde necesariamente a una lógica determinista, donde una causa específica

conduce siempre a un mismo efecto. No obstante, en medio de esa complejidad, es posible identificar ciertas regularidades que hacen factible realizar predicciones.

Para incluir en el análisis una perspectiva ambiental explícita, podemos agregar alguna pregunta adicional:

¿Qué situaciones problemáticas identificamos en torno al tema trabajado? Esto implica pensar en qué sentido esto está relacionado a un problema ambiental, pero también en para quiénes es un problema o qué actores sociales intervienen en estas situaciones. ¿Siempre fue el mismo problema o ha cambiado a lo largo del tiempo?

Las ciencias de la Tierra pensadas como campo integrador

Entendemos que existe un gran potencial integrador en las ciencias de la Tierra proyectadas sobre otras disciplinas de las ciencias naturales para su enseñanza y así, una manera de conseguir los objetivos mencionados en la introducción, de forma que además sea coherente con las propias características del conocimiento geocientífico, es proponer un abordaje integrador y sistémico de las ciencias naturales que puede apoyarse en el escenario del estudio del planeta como un sistema (Arias Regalía, Bonan, Gonçalves, 2019).

En general, es posible afirmar que la modelización dirige las relaciones entre disciplinas. El conocimiento científico usa modelos sobre los que construye sus particulares puntos de vista acerca de lo que se considera la realidad, por lo cual diversas disciplinas distinguen el modo en el que la abordan contextual e históricamente. La ciencia consiste en una continua construcción, interrelación y revisión de los modelos que emplea continuamente para hacer frente a la diversidad de sistemas reales. Cualquier “integración” entre disciplinas diversas debe, esencialmente, significar un modo de comparar y relacionar entre sí modelos diversos y diversas estructuras de modelos.

En este marco, las teorías en ciencias de la Tierra pueden pensarse como un conglomerado de modelos, es decir, una población de familias de modelos relacionadas que describen y explican un determinado recorte del estudio de la Tierra. En muchos casos los modelos de origen físico, químico o biológico forman parte de este conglomerado de modelos que fundamentan las teorías en geociencias. Esta peculiaridad de las ciencias de la Tierra en el contexto de las ciencias naturales es la que permite fundamentar la propuesta presentada.

Como se argumentó en secciones anteriores, en el estudio de problemas complejos es difícil establecer límites precisos entre disciplinas y muchas veces resulta necesario generar espacios intermedios para definir problemas que requieren abordajes amplios que integren más de una mirada. Esta condición da lugar a imaginar caminos por donde transitar las ciencias de la Tierra desde otras disciplinas, y viceversa. Un paso más allá a nivel de vínculos disciplinares puede darse al introducir modelos de las ciencias sociales en la selección y organización de los contenidos, pues la alfabetización científica requiere de una mirada social de los impactos que generan la ciencia y la tecnología. Estos vínculos son los que permiten planificar qué enseñar, cómo hacerlo y para qué, decisiones que iluminan los modelos a enseñar y su entramado particular.

A modo de ejemplo se mencionan algunas pocas líneas de acción que tienen la potencialidad de servir como hilos conductores para resaltar que los contenidos de ciencias de la Tierra presentan relaciones que cruzan distintas unidades y áreas de la educación en ciencias, lo que permite pensar en abordajes que las pongan en diálogo:

El trabajo sobre la conceptualización de escalas espaciales y temporales, y el desarrollo de la idea de magnitudes características, podría servir como tema unificador o “hilo conductor” de un abordaje interdisciplinario del estudio de las ciencias naturales.

La propuesta apunta a que jugar con cambios de escala temporales y/o espaciales habilita la aparición de distintos campos dentro de las disciplinas escolares: cada sistema o proceso se desarrolla en tiempos y espacios que le son

característicos, y que determinan el tipo de interacciones que pueden darse entre sistemas (por ejemplo, pensar en términos de niveles de organización, o visualizar que la percepción de la ocurrencia de un proceso está relacionada con las escalas espaciales y temporales en las que se desarrolla).

Un posible punto de partida para trabajar desde la perspectiva mencionada es el de la formación del paisaje y su relieve. Según Lacreu (2007) esto permite abordar diversos elementos importantes: pensar a partir de procesos; atacar la idea del paisaje estático; trabajar sobre escalas temporales y espaciales muy diversas; relacionar los cambios en el paisaje con su efecto sobre la actividad biológica; estudiar la interacción entre el paisaje y la actividad humana; analizar procesos que afectan el paisaje en escalas de tiempo humanamente perceptibles y su relación con, por ejemplo, el riesgo geológico, la explotación de recursos naturales o el impacto ambiental. Por supuesto, también se pone en juego la relación entre los procesos formadores de paisaje y los grandes procesos que el marco teórico de la geología actual utiliza para entender la evolución del planeta (por ejemplo la tectónica de placas o la convección en el manto).

Un abordaje de las ciencias naturales desde la perspectiva de las ciencias de la Tierra pasa por una combinación de contenidos geocientíficos y teoría de sistemas, a través del estudio de los ciclos, las transformaciones, los procesos y los intercambios de materia y energía que ocurren en el tiempo y en el espacio.

Incluir también el abordaje histórico de la aceptación de la teoría de la deriva continental o de la evolución biológica, el análisis de controversias científicas, el desarrollo de la tectónica de placas, o el pasaje del concepto de recurso natural desde su original sentido economicista centrado en la explotación hasta miradas que lo entienden como bien común de la naturaleza, permite poner de manifiesto aspectos de la naturaleza de la ciencia y de la dinámica de la comunidad científica, incorporando en la discusión cuestiones de relevancia social.

Para Pascual Trillo (2013), la visión sistémica Tierra-humanidad también facilita la identificación de tres aspectos clave en la comprensión de problemas ambientales: los flujos de entrada de materia y de energía al subsistema socioeconómico (los “recursos”), los flujos de salida hacia el geo-eco-sistema (residuos), y los efectos de ocupación, alteración y degradación del espacio ambiental apropiado por el subsistema humano.

Propone también la existencia de dos relaciones de tipo causal de carácter habitualmente negativo: los riesgos naturales (efectos del funcionamiento de los procesos naturales en los intereses del sistema humano) y los impactos ambientales (efectos de las actividades humanas en la estructura y la función de los distintos subsistemas).

Para ampliar, recomendamos la lectura del texto **“La Tierra como sistema”**, de José Antonio Pascual Trillo.

Disponible en:

<https://www.raco.cat/index.php/ECT/article/view/274146/362239>

Visión sistémica y alfabetización científica

La comprensión de las problemáticas contemporáneas reales requiere perspectivas que puedan alejarse de enfoques reduccionistas y miradas exclusivamente monodisciplinares que eluden su dimensión compleja. Vivimos en un mundo en el que los impactos de la ciencia y la tecnología (tanto riesgos como beneficios) se hallan inequitativamente distribuidos y, como desarrollamos anteriormente, existe un amplísimo consenso en la comunidad de didactas de las ciencias naturales sobre la necesidad de una alfabetización científica para la formación de ciudadanía que permita participar de la reflexión crítica sobre los problemas científico-tecnológicos, sin invisibilizar las tramas de intereses y actores involucrados, de modo que las decisiones relativas a este tipo de problemas no queden solo en manos de especialistas y tecnócratas (Massarini y Schnek, 2015).

Las ciencias de la Tierra, con su carácter multidisciplinario, ofrecen una vía privilegiada para este cambio de paradigma. A partir del pensamiento complejo y su mirada sistémica es posible diseñar propuestas didácticas que permitan comprender los fenómenos naturales de manera global, favoreciendo una alfabetización científica crítica y socialmente relevante.

Referencias bibliográficas

Arias Regalía, D; Bonan, L; Gonçalves, P. (2015). Enseñanza de las ciencias de la Tierra para profesores de primaria, Buenos Aires, Argentina. Anales del VI Simpósio Nacional de Ensino e História de Ciências da Terra - São Paulo (Brasil), pp 620-624.

Bach, J. y Marquez, C. (2017). El estudio de los fenómenos geológicos desde una perspectiva sistémica. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, 25(3), pp 302-309.

García, R. (2006). Sistemas complejos. Conceptos métodos y fundamentación epistemológica de la investigación interdisciplinaria. Gedisa

Lacreu, H. (2007). La historia geológica del paisaje como contenido esencial en la enseñanza obligatoria. Alambique Didáctica de las Ciencias Experimentales, 51, pp 76-87.

Massarini, A; Schnek, A. (2015). Ciencia entre todxs. Tecnociencia en contexto social. Una propuesta de enseñanza. Paidós.

Morin, E. (1977). La méthode I: La nature de la nature. París: Editions du Seuil. (Trad. cast. El Método I: La naturaleza de la naturaleza. Madrid. Cátedra, 1987).

Pascual Trillo, J. (2013). La Tierra como sistema. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, 21(2), pp 130-138.

Pedrinaci, E. (2001). Los procesos geológicos internos. Síntesis.

Pedrinaci, E. et al (2012). Alfabetización en Ciencias de la Tierra propuesta curricular. Comunicaciones del XVII Simposio sobre Enseñanza de la Geología. ISBN 978-84-15633-09-9, pp. 295-309

Pedrinaci, E. et al (2013). Alfabetización en Ciencias de la Tierra. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, 21(2), pp 117-129.

Rojero, F. (2000). ¿Una asignatura sistémica o sistemática?. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, 8(3), pp 189-196.

Rosnay, J. (1977). El Macroscopio. Una visión global. Ed. AC. Madrid.

Souza, E., Brusi, D., y Calonge, A. (2017). El documento "Alfabetización en Ciencias de la Tierra" como referente para la investigación del potencial didáctico de las ilustraciones geocientíficas en los libros de texto de Enseñanza Secundaria. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, 25(3), pp 330-340.

La comprensión de la idea del tiempo geológico

Dificultades e impactos de esta construcción

Diego Arias Regalía

En su libro *La flecha y el ciclo del tiempo*, Gould (1988) toma una idea de Freud como punto inicial: hay aportes de las distintas disciplinas científicas que han contribuido a reconstruir el pensamiento humano, dando sucesivos golpes a un cierto anhelo o visión respecto de nuestra trascendencia en el cosmos: desde la revolución copernicana la Tierra ya no es el centro del universo sino un punto más en un sistema de magnitud inconmensurable; con Darwin dejamos de ser una privilegiada creación especial separada del mundo animal para ubicarnos como uno más de los múltiples productos de un mecanismo que opera sobre todas las formas de vida del planeta; y, cerrando este descenso del pedestal inicial, que ni siquiera tenemos una mente racional (aludiendo al aporte del propio Freud).

A esta lista, Gould le agrega el descubrimiento del tiempo geológico o *tiempo profundo* (deep time), noción de una casi inabordable inmensidad temporal, de la cual los humanos ocupamos solo una fracción minúscula.

Esta es, según Cervato y Frodeman (2012), una de las ideas culturalmente más relevantes de la historia del pensamiento. Las variadas magnitudes temporales de uso en las geociencias ofrecen la posibilidad de enmarcar nuestras vidas, los procesos socio-político-económicos, las decisiones ambientales o las miradas sobre el paisaje entre otras cosas, dentro de una nueva perspectiva temporal, que resulta particularmente adecuada para comprender los desafíos económicos y ambientales que enfrenta el mundo moderno.

Para desarrollar las afirmaciones precedentes, este texto se organiza en varias secciones: comenzaremos revisando algunas de las principales dificultades para el aprendizaje de la dinámica terrestre, en las que el tiempo geológico ocupa un lugar central al operar como la gran barrera imaginativa que dificulta el acceso a los contenidos del área. Intentaremos también responder a la pregunta ¿qué significa comprender el tiempo geológico?

Argumentaremos además sobre la importancia de este tópico al analizar por un lado el papel del tiempo geológico en el contexto de una ciencia histórico-narrativa como es la geología, y por otro su proyección más allá de las geociencias a partir de autores que postulan que es un concepto con gran impacto cultural.

Estos argumentos permitirán justificar la conclusión del trabajo: la necesidad de encarar la construcción del concepto de tiempo geológico como un objetivo-obstáculo, analizando los desafíos que enfrenta su enseñanza.

Dificultades para el aprendizaje de la dinámica terrestre

No importa la escala en la que se lo mire, la Tierra es un planeta dinámico, que se encuentra en constante cambio. En muchos ámbitos esto es fácilmente perceptible (por ejemplo los fenómenos atmosféricos o la sucesión de las estaciones a lo largo del año y los cambios asociados en los ecosistemas), pero en otros casos este dinamismo es menos evidente.

Muchos de los procesos geológicos que se desarrollan en la parte sólida del planeta ocurren con suma lentitud si son medidos desde la escala humana y por eso, en general no percibimos cambios en el relieve, en los accidentes geográficos o en el paisaje salvo que se produzca un evento catastrófico o la intervención humana directa. Esto ha llevado tanto a la formulación histórica de modelos explicativos esencialmente estáticos como a la conformación de un pensamiento que no imagina naturalmente los cambios en el planeta y sus componentes. La perspectiva estática es probablemente el principal (y

más persistente) de los obstáculos que afectan a la construcción de la idea de la Tierra como un planeta dinámico.

Una de las formas en las que opera este obstáculo está relacionada a que tenemos una tendencia a que sea la percepción de los cambios lo que nos provoca a buscar explicaciones que los justifiquen, mientras que los estados que nos parecen "normales" o permanentes no parecieran requerir explicación (Pozo et al, 1991).

A su vez, para producir explicaciones, las personas solemos recurrir a cierta "regla de semejanza", según la cual tendemos a creer que existe una semejanza (cualitativa y/o cuantitativa) entre las causas y los efectos. Desde esta perspectiva, sólo una catástrofe podría producir algo tan grande como una montaña. Lo lento sería cuantitativamente poco importante y, por lo tanto, no podría generar un efecto de las dimensiones de una cordillera por ejemplo. Nos resulta muy difícil imaginar el efecto acumulado de muchísimos cambios muy pequeños operando a lo largo de muy prolongados períodos de tiempo.

Cheek et al. (2017) afirman que lo que juega aquí es una subestimación de la duración de los procesos geológicos debido a la imposibilidad de percibirlos en tiempo real, lo que termina dando lugar a una visión catastrofista en la que eventos violentos como terremotos o erupciones volcánicas serían los responsables de prácticamente todas las características geomorfológicas.

Esta visión catastrofista ingenua operaría como obstáculo para el aprendizaje al inhibir el cuestionamiento sobre los procesos geológicos, o la búsqueda de explicaciones. Así como en la visión estática la ausencia de cambios percibidos implica que no hay nada que explicar, esta visión catastrofista permite obtener justificaciones rápidas sin entender la mecánica del proceso al que se recurre ni su capacidad o incapacidad para provocar los cambios observados.

Lo anterior sugiere que la magnitud de la escala temporal geológica constituye una verdadera barrera imaginativa (Pedrinaci, 1993) ante la dificultad de manipular

Un ejemplo puede ayudarnos a comprender mejor la naturaleza de este obstáculo:



Cuando se le pide a personas sin conocimientos específicos en el tema que piensen cómo puede haberse formado un cañón como el mostrado en la imagen, la respuesta que se obtiene con más frecuencia es que algún tipo de fenómeno catastrófico (normalmente un gran terremoto) quebró el relieve existente y lo separó. Y que, luego, esa zona baja fue ocupada por el curso del río.

Que se haya formado por la erosión provocada por el curso de agua, operando a lo largo de un enorme período de tiempo, no aparece normalmente dentro del registro de posibilidades.

mentalmente los períodos de tiempo necesarios para el desarrollo de los procesos involucrados, funcionando así como obstáculo para la comprensión de muchas cuestiones geológicas.

Las dificultades alrededor de la escala del tiempo tienen proyección sobre otros aspectos de la comprensión de la dinámica y los procesos internos del planeta, que mencionamos brevemente a continuación:

La inaccesibilidad y singularidad de los procesos geológicos

La mayoría de los procesos de la dinámica interna del planeta de los que habla la tectónica ocurren de forma tal que es imposible observarlos directamente. Esta inaccesibilidad de los procesos puede pensarse en tres

niveles distintos: se desarrollan en gran medida en lugares fuera del acceso directo de las personas (por ejemplo a gran profundidad), abarcando grandes regiones espaciales tridimensionales, y a lo largo de amplísimos períodos de tiempo.

Cada acontecimiento geológico es, además, singular, y acarrea la historia de los procesos y eventos que lo conformaron. En este sentido entonces en muchos casos tampoco es posible reproducirlos en el laboratorio (Frodeman, 2010).

La multicausalidad y el pensamiento lineal

La realización de inferencias geológicas se ve complejizada por la necesidad de entender que los “efectos” geológicos son producto de la interacción de múltiples causas, operando muchas veces de manera acumulativa por larguísimos períodos de tiempo. Esta lejanía temporal entre los efectos y sus causas dificulta su comprensión.

Por otra parte, Rojero (2000) plantea que una característica del pensamiento humano pareciera ser la reducción funcional: una tendencia a analizar pocas variables en el abordaje de un problema concreto. Según este autor, una de las formas de reducir las variables de un problema se encuentra en el razonamiento lineal (respecto de la causalidad). Para Astolfi (1994), la causalidad lineal, comúnmente usada en el pensamiento no complejo, excluye la idea de sincronía en las interacciones. El razonamiento tendría así una forma secuencial, en el que cada efecto intenta asociarse a una causa principal, despreciando el impacto de la conjunción de interacciones.

La naturaleza de las rocas y el exceso de generalización

Entender los procesos internos exige comprender que las características y las propiedades de los materiales de nuestro entorno no son directamente extrapolables a situaciones con condiciones muy distintas a las que experimentamos en superficie. Las personas tendemos a

equiparar las características y los procesos superficiales con los subsuperficiales, pretendiendo aplicar directamente la experiencia cotidiana a situaciones fuera de esta experiencia personal (Cheek, 2010). Marques y Thompson (1997) se refieren a esto como un problema de generalización excesiva.

La mayoría de las ideas que desarrollamos de manera intuitiva sobre el comportamiento de las rocas por ejemplo, provienen de nuestra experiencia interactuando con “sólidos”. Pero las condiciones de presión y temperatura en el interior de la Tierra son diversas y, en general, muy distintas de las condiciones que experimentamos en la superficie, y esto impacta fuertemente en cómo se comportan estos materiales en profundidad.

Adicionalmente, los modelos mentales que nos armamos respecto de las rocas están condicionados por la escala temporal humana que es el marco en el que las percibimos. Así, nos resulta prácticamente imposible imaginar que algo que es sólido y rígido pueda fluir si se mira su evolución a lo largo de ciclos de decenas de millones de años (como en el proceso de convección en el manto).

Pedrinaci (2001) entiende que esta tendencia a extrapolar la naturaleza de las rocas observadas en las condiciones de la superficie terrestre (su estado físico, su comportamiento ante los esfuerzos y la dificultad que muestran para deformarse plásticamente) opera como fuerte obstáculo para la comprensión del modelo tectónico.

La comprensión del tiempo geológico

En el campo de la didáctica de las geociencias se reconoce la importancia fundamental de desarrollar la capacidad de trabajar con los conceptos clave de la disciplina, más que simplemente recordar algunos hechos o cantidades. Para avanzar en esta dirección es necesario revisar qué se entiende al decir comprender el concepto de tiempo geológico, y cuáles son las principales dificultades que presenta esta construcción.

La complejidad de comprender adecuadamente el concepto de tiempo geológico radica fundamentalmente en

cierta limitación que parece tener el cerebro humano para abarcar tiempos que están tanto más allá de la duración media de la vida humana. La posibilidad de cuantificar la duración de un proceso se ancla directamente en los cambios que la gente experimenta y, más tarde, en los cambios que pueden recordar. Esto se debe a que los cambios son las referencias o indicadores a través de los cuales experimentamos el tiempo. ¿Cómo construir entonces la noción de un tiempo que resulta tan ajeno a la experiencia diaria?

Un punto crucial en la construcción de este concepto radica en entender que el tiempo geológico es un tiempo “con cosas adentro”. No es solo la magnitud de la escala del tiempo, sino que su definición implica acontecimientos, sucesión e historia. Frecuentemente se plantea que el concepto de tiempo geológico estaría integrado por las ideas de *cambio geológico, huellas de los procesos, sucesión causal, duración y cronología*.

El desarrollo de estos elementos requiere de un abordaje específico y, a la vez, interrelacionado, ya que deben ser puestos en diálogo. Y ello implica:

- Imaginar el efecto acumulado de procesos que ocurren a una tasa muy lenta, pero a lo largo de muy grandes períodos de tiempo.
- Comprender la idea de que hay “huellas” o evidencias que permiten realizar inferencias fundamentadas sobre los cambios ocurridos en el planeta.
- Comprender que la reconstrucción del pasado geológico exige hallar una lógica interna que permita secuenciar los procesos a través de su sucesión causal (cronología relativa).
- Superar las perspectivas antropocéntricas y teleológicas que tienden a superponer la historia de la humanidad con la de la Tierra.

Tomando entonces esto como guía, se puede pensar una serie de elementos básicos en los que pareciera sustentarse la construcción significativa del concepto de tiempo geológico:

Cambio geológico, tasas de ocurrencia y duración de los procesos

En una Tierra estática, sin procesos de cambio geológico, no tendría sentido hablar de tiempo geológico. Mientras que, si la Tierra está en permanente cambio, cada período geológico es susceptible de ser caracterizado, diferenciándolo de los anteriores y posteriores.

Sin embargo, y como ya hemos comentado, muchos procesos geológicos ocurren con una extraordinaria lentitud, muy alejada de la experiencia de todos los días. Así, la imposibilidad de visualizar o concebir procesos ocurriendo a tasas muy bajas, por períodos de tiempo muchísimo mayores a la vida de una persona, se constituye en un obstáculo para la comprensión de estos fenómenos.

Con esta perspectiva, y dado el peso del obstáculo fijista, la construcción del concepto de tiempo geológico sería un proceso paralelo al del pasaje de la perspectiva estática a la dinámica.

El pasaje de una concepción estática a una dinámica requiere de alguna comprensión de las tasas de cambio involucradas en los procesos y, así, desarrollar comprensión acerca de las tasas de cambio y la duración de los procesos del ámbito de las geociencias es tan o más importante que la mera ubicación de eventos en una línea de tiempo.

Como el tiempo geológico es un tiempo “con cosas adentro”, la comprensión de las tasas de cambio está directamente relacionada con algún conocimiento sobre los procesos particulares, como lo muestran diversas investigaciones. Por ejemplo cuando se analizan las ideas de estudiantes sobre la duración de una variedad de procesos y eventos en diversas disciplinas, las estimaciones sobre la duración son buenas en general cuando se trata de procesos familiares ocurriendo dentro de la escala temporal humana. Sin embargo la duración de los procesos que se desarrollan en períodos temporales muy largos resulta subestimada, al tiempo que se sobre-estima la aquellos que ocurren muy rápidamente.

Tanto desde una mirada sistémica como desde el marco de la alfabetización científica, la idea de cambio resulta un

concepto transversal. Dodick y Orion (2003) afirman que la comprensión de las tasas de cambio es un elemento básico de todas las disciplinas científicas tanto como problema metodológico (determinación de esas tasas) como filosófico (por las implicancias que su comprensión tiene al interior de cada disciplina), por lo que exponer a los y las estudiantes a este concepto desde las geociencias les permite acceder y comprender de mejor manera un elemento esencial a la ciencia en general.

Huellas de los procesos

La existencia de cambios en sí mismos no alcanza para reconstruir el pasado de la Tierra, resulta imprescindible que la dinámica terrestre deje algún tipo de huellas, restos o evidencias de esos cambios. Se plantea entonces la importancia de la idea de las rocas y los fósiles como documentos que contienen en su interior información sobre el momento en el que se originaron y las condiciones en las que lo hicieron, o de los estratos como archivos históricos que nos hablan del pasado.

El uniformismo, uno de los principios fundamentales de la geología moderna, establece que los procesos geológicos que actúan hoy son los mismos que han actuado en el pasado (es decir, que las reglas de funcionamiento del mundo son las mismas), permitiendo así que los registros geológicos se conviertan en documentos históricos al ofrecer una perspectiva de gran valor heurístico para interpretarlos.

De esta manera, el tiempo geológico funciona como marco de referencia para la representación temporal de procesos y eventos geológicos y, a su vez, se construye y conceptualiza a partir de estos: establece divisiones y subdivisiones basadas en cambios generalizados (faunísticos, climáticos, eustáticos, químicos, etc.) que han quedado registrados en las rocas que, a su vez, se relacionan con eventos globales sucedidos a lo largo de la historia geológica de la Tierra.

Antigüedad, orden y sucesión causal

Una vez aceptado que la Tierra es un sistema dinámico que sufre continuos procesos de cambio y que estos cambios dejan huellas, es necesario dar con una lógica interna que permita secuenciar los procesos a partir de las huellas encontradas. En general nos referimos a esto como el armado de una cronología relativa (poder establecer qué ocurrió antes y qué después, más allá de conocer o no el momento específico en el que esas cosas ocurrieron o su duración concreta).

Los principios de Steno (propuestos a fines del siglo XVII) son un ejemplo de reglas para construir este tipo de cronologías: si las rocas han ido formándose poco a poco, unas tendrán más antigüedad que otras y deberá ser posible secuenciarlas u ordenarlas de acuerdo con criterios espacio-temporales (los criterios de superposición, continuidad y de horizontalidad de los estratos). Esta interpretación histórica se extiende a su vez a las deformaciones posteriores que sufrieron, que han dejado también huellas en dichos estratos.



Los estratos inferiores son anteriores a los que están más arriba. A su vez, el proceso que generó los pliegues (apartándolos de su horizontalidad original), es posterior a la formación de todos ellos.

El manejo de grandes números

Se asume que un pobre entendimiento y manejo de grandes números y de las relaciones de proporcionalidad entre ellos podría explicar parcialmente la dificultad de hacer frente a las largas duraciones y a los grandes períodos temporales. La capacidad de discriminar entre grandes unidades temporales y los órdenes de magnitud por los que esos períodos de tiempo difieren entre sí es esencial para dar sentido al contenido de geociencias. Si una persona percibe poca diferencia entre millones o miles de millones de años, será difícil atribuir significado por ejemplo a la idea de que los dinosaurios habitaban la Tierra hace 100 Ma.

La tendencia a comprimir la ocurrencia y/o la duración de los eventos y procesos geológicos del pasado parece encajar con una tendencia humana general a exagerar las diferencias entre cantidades más pequeñas y minimizarlas entre las más grandes.

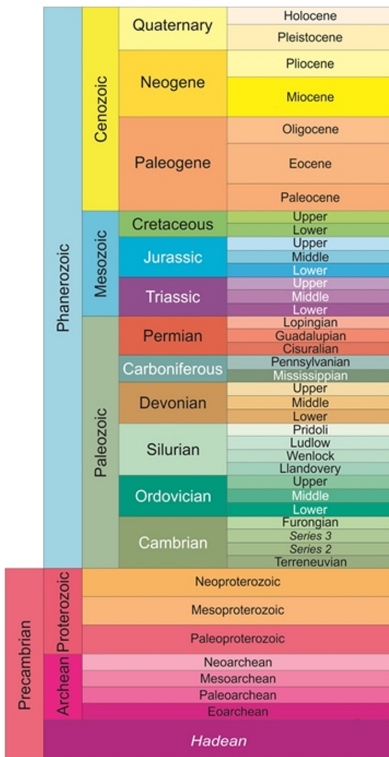
Cervato y Frodeman (2012) afirman que, en una época donde las calculadoras son ubicuas, uno de los productos colaterales de nuestra cultura tecnológica es la desatención a los razonamientos basados en órdenes de magnitud, que según ellos son los implicados en las operaciones sobre el tiempo geológico. Al respecto, Cheek (2012) afirma que justamente uno de los factores que contribuye a la comprensión del tiempo geológico es la habilidad de percibir el tamaño relativo de largos períodos de tiempo y la posibilidad de moverse a través de cantidades que difieren por muchos órdenes de magnitud.

Resulta muy importante notar, de todos modos, que la construcción cognitiva de categorías para el manejo de cantidades que quedan por fuera de la experiencia humana directa está ligada al contenido específico, requiriendo un trabajo que va más allá de la construcción abstracta de las magnitudes numéricas correspondientes.

Representaciones del tiempo geológico y componente espacial en el pensamiento temporal

Algunos autores encuentran fuentes adicionales de confusión en las herramientas utilizadas normalmente para representar el tiempo geológico. Por ejemplo, en la mayoría de las líneas de tiempo escolares para la enseñanza de historia o el desarrollo de cronologías, los números crecen en la dirección de avance del tiempo, mientras que en las representaciones del tiempo geológico esta lógica se invierte (los números más grandes indican mayor antigüedad).

Por otra parte, las líneas de tiempo usuales son normalmente horizontales, mientras que los geocientíficos experimentan el tiempo verticalmente, con el presente en el tope superior.



Una representación de la escala del tiempo geológico, en la que lo que está más abajo es lo más antiguo.

Fuente: Geological Survey Ireland
<https://www.gsi.ie/>

Un elemento adicional que puede aportar confusión es que en muchas representaciones mediante tablas o cuadros, es frecuente que se presenten los distintos eones y eras en casilleros cuyo tamaño no guarda relación con la duración relativa de los mismos, sino con la cantidad de eventos de la historia geológica y biológica que se muestran. Esto es particularmente evidente en relación a los primeros 4000 millones de años (el supereón precámbrico), que suele aparecer con un casillero de tamaño igual o menor que el resto de los casilleros, favoreciendo además una idea de que “no ha pasado nada” allí.

El tiempo geológico como objetivo-obstáculo

Lo expuesto permite destacar el concepto de tiempo geológico como una de las ideas más importantes para abordar en el aula de ciencias, al tiempo que, en paralelo, es de las más difíciles de construir cabalmente. Se trata de un concepto complejo que no parece adquirirse de una sola vez ni siguiendo un proceso lineal, sino más bien gracias a adquisiciones parciales que van relacionándose e integrándose.

Podemos pensar que la importancia de algunos obstáculos existentes en el aprendizaje es suficiente para que su superación deba constituirse en un objetivo explícito, convirtiéndose así en un principio organizador de la enseñanza, un “objetivo-obstáculo”.

"...En la medida en que dichos obstáculos tienen una significación epistemológica profunda, creo que nos dan la clave para la formulación de los fines más esenciales de la educación. En otras palabras, se trata de expresar los objetivos en términos de obstáculos superables, pues entre la diversidad de objetivos posibles, los objetivos interesantes son los objetivos-obstáculo" (Astolfí, 2003)

El papel del tiempo geológico en la perspectiva de una ciencia histórica

La geología es una de las "ciencias históricas", junto a la cosmología, la paleontología y la historia. Esta caracterización está relacionada con la manera en la que las explicaciones de la disciplina hacen uso explícito del tiempo.

Por supuesto que todas las disciplinas científicas están atravesadas por el tiempo (los procesos que describen se desarrollan en él), y los aspectos históricos son ineludibles (cada proceso particular tiene elementos, aunque sea insignificantes, que lo distinguen de otros similares). Sin embargo, como explica Frodeman (2010), el interés en una reacción química por ejemplo no pasa, típicamente, por entender las condiciones históricas específicas que la afectaron en particular, sino más bien en abstraer una generalización que sea aplicable a toda una clase de reacciones similares en alguna medida. Una reacción química en particular es así una instancia de una ley o principio general.

Pero en geología la principal preocupación es justamente establecer las circunstancias causales específicas que envuelven al evento, objeto o entidad particular de estudio, ya que cada momento en la historia de la Tierra es único e irreversible.

Mucho del trabajo de los geocientíficos consiste en interpretar fenómenos no controlados, que envuelven múltiples variables que deben ser consideradas antes de sacar conclusiones. Se recurre así a una forma de lógica interpretativa y narrativa de tipo histórico para reconstruir sus fenómenos, al tratar con problemas que raramente pueden ser testeados en condiciones de laboratorio.

Dada la complejidad de los eventos geológicos, la imposibilidad de experimentar directamente con los procesos y con las escalas temporales involucradas y el genuino interés en la singularidad de cada evento, esta vinculación y transferencia de información entre el presente y el pasado se da a través del *método histórico comparativo*. La reconstrucción de la historia geológica implica inferir los procesos del pasado a partir de sus

productos, razonando “hacia atrás” a partir de la existencia de alguna característica actual, hasta una hipótesis explicatoria consistente con la evidencia disponible. Hay un sentido de coherencia global de la teoría, más que una simple correspondencia entre el presente y el pasado, en el que lo singular y lo local tienen fundamental relevancia. Es un pensamiento histórico y no lineal en el que se trabaja desde el efecto hacia la causa (inabordable de manera directa).

Lo que caracteriza al conocimiento en geociencias es precisamente la perspectiva histórica desde la que se producen las interpretaciones. Cuando se intenta comprender algo, el significado de sus partes se entiende a partir de sus relaciones con el todo.

Desde este punto de vista, el carácter de ciencia histórica de la geología hace que el tiempo sea necesariamente uno de sus conceptos centrales, hallándose explícitamente presente en el desarrollo de prácticamente todos los procesos geológicos.

Por ejemplo, su comprensión es esencial para superar la dificultad de percepción de los efectos acumulativos de pequeñísimos cambios a lo largo de grandísimos períodos de tiempo. O para contrastar las ideas de inmutabilidad y cambio, ya que un fenómeno puede verse como constante o variable dependiendo de la escala temporal desde la que se lo mire: los continentes parecen ser siempre iguales desde la escala temporal humana, sin embargo sufren deformaciones, choques o quiebres en la escala temporal geológica.

Esta es una relación que vale en las dos direcciones, ya que la idea de cambio es fundamental para entender el tiempo a su vez.

Pero desde el punto de vista educativo las implicancias del concepto de tiempo geológico no se limitan a su impacto en la comprensión de cuestiones geocientíficas. Es una de esas ideas revolucionarias que impactan más allá de su disciplina de origen, ofreciendo una perspectiva con profundas consecuencias científicas, ambientales, culturales y políticas, como intentaremos mostrar en la siguiente sección.

Implicancias culturales del concepto de tiempo geológico

Para desarrollar modelos adecuados de sustentabilidad en el planeta es indispensable una mirada que involucre la perspectiva del tiempo profundo para enmarcar cuestiones como cambio climático, consumo de recursos o la pérdida de biodiversidad. Nuestra sociedad depende de elementos naturales que se han formado a lo largo de espacios de tiempo inmensos, bajo condiciones que son de difícil o imposible reproducción (fuentes de energía, materiales de construcción, los acuíferos, el aire respirable, etc.).

Según Zen (2001) el marco ofrecido por el tiempo profundo permite calibrar las tasas de los procesos naturales y por lo tanto entender que la capacidad del planeta para regenerar los recursos necesarios para la vida tiene tiempos característicos de un orden muchísimo más largo que las tasas a los que estos se consumen (panorama que empeora al tener en cuenta las proyecciones que indican que las tasas de consumo de recursos seguirán aumentando en el futuro). Apunta también que las tasas de cambio medioambientales y en los ecosistemas están influidas actualmente, al menos de manera parcial pero cada vez más determinante, por la escala temporal humana: décadas o siglos en lugar de millones de años. Según el autor, es necesario que quienes planifican o deciden sobre el uso de los recursos comprendan estas muy diferentes escalas si pretendemos un futuro sustentable.

Siendo una noción central en el ámbito de las ciencias, sus implicancias se proyectan mucho más allá del contexto científico y, por lo tanto, su comprensión no debiera estar limitada a la comunidad científica. Existe un amplio consenso respecto de la necesidad de su abordaje en el sistema escolar de forma de fomentar la toma de conciencia respecto de las implicancias de las políticas públicas, fundamentalmente con estudiantes que no seguirán carreras vinculadas a las geociencias, para informarlos y prepararlos para su vida como ciudadanos y ciudadanas.

Sin embargo, Gonçalves et al. (2013) llaman la atención respecto a que en general, durante la enseñanza de

contenidos geocientíficos no se enfatiza el cambio cultural revolucionario en la concepción de la naturaleza que introduce la comprensión del tiempo geológico.

La comprensión de las problemáticas contemporáneas reales requiere perspectivas no reduccionistas, que no se queden en miradas exclusivamente monodisciplinarias que eluden su dimensión compleja. Vivimos en un mundo en el que los impactos de la ciencia y la tecnología (tanto riesgos como beneficios) se hallan inequitativamente distribuidos. Tenemos la necesidad de una alfabetización científica para la formación de ciudadanía que permita participar de la reflexión crítica sobre los problemas científico-tecnológicos, sin invisibilizar las tramas de intereses y actores involucrados, de modo que las decisiones relativas a este tipo de problemas no queden solo en manos de especialistas y tecnócratas.

La perspectiva del tiempo profundo permite enmarcar los procesos socio-político-económicos, las cuestiones ambientales, el cambio climático, el consumo de recursos, la conservación de los acuíferos o la pérdida de biodiversidad entre otras cosas, dentro de una mirada que no elude las implicancias sociales de los impactos que generan la ciencia y la tecnología.

Lamentablemente vemos muy pocos ejemplos en donde esta perspectiva haya sido tenida en cuenta en la toma de decisiones económicas o políticas. Como docentes, tenemos la posibilidad de llevar estas cuestiones al aula como una posible respuesta a la pregunta *¿qué ciudadanos y ciudadanas queremos formar?*

Referencias bibliográficas

Astolfi, P. (1994). El trabajo didáctico de los obstáculos, en el corazón de los aprendizajes científicos. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(2), pp 206-216.

Astolfi, P. (2003). *Aprender en la escuela*. Comunicaciones Noreste.

Cervato, C. y Frodeman, R. (2012). The significance of geologic time: Cultural, educational, and economic frameworks. En Kastens, Manduca (ed.), *Earth and Mind II: A Synthesis of Research on Thinking and Learning in the Geosciences: Geological Society of America Special Paper*, 486, pp 19–27.

Cheek, K. (2010). A summary and analysis of twenty-seven years of geoscience conceptions research. *Journal of Geoscience Education*, 58(3), pp 122-134.

Cheek, K. (2012). Students' understanding of large numbers as a key factor in their understanding of geologic time. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 10, pp1047-1069.

Cheek, K; LaDue, N; Shipley, T. (2017). Learning About Spatial and Temporal Scale: Current Research, Psychological Processes, and Classroom Implications. *Journal of Science Education*, 65, pp 455-472.

Dodick, J. y Orion, N. (2003). Cognitive Factors Affecting Student Understanding of Geologic Time. *Journal Of Research In Science Teaching*, 40(4), pp 415-442.

Frodeman, R. (2010). O raciocínio geológico: a geologia como uma ciência interpretativa e histórica. *Terræ Didática*, 6(2), pp 85-99.

Goncalves, P; Sicca, N; Fernandes, M; Fernandes, S. (2013). Inovações didáticas e a concepção de natureza: a pesquisa colaborativa e o desenvolvimento profissional do professor. *Educação Unisinos*, 17(3), pp 250-260.

Gould, S. (1988). *Time's Arrow, Time's Cycle: Myth and Metaphor in the Discovery of Geological Time*. Harvard University Press

Marques, L.; Thompson, D. (1997). Misconceptions and conceptual changes concerning continental drift and plate

tectonics among portuguese students aged 16-17. Research in science and technological Education, 15(2), 195-221.

Pedrinaci, E. (1993). La construcción histórica del concepto de tiempo geológico. Enseñanza de las Ciencias, 11(3), pp 315-323.

Pedrinaci, E. (2001). Los procesos geológicos internos. Síntesis.

Pozo, J; Sanz, A; Gómez Crespo, M; Limón, M. (1991). Las ideas de los alumnos sobre la ciencia: una interpretación desde la Psicología Cognitiva. Enseñanza de las Ciencias, 9(1), pp 83-94.

Rojero, F. (2000). ¿Una asignatura sistémica o sistemática?. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, 8(3), pp 189-196.

Zen, E. (2001). What is deep time and why should anyone care? Journal of Geoscience Education, 49(1), pp 5-9.

Educación ambiental integral (Parte I)

EAI en clave latinoamericana

Natalia Couselo

La educación ambiental cobra visibilidad a nivel global a mediados del siglo XX como respuesta a la manifiesta aceleración y profundización de la crisis ambiental. En la actualidad, hay un cierto consenso en la importancia de la incorporación de la educación ambiental en las escuelas. Sin embargo, el consenso se acaba cuando nos enfrentamos a definir y explicitar el qué, cómo, para qué y con quienes “hacer” educación ambiental. Al profundizar en las respuestas a estas cuestiones podemos encontrar posicionamientos opuestos y hasta contradictorios que ponen de manifiesto que la demanda de la incorporación de la educación ambiental no tiene, ni ha tenido, connotaciones unívocas. Esto se debe a que así como el agua que encontramos en muchas de nuestras canchales y ríos, la educación ambiental no es inodora, incolora e insípida.

Organizamos el escrito, que hemos dividido en dos capítulos, en torno a algunos interrogantes: ¿qué entendemos por educación ambiental? ¿Qué es lo “propio” de la educación ambiental? ¿Qué concepción de ambiente subyace en nuestras planificaciones? ¿Cómo se instaló el campo de la educación ambiental en el ámbito internacional? ¿Cómo entendemos crisis ambiental? ¿Cuál es el rol de la educación ambiental en este contexto?

La educación ambiental: entre discursos y prácticas

En las escuelas encontramos diversas maneras de concebir y practicar la educación ambiental. A las mismas subyacen heterogéneos supuestos políticos, ideológicos,

epistemológicos, pedagógicos, éticos e incluso didácticos que pueden ser más o menos explícitos.

Si bien la existencia de una diversidad de corrientes y enfoques de EA no es algo negativo; el problema surge cuando la educación ambiental se reduce a prácticas ingenuas y voluntaristas asociadas únicamente a la separación de residuos, la reutilización de plásticos o al cuidado del agua a partir de cerrar las canillas al lavarnos las manos o los dientes, es decir, que se centran en modificar conductas individuales. De esta manera, se acota la educación ambiental a moldear conductas consideradas virtuosas en el ejercicio de la ciudadanía, muchas veces denominadas acciones para “cuidar” o “salvar” el planeta. Vale aclarar que no consideramos que el mayor problema radique en las acciones propuestas, sino en la reducción del sentido educativo de la educación ambiental a un discurso normativo que se centra en cómo actuar sin propiciar el debate y/o la participación activa de los sujetos en la discusión de los argumentos que sustentan esos cursos de acción.

¿Qué entendemos, entonces, por educación ambiental? ¿Por qué y para qué “hacer” educación ambiental en las escuelas? Partamos de lo obvio: la educación nunca es neutral; “todo proyecto educativo es un proyecto político en la medida en que implica una práctica humana, una praxis, es decir, acciones con sentido dirigidas a determinados fines sociales” (de Alba, 1998, p. 7).

El debate sobre la cuestión ambiental forma parte de la agenda de los problemas sociales relevantes de la actualidad; enfrentando a las sociedades a realizar diagnósticos de causas y predecir consecuencias, definir lo que está en juego, construir y ofrecer respuestas, y definir cursos de acción, entre otras cuestiones. Nótese que definir horizontes sociales deseables implica necesariamente tomar posición frente al mundo, por lo que, en este punto, aparece el componente ético y político de toda educación ambiental. El primero refiere a la deliberación sobre los valores sobre los que se asientan los criterios de acción y el segundo a la reflexión sobre el poder y las posibilidades de intervención colectiva para la transformación de la realidad (Siede, 2022).

En efecto, sostenemos que la educación ambiental nos invita tanto a pensar el presente, al abordar problemas sociales contemporáneos; como a imaginar futuros posibles, deseables o alternativos cuyo horizonte de sentido sea el cuidado ambiental y la sustentabilidad de la vida. Ambos son ejercicios necesarios para la formación de una ciudadanía responsable, crítica y con capacidad de incidir en el presente para la construcción de sociedades más democráticas, pluralistas y justas, tanto en términos sociales como ambientales. Desde esta postura, la educación ambiental aparece como un componente clave de la formación ética y ciudadana aportando a una de las finalidades centrales de la educación primaria: la educación en y para la ciudadanía.

Para quienes quieran ampliar la diversidad de corrientes y enfoques de la EA recomendamos la lectura de los textos de la canadiense Lucie Sauvé **“Una Cartografía De Corrientes En Educación Ambiental”** y **“Educación científica y educación ambiental: un cruce fecundo”**, disponibles en:

https://www.ecominga.uqam.ca/PDF/BIBLIOGRAPHIE/GUIDE_LECTURE_3/1/2.Sauve.pdf

<https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/189092>

La educación ambiental como campo en construcción

En el apartado anterior comenzamos a argumentar en pos de reconocer el carácter ideológico, político y ético de toda educación ambiental. Llegado este punto proponemos reconocer algunas disputas de sentido que se fueron dando a partir de la aparición de la cuestión ambiental la esfera pública. Con disputas de sentido nos referimos a que el campo ambiental no es homogéneo y compacto, sino que está atravesado por diversas interpretaciones sobre la crisis ambiental. En una reciente entrevista realizada por Adriana Puiggrós e Ignacio Frechtel, María Luisa Eschenhagen nos advierte que:

...hablar de ambiente nunca es una cuestión neutral ni objetiva, y cuando se hace referencia a lo verde, a lo eco o a lo bio, no siempre se está hablando de lo mismo. Hay vertientes bastantes diferentes y el peligro está en pensar que nos entendemos y, sin embargo, nos referimos a cosas distintas e incluso contrapuestas; entonces, hay una trampa. De ahí la importancia de conocer los discursos para identificarlos, pues también en lo ambiental se pueden encontrar posiciones que van desde el ecofascismo hasta el eco-anarquismo, entonces hablar de verde ya no es lo mismo. Tenemos que reconocer que el tema está atravesado por intereses políticos, económicos y culturales, no hay neutralidad. (Eschenhagen, 2022, p. 251)

Como docentes, es importante conocer las distintas tensiones en juego en cuanto a las diversas interpretaciones de la crisis ambiental, la definición del problema y lo que está en juego así como los caminos en pos de hallar posibles soluciones. Para esto, resulta conveniente volver a algunos hitos en la historia de los debates ambientales internacionales de las últimas décadas. Consideramos que, para comprender las dificultades, oportunidades y desafíos de la educación ambiental en el presente, es necesario reconocer las transformaciones que se fueron dando en el plano internacional en estas cinco décadas. Sin embargo, no es la idea hacer una historización exhaustiva, en tanto hay muchos y muy buenos trabajos, sino señalar algunas discusiones que se fueron dando en el proceso de conformación del campo para, de esta manera, reconocer cómo estas disputas de sentido atravesaron y atraviesan la educación ambiental.

Siguiendo a Naína Perri (2005) podemos decir que la educación ambiental cobra visibilidad en el plano internacional a mediados del siglo XX como respuesta a la crisis ambiental. Si bien se pueden rastrear preocupaciones por las cuestiones ambientales desde mucho tiempo antes; es a partir de los años 60 que el movimiento ambientalista

se expande, mayormente en los países del Norte Global, animado por movimientos pacifistas, activistas antinucleares y movimientos ecologistas y conservacionistas que impulsan la creación de Organizaciones no gubernamentales (ONG) nacionales e internacionales. Tampoco es menor que se empezaron a registrar las primeras catástrofes ambientales entre las que podemos mencionar la enfermedad de Minamata causada por un envenenamiento por mercurio de origen industrial en la ciudad homónima en Japón entre los años 50 y 70, y el hundimiento del Torrey Canyon del primer superpetrolero en 1967 que produjo un derrame de petróleo entre las costas de Inglaterra y Francia.

Consecuentemente, a partir de los años 70 se impulsan políticas ambientales a través de la celebración de conferencias y convenciones internacionales de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) así como por la promulgación de las primeras leyes ambientales y la creación de organismos estatales con competencias en el tema (Pierri, 2005). De manera que desde esa época el tema también va adquiriendo una cada vez mayor legitimidad institucional.

En Argentina, en clara consonancia con los debates en el plano internacional, se crea en el año 1973 la secretaria de Recursos Naturales y Ambiente Humano. A su cargo se nombra a Yolanda Ortiz (1926-2019).

A fines del año 2020 se sanciona la ley 27.592 que busca garantizar la formación integral en materia ambiental para todas las personas que se desempeñan en la función pública en los tres poderes del Estado nacional. Justamente, se nombra como **“Ley Yolanda”** en homenaje. Pueden leer el texto de la ley en: <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/ley-27592-345172>

En 1972 se publica el informe elaborado por profesionales del Instituto Tecnológico de Massachussets (MIT, Estados Unidos) llamado Los límites del Crecimiento. El informe, que se basa en el modelo matemático World III,

fue encargado por el Club de Roma. El científico estadounidense Dennis Meadows fue designado como su director. Por esto, este informe también suele conocerse como Informe del Club de Roma o Informe Meadows.

El informe postuló que los límites físicos del planeta, es decir, el agotamiento de recursos naturales y contaminación ambiental; se transformarían en barreras para mantener niveles de crecimiento económico y, por lo tanto, el bienestar de la población. La frase con la que se resume la conclusión de este informe es que es imposible un crecimiento económico infinito en un planeta finito. Así diagnosticado el problema, las soluciones propuestas para evitar la inminente catástrofe eran detener el crecimiento poblacional, utilizar racionalmente de los recursos naturales y disminuir los niveles de contaminación ambiental.

La mayoría de la literatura coincide en que la Conferencia de Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Humano celebrada en Estocolmo, Suecia entre el 5 y el 16 de junio de 1972 marcó un punto de inflexión al incluir el tema en la arena política internacional. Esta conferencia fue convocada por la Organización de Naciones Unidas (ONU) y contó con la asistencia de representantes de 113 países.

Previo a esta conferencia, se celebró en junio de 1971 una reunión preparatoria en Founex, Suiza. Las proyecciones del informe Los límites del crecimiento en cuanto a la interrelación entre la contaminación, la escasez de recursos naturales y la explosión demográfica constituyeron los puntos de partida del debate.

En este punto, se produce una clara discrepancia Norte-Sur:

Los países desarrollados ponían el énfasis en la contaminación causada por la acelerada industrialización y urbanización, más el agotamiento de los recursos naturales, que adjudicaban al crecimiento poblacional.

Así, las soluciones que postulaban eran, además de generar y aplicar tecnologías limpias, frenar o reducir el crecimiento poblacional y económico de las naciones en vías de desarrollo.

...en un primer momento, los países pobres se resisten a involucrarse en la cuestión, diciendo que los problemas ambientales en torno a los cuales se convocaba la reunión eran de los países ricos, derivados de sus excesos de producción y consumo, y que si allí se consideraban problemas era porque ya se habían desarrollado y disfrutaban de buenos niveles de vida. Entendían que el verdadero problema que había que atender de inmediato era que dos tercios de la humanidad estaba dominada por la pobreza, malnutrición, enfermedades y miseria, y que eso pasaba por priorizar el desarrollo, de donde la filosofía del “no crecimiento” era absolutamente inaceptable. (Pierri, 2005, 36-37)

De manera resumida, es al luz de estas discusiones geopolíticas que se produce la ampliación del concepto de ambiente; entendiendo que éste debe incluir no sólo las cuestiones estrictamente ecológicas, sino también las sociales. De esta manera, los países del Sur Global logran que se incluya, en los informes previos a Estocolmo '72, la importancia de conciliar las políticas ambientales con sus planes nacionales de desarrollo. Finalmente, se vinculan las cuestiones ambientales con los objetivos del desarrollo reconociendo que las agendas ambientales y económicas son intrínsecamente dos caras de la misma moneda, de manera que se llega a Estocolmo reconociendo que el cuidado del ambiente es una dimensión integral del desarrollo, más que su impedimento.

Como veremos, esta discusión Norte-Sur, aún con continuidades y rupturas, se va a mantener a lo largo del tiempo. Si bien al presentar dos posiciones (Norte-Sur) de manera esquemática corremos el riesgo de caer en simplificaciones que oponen de manera binaria “dos bandos” aparentemente homogéneos; resulta central destacar que, como nos alerta Susana Murillo, “el río de la historia suele ser complejo” (Murillo, 2012). Sin embargo, no podemos, ni es la intención, abordar esa complejidad en este capítulo, sólo atinamos a señalar que estos procesos no deben leerse de forma lineal y sin contradicciones.

¿Cómo nombrar?

Algunas ramas del pensamiento ambiental han hecho un esfuerzo para elegir los términos con los que nombrar. Elegimos hablar de países del Sur o Sur global y países del Norte o Norte global. Esta es toda una toma de postura en tanto buscamos términos que no nombren desde la falta como países no desarrollados, sub-desarrollados, pobres, periféricos o incluso del Tercer Mundo.

Obviamente, esta manera de nombrar no se refiere a todos los países del Norte, ya que esta clasificación no es geográfica. Cuando se habla del Norte Global, se está hablando de Occidente, del Norte dominador que ocupa una posición de dominación imperial, colonial, racial, epistémica, etc. De esta manera con Sur nos referimos a determinada experiencia cultural que produce una heterogénea identidad socio-cultural, reconociendo que incluso hay “Sures” en el Norte y hay “Nortes” en el Sur.

Veamos dos ejemplos de la posición del Sur Global: En una reunión realizada en Rio de Janeiro (Brasil) en junio de 1971, intelectuales de Latinoamérica le encomiendan a la Fundación Bariloche, de Argentina, la elaboración de un modelo desde la perspectiva de Latinoamérica como respuesta a Los límites del crecimiento. El Modelo Mundial Latinoamericano (1975) parte del supuesto de que los límites no son de naturaleza física, sino socio-políticos. El argumento central es que las sociedades y el medio físico en que se insertan, constituyen un todo único que sólo puede ser descrito utilizando variables socio-económicas y físicas y, por lo tanto, el deterioro ambiental no es una consecuencia inevitable del desarrollo, sino que es resultado de una organización social cimentada en valores en gran parte destructivos (Herrera et al, 2004). Para este modelo, la catástrofe en los años ´70 ya estaba instalada, en tanto que dos tercios de la humanidad se encontraban entonces sumergidos en la exclusión y la pobreza (Herrera et al, 2004). De esta manera, el informe concluye el problema no es de escasez de recursos naturales, sino la desigualdad en la distribución económica y social y la inadecuada utilización de los recursos naturales; resaltando, como adelantamos, que el problema es sociopolítico.

Si nos adelantamos en el tiempo, en plena época neoliberal, podemos afirmar que a grandes rasgos Nuestra propia agenda (1990, Informe de la Comisión de América Latina y El Caribe para el Desarrollo y el Medio Ambiente) funciona a modo de “respuesta” al informe Nuestro Futuro Común (1987, Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo, Comisión Brundtland) en el que el concepto de desarrollo sostenible cobra especial relevancia. En Nuestra Propia Agenda se afirma las amenazas de la actual crisis económica y ambiental están arraigadas en modalidades de desarrollo imperfectas que generan un vínculo intrínseco entre pobreza, deuda externa y problemas ambientales en los países del Sur. Así, mientras que en el Norte Global se vive en una economía de opulencia y desperdicio; en el Sur Global campea una economía de pobreza, desigualdad y necesidades apremiantes de supervivencia a corto plazo. Nótese que aparece el tema de la deuda; en tanto son años de la crisis de la deuda externa de los países latinoamericanos. Es más, es por estos años que se comienza discutir la noción de la deuda “ecológica” de los países del Norte Global con el Sur Global en contraposición a la deuda externa

Como mencionamos al comienzo, no es la idea hacer un recorrido histórico riguroso sino poder reconocer las disputas de sentido en torno a la cuestión ambiental, para con discontinuidades y rupturas, tener una visión más amplia del presente y, así, poder inscribir a la educación ambiental en un panorama más amplio.

Volvamos a la educación ambiental. En la recomendación 96 de la Conferencia de Naciones Unidas sobre Medio Ambiente Humano Estocolmo del año 1972 se insta a la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) a establecer un programa internacional en educación ambiental. Además, se crea el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA).

De esta manera, en el año 1975 se realiza el “lanzamiento” oficial del Programa Internacional de Educación Ambiental (PIEA) durante el Seminario Internacional de Educación Ambiental UNESCO-PNUMA, en

Belgrado, Yugoslavia. En este seminario se redacta Carta de Belgrado que configura un marco de referencia preliminar para establecer un programa internacional de educación ambiental. En la introducción se afirma que se necesita universalizar una ética más humana y un nuevo concepto de desarrollo que tenga en cuenta la satisfacción de las necesidades y los deseos de todos los habitantes de la Tierra, el pluralismo de las sociedades y el equilibrio y armonía entre los seres humanos y el ambiente (UNESCO, 1977).

Después de Belgrado, se realizan distintas reuniones y conferencias regionales como preparación de la Conferencia Intergubernamental sobre Educación Ambiental a celebrarse en Tbilisi (Unión de las Repúblicas Socialistas Soviéticas, URSS) en el año 1977. Entre ellas podemos mencionar el Taller Subregional de Educación Ambiental para la Enseñanza Secundaria (1976, Chosica, Perú) y la Reunión Regional de expertos de EA de AL y el Caribe (1976, Bogotá, Colombia).

Para quienes quieran ampliar sobre la historia de la conformación del campo desde una mirada latinoamericana, recomendamos la lectura de ***Las cumbres ambientales internacionales y La educación ambiental*** de María Luisa Eschenhagen y de ***Otra lectura a la historia de la educación ambiental en América Latina y el Caribe*** de Edgar Gonzalez Gaudiano. Disponibles respectivamente en:

<https://www.redalyc.org/pdf/531/53101204.pdf>

<http://dx.doi.org/10.5380/dma.v3i0.3034>

En el Taller de Chosica se indagan las especificidades de la educación ambiental en América Latina; señalando que, si bien la educación no es gestora de los procesos de cambio social, puede cumplir un papel importante como agente fortalecedora y aceleradora de procesos de transformación social (Teitelbaum, 1978). Ahora, se destaca que este papel solamente podrá llevarse cabo si se apunta

al esclarecimiento de sus causas y a la proposición de soluciones posibles (Teitelbaum, 1978). En el taller se define a la educación ambiental como:

...la acción educativa permanente por la cual la comunidad educativa tiende a la toma de conciencia de su realidad global, del tipo de relaciones que los hombres establecen entre sí y con la naturaleza, de los problemas derivados de dichas relaciones y sus causas profundas. Ella desarrolla mediante una práctica que vincula al educando con la comunidad, valores y actitudes que promueven un comportamiento dirigido hacia la transformación superadora de esa realidad, tanto en sus aspectos naturales como sociales, desarrollando en el educando las habilidades y aptitudes necesarias para dicha transformación. (Teitelbaum, 1978, p.51)

Así, en 1977 se llega a Tbilisi luego de un amplio debate regional sobre la educación ambiental. Mientras que en Belgrado se formularon directrices y recomendaciones para un programa de acción general de cooperación internacional en relación a la EA en el mundo; en Tbilisi se generan recomendaciones sobre política estatal en relación a la educación ambiental. En el informe de esta conferencia se definieron las finalidades y características de la educación ambiental, y las estrategias y modalidades para la incorporación de la educación ambiental a los sistemas de educación. Además, se formulan una serie de recomendaciones y formas de cooperación internacional en materia de educación ambiental. Nuevamente se vuelve a mencionar la necesidad de un desarrollo que se dedique primero a atender las necesidades de toda la humanidad, que responda a sus aspiraciones legítimas y que acepte el pluralismo de las sociedades y que esto supone una nueva ética que deberá repudiar la explotación, el despilfarro y la exaltación de la productividad concebida como un fin en sí misma (UNESCO, 1977, p. 16).

El análisis del documento final de la Conferencia de Tbilisi merecería un capítulo en sí mismo, sin embargo

queremos destacar algunas ideas que permiten entrever el clima de época. En el mismo se afirma que las condiciones ambientales dependen más a menudo de decisiones sociales, económicas y tecnológicas que de factores físicos. Como adelantamos se enfatiza que la educación ambiental deberá apuntar a establecer un nuevo sistema de valores advirtiéndole que la educación ambiental no debe limitarse a difundir nuevos conocimientos, sino que debe ayudar a poder cuestionar las falsas ideas sobre los problemas ambientales así como los sistemas de valores que sustentan tales ideas (UNESCO, 1977). Entonces, la solución no estriba en la transmisión de un conjunto de valores, sino más bien en la explicitación sistemática de los valores predominantes, es decir, a develar los valores que han privilegiado determinadas decisiones en desmedro de otras.

Desarrollo sostenible: un concepto ambiguo y en disputa

Haremos un salto temporal a la década del '90. En el año 1992 se celebra la Conferencia de Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo en Río de Janeiro donde se define la Agenda 21 y se establece al desarrollo sostenible como concepto de consenso. En el año 1995 la UNESCO finaliza el Programa Internacional de Educación Ambiental (PIEA). El decenio 2005-2014 se declara como el Decenio de las Naciones Unidas de la Educación para el Desarrollo Sostenible. En el año 2015 fue aprobada la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible en la Asamblea General de las Naciones Unidas. En la misma, 193 jefes de Estado aprobaron el documento "Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible". La Agenda tiene 17 objetivos de desarrollo sostenible (ODS) y 169 metas que se espera se apliquen de forma universal. Esos 17 objetivos sirven para orientar a cada uno de los países en sus esfuerzos para lograr un desarrollo sostenible.

Página web de UNESCO

<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/09/la-asamblea-general-adopta-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible/>

En cuanto a la educación, en la Conferencia Mundial de la UNESCO sobre la Educación para el Desarrollo Sostenible de 2021, celebrada en Berlín (Alemania) se aprobó la Declaración de Berlín sobre la Educación para el Desarrollo Sostenible 2030.

¿Qué notamos? A primera vista es muy obvia la omnipresencia del término desarrollo sostenible. El concepto desarrollo sostenible se afianza y cobra relevancia internacional a mediados de 1980 en un intento por conciliar la aparente contradicción entre conservación y crecimiento económico. La mayoría de las concepciones del desarrollo sostenible representan variaciones de la definición sugerida por la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo, presidida por la entonces Primer Ministra de Noruega, Gro Brundtland (Guimaraes, 2003):

Está en manos de la humanidad hacer que el desarrollo sea sostenible, duradero, o sea, asegurar que satisfaga las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer las propias. El concepto de desarrollo duradero implica límites - no límites absolutos- sino limitaciones que imponen a los recursos del medio ambiente el estado actual de la tecnología y de la organización social, la capacidad de la biosfera de absorber los efectos de las actividades humanas. Pero tanto la tecnología como la organización social pueden ser ordenadas y mejoradas de manera que abran el camino a una nueva era de crecimiento económico. (ONU, 1987, p. 23)

El discurso del desarrollo sostenible aparece como contradictorio y ambiguo al no cuestionar las causas estructurales de los problemas ambientales; justamente es este carácter ambiguo lo que lo sitúa como concepto de consenso, siendo que en muchos casos se reduce la noción de desarrollo al crecimiento económico. En este sentido, Pierri advierte tomando a Lelé (1981 citada en Pierri 2005) que el concepto de sostenibilidad no responde ¿qué debe ser sostenible? ¿para quiénes? ¿cuánto tiempo? agregando que usualmente se queda en una definición superficial que

“convoca amplios consensos por soslayar los intereses diferentes que responderían esas preguntas de manera diferente” (Pierri, 2005, p.65).

Comienza, entonces, en la década del ´90 el proceso de instalar los aspectos ambientales en la agenda internacional bajo el discurso hegemónico del desarrollo sostenible mientras que en educación se deja de hablar de educación ambiental para pasar a hablar de educación para el desarrollo sostenible.

Así, tomando el desarrollo de Charles Dorn (2020) podemos reconocer tres grandes períodos para la educación ambiental en el plano internacional:

- Una primera etapa más centrada en la conservación de la naturaleza y la conservación de los recursos naturales.
- Una segunda etapa de fomento de una nueva ética ambiental a través de la resolución de problemas, un enfoque interdisciplinario y el estudio del ambiente en sus múltiples dimensiones.
- Una tercera etapa en que el desarrollo sostenible se ha convertido en la "nueva ética" ética global.

No profundizaremos en las críticas al desarrollo en sí, así como tampoco al desarrollo sostenible, en tanto entendemos que hay muy buena bibliografía al respecto; solamente nos interesa diferenciar al enfoque de educación ambiental que desarrollaremos en el próximo capítulo de otras posiciones de lo que se da en llamar educación para el desarrollo sostenible, impulsadas mayormente desde los organismos internacionales como la UNESCO.

Lo latinoamericano como lugar de enunciación

Si pensamos en Latinoamérica, es posible que se nos venga a la mente su diversidad. Por eso, responder a la pregunta sobre qué es lo común en la región puede ser complejo. Apelando a la historia, Héctor Alimonda sostiene que lo que compartimos es una “marca de origen”, que si bien no determina toda nuestra historia, sí la condiciona. El trauma catastrófico de la conquista integró a Latinoamérica en el sistema internacional en una posición subordinada y

colonial, estableciendo un patrón de dominación y explotación tanto de la naturaleza como de los seres humanos (Alimonda, 2011). Entonces, desde un lugar de enunciación latinoamericano, el proceso de industrialización y desarrollo de los países del Norte Global se llevó a cabo a costa de los recursos naturales del Sur Global. En la actualidad, incluso las políticas consideradas “ecológicamente correctas” en los centros imperiales pueden suponer opciones ambientalmente catastróficas para nuestra región (Alimonda, 2011).

Alberto Acosta (2009) explica que de acuerdo a las clásicas ideas sobre el desarrollo, la riqueza en recursos naturales es una condición clave para permitir alcanzar mejores niveles de vida. Sin embargo, podemos reconocer que tanto en países latinoamericanos como africanos persiste la pobreza y la desigualdad. Acosta (2009) se pregunta: ¿cómo es posible que en países tan “ricos” en recursos naturales, la mayoría de sus habitantes no puedan satisfacer sus necesidades básicas? Y responde que la evidencia reciente permite afirmar que esta pobreza está relacionada con dicha riqueza y que este alarmante contraste entre riqueza -en recursos naturales- y pobreza -social- se extiende desde 1492. Esta riqueza no solo no asegura el desarrollo sino que, por el contrario, termina cristalizando la pobreza (Acosta, 2009). Nuevamente, el problema es sociopolítico y la responsabilidad incluye a las elites latinoamericanas, entre otros.

Así, los países del Sur Global estarían atrapados en una lógica perversa conocida en la literatura especializada como “la paradoja de la abundancia”, “la maldición de la abundancia”, o simplemente, “la maldición de los recursos”. En particular, nos parece interesante la idea del mito “eldoradista” según en el cual, dependiendo de la época, la explotación y exportación de “algún recurso natural”, nos “salvará”. Este mito lleva a un modelo de “mal desarrollo” (Svampa y Viale, 2020) a partir de aceptar como inexorable el destino de los países latinoamericanos como exportadores de naturaleza que, en las últimas décadas, termina intensificando las lógicas extractivistas que transforman a grandes áreas de nuestros países en zonas de sacrificio.

Con esta breve introducción sobre qué significa situarse desde latinoamérica para pensar la crisis ambiental queremos reforzar que la crisis ambiental es un fenómeno que pone en riesgo tanto el propio funcionamiento del planeta tal y como lo conocemos, como la vida del ser humano y como tal incluye una dimensión geopolítica insoslayable. Entendida de esta manera, podemos reconocer que si bien la crisis ambiental tiene expresiones locales que se hace necesario atender en el plano local, también se trata de un problema global en tanto la degradación ambiental no conoce de fronteras y se extiende por todo el planeta; y esto implica considerar el problema en el orden internacional.

En general se acepta que la crisis ambiental es multidimensional -ya que atraviesa tanto los aspectos sociales como las dinámicas físico-naturales-, pero también se reconoce su carácter multiescalar, abarcando desde lo local hasta lo global y viceversa. Dado que los problemas ambientales no son asuntos periféricos ni impactos externos a las sociedades, la crisis ambiental no es solo ecológica, sino fundamentalmente social. Por lo tanto, es desde esta dimensión y con toda su complejidad, desde donde deben pensarse las soluciones.

Más allá de que fuera del ámbito académico todavía esté extendida una idea “ecológica” de la crisis ambiental, estamos viendo que ya a principios de la década del '70 el tema ambiental se considera inseparable de las discusiones sobre estilos de desarrollo y sus consecuencias. Si bien hasta acá parece haber consenso sobre la existencia de la problemática, al momento de enunciar sus causas para proponer soluciones el consenso se termina y surge un profundo e histórico disenso, sobre todo Norte-Sur (Estenssoro y Vásquez, 2022).

Distintas interpretaciones de la crisis ambiental

Luego de este recorrido histórico, podemos abordar cómo se interpreta la crisis ambiental. Nuevamente, no realizaremos un desarrollo exhaustivo sino que presentaremos los dos enfoques principales en pugna de manera esquemática.

Desde el discurso hegemónico, la crisis ambiental se asocia con fenómenos como el cambio climático, la pérdida

de biodiversidad, la destrucción de la capa de ozono, la escasez de recursos naturales, la contaminación en sus diversas formas y la llamada “explosión demográfica”, especialmente en la periferia o Sur Global. Además, se la considera un problema de origen antropogénico—es decir, causado por la humanidad en general—y se suele situar su inicio en la Revolución Industrial, hacia 1750, momento en el que surgieron la civilización industrial y la sociedad de consumo moderna (Estenssoro y Vásquez, 2022).

Sin embargo, como muestra el recorrido histórico previo, a medida que los problemas ambientales fueron cobrando relevancia en la esfera pública, desde el Sur Global surgió otra interpretación. Desde esta perspectiva, la crisis ambiental es un problema global que resulta de un modelo de sociedad impuesto por los sectores dominantes del Norte Global.

Ulrich Brand y Markus Wissen desarrollan el concepto de modo de vida imperial, que hace referencia a las normas de producción, distribución y consumo profundamente arraigadas en las estructuras y prácticas políticas, económicas y culturales de la vida cotidiana en el Norte Global y, cada vez más, en los países emergentes del Sur Global. No se trata solo de prácticas materiales, sino también de las condiciones estructurales y los ideales y discursos sociales que las sustentan. Dicho de manera más contundente: los estándares de una vida “buena” y “correcta” se configuran en la cotidianidad, aunque formen parte de condiciones sociales complejas y dependan de infraestructuras materiales y sociales (Brand y Wissen, 2022, p.).

Este concepto resulta relevante porque destaca cómo las expectativas generadas por el modo de vida imperial configuran una idea de bienestar que es adoptada por amplios sectores de la población mundial.

En este contexto, la globalización se presenta como una característica central del mundo contemporáneo, mientras que el neoliberalismo se ha consolidado como el horizonte cultural dominante. Según Fernando Escalante Gonzalbo (2016), el neoliberalismo es tanto un programa intelectual—que articula una visión sobre la sociedad, la

economía y el derecho—como un programa político derivado de esas ideas. Así, sin desconocer las enormes desigualdades del mundo actual, es posible afirmar que ciertos patrones de consumo (como el uso masivo de automóviles o la creciente frecuencia de los viajes turísticos), que en el siglo XIX y principios del XX estaban reservados a élites en contextos específicos, se han expandido globalmente a través de los procesos de globalización, ya sea mediante el acceso real a estos bienes o el deseo de alcanzarlos.

El reciente informe Desigualdad S.A. de Oxfam (2024) evidencia la creciente concentración de la riqueza: desde el inicio de la década actual, la fortuna conjunta de los cinco milmillonarios más ricos del mundo se ha más que duplicado, mientras que la riqueza acumulada del 60% de la humanidad ha disminuido. Además, el 1% más rico posee el 43% de los activos financieros globales, con una distribución desigual según las regiones: en Oriente Medio concentra el 48% de la riqueza financiera, en Asia el 50% y en Europa el 47% (Oxfam International, 2024).

Así, Estenssoro y Vásquez (2022) desarrollan tres aspectos principales que la perspectiva crítica rechaza de la interpretación hegemónica de la crisis ambiental:

a) que su origen radique en la Revolución Industrial, en tanto para esta perspectiva crítica la crisis ambiental comenzó con la expansión imperial europea, alrededor de 1450 en adelante, que resultó ser intrínsecamente depredadora no solo de la naturaleza sino que, también, del trabajo y la vida de una gran mayoría de seres humanos.

b) Que se le dé un carácter de crisis antropogénica en general o sin especificaciones, dado que se hace recaer la culpa en el conjunto de la humanidad. Esto oculta que la principal responsabilidad recae en aquel sector minoritario de la sociedad que impuso y se benefició totalmente del modo de producción, distribución, intercambio y consumo dominantes.

c) Que se culpe al “exceso” de población humana o la llamada “explosión demográfica” de sus causas, dado que responde a una mirada eco-maltusiana construida por las elites del Norte Global que consideran que el aumento de la

población en el Sur Global amenaza con agotar los recursos naturales del planeta necesarios para sostener el derrochador y depredador estilo de vida impuesto por las sociedades de consumo del Norte Global.

Esta postura crítica parte de reconocer que, si bien existen múltiples causas interrelacionadas de la crisis ambiental, es posible establecer una jerarquía en la que hay causas más estructurales; de las que las otras causas son dependientes o circunstanciales. De esta manera, a la pérdida de biodiversidad, la contaminación y el calentamiento climático, entre otras problemáticas ambientales, subyacen causas más estructurales; es decir, estos conjuntos de problemas son expresiones de un “problema” mayor.

No se puede separar ordinariamente el problema ambiental de los problemas y cambios políticos-sociales enfrentados por la sociedad. Por lo tanto, el continuo intento de separar la “crisis y problemas ambientales” de las “crisis económicas y políticas” del sistema que vivimos, es una forma ideológica de intentar no debatir realmente las contradicciones estructurales, que generan problemáticas ambientales, y que afectan tanto al ambiente como a los seres humanos.

Crisis ambiental como crisis civilizatoria

“El Manifiesto por la vida: por una Ética para la Sustentabilidad”, compila los aportes fruto de la discusión de dos encuentros regionales del año 2022: el Simposio sobre Ética Ambiental y Desarrollo Sustentable (Bogotá, Colombia) y la Séptima Reunión del Comité Intersesional del Foro de Ministros de Medio Ambiente de América Latina y el Caribe (San Pablo, Brasil). Este documento es considerado la carta “fundante” del Pensamiento Ambiental Latinoamericano, en el cual una constelación de pensadores y pensadoras de carácter regional de diversos ámbitos, aún con divergencias internas, pretende incidir en el debate ambiental internacional a partir de pensar la cuestión ambiental nutriéndose de historia latinoamericana, los saberes ancestrales y las culturas populares. Para el

Pensamiento Ambiental Latinoamericano la crisis ambiental es emergente de una crisis más profunda, una crisis civilizatoria:

La crisis ambiental es una crisis de civilización. Es la crisis de un modelo económico, tecnológico y cultural que ha depredado a la naturaleza y negado a las culturas alternas. El modelo civilizatorio dominante degrada al ambiente, subvalora la diversidad cultural y desconoce al Otro (al indígena, al pobre, a la mujer, al negro, al Sur) mientras privilegia el modo de producción y un estilo de vida insustentables que se han vuelto hegemónicos en el proceso de globalización. (Manifiesto por la vida, 2002, p. 1).

Entender la crisis ambiental como crisis civilizatoria implica revisar las bases de los modos de pensar, ser y conocer instalados en la modernidad que se han hegemonizado mediante la expansión imperialista primero, y con los procesos de globalización después. En este sentido, se entiende que “la” crisis no es ecológica ni económica, si bien existen problemas ecológicos y económicos, sino que la noción de crisis civilizatoria pone de manifiesto que el problema estructural son las bases de un tipo de organización social y, por lo tanto productiva, económica y tecnológica; con sus respectivas expresiones ideológicas, simbólicas y culturales. De esta manera, lo que es necesario revisar son los supuestos éticos, estéticos, epistemológicos y hasta ontológicos bajo los cuales hemos construido nuestras sociedades.

Se trata de reconocer la diversidad cultural del mundo-mundos en el que vivimos; para también a partir de allí imaginar e inventar otros mundos, abriendo posibilidades a nuevas formas de senti-pensar, ser-estar y actuar reconociéndonos como parte de la trama de la vida. Justamente, cuando al comienzo mencionábamos la noción de pluralidad, nos referimos a esto; revisar la monocultura del ser, el saber y el poder, para reconocer la diversidad no como punto de llegada sino de partida.

El concepto de sustentabilidad se funda en el reconocimiento de los límites y potenciales de la naturaleza, así como la complejidad ambiental, inspirando una nueva comprensión del mundo para enfrentar los desafíos de la humanidad en el tercer milenio. El concepto de sustentabilidad promueve una nueva alianza naturaleza-cultura fundando una nueva economía, reorientando los potenciales de la ciencia y la tecnología, y construyendo una nueva cultura política fundada en una ética de la sustentabilidad –en valores, creencias, sentimientos y saberes– que renuevan los sentidos existenciales, los mundos de vida y las formas de habitar el planeta Tierra. (Manifiesto, 2002, p.2)

Enrique Leff, uno de los autores del Manifiesto por la vida, entiende que lo que da identidad propia al pensamiento ambiental latinoamericano es la radicalidad epistemológica del concepto de ambiente como espacio de articulación entre sociedad y naturaleza que abre a pensar la crisis ambiental como resultado de las formas de conocimiento, de la racionalidad económica, y del logocentrismo de las ciencias (2009, p. 8).

Entonces, en una primera aproximación, podemos decir que entendemos que el ambiente es un sistema dinámico y complejo, resultado de la interacción entre los sistemas socioculturales y ecológicos. Es producido históricamente a partir de la valoración de las bases naturales de un determinado lugar (Ministerio de Educación, 2022, p. 17).

Al comienzo nos preguntábamos por lo propio de la educación ambiental. En este punto, ya estamos en condiciones de responderlo. La educación ambiental es una perspectiva, una forma de mirar que implica reconocer la existencia de una profunda interdependencia entre los sistemas naturales y sociales. De esta manera, lo “propio” de la perspectiva ambiental es reconocer el inescindible vínculo entre sociedades y naturalezas, o como lo llama Augusto Ángel Maya (2015), entre ecosistemas y culturas.

La ética de la sustentabilidad entraña un nuevo saber capaz de comprender las complejas interacciones entre la sociedad y la naturaleza. El saber ambiental reenlaza los vínculos indisolubles de un mundo interconectado de procesos ecológicos, culturales, tecnológicos, económicos y sociales. (Manifiesto, 2002, p.3)

Comenzamos el texto enfatizando el carácter ideológico, político y ético de toda educación ambiental y afirmando que ésta incluye no solo el estudio del presente y el pasado sino la invitación a pensar, desear y construir futuros.

Este último punto nos parece central en tiempos de desesperanza.

Referencias bibliográficas

Acosta, A. (2009) La maldición de la abundancia. Ediciones Abya-Yala: Quito.

Alimonda, H. (2011) La colonialidad de la naturaleza. Una aproximación a la Ecología Política Latinoamericana. CICCUs: Buenos Aires, pp. 21-60.

Ángel Maya, A. (2015) La Fragilidad ambiental de la cultura. Historia y medio ambiente. Segunda edición.

Brand, U. y Wissen, M. (2021) Modo de vida imperial. Vida cotidiana y crisis ecológica del capitalismo. Buenos Aires: Tinta Limón.

de Alba. A. (2018). Horizonte Ontológico Semiótico, ambiente y educación. En Reyes Escutia, Felipe, Construir un NosOtros con la tierra. Voces latinoamericanas por la descolonización del pensamiento y la acción ambiental. Editorial Itaca, México.

Dorn, C. (2020). A New Global Ethic: A History of the United Nations International Environmental Education Program, 1975-1995. *Foro de Educación*, 18(2), 83-108.

Escalante Gonzalbo, F. (2016) *Historia mínima del neoliberalismo*. 2a Ed. Madrid: Turner Publicaciones.

Eschenhagen, M. L. (2022) *Educación y complejidad ambiental en América Latina*. *Revista Argentina de Investigación Educativa*. II (4), pp. 249-255.

Estenssoro, F.y Vásquez Bustamante, J. P. (2022) *La geopolítica ambiental de Estados Unidos y sus aliados del norte global: implicancias para América Latina*. 1a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires: CLACSO; Rio Grande do Sul: UNIJUÍ.

Guimarães, R. P. (2003) *Tierra de sombras: desafíos de la sustentabilidad y del desarrollo territorial y local ante la globalización corporativa*. Chile: División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos. ONU-CEPAL.

Herrera, A. O. [et al.] (2004) *¿Catastrofe o Nueva Sociedad? Modelo Mundial Latinoamericano*. 30 años después.

Leff, E. (2012). *Pensamiento Ambiental Latinoamericano: patrimonio de un saber para la sustentabilidad*. En: *Environmental Ethics Journal*. Texas: Centro de Filosofía Ambiental de la Universidad del Norte de Texas.

Manifiesto por la vida [Manifiesto] (2002) *Manifiesto por la vida. Por una ética para la sustentabilidad. Ambiente y sociedad*. 5 (10). Recuperado de: <http://www.scielo.br/pdf/asoc/n10/16893.pdf>

Ministerio de Educación de la Nación [MEN] (2022) *Documento marco. Educación Ambiental Integral*. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Ministerio de Educación de la Nación. Disponible en: <https://www.educ.ar/recursos/158587/documento-marco-del-programa-de-educacion-ambiental-integral>

Murillo, S. (2012). Prácticas científicas y procesos sociales. 1a ed. Buenos Aires: Biblos.

Oxfam Internacional [Oxfam] (2024) DESIGUALDAD S.A. El poder empresarial y la fractura global: la urgencia de una acción pública transformadora. Disponible en: <https://www.oxfam.org/es/informes/desigualdad-sa>

Pierri, N. (2005) Historia del concepto de desarrollo sustentable, en Foladori, G. y Pierri, N. (coord.) ¿Sustentabilidad? Desacuerdos sobre el desarrollo sustentable. México.

Siede, I. A. (2022). Apuntes para pensar la educación en la ciudadanía del siglo XXI. Reseñas De Enseñanza De La Historia, (11), 159. Diponible en: <https://revele.uncoma.edu.ar/index.php/resenas/article/view/3746>

Svampa, M. y Viale, E. (2020) El colapso económico ya llegó. Una brújula para salir del (mal)desarrollo. -1a Ed. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Siglo XXI Editores.

Teitelbaum, A. (1978) El papel de la educación ambiental en America Latina. UNESCO. París.

UNESCO (1977) La educación ambiental. Las grandes orientaciones de la Conferencia de Tbilisi.

United Nations Environment Programme [ONU] (2024). Emissions Gap Report 2024: No more hot air ... please! With a massive gap between rhetoric and reality, countries draft new climate commitments. Nairobi. Disponible en: <https://www.unep.org/resources/emissions-gap-report-2024>

Educación ambiental integral (Parte II)

La complejidad y la transversalidad
como desafíos didáctico-pedagógicos

Natalia Couselo

En el capítulo anterior introdujimos, de manera breve, algunas disputas y sentidos en torno a la Educación Ambiental (EA). En este capítulo nos interesa pensar la Educación Ambiental Integral (EAI) en tanto desafío didáctico-pedagógico. Organizamos el escrito en torno a algunos interrogantes: ¿qué entendemos por educación ambiental? ¿A qué nos referimos con Educación Ambiental Integral (EAI)? ¿Cómo atender, como docentes, a la integralidad de la educación ambiental? ¿Qué desafíos y oportunidades nos plantea la complejidad y la transversalidad de la EAI?

Si bien reconocemos que la educación ambiental excede al ámbito escolar y, dentro del ámbito escolar, excede a las prácticas áulicas; en este capítulo nos interesa reflexionar en torno a qué desafíos, oportunidades y dificultades conlleva pensar, planificar e implementar propuestas de enseñanza que incorporen la perspectiva de la EAI.

La EAI como derecho

Partimos de reconocer a la educación ambiental como un campo no solo en disputa, sino también heterogéneo y dinámico. En nuestro país existen distintas leyes nacionales, entre ellas la Ley de Educación Nacional (N° 26.206/06) y la Ley General del Ambiente (N° 25.675/02), que explicitan la necesidad de que la Educación Ambiental sea un eje transversal en todos los niveles y modalidades del Sistema Educativo Nacional. A su vez, estas leyes se inscriben en el derecho a un ambiente sano y diverso contemplado en el artículo 41 de la Constitución Nacional.

Los derechos humanos y el derecho al ambiente sano

Todos los seres humanos dependemos del ambiente en el que vivimos; sin embargo la escisión entre sociedad y naturaleza en el mundo occidental moderno se refleja, entre otros aspectos, en el desarrollo desconectado entre el derecho internacional respecto de los derechos humanos y el derecho ambiental (Seufert, 2020). En los últimos años, sin embargo, se fue consolidando un nuevo paradigma que reconoce al ambiente como una condición esencial para el pleno goce y ejercicio de los derechos humanos, como el derecho a la vida, la salud, la alimentación y el agua. Así, el derecho a un ambiente sano ha sido reconocido también como un derecho humano en sí mismo en distintos instrumentos de protección de los derechos humanos y en las Constituciones de varios estados americanos. En nuestro país, con la reforma de la Constitución Nacional del año 1994, el derecho a un ambiente sano está reconocido de manera expresa en el artículo 41, el cual dispone:

“Todos los habitantes gozan del derecho a un ambiente sano, equilibrado, apto para el desarrollo humano y para que las actividades productivas satisfagan las necesidades presentes sin comprometer las de las generaciones futuras; y tienen el deber de preservarlo. El daño ambiental generará prioritariamente la obligación de recomponer, según lo establezca la ley.

En el año 2021 se promulgó la Ley N° 27.621, Ley para la implementación de la educación ambiental integral en la República Argentina (de aquí en adelante, ley de EAI), marcando un hito en el proceso de institucionalización de la Educación Ambiental en tanto no solo establece el derecho a la EAI, definiciones, principios y fundamentos; sino que también establece una serie de instrumentos de planificación para su implementación (Canciani y Telias, 2022).

Laura Canciani señala que esta ley es una conquista resultado de un consenso político que tuvo como antecedentes al menos dos intentos anteriores y que a la vez es parte de un entramado normativo en materia ambiental en nuestro país (Canciani, 2023a). En este sentido, legitima y a la vez da un marco común para encuadrar las diversas prácticas escolares que se vienen desarrollando desde hace años en las escuelas.

Recomendamos tanto la lectura del texto de la **ley 27621** como del artículo “**Educación Ambiental Integral: reflexiones en torno a una ley urgente**” de Laura Canciani, disponibles respectivamente en:

<https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/ley-27621-350594>
<http://revistascientificas.filo.uba.ar/index.php/espacios/article/view/12776>

A continuación destacaremos algunas cuestiones de la ley de EAI. En el artículo 1, establece el derecho a la EAI como política pública nacional, y en los capítulos IV y V desarrolla aspectos vinculados a su implementación. La sanción de la ley impulsó, entre otras cuestiones, la creación en el año 2022 del Programa de Educación Ambiental Integral en la Dirección de Educación para los Derechos Humanos, Género y ESI en el Ministerio de Educación de la Nación.

En el artículo 2, se define a la EAI como

“un proceso educativo permanente con contenidos temáticos específicos y transversales, que tiene como propósito general la formación de una conciencia ambiental, a la que articulan e impulsan procesos educativos integrales orientados a la construcción de una racionalidad, en la cual distintos conocimientos, saberes, valores y prácticas confluyan y aporten a la formación ciudadana y al ejercicio del derecho a un ambiente sano, digno y diverso”.

De este párrafo cabe destacar que la ley inscribe a la EAI en la formación ciudadana desde un enfoque de derechos, vinculando estos procesos con la sustentabilidad como proyecto social (Canciani, 2023a). En este sentido, una particularidad del marco legislativo es incorporar la idea de integralidad de la experiencia de la Educación Sexual Integral (ESI), esto implica reconocer que la transversalidad y la complejidad de la Educación Ambiental no puede ser capturada por un solo campo de conocimiento, sino que precisa de una perspectiva que contemple una mirada integral.

En el artículo 3 se desarrollan once principios y fundamentos que enmarcan una perspectiva que evite la reducción y la simplificación de la EAI a la mera modificación de conductas individuales.

A continuación presentamos un listado de los principios y fundamentos (para ampliar sus definiciones sugerimos leer el texto de la ley):

- un abordaje interpretativo y holístico,
- el respeto y valor de la biodiversidad,
- el principio de equidad,
- el principio de igualdad,
- el reconocimiento de la diversidad cultural,
- la participación y formación ciudadana,
- el cuidado del patrimonio natural y cultural,
- la problemática ambiental y los procesos sociohistóricos,
- la educación en valores,
- el pensamiento crítico e innovador, y
- el ejercicio ciudadano del derecho a un ambiente sano.

Para finalizar, queremos destacar que la integralidad de la Educación Ambiental incluye considerar cuestiones como justicia, derechos y valores; corriéndose de enfoques reduccionistas. Esta posición supone entender a la EAI como parte de la formación ciudadana; lo que a su vez, implica la educación en valores, la formación ética y la educación democrática. Esto nos lleva, como ya adelantamos en el capítulo anterior, a afirmar que la EAI es una educación política.

Isabelino Siede entiende que si bien todo gesto educativo es político, en tanto implica una intervención en el mundo; la educación política refiere específicamente a las “prácticas pedagógicas mediante las cuales una sociedad provee a las nuevas generaciones de herramientas para actuar en el mundo, para transformarlo y transformarse en él” (Siede, 2007, p.26). Como desarrollaremos más adelante, la EAI nos desafía a articular pasado, presente y futuro en tanto no solo nos enfrenta con cierta inconformidad con el estado de cosas actuales, sino que invita preguntarnos *cómo hemos llegado hasta acá*.

A su vez, tener como horizonte vivir en un mundo más justo, democrático, igualitario y plural; supone tanto imaginar futuros deseables como reconocer alternativas “vivas”, es decir, “encarnadas en los cuerpos y en los sueños, vivientes en las prácticas de sujetos y colectivos concretos” (Machado Aráoz y Paz, 2016, p. 159).

La EAI entendida de esta manera no aparece como una nueva disciplina ni como un “nuevo” tema o contenido, sino como una perspectiva, una forma de posicionarse para “mirar”, de manera de *ambientalizar* tanto los saberes como los procesos educativos y practicar una pedagogía ambiental cotidiana que “permita una sensibilización ampliada hacia los ecosistemas, las diversas formas culturales y hacia sus relaciones” (Noguera, 2004, p. 64). Así, la EAI incluye dimensiones sociales y de ciudadanía, pero también las dimensiones personales, afectivas, simbólicas y creativas, entre otras. Como docentes, la integralidad de la Educación Ambiental nos desafía a complejizar y territorializar la mirada para impulsar propuestas de enseñanza que atiendan a la complejidad, la transversalidad y la interdisciplina, desde un enfoque crítico y situado que tenga como horizonte la formación de nuevas ciudadanías.

Los ejes transversales de la EAI

En el Documento Marco de la EAI se presentan 5 cinco ejes como forma de “garantizar un abordaje complejo y transversal” y contribuir a “dar sentido, organizar y fundamentar la noción de integralidad de la educación ambiental en las escuelas” (MEN, 2022, p. 16). Estos ejes se construyeron como herramienta pedagógica para abordar “lo ambiental” en la escuela; como una orientación para articular propósitos de enseñanza, contenidos curriculares y estrategias pedagógicas. Estos ejes transversales son:

- Reconocer la complejidad ambiental.
- Analizar los problemas y conflictos ambientales.
- Ejercer nuestros derechos.
- Generar un diálogo de saberes.
- Cuidar el ambiente y la sustentabilidad de la vida.



Los 5 ejes transversales de la EAI (Fuente: MEN, 2022).

A continuación desarrollaremos brevemente algunas ideas centrales de cada eje. Destacaremos algunas nociones y conceptos centrales que los organizan y que, como docentes, es fundamental resignificar a la luz de una perspectiva ambiental crítica.

Reconocer la complejidad ambiental

Nociones centrales

Ambiente - Complejidad - Interdependencia - Ecodependencia

En el nombre de este aparecen dos conceptos centrales de la EAI: complejidad y ambiente. A toda propuesta de educación ambiental subyace una definición de ambiente, aun cuando este concepto no sea contenido a enseñar. Como docentes es central poder revisar la concepción de ambiente que sustenta nuestras propuestas de enseñanza.

Ambiente es un concepto polisémico. Como explicamos en el capítulo anterior, este concepto se fue complejizando al calor de las discusiones ambientales en el ámbito internacional que fueron entendiendo a la cuestión ambiental como lo referido a la relación sociedad-naturaleza. Enrique Leff (2012) entiende que es la radicalidad epistemológica del concepto de ambiente lo que

da identidad propia al Pensamiento Ambiental Latinoamericano (PAL), emergiendo así un saber ambiental emancipador arraigado en los potenciales ecológicos y en la creatividad cultural de los territorios del Sur. Así, este concepto, que proviene de la ecología, se resignificó a partir de reconocer la multidimensionalidad del ambiente. Actualmente, el ambiente es considerado como una construcción socio-histórica:

“Entendemos al ambiente como un sistema complejo y dinámico, resultante de la interacción entre los sistemas naturales y procesos socioculturales que se manifiesta en un territorio y momento histórico determinado. Estas interacciones no se encuentran ajenas a las relaciones de poder en las que se desarrollan y ponen de manifiesto tensiones históricas que es necesario reconocer para construir un saber ambiental de carácter complejo, integral y situado”.
(Ministerio de Educación, 2022, p. 17)

El pensamiento complejo supone dejar de mirar al mundo como una colección de objetos aislados para pasar a reconocerlo como una red de fenómenos y flujos interconectados e interdependientes. Complejo no quiere decir difícil, sino que es opuesto a simple.

Para profundizar los ejes transversales de la EAI recomendamos la lectura del **Documento Marco** publicado por el Ministerio de Educación de la Nación en 2022, así como de los textos **Desafíos de la Educación Ambiental Integral en la escuela primaria y secundaria** (MEN, 2023), disponibles respectivamente en:

-<https://www.educ.ar/recursos/158587/documento-marco-del-programa-de-educacion-ambiental-integral>

-<https://www.educ.ar/recursos/159044/desafios-de-la-educacion-ambiental-integral-en-la-escuela-pr>

-<https://www.educ.ar/recursos/159045/desafios-de-la-educacion-ambiental-integral-en-la-escuela-se>

De manera directa o indirecta, todos los bienes de consumo provienen y terminan, al convertirse en basura, en los sistemas naturales; el aire que respiramos, el agua que tomamos, la estabilidad del clima del territorio que habitamos, entre otras cuestiones, también dependen de complejas funciones ecosistémicas y de los ciclos biogeofísicos de materia y energía. Así, en nuestra vida cotidiana dependemos tanto de los bienes y funciones de los sistemas naturales como de la trama de relaciones sociales en las que estamos insertos; lo que implica reconocernos como seres inter-eco-dependientes.

En cuanto a la enseñanza, supone que el ambiente, al incluir lo material y lo simbólico, puede ser estudiado desde distintos campos y constituye una invitación y, a la vez un desafío, a reconstituir las relaciones sociedad-naturaleza. Por ejemplo, en el caso del estudio del agua incluir una perspectiva que asuma que habitamos territorios hidrosociales así como que el ciclo del agua es un ciclo hidrosocial. Esto supone reconocer por ejemplo que la circulación del agua en la actualidad es un proceso híbrido, socio-natural, que encarna aspectos políticos, económicos, sociales y ecológicos a diferentes escalas en tanto los flujos de agua se encuentran cada vez más afectados por la actividad humana (Larsimont y Martín, 2016). Estos autores entienden al ciclo hidrosocial como un proceso socionatural a lo largo del cual el agua y la sociedad se co-constituyen una a otra a través del tiempo y el espacio. En este sentido, además de examinar cómo el agua fluye por el medio biogeofísico, la noción de ciclo hidrosocial también considera cómo los flujos de agua son manipulados por las relaciones entre actores humanos (productores, profesionales, técnicos) e híbridos técnico-institucionales (instituciones, leyes, infraestructura de riego, perforaciones, etc.).

Este ejemplo evidencia que no hay algo así como un ambiente social y un ambiente natural; sino que el ambiente es el emergente de una relación entre los sistemas sociales y naturales. De esta manera, la complejidad propia de lo ambiental nos desafía a reconocer y religar las interrelaciones e interdependencias entre los

procesos materiales, simbólicos, culturales, sociales, naturales y tecnológicos que la fragmentación del conocimiento ha separado.

Analizar los problemas y conflictos ambientales

Nociones centrales

**Problema ambiental - Conflicto ambiental - Bienes comunes
Enfoque crítico y situado**

Nuevamente, nos encontramos con dos términos que es necesario revisar: problemas ambientales y conflictos ambientales.

Partimos de entender que los problemas ambientales son problemas sociales. Los problemas ambientales son aspectos de la relación sociedad-naturaleza que son problematizados en una sociedad determinada en un momento histórico preciso; “son construcciones sociales que ponen en tela de juicio la distribución de beneficios y daños vinculados a dicha relación” (Merlinsky et al, 2018, p. 23). Queremos enfatizar que, desde esta posición, “algo” solo se transforma en un “problema ambiental” en determinado contexto socio-histórico. Por ejemplo, la tala de quebracho colorado en la región chaqueña fue considerada como el avance del “progreso” en la segunda mitad del siglo XX, mientras que en la actualidad, se asume que la deforestación de los bosques quebracho colorado constituye un problema ambiental. Esto nos invita a pensar qué nuevas cuestiones relativas a la relación sociedad-naturaleza se han problematizado en los territorios.

Los conflictos ambientales son la expresión colectiva de un problema ambiental en el que está en juego uno o más bienes comunes que manifiesta una disputa de intereses en la esfera pública. ¿A qué nos referimos con bienes comunes? El debate ambiental es, también, un desafío conceptual para incorporar y construir nuevos entramados de significaciones que construyan nuevas formas de pensar y sentir. Por esto, queremos revalorizar el concepto de bienes comunes para hablar de lo que usualmente se suele llamar recursos naturales. Llamamos bienes comunes a

esferas que no pueden definirse como privadas o públicas sino que están sometidas a normas de uso culturalmente determinadas por grupos cuya existencia y subsistencia depende de ellos (Merlinsky, 2017). Los ríos, el aire, el suelo, los bosques, los humedales son bienes comunes; son entes o funciones de los sistemas naturales que solo se transforman en recursos naturales cuando, en determinado patrón de producción y consumo, se define su uso, gestión y extracción.

El acceso, la apropiación, la extracción y la gestión de los bienes comunes están siempre mediadas por relaciones de poder diferenciadas dentro de y entre sociedades (Merlinsky, 2021). La crisis ambiental nos desafía a cuestionar algunas certidumbres y tensionar significados, como por ejemplo, reconocer que al término recursos naturales subyace una racionalidad utilitarista, una mirada productivista y mercantilista de la naturaleza que codifica el valor de los sistemas naturales bajo el imperativo de la utilidad entendida solo en términos económicos, desmereciendo otros valores.

Pensemos, por ejemplo, en el litio. El litio es un elemento que forma parte de los humedales del Noroeste argentino que se fue acumulando en los salares durante miles de años, sin embargo es en el contexto de la transición energética que se transforma en un recurso natural y ese territorio se convierte en el “triángulo del litio” que contiene “oro blanco”. Así, la extracción de este recurso natural estratégico transforma un humedal en un “territorio de sacrificio” para generar divisas sin contemplar ni el uso comunitario que se ha hecho de esos salares ni sus funciones ecosistémicas.

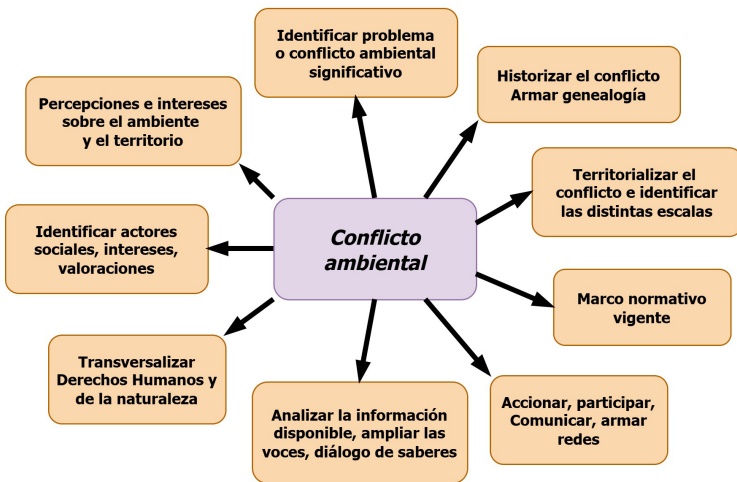
A partir de nombrar, significar y dar sentido a los sistemas naturales, las diversas culturas van construyendo territorialidades a través de distintas formas apropiación, uso y manejo de los bienes naturales comunes. Todas las sociedades configuran determinada forma de apropiación de la naturaleza, que puede ser más o menos sustentable, a partir de movilizar un entramado de significaciones. El geógrafo Carlos Walter Porto Gonçalves (2021) advierte que toda apropiación material es al mismo tiempo simbólica en

tanto solo se puede apropiarse de algo que tiene o hace sentido en algún contexto determinado. Así, los conflictos ambientales son momentos de movilización social que ponen en cuestión distintos lenguajes de valoración, es decir, los distintos significados y sentidos que se atribuyen a lo que está en juego. Ante el avance del patrón extractivista, consignas como “el agua vale más que el oro” son una forma de poner en discusión que el único valor a ser considerado sea el impuesto por la racionalidad economicista y la lógica de mercado.

Pedagogía del conflicto ambiental

La Pedagogía del Conflicto Ambiental (PCA) es una propuesta de abordaje político pedagógico que recupera la idea de conflicto ambiental como parte constitutiva de las dinámicas sociales y los comprende como oportunidades de enseñanza y de aprendizajes significativos (Canciani y Telias, 2014; Canciani et al, 2017). Es un enfoque que busca promover la comprensión de los conflictos ambientales en y desde los territorios ofreciendo un conjunto de lineamientos generales (que presentamos en la figura) para comprender y abordar la compleja trama social en la que se desarrollan los conflictos ambientales.

Lineamientos generales de la pedagogía del conflicto ambiental



En el Documento Marco se afirma que desarrollar propuestas de enseñanza integrales de educación ambiental supone analizar los problemas y conflictos ambientales desde un enfoque crítico y situado (MEN, 2022). El pensamiento crítico es aquel que no solo expresa disconformidad con el estado de cosas sino que también puede buscar y reconocer alternativas a partir de “caracterizar la situación presente, cuyas causas pueden, evidentemente, ser buscadas en el pasado” (Alimonda, 2018, p. 35). Para el caso del análisis de los problemas y conflictos ambientales esto supone desnaturalizar el estado de cosas a partir de problematizar no solo las causas directas del conflicto, sino analizar las diferentes escalas en las que se manifiesta el conflicto para poder también problematizar las causas estructurales de la crisis ambiental (se recomienda leer el capítulo anterior para ampliar esta cuestión). Por ejemplo, en el caso de la problemática de los residuos urbanos, esto implica inscribirla en una cultura que favorece una lógica consumista y mercantil, que propicia una cultura del descarte que prioriza el “úselo y tírelo”, centra la autorrealización personal en la capacidad de consumo y continuamente está generando nuevas necesidades a través del marketing.

Con el término situado se refiere a analizar los conflictos ambientales en situación, es decir, recuperando los discursos de los actores sociales como forma de reconocer la disputa en cuanto a lo que está en juego; reconociendo, además, las relaciones de poder que los atraviesan. Un enfoque situado supone delimitar un contexto temporal y espacial de análisis para poder reconocer que los conflictos ambientales son luchas sociales ambientalizadas que disputan territorialidades; es decir, son conflictos en los que se ponen en juego diversas formas de ser y habitar el mundo.

Un enfoque crítico y situado del análisis de los problemas y conflictos ambientales favorece la construcción progresiva de mayores grados de autonomía en herramientas para el análisis tanto de discursos propios como ajenos; herramientas esenciales para la toma de posición ante debates en la esfera pública de una ciudadanía crítica y

participativa. Esto supone planificar itinerarios de enseñanza partiendo de recortes con anclajes tanto temporales como espaciales, lo que necesariamente se distancia de abordar temas como la deforestación, la pérdida de diversidad o la contaminación del agua de manera descontextualizada. Esto implica poner en diálogo el enfoque de enseñanza de las ciencias sociales que implica reconocer la multicausalidad, la multidimensionalidad, la multiescalaridad de todo problema social, con el de las ciencias naturales.

Ejercer nuestros derechos

Nociones centrales

**Infancias - Ambiente sano y diverso - Derechos ambientales
Responsabilidades diferenciadas - Formación de ciudadanías
Perspectiva de derecho**

Darle espacio a la educación ambiental desde edades tempranas en las escuelas supone reconocer el papel activo de niños, niñas y adolescentes en el ejercicio de sus derechos. Este eje nos invita a inscribir a la EAI en el ámbito de lo colectivo, de la deliberación y el debate público; en tanto los procesos de apropiación intensiva de la naturaleza son fenómenos de carácter político que nos atañen como sociedad en general y como docentes en particular, en tanto formadores de nuevas ciudadanías (MEN, 2023). Por esto, resulta central poder diseñar propuestas de enseñanza que no se limiten a informar, persuadir o convencer sino que impliquen hacerse preguntas, buscar y contrastar información y argumentar de manera genuina, evitando imponer formas “correctas” de relacionarse con la naturaleza. Así, la EAI permite ofrecer oportunidades para una lectura crítica de la realidad en pos de la construcción de mayores grados de autonomía en la toma de decisiones y el ejercicio de los derechos, apuntando a la formación de una ciudadanía auténticamente participativa que no solo comprenda los problemas más relevantes de nuestro tiempo sino que pueda, en el presente y el futuro, dar respuestas creativas, críticas y comprometidas.

Este eje no apunta solamente a conocer los principios normativos (derechos y obligaciones) que rigen la vida social en el marco de una sociedad democrática de forma declarativa, sino también a poder reconocer la diversidad de posiciones y puntos de vista en los debates ambiental para poder tomar partido con sustento argumental. En el caso de las responsabilidades, esto implica reconocer que las responsabilidades son comunes, pero diferenciadas entre sectores sociales. Esta posición supone tensionar los discursos que asumen sin más que los seres humanos como un grupo homogéneo somos los responsables de la degradación ambiental y asumen que si el problema es provocado por “todos”, de “todos” depende la solución. Esta posición invisibiliza la diversidad cultural y de formas de habitar, a la vez que oculta las diferentes responsabilidades frente a la crisis ambiental entre países y grupos al interior de cada país.

Compartimos algunos datos de informes internacionales para mostrar la profunda desigualdad en cuanto al beneficio de las prácticas dominantes de producción, intercambio, distribución y consumo de bienes, servicios e infraestructura:

- El 1 % más rico de la población mundial posee el 43 % de los activos financieros globales (Oxfam, 2024).
- Mientras que en tres países de América del Norte -Bermuda, Canadá y Estados Unidos- producen 2,21 kilogramos de desechos per cápita en promedio por día, el África subsahariana promedia 0,46 kilogramos por día, Asia del sur 0,52 kilogramos por día, y el este de Asia y el Pacífico 0,56 kilogramos por día .
- Aunque solo representan el 16 por ciento de la población mundial, los países de altos ingresos (medidos como Producto Bruto Interno (PBI)) generan alrededor del 34 por ciento de los desechos del mundo. Mientras que los países de bajos ingresos representan el 9 por ciento de la población mundial y generan solo alrededor del 5 por ciento de los desechos globales (BM, 2018).
- El 1 % más rico de la población mundial genera tantas emisiones de carbono como los dos tercios más pobres de la humanidad (Oxfam, 2024).
- Los Estados miembros del G20 representaron el 77% de las emisiones de carbono en 2023 (ONU, 2024).

En este sentido es clave que niñas y niños, ya desde el Nivel Primario, puedan reconocer progresivamente no solo que las responsabilidades son diferenciadas sino que además existe una desigual distribución de los daños y perjuicios ambientales sobre los distintos grupos sociales siendo que los problemas ambientales suelen afectar especialmente a las capas más pobres de la población.

Así, esta coordenada nos invita a pensar la EAI desde una perspectiva de derechos que desnaturalice las desigualdades e incluso contemple que los derechos no se restringen a los seres humanos sino que la naturaleza también puede ser portadora de derechos.

Derechos de la naturaleza

Para el caso ambiental, los derechos ambientales son reconocidos como “Derechos de Tercera Generación” en tanto no estaban originalmente incluidos en la Declaración Universal de los Derechos Humanos promulgada en 1948. Hablar de derechos de la naturaleza constituye un paradigma novedoso que enfrenta el mismo desafío que implicó toda ampliación de derechos, que fue concebida como imposible en su momento. Pensemos, por ejemplo, en el voto femenino. En este sentido se suele decir que los derechos se “conquistán” en tanto en cada época la exclusión de ciertos grupos no solo generan nuevas demandas sino también nuevas resistencias de quienes detentan una situación privilegiada. Mientras que a las corporaciones (como BlackRock) las ampara el derecho internacional, las luchas territoriales son criminalizadas y el extractivismo avanza explotando los sistemas naturales que sostienen la vida.

Así, se propone incluir como parte de nuevas ciudadanía los debates actuales en torno a los derechos de la naturaleza (MEN, 2022); sobre todo considerando que estos derechos se han incluido en las constituciones de Ecuador y del Estado Plurinacional de Bolivia tomando como base las cosmovisiones indígenas. En la actualidad, también se están discutiendo legislaciones más específicas y estrictas sobre crímenes ambientales e incluso la noción de ecocidio.

Para ampliar el tema, recomendamos la lectura de **“La Pachamama y el humano”** de Eugenio Raúl Zaffaroni. Disponible en: https://perso.unifr.ch/derechopenal/assets/files/obrasjuridicas/oj_20180808_02.pdf

Puede visitarse también el sitio de la ONU:
<https://news.un.org/es/story/2024/05/1529851>

Generar un diálogo de saberes

Nociones centrales

Diálogo de saberes - Interdisciplinar - Intercultural Intergeneracional - Interseccional

Este eje nos pone frente a una de las dimensiones centrales de la crisis ambiental, la epistemológica. Para Enrique Leff (2007) la crisis ambiental remite a un problema del conocimiento en tanto la complejidad ambiental implica reconocer que las formas dominantes de conocimiento son en parte responsables de las estructuras de dominación y apropiación de naturaleza y el mundo. En este sentido, este eje incluye no solamente un diálogo interdisciplinario sino también diálogos interculturales, intergeneracionales e interseccionales.

Partimos de sostener que la comprensión del mundo es mucho más amplia que la comprensión científica del mundo (De Sousa Santos, 2006), siendo que el conocimiento científico es insuficiente para generar las preguntas y definir los cursos de acción que la crisis ambiental nos plantea; por lo que se necesita ampliar el espectro epistémico reconociendo los saberes de los movimientos sociales, las comunidades en resistencia y los saberes tradicionales. Esto tampoco significa que todo valga lo mismo, sino que apunta a descentrar al conocimiento científico como única forma legítima y válida de conocimiento para incluirlo como parte de una ecología más amplia de saberes (De Sousa Santos, 2006); reconociendo los límites de toda forma de conocimiento. Vale resaltar que abrir las aulas a un diálogo de saberes no supone caer en una especie de fundamentalismo anticientífico, sino poder reconocer que la crisis ambiental plantea el desafío de (re)inventar creativamente marcos de referencia más amplios, plurales y diversos.

Funtowicz y Ravetz (1993) llaman ciencia posnormal a una ampliación de la toma de decisiones que incluya una comunidad de evaluadores extendida; dentro de los cuales incluyen a los que arriesgan algo, es decir, a la comunidades mayormente afectadas en tanto la

complejidad de los problemas ambientales globales obliga a que el saber experto se presente como un enfoque complementario, entre otros.

En Argentina fue aprobado en el año 2020 (mediante la Ley N° 27566) el Acuerdo Regional sobre Acceso a la Información, la Participación Pública y el Acceso a la Justicia en Asuntos Ambientales en América Latina y el Caribe, conocido como el Acuerdo Escazú, que fue adoptado el 4 de marzo de 2018. Se trata de un acuerdo que busca garantizar la implementación plena y efectiva de derechos en relación al ambiente para la región de América Latina y el Caribe. Este acuerdo incluye novedades como ser el primer acuerdo de carácter vinculante a nivel mundial que establece garantías para la protección de las y los defensores ambientales. En el informe del año 2022, se registra que al menos 177 personas defensoras de los derechos humanos, los territorios y el ambiente perdieron la vida por defender al ambiente, y que el 88% de los asesinatos de produjo en América Latina (Global Witness, 2023).

El acuerdo garantiza la implementación plena y efectiva de los derechos al acceso a la información ambiental, a la participación pública en los procesos de toma de decisiones ambientales, y al acceso a la justicia en asuntos ambientales. Para más información, pueden visitar:

<https://www.argentina.gob.ar/interior/ambiente/acuerdo-de-escazu>

Como la degradación ambiental en algunas ocasiones se manifiesta en tiempos largos; resulta central reconocer que las acciones del presente pueden comprometer el derecho de las generaciones futuras a un ambiente sano y diverso. En este sentido, la EAI incluye diálogos intergeneracionales.

Por otra parte, este eje incluye diálogos interseccionales que reconozcan la imbricación de las relaciones de poder entre demandas de distintos sectores sociales. Si bien el término interseccionalidad fue acuñado por la abogada afroamericana Kimberle Crenshaw en 1989; la génesis de este concepto puede rastrearse en las luchas del siglo XIX por el voto femenino y la abolición de la esclavitud en Estados Unidos, a partir de los intentos por comprender la

forma en que las opresiones de género, raza y clase construyen las experiencias de vida de las mujeres afrodescendientes.

Cuidar el ambiente y la sustentabilidad de la vida

Nociones centrales

Cuidado ambiental - Sustentabilidad de la vida Justicia ambiental

En el Documento Marco se afirma que “construir la integralidad de la educación ambiental implica atender a una de las dimensiones más constitutivas de los seres humanos: el cuidado” (MEN, 2022, p. 26). A cuidar no solo se aprende, sino que se enseña. En tiempos de descuido generalizado, saber cuidar supone una ética del cuidado que implica una responsabilidad que no se reduce a responder o dar cuenta de los actos, sino también “darse” cuenta de las marcas que la racionalidad utilitarista y mercantilista imprime en las subjetividades y territorios.

La cultura del cuidado es un paradigma que propone un modo de ser y estar en el mundo en relación con uno mismo, con otros seres humanos y no-humanos a partir de reconocer que no solo existimos, sino que co-existimos y con-vivimos (Alvarez, 2021). La escuela es un ámbito estratégico para recuperar sentidos, resignificar el encuentro con los y las otras, con la palabra y el diálogo para poner en valor la afectividad y el cuidado (Alvarez, 2021). Así, construir una cultura del cuidado desde las escuelas apunta a la reconstrucción y el fortalecimiento del lazo social para poder pensar en proyectos colectivos, en la formación de una ciudadanía democrática, crítica, responsable y comprometida en construir un futuro más sustentable y ambientalmente más justo.

En el artículo 3 de la ley de EAI se entiende a la sustentabilidad como parte de un “proyecto social” que incluye “el desarrollo con justicia social, la distribución de la riqueza, preservación de la naturaleza, igualdad de género, protección de la salud, democracia participativa y respeto por la diversidad cultural”. Así, la sustentabilidad en sentido

amplio en el marco de una ética ambiental que promueva nuevas formas de habitar el mundo centradas en valores y principios como la justicia, la solidaridad, la equidad, el respeto por la diversidad, el pluralismo y la cooperación, supone un posicionamiento completamente diferente al del desarrollo sostenible (se recomienda revisar el capítulo anterior para una discusión de las diferencias entre “sostenible” y “sustentable”).

Este eje sitúa lo ambiental en la esfera de lo público en tanto el cuidado y la protección del ambiente atañen al bien común; promoviendo proyectos colectivos que superen el individualismo y que tenga como horizonte de sentido la justicia ambiental y la sustentabilidad de la vida.

Justicia ambiental

El movimiento organizado por la justicia ambiental surge del movimiento por los derechos civiles en Estados Unidos en los años 60. Justicia ambiental es una noción emergente del ambientalismo de base popular, un ambientalismo enraizado socialmente, originado en la creatividad estratégica de los movimientos sociales involucrados en la construcción de justicia social en sentido amplio (Acselrad, 2018). Para este autor, este término expresa un movimiento de resignificación de la cuestión ambiental que destaca su relación con los derechos sociales, económicos, culturales y ambientales, de forma que la cuestión ambiental pasa a formar parte a los temas pertinentes a la cultura de los derechos.

Hablar de justicia ambiental supone reconocer que en América Latina, los problemas y conflictos ambientales son inescindibles de la alta desigualdad social de la región así como del rol subordinado que ocupan las economías en el mundo. Lucas Pinto (2023) resalta por ejemplo que la contaminación no es democrática, en tanto las mayores cargas de contaminación ambiental se direccionan hacia determinados grupos de la sociedad. Así, se entiende que los riesgos ambientales son diferenciados y están desigualmente distribuidos.

Para ampliar, recomendamos la lectura del capítulo **“No basta ser ambientalista: es necesario ser antirracista. El racismo ambiental y el movimiento por la justicia ambiental”** de Lucas Pinto. Disponible en:

https://www.researchgate.net/publication/371868104_No_basta_ser_ambientalista_es_necesario_ser_antirracista_El_racismo_ambiental_y_el_movimiento_por_la_justicia_ambiental

Hasta aquí presentamos de manera muy resumida los ejes transversales de la EAI, entendiendo que no son esferas separadas sino que están interrelacionados entre sí. La integralidad de la Educación Ambiental nos desafía a ir más allá de propuestas de enseñanza que brinden información, describan el estado de situación o apelen a la sensibilización y al cambio de conductas individuales; para pasar a pensar propuestas que inviten a hacerse preguntas sin la certeza de tener todas las respuestas. Una EAI crítica implica una pedagogía de la pregunta donde los interrogantes funcionan como puerta de entrada a la propuesta de enseñanza para ayudar a nuestros estudiantes a cuestionar los discursos simplistas y las falsas soluciones así como los sistemas de valores que los sustentan.

En línea con estos ejes transversales, Laura Canciani propone una EAI que articule una pedagogía del conflicto ambiental que ponga en el centro la noción de conflicto y su potencial pedagógico, una pedagogía del cuidado en clave ambiental que amplíe la noción de cuidado e integre los derechos humanos y los derechos de los territorios, y una pedagogía de la esperanza crítica y situada que construya horizontes emancipatorios, y reconozca el legado del pensamiento pedagógico latinoamericano (Canciani, 2023b, p. 144-145). Como decíamos al comienzo, la EAI nos enfrenta a la inconformidad con el presente así como a reconocer que el futuro, si bien puede estar condicionado, no está determinado. Esta posición recupera la utopía *que nos mueve* hacia horizontes emancipatorios.

La escuela es un espacio donde el saber y los conocimientos se hacen públicos, donde se abre y se comparte el mundo. Los y las docentes van generando, a través de la enseñanza, el interés y la atención necesarios para hacerse responsables por el cuidado del mundo en el que y del que vivimos. Para Simons y Masschelein (2014) dialogar *con* el mundo no es lo mismo que hablar *del* mundo, en tanto la primera opción implica encontrarse, implicarse y comprometerse. Así, mediante el proceso de abrir mundo y hacer público el conocimiento, las escuelas se comprometen con los cambios sociales deseables al activar la capacidad de las nuevas generaciones de dar

forma al mundo, pero no a partir de formas preconcebidas; sino a partir de actos creativos. Por lo tanto, invitar a las infancias a dialogar con el mundo para imaginar futuros posibles y reconocer las experiencias alternativas invisibilizadas es una apuesta político-pedagógica que, sin negar la gravedad de la crisis, entiende a la esperanza como acción y verbo: *esperanzar*.

Esperanzar, como acto político, supone escapar de posiciones catastrofistas que anuncian que el fin del mundo está a la vuelta de la esquina sembrando el miedo que inmoviliza, a partir de la certeza y el convencimiento de que es en este presente que se siembran las semillas del futuro.

Hacia un enfoque didáctico de la EAI

La cuestión ambiental es una perspectiva transversal en tanto los problemas ambientales están atravesados por dimensiones socio-económicas, culturales, históricas, políticas, éticas, jurídicas, físicas y biogeoquímicas. Decimos que es una perspectiva porque es una forma de posicionarse y “mirar” la realidad que supone reenlazar “los vínculos indisolubles de un mundo interconectado de procesos ecológicos, culturales, tecnológicos, económicos y sociales” (Manifiesto, 2002, p.3).

La educación ambiental integral insta a repensar y cuestionar las relaciones sociedad-naturaleza, para lo que se necesitan abordajes en las escuelas que pasen de una visión fragmentada del mundo a una visión sistémica y compleja; superando, sobretodo, propuestas de unas Ciencias Sociales sin naturaleza y unas Ciencias Naturales sin humanos. El abordaje transversal se constituye en un reto dentro de una estructura escolar históricamente fragmentada en espacios disciplinares diferenciados o areales en el caso del Nivel Primario.

Reconocer la complejidad ambiental implica asumir que ésta es inabarcable en su totalidad; por esto se hace necesario delimitar la unidad de estudio para organizar propuestas educativas, lo que supone definir un recorte. ¿En qué sentido utilizamos aquí la palabra recorte? Nos referimos a la acción definir una unidad de estudio que conserve la complejidad que

invitamos a estudiar en profundidad, sin perder de vista que todo recorte estará interconectado con la totalidad del ambiente. Suele ser usual utilizar la metáfora al ambiente como una trama y al recorte como el retazo de esa “gran” tela al que siempre le quedarán “hilos sueltos” que vinculan al recorte con la trama en su totalidad. Esta forma de planificar la enseñanza suele ser usual tanto en Nivel Inicial como en muchas secuencias que incluyen contenidos del área de ciencias sociales, pero su aparición es menos común en otras áreas como ciencias naturales.

El saber ambiental implica una apertura a un pensamiento complejo que, como docentes, plantea el desafío pedagógico de priorizar recortes contextualizados, a partir de definir un anclaje espacial y temporal, que conserven su complejidad y que a la vez sean plausibles de abordaje en el nivel correspondiente. Esta decisión pedagógico-didáctica no implica en principio necesariamente un abordaje interareal ya que podemos pensar recortes que tomen solo contenidos del área de ciencias naturales o del área de ciencias sociales. Podemos pensar que, una vez elegido el contexto, podemos estudiarlo o interrogarlo desde las disciplinas, es decir, podemos estudiarlo desde la historia, la geografía, la biología, la química, la antropología, etc.

En este sentido tendremos que definir qué dimensiones de estudio se priorizan en cada recorte para luego definir qué contenidos abordaremos. Cada disciplina ha construido formas de indagar el mundo y de acercarse al conocimiento, de modo tal que los campos de saber se transforman así en lentes para enfocar algún aspecto del recorte en el que valga la pena profundizar.

Llegado este punto podemos preguntarnos: ¿cuál es el lugar de los contenidos? Bueno, podemos pensar que los diseños curriculares condensan en la prescripción de contenidos algunas pistas para orientarnos en lo que podemos identificar como enseñable de determinado recorte. Vale aclarar que al referirnos a contenidos, los entendemos en sentido más amplio que el corpus conceptual de las disciplinas; e incluimos también lo que se suele denominar modos de conocer.

Trabajar con recortes es una posición que asume que el punto de partida de la enseñanza es la realidad y el lugar del concepto es ser el mediador.

...Todas las conceptualizaciones deben leerse en relación con una realidad concreta. No se puede partir del concepto para entender la realidad, sino partir de la realidad para, a través del concepto, comprenderla. Pero en ese proceso de realidad-concepto-realidad, como sostiene Kosik, el concepto debe considerarse como una mediación para entender la realidad. (Freire y Faundez, 2013, p.94).

El trabajo con recortes tiene la ventaja de que los conceptos no quedan como algo aislado “a aprender”, tomando valor como un medio para comprender la realidad, nunca un fin en sí mismos. El papel de los conceptos de cada área y, por lo tanto, de cada disciplina de referencia, cobran sentido en la medida en que aporten a la comprensión del recorte de un problema ambiental específico. De esta manera, estamos proponiendo un camino que parte de un recorte, favorece la problematización y luego ofrece variadas instancias de conceptualización de los contenidos propuestos por los marcos jurisdiccionales. Así, esta propuesta recupera la larga tradición de las pedagogías críticas latinoamericanas en las cuales el saber no es un fin en sí mismo sino un instrumento de comprensión del presente para intervenir en la realidad e inventar el futuro. De esta manera, proponemos un enfoque de EAI que ponga el foco en la complejidad, la interdisciplina y la transversalidad desde un enfoque crítico, problematizador y situado, para la formación de una ciudadanía democrática, crítica, responsable y comprometida, que sea competente para construir un futuro más justo y sustentable.

Referencias bibliográficas

Acserlrad, H. (2018) Génesis y configuración de las luchas por la justicia ambiental en Brasil en Alimonda, H. [coord.] Ecología política latinoamericana: pensamiento crítico, diferencia latinoamericana y rearticulación epistémica. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Fundación CICCUS.

Alimonda, H. (2018) En clave de sur: la Ecología Política Latinoamericana y el pensamiento crítico en Alimonda, H. [coord.] Ecología política latinoamericana: pensamiento crítico, diferencia latinoamericana y rearticulación epistémica. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Fundación CICCUS.

Alvarez, M. M. [et al.] (2021) Pedagogía del cuidado: la construcción de la cultura del cuidado en la escuela actual. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: La Crujía.

Canciani, M. L. (2023a) Educación Ambiental Integral: reflexiones en torno a una ley urgente. Espacios de crítica y producción. Disponible en:
<http://revistascientificas.filo.uba.ar/index.php/espacios/article/view/12776>

Canciani, M. L. (2023b) ¿Qué pedagogías, para qué transiciones? Reflexiones desde la educación ambiental crítica para la construcción de transiciones justas latinoamericanas. En Gracia Parra, G. I. [et al.] Transiciones justas. Una agenda de cambios para América Latina y el Caribe. - 1a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires : CLACSO ; OXFAM, pp. 133-152.

Canciani, M .L. y Telias, A. (2014) Perspectivas actuales en educación ambiental: la pedagogía del conflicto ambiental como propuesta político-pedagógica. En Telias, A., Canciani, M. L., Sessano, P., Alvino, S. y Padawer, A. a educación ambiental en la Argentina: actores, conflictos y políticas públicas. San Fernando: La Bicicleta.

Canciani, M. L., Telias, A. (2022) Educación Ambiental Integral: reflexiones teóricas para la construcción de un currículum complejo. Revista Argentina de Investigación Educativa, 2(4), pp. 135-149. Disponible en: <https://portalrevistas.unipe.edu.ar/index.php/raie/article/view/173>

Canciani, M.A.; Telias, A.; Sessano, P. (2017) Problemas y desafíos de la educación ambiental. Un abordaje en 12 lecciones. 1ª Ed. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Novedades Educativas Ediciones.

de Sousa Santos, Boaventura. (2006) La Sociología de las Ausencias y la Sociología de las Emergencias: para una ecología de saberes. En publicación: Renovar la teoría crítica y reinventar la emancipación social (encuentros en Buenos Aires).

Funtowicz, S. O y Ravetz, J. R. (1993) La ciencia posnormal. Ciencia con la gente. Barcelona: Antrazyt.

Larsimont, R., Martín, F. (2016) Agua, poder y desigualdad socioespacial. Un nuevo ciclo hidrosocial en Mendoza, Argentina (1990-2015) en Merlinsky, G. [comp.] Cartografías del conflicto ambiental en Argentina 2. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: CICCUS, pp 31-56.

Leff, E. (2007). La Complejidad Ambiental. Polis (16), Revista de la Universidad Bolivariana. . Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/305/30501605.pdf>

Leff, E. (2012). Pensamiento Ambiental Latinoamericano: patrimonio de un saber para la sustentabilidad. En: Environmental Ethics Journal. Texas: Centro de Filosofía Ambiental de la Universidad del Norte de Texas.

Machado Aráoz, H; Paz, F. (2016) Extractivismo: metabolismo necroeconómico del capital y fagocitosis de las agro-culturas. Reflexiones y aprendizajes desde las re-existencias campesinas en el Valle del Conlara en Porto-Gonçalves, W. P. [et al.] Despojos y resistencias en América

Latina, Abya Yala. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Estudios Sociológicos Editora, pp. 141-174.

Merlinsky, G. (2017) Los movimientos de justicia ambiental. La defensa de lo común frente al avance del extractivismo. Voces en el Fénix (60), pp. 6-15. Disponible en: <https://drive.google.com/file/d/1bv1k1OZlBm26Q2fyGI6i41jMq2xj5I9/view>

Merlinsky, G. (2021). Toda Ecología es Política: las luchas por el derecho al ambiente en busca de alternativas de mundos. Buenos Aires. Siglo XXI.

Merlinsky, G. [et al.] (2018) Defender lo común: qué podemos aprender de los conflictos ambientales. - 1a ed . - Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires. Instituto de Investigaciones Gino Germani - UBA. Disponible en: <https://www.biodiversidadla.org/Documentos/Defender-lo-comun.-Que-podemos-aprender-de-los-conflictos-ambientales>

Ministerio de Educación de la Nación [MEN] (2021). Ambiente. 1ed. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Ministerio de Educación de la Nación. Disponible en: <https://www.educ.ar/recursos/158110>

Ministerio de Educación de la Nación [MEN] (2022) Documento marco. Educación Ambiental Integral. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Ministerio de Educación de la Nación. Disponible en: <https://www.educ.ar/recursos/158587/documento-marco-del-programa-de-educacion-ambiental-integral>

Ministerio de Educación de la Nación [MEN] (2023) EAI desafíos de la educación ambiental integral en la escuela primaria: orientaciones para la enseñanza en clave ambiental. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Ministerio de Educación de la Nación. Disponible en: <https://www.educ.ar/recursos/159044/desafios-de-la-educacion-ambiental-integral-en-la-escuela-pr>

Ministerio de Educación de la Nación [MEN] (2023) EAI desafíos de la educación ambiental integral en la escuela secundaria: orientaciones para la enseñanza en clave ambiental. Ciudad Autónoma de Buenos Aires : Ministerio de Educación de la Nación. Disponible en:
<https://www.educ.ar/recursos/159045/desafios-de-la-educacion-ambiental-integral-en-la-escuela-se>

Noguera de Echeverri, A. M. (2004) Reencantar el mundo. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia - IDEA.

Philip Seufert, P. (2020) ¡Somos naturaleza! Derechos Humanos, Derecho Ambiental y al ilusión de la separación Disponible en:
<https://www.righttofoodandnutrition.org/es/somos-naturaleza-derechos-humanos-derecho-ambiental-y-al-ilusion-de-la-separacion.html>

Pinto, L. (2023) No basta ser ambientalista: es necesario ser antirracista. El racismo ambiental y el movimiento por la justicia ambiental en Julián Monkes (coord.) Politizar el ambiente, politizar la política. 1a ed. Ciudad de Buenos Aires: Batalla de ideas. Disponible en:
https://www.researchgate.net/publication/371868104_No_basta_ser_ambientalista_es_necesario_ser_antirracista_El_racismo_ambiental_y_el_movimiento_por_la_justicia_ambiental

Porto Gonçalves, W. P. (2021) Geo-graffas. Movimientos sociales, nuevas territorialidades y sustentabilidad. México: Siglo XXI editores.

Siede, I. (2007) La educación política: Ensayos sobre ética y ciudadanía en la escuela. Buenos Aires: Paidós. Disponible en:
<https://www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/libros/pm.1303/pm.1303.pdf>

Zaffaroni, E. R. (2011) La Pachamama y el humano. 1a ed. Buenos Aires: Colihue. Disponible en:
https://perso.unifr.ch/derechopenal/assets/files/obrasjuridicas/oj_20180808_02.pdf

Informes internacionales

Banco Mundial [BM] (2018) What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. Urban Development Series. Washington, DC: World Bank. Disponible en:
<https://openknowledge.worldbank.org/entities/publication/d3f9d45e-115f-559b-b14f-28552410e90a>

Oxfam Internacional [Oxfam] (2024) DESIGUALDAD S.A. El poder empresarial y la fractura global: la urgencia de una acción pública transformadora. Disponible en:
<https://www.oxfam.org/es/informes/desigualdad-sa>

United Nations Environment Programme [ONU] (2024). Emissions Gap Report 2024: No more hot air ... please! With a massive gap between rhetoric and reality, countries draft new climate commitments. Nairobi. Disponible en:
<https://www.unep.org/resources/emissions-gap-report-2024>

Global Witness (2023) Siempre en pie. Personas defensoras de la tierra y el medioambiente al frente de la crisis. Disponible en:
<https://www.globalwitness.org/es/standing-firm-es/>

¿Consumidores de minerales o de tiempo?

El recorrido efímero de los minerales en nuestra vida cotidiana.

Lucía Clarisa Contardo

Diego Arias Regalía

Los minerales y las rocas nos han acompañado desde los orígenes de la civilización y no hay duda de que una parte de nuestra organización social y económica gira a su alrededor. Todas las culturas han desarrollado diversas técnicas y materiales a partir de este vínculo con los sistemas naturales. Sin embargo, desde fines de los años 40 la extracción y demanda de materiales a nivel mundial viene aumentando a ritmo cada vez más acelerado. En términos globales, la tasa de extracción de estos materiales está superando actualmente tanto al aumento poblacional como al crecimiento económico, medido en términos de PBI (United Nations Environment Programme; 2021).

Si bien tenemos en general la vaga idea de que nuestras cosas están hechas con materiales provenientes de la naturaleza, no nos detenemos a pensar en su origen, o en cómo terminan formando parte, por ejemplo, de los ladrillos de nuestra casa, las cerámicas del baño, o de los dispositivos tecnológicos más cercanos. Sin embargo, somos partícipes de su ciclo de vida -aunque sean cosas inertes- y formamos parte, inevitablemente, del mercado de los recursos naturales en un mundo globalizado.

El largo camino que recorren los minerales hasta nuestras manos y la utilización efímera que hacemos de ellos son cuestiones que ameritan un abordaje profundo dentro de las aulas. La intención del presente capítulo es brindar a los y las docentes una oportunidad de reflexionar sobre este potente tema, a partir del caso particular del llamado

coltán, un codiciado mineral empleado en la fabricación de diversos productos tecnológicos, con un escenario socio-político y ambiental detrás poco conocido.

¿Recursos naturales o bienes comunes?

Los recursos naturales son materiales o funciones de los sistemas naturales, en cuya producción no han intervenido los seres humanos, que en un dado momento histórico son valorados, utilizados y transformados por una sociedad para satisfacer determinadas necesidades.

A partir de una segunda mirada a esta definición podríamos preguntarnos ¿Cómo se define una necesidad? ¿Quién o quiénes lo hacen? ¿En beneficio de quiénes se explota determinado recurso natural? Y sobre todo, ¿a costa de quiénes?

Para responder estas preguntas puede ser útil una segunda definición. El extractivismo es la explotación de grandes volúmenes de recursos naturales orientados a la exportación a gran escala de bienes primarios (commodities) como hidrocarburos (gas y petróleo), minerales, productos agrarios (soja), etc. (Svampa, 2019).

Estos emprendimientos generalmente suelen requerir de inversiones de corporaciones transnacionales. Además, la expansión de estas economías de enclave desplaza a otras formas de producción así como también produce desplazamientos forzados de comunidades por el avance de las fronteras de explotación a territorios que antes eran considerados improductivos. Este proceso genera impactos no solo en los sistemas naturales sino en las formas de vida y la salud de las poblaciones locales.

A partir de esta segunda definición podemos notar la tensión entre necesidad y uso. Frente a la mercantilización y privatización de los sistemas naturales, empieza a extenderse el uso del término bienes comunes para designar a esferas que no pueden definirse como privadas o públicas siendo que están sometidas a normas de uso culturalmente determinadas por las personas y grupos cuya existencia depende de ellos (Merlinsky, 2017).

El concepto de bienes comunes es amplio, genérico y diverso por lo que no existe una definición única y definitiva. Sin embargo, podemos caracterizar como tales a aquellos bienes que se producen, se heredan o transmiten en una situación de

comunidad, siendo que pertenecen y responden al interés de todos y cada uno de sus integrantes (Vercelli y Thomas, 2008). Los bienes comunes son las redes que sustentan la vida y pueden ser partes palpables o intangibles de los sistemas naturales

(como el agua, el aire, la información genética de plantas, animales y seres humanos, la biodiversidad, la atmósfera, el cielo, etc.) o los sistemas sociales (como el conocimiento acumulado durante siglos, las ideas, las semillas, la diversidad de culturas, etc.).

En la enseñanza no se propone, ni tendría sentido, sustituir un término por otro, sino problematizar los términos que utilizamos. El término bienes comunes disputa la idea de que el único valor a tener en cuenta para transformar un bien común en recurso natural a ser explotado sea el precio de mercado. La idea de lo común nos invita a reconocer que hay distintos tipos de valor ecológico, social, comunitario, democrático, moral, entre otros, a considerar.

El caso del coltán

El coltán es la denominación comercial de una mezcla de dos minerales, la columbita y la tantalita, con propiedades superconductoras y resistentes a la corrosión. Estas propiedades, además de su fácil empleo a temperatura ambiente, lo convierten en un material único y estratégico para la industria tecnológica, en especial en la fabricación de dispositivos electrónicos como celulares, smartphones, tablets, etc.

Los cuerpos ígneos en los que se encuentra el coltán forman parte de cratones y antiguos cordones montañosos distribuidos en distintas partes del mundo, con una historia geológica que data de unos 500 a 2000 millones de años de antigüedad, tiempo suficiente para que se manifiesten y acumulen ciertos minerales metálicos en forma de vetas o diseminados en la roca. La continua erosión de estas rocas termina acumulando el mineral de interés en depósitos aluviales (sedimentos que se forman a partir de materiales que han sido transportados por corrientes de agua), lo cual facilita su extracción artesanal.

El proceso de formación de estas rocas reúne una combinación de condiciones que hacen posible la acumulación de varios minerales, de los cuales se pueden extraer materiales de interés económico como el coltán. Es importante tener en cuenta que, para que un recurso sea considerado “de interés económico”, se necesitan dos factores: la existencia objetiva y concreta del mismo y la necesidad que tenga la sociedad de usarlo (Reboratti, 2020). A su vez, hay que considerar otros factores como poseer el conocimiento para desarrollar las técnicas y tecnologías que permitan extraerlo y utilizarlo, el costo de extracción y el precio que la sociedad está dispuesta a pagar. Reboratti advierte que el precio no se puede medir solo en dinero, sino que también incluye la aceptación de los impactos ambientales, el esfuerzo, el tiempo o algún otro valor similar.

La concentración de los recursos minerales en la naturaleza no se da siempre de la misma manera. La formación y el origen de los distintos yacimientos minerales están asociados a procesos cuya duración excede los tiempos de escala humana, por lo que se convierten en recursos no renovables.

Si bien existen varias reservas de coltán a nivel mundial, la mayor parte de las reservas conocidas se encuentran en África, particularmente en República Democrática del Congo y Ruanda. Los sitios de explotación son escenarios de guerras relacionadas a su control, ligados a condiciones de esclavitud, violencia de género y explotación infantil, además de graves transformaciones en el paisaje y el territorio en el que se asientan.

La **República Democrática del Congo (RDC)** alberga un alto índice de biodiversidad y puede ser considerado uno de los países más “ricos” en recursos naturales. Cuenta con reservas de diamantes, oro, cobre, cobalto, casiterita (mineral de estaño) y coltán, así como también produce madera, café y petróleo. Sin embargo la RDC ocupaba en 2003 el puesto 167 de 177 países en el Índice de Desarrollo Humano de la ONU (construido a partir de tres dimensiones: esperanza de vida, logros educacionales e ingresos), con una esperanza de vida que no superaba los 43 años.

El suelo congoleño contiene el 34% y el 10% de las reservas de cobalto y cobre del mundo, respectivamente. Además es el tercer productor de diamantes en bruto con 17% de la producción mundial y cuenta con entre el 60% y el 80% de las reservas mundiales de coltán.

El territorio que ocupa actualmente la RDC fue una colonia belga hasta 1960. RDC comparte con los países vecinos de la región africana de los Grandes Lagos una larga historia de violencia, explotación y sufrimientos que se remontan al siglo XVI. El vínculo entre la explotación de los recursos naturales y violaciones de los derechos humanos continuó luego de la independencia en 1960 y se recrudeció a partir de la Primera Guerra del Congo (1996-1997) que comenzó a raíz del genocidio de Ruanda de 1994.

Según un informe de la ONU, actualizado a principios del año 2025, la emergencia en la RDC es una de las crisis humanitarias más complejas, grandes y mortales del mundo. El conflicto en curso ha costado alrededor de 6 millones de vidas desde 1996, han producido el desplazamiento forzoso de 7 millones de personas dentro del país y obligado a más de 1 millón a buscar asilo fuera de sus fronteras. En el informe del año 2023 titulado “Powering Change or Business as Usual?”, Amnistía Internacional y la organización Iniciativa por la Buena Gobernanza y los Derechos Humanos (IBGDH por las siglas en inglés) se expone cómo la pugna de empresas multinacionales por ampliar las actividades mineras a escala industrial en la RDC ha producido el desalojo forzoso de comunidades de sus viviendas y tierras de cultivo, y la comisión de graves abusos contra los derechos humanos, incluidas agresiones sexuales, incendios y palizas.

La apropiación y explotación de los recursos naturales siempre están mediadas por asimétricas relaciones de poder. Este caso es un ejemplo que muestra la estrecha relación entre los conflictos sociales, la explotación de los recursos naturales, la tenencia de la tierra y las violaciones de los derechos humanos.

Al utilizar “el tema del coltán” como parte de nuestro dispositivo de enseñanza, será importante poder reconocer las tramas en las que estos conflictos se hallan insertos así como las distintas escalas espaciales y temporales en las que es posible su estudio.

Consideraciones para el abordaje del ciclo de los minerales

En la actual era de la información, pareciera que las grandes posibilidades que ofrecen las nuevas tecnologías fueran incuestionables. Sin embargo, rara vez se pone en discusión la desigual distribución de sus beneficios y los costos socioambientales que generan. ¿Quiénes acceden a sus ventajas y quiénes pagan las consecuencias de su producción? El sistema económico y productivo tiende a invisibilizar el origen de las materias primas y las implicancias sociales y ambientales de los procesos involucrados, limitando así la posibilidad de una toma de conciencia informada por parte de los usuarios.

En este contexto, la extracción del coltán en la República Democrática del Congo y su recorrido como insumo tecnológico ofrecen un caso paradigmático para abordar la problemática desde una perspectiva sistémica.

En paralelo, repasemos algunos elementos que podrían integrar nuestro conocimiento didáctico del contenido “ciclo de los materiales”:

Una cuestión central en este punto inicial es revisar la noción de ambiente. Podemos preguntarnos ¿de qué hablamos cuando hablamos del ambiente? ¿quiénes conviven en ese ambiente? ¿cómo desentrañamos esa compleja trama de relaciones? ¿las personas se encuentran separadas del ambiente?

Reconocer el ambiente como algo complejo nos invita a reflexionar sobre nuestro lugar en la naturaleza y repensarnos como parte de un todo más amplio. Formamos parte de un planeta en el cual dependemos, directa o indirectamente, de elementos que obtenemos de la naturaleza, que muchas veces son también del producto humano. Aquí confluye la idea de que no hay un ambiente social separado del ambiente natural, y que éste último es afectado por lo social. En otras palabras, no existen problemas ambientales que detrás no tengan un conflicto social, en un territorio y momento histórico determinado. Por ello, es importante analizar los problemas ambientales en el marco de conflictos sociales, como puede ser el caso del coltán.

Es importante entonces proponer situaciones de enseñanza que promuevan una mirada compleja -no fragmentada- del ambiente.

Otra cuestión, también central, tiene que ver con que la escala temporal en la que se desarrollan los procesos geológicos que dan origen a la presencia de los distintos materiales en el planeta es muchas veces inconmensurable desde nuestra experiencia directa (ver el capítulo sobre tiempo geológico, en este mismo libro, para un abordaje del tema con profundidad). Una consecuencia de esto es que tendemos a tener cierta percepción intuitiva de que los recursos naturales son inagotables.

Esta visión, reforzada por la dinámica del mercado, la publicidad y estrategias como la obsolescencia programada y percibida, contribuye a un uso acelerado y poco reflexivo de los dispositivos electrónicos. A menudo, se desconoce no solo el impacto ambiental que genera la extracción de minerales, sino también el tiempo geológico que le demanda a los procesos naturales concentrar esos recursos minerales de interés en los sitios de donde hoy los extraemos.

Lo mencionado ofrece una oportunidad valiosa para trabajar en el aula y reflexionar sobre el concepto de ambiente y manejo de recursos. Pueden plantearse entonces algunas preguntas clave: ¿qué recursos se extraen?, ¿cómo y por cuánto tiempo se explotan?, ¿dónde y quiénes los extraen?, ¿qué sucede cuando un recurso se agota? Estas reflexiones resultan esenciales para promover en los estudiantes una mirada crítica sobre el consumo y resaltar la importancia de una economía circular.

Enseñar el uso racional de los dispositivos electrónicos y la necesidad de minimizar la generación de residuos no solo reduce el impacto ambiental, sino que también fomenta una mayor conciencia sobre la interdependencia entre tecnología y naturaleza.

Economía lineal y circular

La economía lineal es un sistema en el que se extraen materias primas para fabricar productos que rápidamente se desechan. Se llama lineal porque se mueve en una dirección: de la materia prima al residuo. Una vez vendidos, la responsabilidad por el desecho de los bienes de consumo pasan al comprador, propietario y/o usuario.

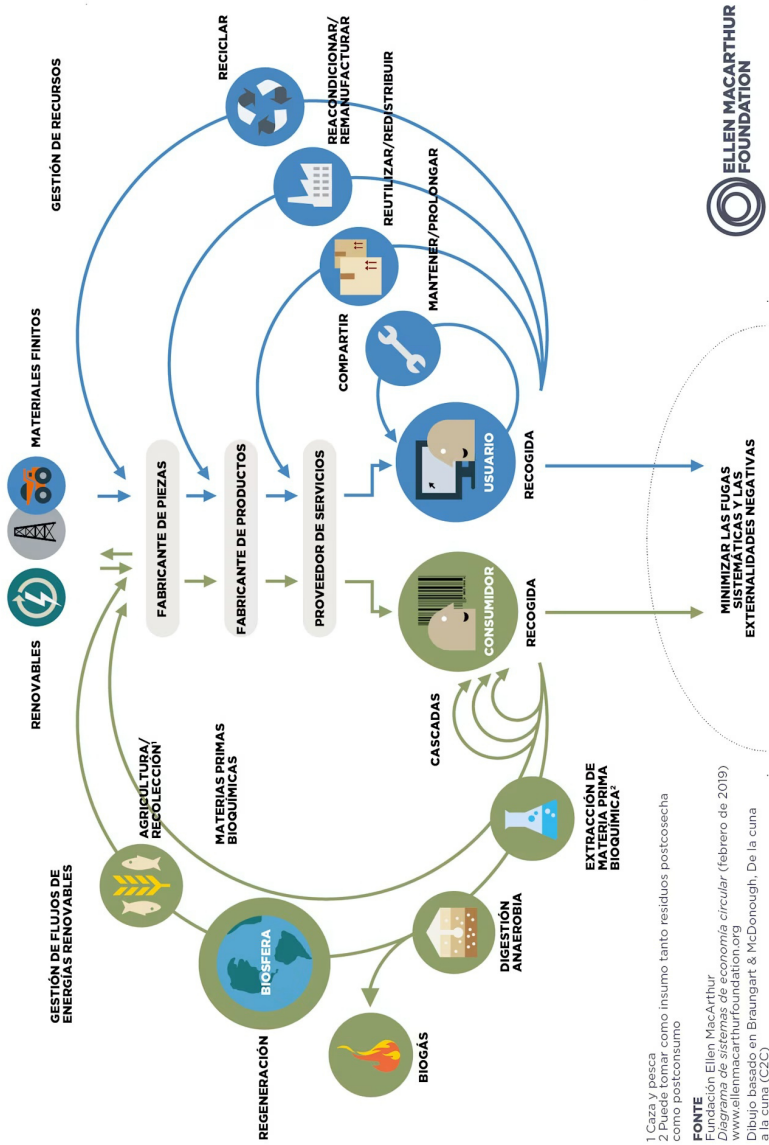
La cultura de consumo constituye un rasgo propio del siglo XX, sobre todo a partir del fin de la II Guerra Mundial. Este proceso está vinculado al avance de la industrialización, la urbanización creciente y al bombardeo publicitario de los medios masivos de comunicación. El consumismo es la expresión más exagerada de la lógica de consumo.

La economía lineal está impulsada por la publicidad y el marketing que estimulan continuamente a la población a comprar, usar y desechar promoviendo una cultura consumista. Esto es alentado, además, por la obsolescencia programada y percibida. El primer término alude a una estrategia por la cual las empresas diseñan adrede los productos con una vida útil limitada. La obsolescencia percibida refiere al discurso publicitario que promueve la percepción de que la durabilidad de un producto caduca como en el caso de los productos que “pasan de moda”.

Frente a los impactos sociales y ambientales de la economía lineal, desde hace varios años se viene promoviendo una transición hacia una economía circular. Es una propuesta de transformación del modelo de producción y consumo a partir de repensar el diseño y fabricación de los productos. La economía circular tiene principalmente cuatro objetivos:

- 1-Extender el ciclo de vida de los productos a través de la reutilización, la reparación y el reacondicionamiento.
- 2-Mantener los materiales en la economía, a través del reciclaje, el compostaje o la producción de energía.
- 3-Planificar, desde el diseño, productos sustentables en cuanto al uso de energía, materiales y proceso productivo.
- 4-Promover un desacople entre el crecimiento económico y la degradación ambiental, en un proceso de transición justa que tienda a promover el desarrollo sustentable y la atención al impacto social.

Los cambios necesarios para una transición hacia una economía circular no solo impactan en todos los eslabones del proceso productivo (desde la extracción de materias primas



1 Caza y pesca
 2 Puede tomarse como insumo tanto residuos postcosecha como postconsumo

FONTE
 Ellen MacArthur
 Diagrama de sistemas de economía circular (febrero de 2019)
 www.ellenmacarthurfoundation.org
 Dibujo basado en Braungart & McDonough, De la cuna a la cuna (C2C)

Fuente: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/es/el-diagrama-de-la-mariposa>

hasta el descarte final) sino que también supone profundas transformaciones del orden socio-cultural y político.

Esta transición implica cambios de escala local, regional y global así como la participación de diversos actores sociales como los Estados, las industrias, las instituciones científicas, las organizaciones no gubernamentales, las organizaciones sociales, las y los recuperadores urbanos y la ciudadanía en general, entre otros.

El ciclo de vida de los minerales a través del caso del coltán: algunos recursos para su enseñanza

A continuación se muestran ejemplos de recursos y se esbozan posibles actividades para trabajar alrededor de estos contenidos.

-Sangre en nuestros celulares (Blood in the mobile). Frank Plasecki Poulsen (2010).

https://youtu.be/KmuE7kjlZSc?si=TK_NJZc8kye0ubWb

-Rivero et al (2013): Coltán y residuos electrónicos en la enseñanza de problemas socio-ambientales.

<https://www.raco.cat/index.php/ECT/article/view/268948/358648>

-Santó y Curto (2008): Los minerales son inocentes; las personas, no.

<https://www.raco.cat/index.php/ect/article/view/164751/216756>

Contextualización / primera problematización

República Democrática del Congo: la guerra por el coltán

Millones de desplazados y muertos. Pobreza y hambrunas. Un conflicto cuyo territorio se superpone con el de la extracción de uno de los minerales más buscados del planeta para la industria electrónica. El corazón del África colonial sangra.

El coltán es el nuevo oro negro. Un mineral muy escaso del que se obtienen dos metales raros utilizados para la fabricación de instrumentos electrónicos. Las restringidas reservas de esta roca se encuentran en Tailandia, Brasil, Australia y en la

República Democrática del Congo (RDC) que concentra el 80% de las existencias. Lejos de ser una fuente de riqueza extraordinaria, este país ocupa el puesto 176 del total de 187 países en el Índice de Desarrollo Humano de las Naciones Unidas, la pobreza alcanza al 80% de su población y los conflictos armados han desplazado a varios millones de sus habitantes de sus hogares.

De las montañas del Parque Nacional Kakuzi Biega, a 170 kilómetros de Goma, se extrae el 80% del coltán del mundo. Este nombre deviene de la abreviatura de columbita y tantalita, minerales que contiene esta roca. De estos se extrae el tantalio y el niobio, metales raros superconductores de la electricidad, capaces de soportar temperaturas muy elevadas y resistentes a la corrosión. Son utilizados en aparatos electrónicos, centrales nucleares, misiles, fibra óptica, satélites, aunque la mayor parte de la producción se destina a la fabricación de condensadores y otras partes de los teléfonos móviles y computadoras.

La guerra por el coltán se cobra día a día miles de víctimas mortales, desplazados, hambrunas. Ejércitos mercenarios y cascos azules de la ONU conviven en medio del horror para que no se detenga el flujo mineral mientras perece la vida... la de los gorilas del Parque Nacional y la de millones de congoleños. Pero el circo no para.

Mientras los mineros congoleños trabajan en condiciones de esclavitud y vigilados por fuerzas paramilitares, el contrabando internacional hace un gran negocio en un país empobrecido y con una esperanza de vida de 58 años. Miles de niños trabajan en las minas y en consecuencia abandonan los estudios, como sus padres que dejan las tareas del campo para dedicarse a la minería lo que profundiza las hambrunas.

En este escenario endemoniado, países vecinos como Ruanda, Uganda y Burundi, que no poseen grandes reservas de coltán, son los principales exportadores del mineral. Ruanda es el primer exportador mundial. Desde allí se financian a los grupos rebeldes que facilitan el tráfico del mineral y provocan muerte y destrucción en la RDC. Según la ONG International Rescue Committee entre 1998 y 2007, sin incluir las víctimas de la guerra entre 1996-1997, 5,4 millones de personas murieron en el Congo.

Los smartphones de todo el planeta contienen sangre proveniente de esta región.

Adaptado de: <https://canalabierto.com.ar/2024/02/16/republica-democratica-del-congo-la-guerra-del-coltan/>

La lectura del texto puede disparar distintas situaciones y actividades. Por ejemplo indagaciones sobre el uso que le damos a los objetos tecnológicos, haciendo una primera problematización sobre los hábitos de consumo y descarte (tanto desde el punto de vista de las conductas individuales como del tipo de hábitos de consumo que se generan y fomentan en la sociedad actual). Los y las estudiantes podrían reflexionar sobre las inequidades entre quienes disfrutan del uso de la tecnología, y quienes pagan los costos sociales y ambientales de su existencia.

Esto puede dar lugar también a trabajos de búsqueda de información más específica sobre el coltán, sobre la fabricación de celulares u otros elementos tecnológicos, y sobre lo que ocurre con ellos cuando son descartados.

Parte de la actividad podría consistir en distinguir hechos de opiniones, relacionar el texto con su mundo y experiencia personal, e discutir y poner en práctica criterios que permitan organizar y jerarquizar la información que están leyendo.

Cotidiano pero difícil: enseñar a argumentar

¿En qué momento argumentamos y defendemos una postura? ¿Para qué se argumenta? La competencia que se busca trabajar en esta propuesta es la argumentativa, es decir, que puedan exteriorizar sus pensamientos en una conversación o producción textual, defendiendo un punto de vista. Argumentar implica un intento de persuadir o convencer al otro sin utilizar elementos represivos, ofreciendo razones para lograrlo. Por lo tanto, la misma se hace presente en situaciones donde pueden existir diferencias de opinión y se busca llegar a un acuerdo.

En ciencias naturales en particular, la argumentación implica también poner en juego los modelos científicos y la información relacionada, como elementos centrales del razonamiento.

La propuesta siguiente apunta a que los y las estudiantes se familiaricen con algunos elementos que forman parte de una argumentación, pensando que enseñar a argumentar es parte de lo que debiera ocurrir en la clase de ciencias naturales.

Una estrategia posible es la construcción, en forma colaborativa, de un dispositivo de orientación, esto es, una especie de esquema que les sirva de guía para elaborar textos argumentativos.

Podrán trabajar con la nota periodística del punto anterior, y otros dos textos que se ofrecen a continuación (uno descriptivo y otro argumentativo), intentando analizar en qué se diferencia lo argumentativo de lo descriptivo, qué tipos de conectores se usan (y con qué función), etc.

A medida que se van extrayendo y analizando los conectores, se puede pensar de manera colectiva qué otras formas similares existen para decir lo mismo. Podrán traerse en este momento otros elementos útiles como las metáforas, la posibilidad de hacer analogías o preguntas, etc. Una descripción más completa del análisis del discurso argumentativo y el uso de ejemplos para enseñar a argumentar puede encontrarse en Sardá Jorge y Sanmartí (2000).

Aprender a argumentar lleva a los estudiantes no sólo a revisar y expresar sus razonamientos de una manera fundada, sino también a explorar la validez de los planteamientos de otros.

Texto descriptivo

El coltan o coltán es una mezcla de los minerales columbita (una mena de columbio o niobio) y tantalita (una mena de Tantalio). Es pesado, de color gris y brillo metálico oscuro. La columbita está compuesta por óxidos de niobio, hierro y manganeso, y la tantalita está compuesta por óxido de tantalio, hierro y manganeso en cualquier proporción. Estos óxidos constituyen una solución sólida en ambos minerales.

Son escasos en la naturaleza y dan un claro ejemplo de materiales que han pasado de ser considerados simples curiosidades mineralógicas a cruciales para el avance tecnológico debido a sus nuevas aplicaciones.

Texto argumentativo

De cierto modo, los teléfonos celulares se han convertido en una necesidad de la vida cotidiana. Los usamos para hablar a nuestra casa cuando nos retrasamos, para hacer planes con los amigos o para pedir comida por delivery. Todos estos dispositivos electrónicos tienen una cosa en común: requieren de un mineral súper potente para poder funcionar: un mineral llamado coltán. Pero, ¿de dónde sale?

La triste verdad es que este mineral tan codiciado, es el responsable de una guerra civil en el Congo (África), y genera un lugar imposible para vivir. Un infierno hecho realidad donde tienen lugar más de 120 grupos armados, cometiendo masacres sobre los habitantes, y obligando a niños de edad primaria a trabajar en condiciones paupérrimas. Es por eso que las personas en pueblos aledaños abandonan sus casas, porque no quieren estar cerca de estos lugares de conflicto.

Cuando uno utiliza un celular o un i-pad de última generación, no tiene en cuenta estas cosas, pero, por todo lo expuesto anteriormente, deberíamos cuestionarnos de dónde vienen estos dispositivos electrónicos...y si existen consecuencias por extraer estos materiales.

Los teléfonos celulares, como cualquier producto, se arman con piezas previamente hechas, y para eso se requiere de la explotación de recursos naturales. Por ejemplo, para la pantalla se utiliza vidrio (sí, el vidrio de las ventanas o de las copas), para el tablero de los circuitos se utilizan minerales metálicos, entre ellos el coltán, y las baterías que hacen funcionar el teléfono también utilizan otra variedad de metales, todos extraídos de la naturaleza, en grandes cantidades. Estos aparatos con el tiempo se gastan, y queremos uno nuevo, otro mejor...

El entender el ciclo de vida de un producto te puede ayudar a comprender un poco más el rol que tenemos como consumidores masivos en nuestro planeta, y a tomar decisiones personales, para cuidar el medio ambiente. Vos podés, desde tu lugar, ayudar a reducir este impacto ambiental si: conservás más tiempo el teléfono, cargas la batería correctamente, o encontrás la forma de volver a usar o reciclar tu teléfono y sus accesorios.

Quizás, al vivir en una sociedad tan apurada y acelerada, que busca satisfacer de manera rápida sus necesidades, impide que nos pongamos a pensar en esto.

De la montaña al capacitor: origen, formación, y ciclo de vida del coltán

A continuación nos adentramos en el ciclo del mineral coltán. Usando imágenes similares a las mostradas a continuación puede plantearse una primera actividad en la que hay que ordenarlas cronológicamente, intentando seguir el ciclo de vida de ese material, y estimando cuánto tiempo pasa entre cada una de ellas. En algunos de los pasos el tiempo involucrado entre imágenes más difícil de estimar que en otros, y eso puede devenir en la necesidad de búsqueda de algo de información adicional.

Es importante notar que un resultado muy probable de esta actividad es que el ordenamiento de las imágenes termine reflejando el clásico esquema de la economía lineal, lo que puede ser usado justamente para abrir la discusión en esa dirección, o para introducir otras formas de pensar el tema como un esquema de economía circular.



El orden de las figuras debiera ir desde las rocas que naturalmente han concentrado los minerales a lo largo de su historia geológica, pasando por su extracción, tratamiento industrial, armado de dispositivos electrónicos, comercialización, uso y descarte final.

El siguiente punto es explicitar el problema temporal presente en el ciclo anterior. La idea es visualizar la enorme diferencia de tiempos (prácticamente inconmensurable desde el punto de vista humano) involucrado en las distintas etapas del mismo.

En el ejemplo siguiente utilizamos líneas de tiempo, pero existen distintos recursos para la representación proporcional que son apropiados para este caso.

Las líneas de tiempo son estrategias didácticas valiosas que sirven para organizar información y ubicar en el tiempo eventos, sucesos y hechos. Pero en nuestro caso, su utilidad va a radicar justamente en una dificultad de uso a la que vamos a sacarle provecho. ¿Qué pasa cuando queremos usar una misma línea de tiempo para representar cosas que “viven” en escalas de tiempo muy distintas? ¿Podemos representar el tiempo de formación del coltán en la misma escala en la que representamos el tiempo de uso de un celular hasta su descarte?

El problema, por supuesto, no tiene solución simple. Lo interesante es la discusión que justamente permita explicitar la abismal diferencia entre el ritmo en el que consumimos los recursos, y el ritmo al que el planeta puede recomponerlos.

La propuesta entonces podría ser que armar una línea de tiempo personal para representar el proceso desde, por ejemplo, la fabricación de un celular hasta que este es descartado. Y luego, intentar agregar el resto de las etapas del ciclo del material discutiendo específicamente la cuestión de esta diferencia temporal (dato para tener a mano: la antigüedad de las mineralizaciones de coltán brindadas en textos académicos es de alrededor de 1000 millones de años como promedio).

A través de esta propuesta buscamos promover la discusión sobre los largos tiempos involucrados en los procesos de formación y en la antigüedad de un mineral determinado y el uso efímero (y muchas veces desmedido) que hacemos de ellos.

Luego del desecho y la obsolescencia programada

Hasta aquí trabajamos sobre la explotación del coltán y parte de su ciclo de vida, pero no abordamos aún lo relacionado con su desecho. ¿Por qué/cuándo se descartan los dispositivos tecnológicos? ¿Qué ocurre cuando se deja de usar, cuál es su destino final? ¿Cómo continúa la historia del coltán luego de que un dispositivo es desechado?

La primera pregunta abre la puerta a abordar los conceptos de obsolescencia programada (la fabricación adrede de dispositivos poco durables, sea en términos físicos o de rendimiento) y obsolescencia percibida (el intento deliberado de inculcar el deseo de adquirir continuamente nuevos productos para mantenerse al día).

Video “Wake up call” (The Gaia Foundation), con subtítulos:
https://www.youtube.com/watch?v=fll_Lr5Rf5A

Portal Educ.ar:
<https://www.educ.ar/recursos/131774/hablamos-de-obsolescencia-programada>

Las otras preguntas apuntan problematizar el destino de los desechos tecnológicos y sus impactos sociales y ambientales (por ejemplo, la existencia de países -fundamentalmente en África- que funcionan como inmensos basureros al recibir el descarte tecnológico de los países desarrollados).

Pero no podemos cerrar estas preguntas sin plantearnos una más: ¿Cómo se distribuye a nivel global la producción de basura electrónica?

El sitio web The Global E-Waste Monitor, iniciativa asociada al United Nations Institute for Training and Research (UNITAR) presenta un interesante mapa interactivo para abordar esta cuestión:

<https://globalewaste.org/map>

Los países que generan más basura electrónica

Ranking de países según el volumen de residuos electrónicos generado en 2019 (en miles de toneladas métricas)



Fuente: The Global E-waste Monitor 2020



statista

Consideraciones desde la Educación Ambiental integral

Como con cualquier producto, fabricar desde cero un teléfono celular -o cualquier otro dispositivo tecnológico- y sus piezas requiere de recursos naturales y energía, lo cual tiene un impacto en el ambiente. Desde una perspectiva sistémica se puede tratar el tema de los recursos minerales como flujos de materia o energía que circulan desde los sistemas naturales hacia los sistemas humanos y, dentro de los sistemas humanos, de uno a otro país o región (Trillo, 2008). La ventaja de hacer un análisis de este tipo es que no se consideran solamente los inputs, o flujos de entrada, sino también los flujos de salida (desechos), abriendo el tema complejo de la gestión de los Residuos y Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE).

A modo de cierre, tomamos algunas claves para pensar esta problemática desde los ejes de la Educación Ambiental Integral (EAI), tal como se presentan en el documento “EAI desafíos de la educación ambiental integral en la escuela primaria” del Ministerio de Educación de la Nación (2023):

-Reconocer la complejidad del ambiente: ¿A qué nos referimos cuando hablamos de descartes tecnológicos? ¿Qué tienen que ver con la naturaleza? ¿Cuál es el origen de los materiales que componen los residuos? ¿Cuándo estos descartes se transforman en basura y por qué?

-Analizar los problemas y conflictos ambientales: ¿Qué situaciones problemáticas identificamos en torno al uso y descarte de dispositivos tecnológicos? ¿Qué actores sociales intervienen en estas situaciones? ¿Por qué pensamos esto relacionado a un problema ambiental? ¿Para quiénes es un problema? ¿Siempre fue el mismo problema o ha cambiado a lo largo del tiempo? ¿Qué relaciones podemos encontrar con otros problemas ambientales como la contaminación, la salud, o el cambio climático?

-Ejercer nuestros derechos: ¿Cómo pensamos en torno a este problema? ¿Cómo meros consumidores? ¿Cómo ciudadanos y ciudadanas? ¿Qué tienen que ver la sociedad de consumo con los derechos? ¿Y con las desigualdades? ¿Quiénes generan la mayor cantidad de residuos? ¿Por qué? ¿Cómo podemos proponernos reducir la generación de residuos en términos colectivos y comunitarios? ¿Qué derechos y responsabilidades tenemos?

-Cuidar el ambiente y la sustentabilidad de la vida: ¿En qué consiste la gestión integral e inclusiva de los desechos tecnológicos? ¿Por qué se dice que “el mejor residuo es el que no se genera”? ¿Existen otros modos de diseño y producción para generar menos desechos y cuidar el ambiente y la salud? ¿Cómo contribuye el reciclaje al cuidado del ambiente? ¿Qué podemos hacer desde la escuela para promover el cuidado de la salud ambiental, el consumo responsable y aportar a la gestión integral e inclusiva de los residuos?

Referencias bibliográficas

Merlinsky, G. (2017). Los movimientos de justicia ambiental. La defensa de lo común frente al avance del extractivismo. Disponible en: <https://vocesenelfenix.economicas.uba.ar/los-movimientos-de-justicia-ambiental-la-defensa-de-lo-comun-frente-al-avance-del-extractivismo/>

Ministerio de Educación de la Nación (2023). EAI desafíos de la educación ambiental integral en la escuela primaria: orientaciones para la enseñanza en clave ambiental. Buenos Aires.

Reboratti, C. (2000). Ambiente y Sociedad. Conceptos y relaciones. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Ariel.

Rivero, G. F., Martínez, G., y Fernández, E. (2013). Piensa y actúa glocal. Coltán y residuos electrónicos en la enseñanza de problemas socio-ambientales asociados a la gestión de recursos minerales. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, 21(21.1), 59-72.

Santó, R., y Curto, C. (2008). Los minerales son inocentes; las personas, no. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, 16(3), 287-294.

Sardà Jorge, A., y Sanmartí, N. (2000). Enseñar a argumentar científicamente: un reto de las clases de ciencias. Enseñanza de las Ciencias, 18(3), 405-422.

Svampa. M. (2019). Las fronteras del neoextractivismo en América Latina. Conflictos socioambientales, giro ecoterritorial y nuevas dependencias. Alemania: Centro Maria Sibylla Merian de Estudios Latinoamericanos Avanzados en Humanidades y Ciencias Sociales.

Trillo, J. (2008). Recursos geológicos, sostenibilidad y medio ambiente. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, 16(3), 200-209.

United Nations Environment Programme (2021). Catalysing Science-based Policy action on Sustainable Consumption and Production – The value-chain approach & its application to food, construction and textiles. Nairobi.

Vercelli, A. y Thomas, H. (2008). Repensando los bienes comunes: análisis socio-técnico sobre la construcción y regulación de los bienes comunes. En Helfrich, S. (comp) Genes, bytes y emisiones: Bienes comunes y ciudadanía. México: Ediciones Böll.

Leyendo las huellas del pasado

...para inferir la evolución de nuestro mundo

Rodrigo Martín
Diego Arias Regalía

Una de las funciones principales de las ciencias de la Tierra es generar modelos que permitan reconstruir los cambios que han ocurrido en nuestro planeta a lo largo de su larga historia geológica. Estos cambios incluyen variaciones en el relieve planetario, en los ambientes continentales y marinos, en el clima, en los ecosistemas, etc. En este capítulo centraremos la mirada en los ambientes superficiales.

La dinámica y evolución de cualquier sistema puede pensarse a partir de los procesos de intercambio de materia y energía con otros sistemas, y está influenciada por una combinación de agentes internos y externos al mismo, a los que nos referiremos como "forzantes". Por forzantes internos entendemos aquellos que actúan sobre el ambiente *y son afectados por los cambios en el mismo*, como por ejemplo los que surgen a partir de la interacción entre la criosfera, la hidrosfera, la biosfera, la atmósfera y la superficie de la litosfera. Por otro lado, los forzantes externos son los que actúan sobre el ambiente pero *no son afectados* por los cambios en el mismo, como la actividad solar, las variaciones en la órbita terrestre y el vulcanismo.

Es importante resaltar que desde el enfoque sistémico, los forzantes son internos o externos en función de cuál es sea el recorte o subsistema a estudiar. Así, al poner la mirada en los ambientes superficiales, agentes como el vulcanismo u otros procesos de origen tectónico resultan

externos al mismo. Este enfoque integral permite comprender mejor la dinámica y la evolución de nuestro planeta a lo largo del tiempo.

Como parte de esta dinámica, los accidentes geográficos de origen depositacional (ambientes que son el resultado de la depositación de sedimentos de una forma determinada, por ejemplo: deltas, lagos, ríos, playas, estuarios, entre otros), considerados como sub-sistemas dentro de la superficie terrestre, se ven influenciados por una variedad de factores. Los cambios climáticos, los procesos geológicos a gran escala, la biodiversidad que los caracteriza y la evolución natural del entorno desempeñan roles significativos en su desarrollo. Por ejemplo, los deltas tienden naturalmente a expandirse, generando nuevas islas con el tiempo. Sin embargo, esta dinámica puede ralentizarse debido a cambios climáticos como sequías prolongadas o acelerarse gracias a la vegetación, ya que plantas como los juncos actúan de trampas de sedimentos que facilitan la rápida formación de nuevas islas.

Estos cambios en la composición o velocidad de depositación de los sedimentos pueden reconocerse muchas veces a partir de las variaciones del espesor, de la forma o de la estructura interna de las capas en las que estos sedimentos fueron quedando depositados sobre la superficie.



La erosión en esta montaña ha dejado al descubierto los estratos de rocas sedimentarias.

Fuente: <https://revistacienciasdelatierra.com>

Tras miles de años, un lento proceso de litificación transforma esas capas de sedimento en estratos de rocas sedimentarias. Es interesante notar que, muchas veces, dentro de los estratos se encuentran restos fósiles que dan cuenta de la existencia de ecosistemas contemporáneos con su formación.

De esta manera los sedimentos y las rocas funcionan como un archivo del pasado de nuestro mundo que documenta las interacciones entre estos ambientes, la vida o el clima, entre muchos otros forzantes.

Algunas ideas clave que pueden ayudarnos a organizar el contenido

1- La Tierra se encuentra en constante cambio desde su origen (es un sistema dinámico). Esto es válido tanto para el planeta mirado en su conjunto (el sistema Tierra), como para cada uno de los subsistemas que lo conforman.

2- Estos cambios pueden pensarse como consecuencia de forzantes externos e internos a cada sistema.

3- A su vez, estos cambios afectan a los ambientes sedimentarios y a los ecosistemas que los habitan. Los Humanos somos parte de estos ecosistemas y por ello afectamos nuestro entorno y también somos afectados por el mismo.

4- Los depósitos sedimentarios (resultado de la previa existencia de un ambiente sedimentario y un ecosistema) y luego las rocas sedimentarias (y sus fósiles) suponen el principal archivo de la historia geológica.

Para ampliar y poner en perspectiva esta temática, recomendamos la lectura del texto **“Alfabetización en Ciencias de la Tierra”** de Emilio Pedrinaci y colaboradores (2013), o su ya clásico artículo de 1993 **“La construcción histórica del concepto de tiempo geológico”**. Disponibles respectivamente en:

<https://raco.cat/index.php/ECT/article/view/257532/348370>

<https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/21301/93271>

En este capítulo procuraremos abordar algunas problemáticas y herramientas que permitan trabajar en el aula la reconstrucción de una historia geológica a partir del estudio de registros geológicos, paleontológicos y arqueológicos.

Notas sobre los Principios Estratigráficos

Sería imposible reconstruir la existencia de cambios en un ambiente del pasado si esa información no llegase de alguna manera hasta el presente. Es necesario entonces que los eventos pasados hayan dejado rastro en el registro geológico.

Pedrinaci (2016) resalta la importancia de considerar las rocas y los fósiles como documentos que contienen información sobre este pasado. Aunque es posible que se deba ampliar su definición original para incluir sedimentos no consolidados, registros arqueológicos y restos subfósiles, el concepto central sigue siendo el mismo: en nuestro planeta existen evidencias de los eventos pasados, que podemos interpretar para reconstruir la narrativa subyacente.

En palabras de Aurell y Bádenas (1997), si los registros del pasado fueran un libro, no sería una lectura sencilla. Ya que parte del mismo nunca se escribió, parte de lo escrito se perdió, o es borroso, a veces está desordenado, y siempre en otro idioma.

Pero podemos recurrir a la comprensión de algunos principios básicos de estratigrafía para ayudarnos en la tarea. En este contexto, cuatro principios que consideramos esenciales son: el de Superposición Original, el de Sucesión Biológica, y los de Uniformismo y Actualismo.

El **Principio de Superposición** es el que establece la relación fundamental entre la disposición espacial de los estratos (“lo que vemos”) y la interpretación cronológica que hacemos de un registro. El mismo postula que las capas de sedimento se depositan en una secuencia temporal, donde las más antiguas se encuentran en la parte inferior y las más recientes en la superior. Un ejemplo simplificado e idealizado puede ayudarnos a comprender la idea básica:

Imaginemos un cráter a nivel del suelo, situado en una región árida. Durante el verano, la estación seca, el viento sopla desde el este arrastrando nubes de polvo de un intenso color rojizo-naranja. En invierno, la estación húmeda, las lluvias generan pequeños riachuelos que transportan las arenas blancas de los alrededores hacia el interior del cráter. Así, año tras año, el cráter se cubre alternadamente con una capa gruesa de polvo anaranjado en verano y una fina capa de arena blanca en invierno. Este ciclo se repite durante un siglo, acumulando alrededor de 1,5 metros de sedimento, aunque sin llegar a colmatar el cráter.

Supongamos que decidimos excavar un pozo para observar las capas de sedimento acumuladas a lo largo de estos 100 años. Encontraremos unas 200 capas (dos por año: una gruesa de polvo y otra fina de arena). Si asumimos que cada año se depositó aproximadamente la misma cantidad de sedimento en cada estación, sería lógico esperar que las capas se repitieran siempre igual. Sin embargo, esto no ocurre: las capas inferiores son más delgadas que las superiores. Este fenómeno se explica porque el peso del sedimento suprayacente compacta las capas inferiores, expulsando el aire o agua atrapados en sus poros.

Como 100 años es un período de tiempo corto en términos geológicos, en nuestro ejemplo imaginario las capas compactadas no se han convertido en roca todavía. Para que una capa de sedimento se transforme en roca deben intervenir otros procesos. Por ejemplo, la precipitación de minerales, como el carbonato de calcio, puede actuar como un "pegamento" entre las partículas de sedimento, cementándolas. Si esto no ha ocurrido, puede deberse a varias razones:

- Las capas de sedimento están demasiado lejos de las aguas subterráneas cargadas de carbonato de calcio necesarias para este proceso.
- Las aguas subterráneas en la región no contienen sales suficientes para cementar el sedimento.
- Aunque las capas estén en contacto con aguas subterráneas adecuadas, el proceso de cementación es lento y podría tardar miles de años en completarse.

En nuestra experiencia mental, las láminas de sedimento son claramente distinguibles. La primera capa de polvo rojo/naranja descansa sobre el fondo del cráter, sobre ella se ubica la primera capa fina de arena, y las capas posteriores se apilan sucesivamente en orden cronológico. Así, al contar las láminas y observar su color, podemos determinar tanto el año como la estación en la que se formaron. Por ejemplo, si encontramos un fósil de caracol en la lámina número 40 (contando desde el fondo del cráter hacia arriba), podemos deducir que corresponde a un organismo que vivió unos 20 años luego de la formación de la primera capa o, lo que es lo mismo, hace 80 años (en este campo, los tiempos realmente se miden así, indicando su antigüedad desde el presente).

Imaginemos ahora que identificamos una capa de cenizas volcánicas intercalada en algún lugar entre las capas de sedimentos originales. Podríamos contar las capas de sedimentos naranjas y blancos que se encuentran por encima de esta capa de cenizas y estimar así el momento en que ocurrió la erupción volcánica (por ejemplo, una capa de cenizas a 16 capas de profundidad implicaría que el volcán estuvo activo hace 8 años).

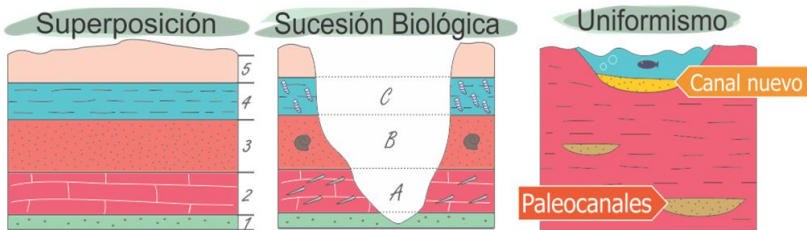
Por supuesto, en el mundo real los sedimentos rara vez se depositan de manera tan uniforme y ordenada. Las láminas no siempre reflejan ciclos anuales, y las condiciones de depositación pueden variar. Esto dificulta determinar con precisión cuántos años han pasado desde un evento como una erupción o la muerte de un organismo fósil. Aun así, lo que podemos afirmar con certeza es que cualquier capa de sedimento en la parte inferior del cráter es más antigua que las que se encuentran por encima de ella (a esto suele llamársele datación relativa: podemos no saber cuántos años han pasado entre dos puntos A y B del registro, pero sabemos que si A está por debajo de B, entonces es anterior).

El **Principio de Sucesión Biológica** permite establecer una cronología en registros sedimentarios mediante el uso de fósiles reconocibles. Este principio postula que los organismos fósiles se sucedieron unos a otros en un orden definido y determinable. Los seres vivos que habitaron las distintas partes del planeta no son los mismos a lo largo de

toda la historia de la Tierra y, por lo tanto, cualquier período geológico puede ser identificado por su contenido de fósiles característicos.

Un concepto complementario y útil aquí es el de fósiles guía. En la historia geológica del planeta encontramos algunas especies que se caracterizaron por un tiempo de existencia relativamente corto pero que, sin embargo, han dejado fósiles abundantes, con amplia distribución geográfica y fáciles de identificar. Estas características hacen de ellos piezas invaluable para por ejemplo correlacionar estratos rocosos alejados (ya que esa especie habitó la Tierra en un período relativamente acotado, encontrar sus restos fósiles en lugares distintos nos permite establecer una correspondencia temporal entre esos estratos).

Los **Principios del Uniformismo y del Actualismo** son fundamentales en las geociencias, pues convierten los registros geológicos y paleontológicos en auténticos documentos históricos al proporcionar una valiosa perspectiva heurística para su interpretación. Estos principios parten de la idea de afirmar que las reglas de funcionamiento del mundo natural actual son esencialmente las mismas del pasado, sosteniendo que los procesos ecológicos y geológicos que observamos en la actualidad son los mismos que han estado en acción a lo largo de la historia del planeta. Esta premisa básica nos brinda la clave para comprender el pasado: al entender los procesos que operan en la actualidad y sus efectos en el registro sedimentario, podemos interpretar las huellas de esos procesos en el pasado para reconstruir una narrativa sobre la evolución de dicho sistema.



Los principios estratigráficos

Los fósiles, la ventana al pasado: algunos recursos para su enseñanza

Debido a su gran atracción entre niños, niñas y adolescentes, los fósiles, especialmente aquellos relacionados con los dinosaurios, se han convertido en una aparición frecuente en el diseño de secuencias didácticas. La paleontología permite capitalizar esto al presentar un ámbito propicio para el desarrollo de algunos aspectos clave del Modelo de Ciencia Escolar (Izquierdo et al, 1999), permitiendo además el trabajo alrededor de conceptos complejos.

Usando fósiles se puede definir una cronología y mostrar cambios en un ecosistema, ambiente o incluso en el clima. Presentamos a continuación una serie de actividades en las que el trabajo con registros fósiles (reales o armados intencionadamente para la actividad) permite abordar la construcción colaborativa de narrativas sobre cambios en el ambiente y el clima de una región.

Las actividades recurren a la aplicación del concepto de *nicho ecológico* para hacer actualismo: a partir de la caracterización de las condiciones ambientales actuales que serían más favorables para una especie se asume que, si esa especie se encuentra en abundancia en el registro geológico es porque en ese momento había condiciones ambientales compatibles.

Un ejemplo sencillo

La imagen de la página siguiente muestra una secuencia de estratos en las que hay cráneos de smilodon (tigre dientes de sable) a distinta profundidad, y entre ellos un registro fósil de ballena. Dado que uno es un organismo terrestre mientras que el otro es acuático, una interpretación posible podría ser que hubo un avance y retroceso rápido del mar (por una variación en su nivel) en una región peri-costera. Para clarificar, *rápido* en este caso puede significar algunos miles de años por ejemplo, y el cambio en la línea de costa (el avance y retroceso mencionados) podría deberse a una variación de tal vez unos metros en la altura del agua.



Secuencia de estratos para ilustrar la actividad

Para ampliar, recomendamos la lectura del artículo **“Cambio Climático y Evolución Ambiental, un taller donde construir el concepto de Tiempo Geológico”** (Martin et al, 2021), en el que se presenta una secuencia didáctica para trabajar con esto.

Disponible en:
<https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/td/article/view/8666408>

Para realizar un trabajo algo más detallado, en el que poder reconstruir (al menos de manera general) múltiples variables ambientales, se necesita contar con fósiles que puedan ser asociados a esas variables. En este sentido, una especie que prolifera cuando las condiciones ambientales le son favorables puede ser considerada un indicador biológico, o un “proxy”, de aquella variable ambiental clave en su proliferación.

Es importante notar, sin embargo, que no alcanza con esa condición para cumplir la función mencionada. La especie en cuestión debe fosilizarse con cierta frecuencia y en cantidades significativas, de modo que el hallazgo de estos fósiles no sea algo excepcionalmente raro. Como dato que ilustra esta necesidad, se estima que solo uno de cada 30 millones de organismos vertebrados se fosiliza, lo que significa que en un país como Argentina por ejemplo (casi 50 millones de habitantes), quizás solo dos de los individuos vivos actualmente podrían terminar fosilizados en el futuro.

Un ejemplo interesante de indicador biológico es el de los ostrácodos, unos crustáceos acuáticos que, con su presencia, indican que un ambiente estuvo o está bajo el agua.

Estos organismos son capaces de adaptarse a diferentes niveles de salinidad: las especies de agua dulce suelen presentar una textura suave, mientras que las de agua salada tienen conchas más texturizadas y ornamentadas.



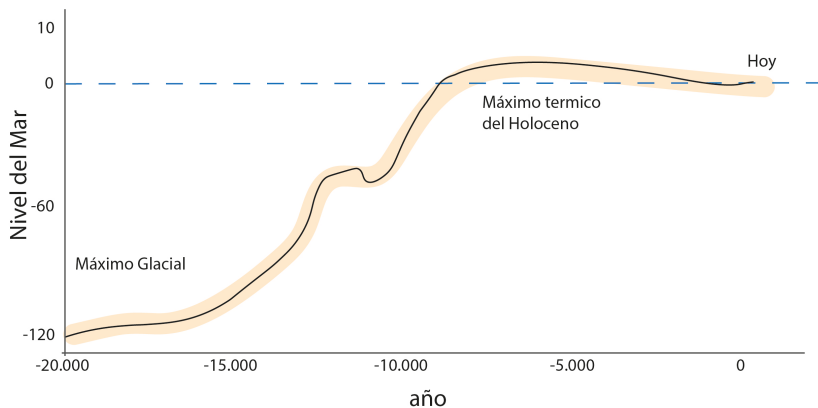
Variación en la textura de las conchas de Ostrácodos en función de la salinidad

Las actividades que siguen juegan con la idea de comprender un proceso ecológico actual para inferir cambios ambientales en el pasado, explotando el vínculo entre distintas variables y trabajando con nichos ecológicos de manera efectiva, fomentando a su vez la observación y el análisis de las adaptaciones de los seres vivos a su entorno. Cada actividad se describe de manera general, y se acompaña de algunas imágenes y gráficos que pueden ser usados directamente, o inspirar la producción de otros materiales. La elaboración final de las consignas concretas y las decisiones sobre las estrategias a implementar quedan, por supuesto, en manos de cada docente.

Glaciaciones, nivel del mar y registro fósil

Esta actividad tiene como objetivo principal establecer una conexión entre el nivel del mar, la forma de la costa y la presencia de hielo continental. Un punto clave será el vínculo entre el crecimiento del hielo continental y el nivel de los océanos, ya que la expansión de los glaciares provoca un descenso significativo del nivel del mar.

Un ejemplo de esto ocurrió durante el Último Máximo Glaciar, hace aproximadamente 20.000 años, cuando el nivel del mar descendió unos 120 metros debido a la acumulación de grandes masas de hielo. Durante este periodo se formaron enormes capas de hielo en el



hemisferio norte, cubriendo extensas áreas de Asia, Europa y Norteamérica. Estas capas, comparables en tamaño a la Antártida, alcanzaron un espesor de hasta 4.000 metros y tuvieron un impacto profundo en la configuración de los continentes y los océanos.

Por otro lado, es importante destacar que el nivel del mar actual no representa el punto más alto registrado en la historia geológica reciente. El máximo nivel del mar ocurrió durante el Máximo Térmico del Holoceno, un periodo comprendido entre hace 8.000 y 4.000 años, como se puede observar en el gráfico. Este fenómeno está relacionado con el calentamiento global posterior a la última glaciación, que provocó el derretimiento de grandes cantidades de hielo y, en consecuencia, un aumento significativo del nivel del mar.

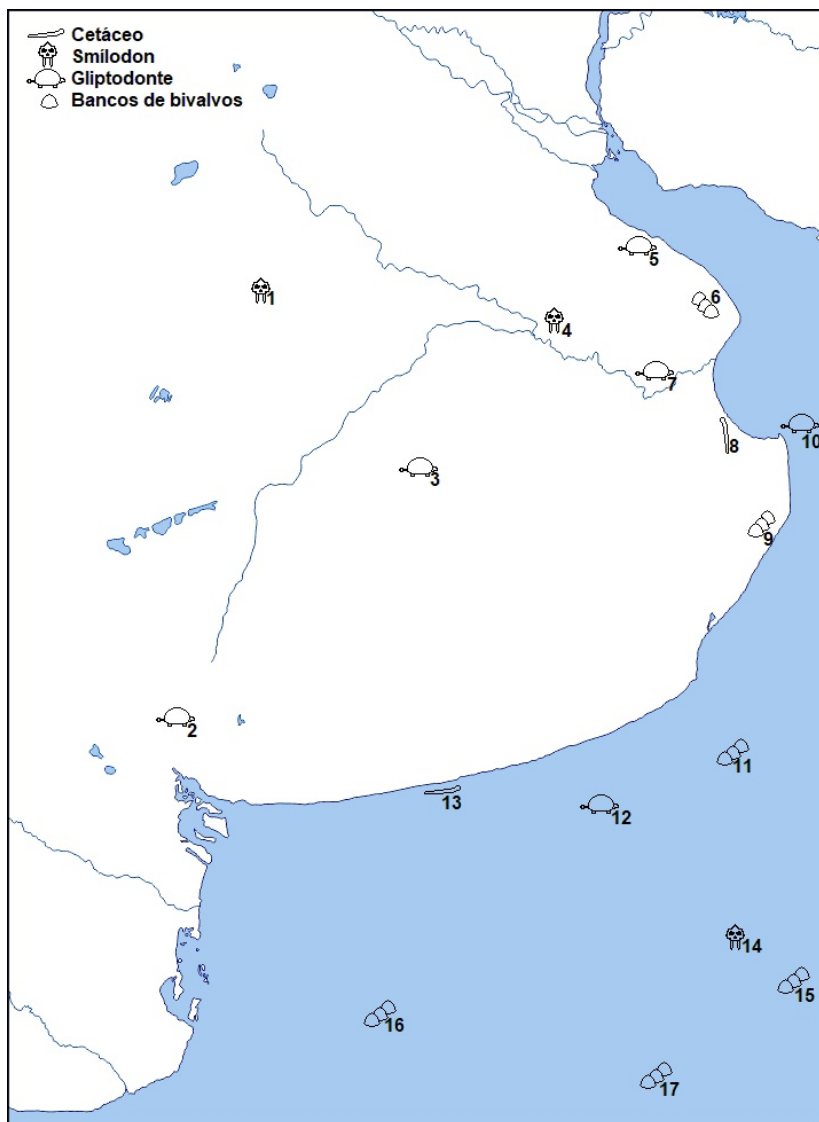
Estas observaciones permiten comprender cómo los cambios en el volumen de hielo continental influyen directamente en la dinámica costera y en los ecosistemas asociados, ofreciendo una perspectiva integral para el análisis de los procesos climáticos y geológicos.

Introducción a la actividad

Imaginemos que, durante la excavación para la construcción de una línea de subterráneo en la ciudad de Buenos Aires, encontramos dos cráneos de tigre dientes de sable y restos de animales marinos, todos en diferentes capas de tierra (puede usarse la imagen que ilustra la sección “Un ejemplo sencillo”).

¿Cómo pueden haber terminado en el mismo lugar fósiles que se corresponden con ambientes tan distintos? ¿Qué características tiene que haber tenido este lugar en esos distintos momentos en función de lo que sabemos sobre estas especies? ¿Se parecen a las características actuales de la zona? ¿Puede haber cambiado de lugar la costa con el tiempo? ¿Puede haber cambiado el clima? Podríamos hacer un análisis más amplio de fósiles encontrados en la zona.

La siguiente tabla muestra la edad aproximada de diversos fósiles encontrados en Buenos Aires, y el mapa da la ubicación de cada uno ya que, en este caso, no han sido



Mapa de hallazgos en la región bonaerense

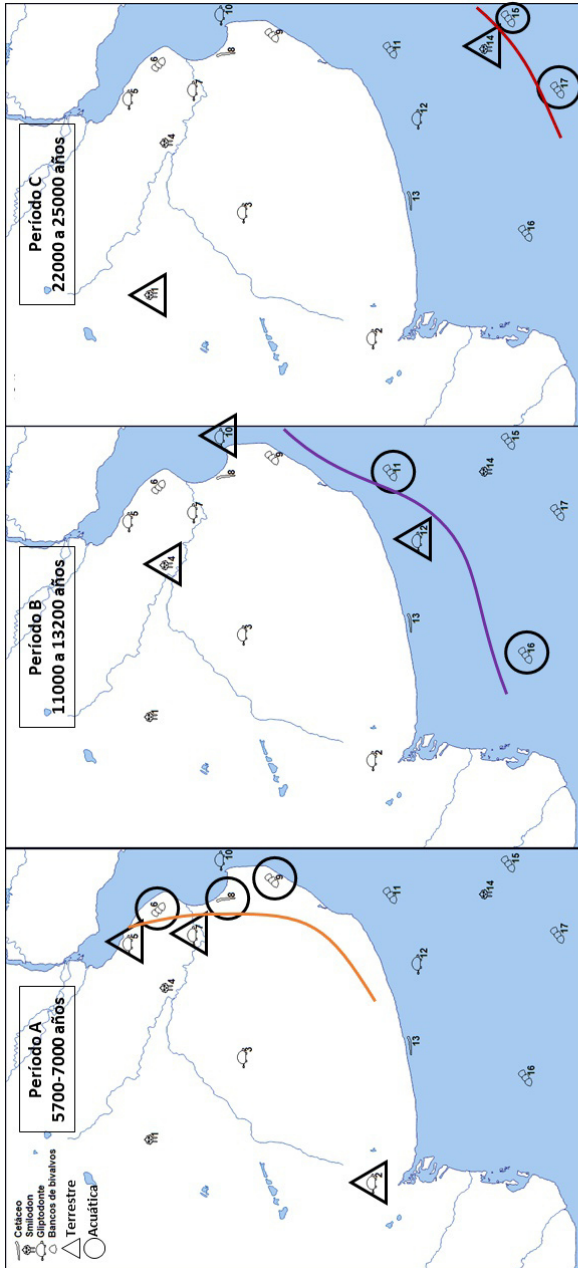
encontrados todos en el mismo lugar (nota: los datos presentados no son reales, pero son compatibles con la información geológica y paleontológica conocida).

#	Fósil	Edad (años antes del presente)
1	Smilodon	25.000
2	Gliptodonte	5.700
3	Gliptodonte	17.000
4	Smilodon	12.600
5	Gliptodonte	6.500
6	Bancos de bivalvos	5.800
7	Gliptodonte	6.200
8	Cetáceo	6.000
9	Bancos de bivalvos	7.000

#	Fósil	Edad (años antes del presente)
10	Gliptodonte	11.000
11	Bancos de bivalvos	12.000
12	Gliptodonte	12.400
13	Cetáceo	2.300
14	Smilodon	23.000
15	Bancos de bivalvos	22.000
16	Bancos de bivalvos	13.200
17	Bancos de bivalvos	24.000

Elementos a tener en cuenta para realizar el análisis

- Podemos vincular el cráneo de Smilodon con el clima frío del último máximo glacial (puede usarse al personaje “Diego” de la película La Era del Hielo como referencia).
- La comparación entre el clima glacial en el que vivía el Smilodon y el clima actual de Buenos Aires permite introducir el cambio climático pre-humano y el concepto de eras glaciares.
- Existe una relación entre las temperaturas globales, la cantidad de hielo glacial y el nivel del mar. En períodos fríos el nivel del mar baja, y en períodos cálidos sube. Preguntarse sobre el origen de ese hielo permite establecer una relación entre un bajo nivel del mar (por ausencia de agua líquida) y el hielo en exceso sobre el continente.
- Smilodones y gliptodontes son terrestres, mientras que los cetáceos y los bivalvos son acuáticos.



Una posible interpretación de la ubicación de la costa en cada periodo

El análisis de la situación propuesta presenta 2 dificultades que deben ser atendidas: Por un lado estamos mirando distintas variables ambientales en simultáneo (si el ambiente es terrestre o marino, si el clima es glacial, si podemos establecer vínculos con el nivel del mar y la ubicación de la línea de costa). Por otro lado, como suele ocurrir en los casos reales, solo tenemos información disponible de algunos lugares y algunas épocas, y con eso debemos armar nuestra reconstrucción.

Armado de una línea de tiempo y mapeo de paleocostas a partir del registro fósil

Ordenar los datos en una línea de tiempo puede ayudar a proponer algunas agrupaciones temporales que permitan pensar en análisis parciales (en el ejemplo resuelto que damos más adelante, los datos aparecen agrupados en 3 períodos distintos). Para cada período, la identificación de fósiles terrestres o acuáticos permite hacer inferencias fundamentadas sobre la ubicación de la línea de costa.

¿Por qué hay fósiles marinos en zonas continentales? o ¿Qué significa encontrar restos de animales terrestres en el mar? ¿Cómo podríamos estimar por dónde pasaba la costa en ese momento?

Respecto de la propia agrupación de los datos elegida, puede problematizarse también el caso de la muestra 13, que al ser mucho más reciente que el resto requiere tomar alguna decisión respecto de su uso. En el ejemplo de análisis que mostramos, ese dato se ha dejado fuera.

Construcción colaborativa de inferencias paleoclimáticas

Para el siguiente punto necesitamos establecer una relación cualitativa entre la ubicación de la línea de la costa y la altura del nivel del mar: si el nivel del mar aumenta el agua avanza sobre el continente, mientras que si baja ocurre lo contrario.

Podemos entonces incorporar en la línea de tiempo alguna indicación (cualitativa) respecto del nivel del mar en cada período.

Finalmente, recurriendo a la relación entre el nivel del mar y la cantidad de hielo continental, podemos identificar periodos fríos y cálidos dentro del rango de tiempo trabajado.

Estratos y reconstrucción climática

El objetivo de esta segunda actividad es que los y las estudiantes comprendan conceptos fundamentales de estratigrafía, como la diferencia entre cronología relativa y absoluta, y utilicen estos conocimientos para reconstruir la historia ambiental de una zona en los últimos 10000 años, a través de la identificación de especies fósiles y los cambios ecológicos asociados a variaciones climáticas. Además, se busca reconocer huellas de actividades humanas en los registros sedimentarios.

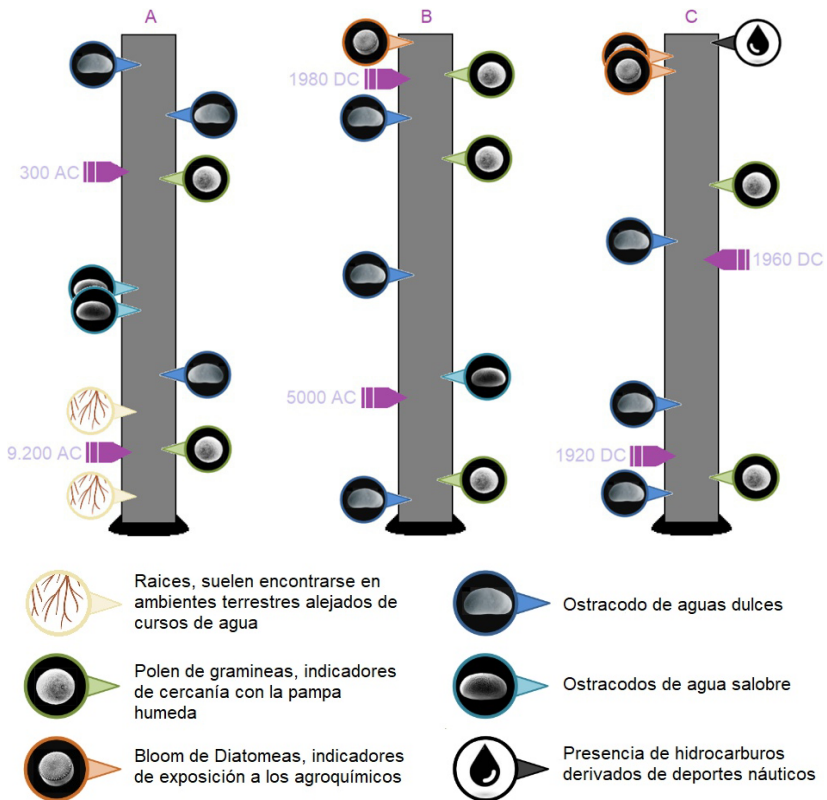
Para esta actividad necesitamos una versión simplificada de varios testigos sedimentarios (en el ejemplo usaremos 3) obtenidos del fondo de lagunas ubicadas en la provincia de Buenos Aires. Estos testigos pueden ser presentados de manera esquemática (como en la imagen mostrada a continuación) o contruidos usando tubos de acrílico a los que se rellena de manera de simular la muestra, para favorecer la inmersión en el caso.

Testigos sedimentarios

Un testigo sedimentario es una muestra de sedimento que se extrae para analizar sus características. Normalmente tiene forma cilíndrica debido al método utilizado para su obtención (una broca hueca que, al ser extraída, contiene en su interior la muestra buscada).

Los testigos sedimentarios son valiosos para identificar cambios ambientales a lo largo del tiempo; determinar la litología de sedimentos; o identificar fallas, vetas, estratificaciones y rasgos estructurales.

Cada grupo de trabajo tendría que recibir los testigos sedimentarios, un catálogo breve de especies con las características más relevantes de sus nichos ecológicos, y dataciones absolutas hipotéticas marcadas en algunas posiciones sobre el testigo (en la narrativa de la actividad, esta última información podría haber sido obtenida previamente a partir del envío de una muestra de los testigos a un laboratorio que realice la datación).



Versión esquemática de los testigos sedimentarios.

La clave indica qué restos se encontraron en qué lugar de cada muestra. Además, sobre cada testigo hay marcas que indican dataciones absolutas. Esta marcas pueden ser usadas como referencia para la datación de otras partes de la muestra.

Es importante promover primero una interpretación conceptual de lo que se está viendo, que permita pensar, por ejemplo, en cómo se habrán obtenido esos testigos, en la diferencia entre cronologías absolutas y relativas, o en cómo las tasas de sedimentación podrían utilizarse para estimar edades¹.

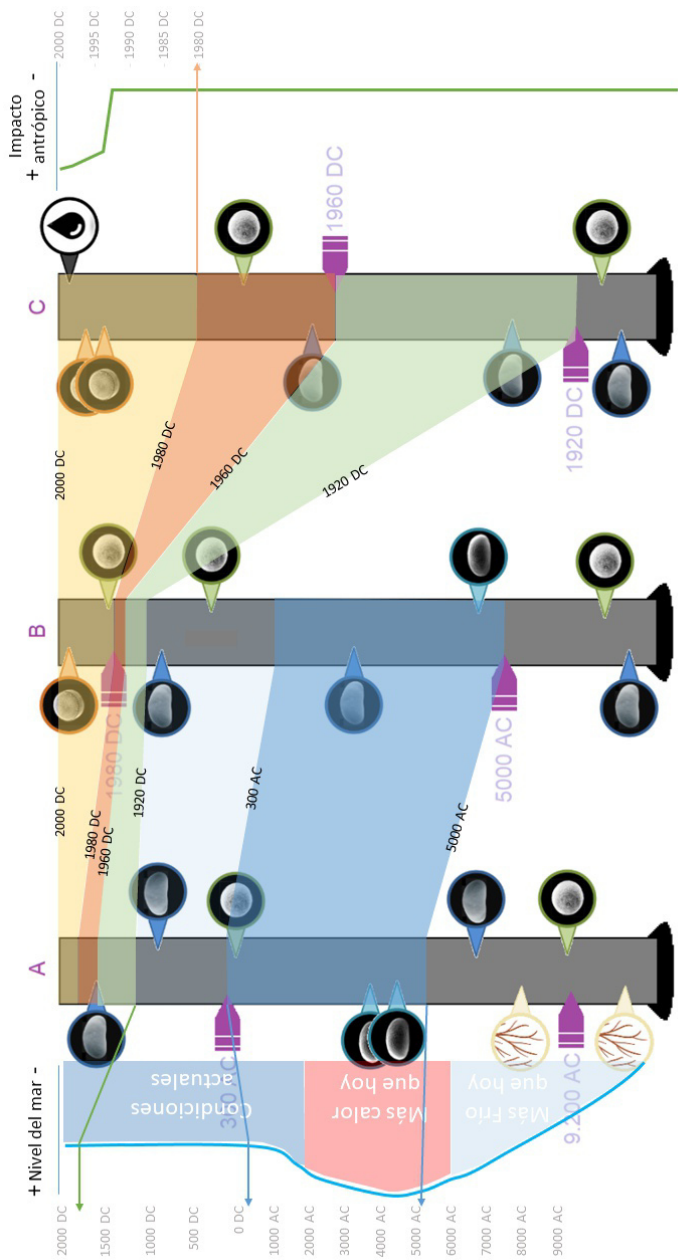
Adaptar el material en función de lo local

Las actividades presentadas permiten que, a partir de un análisis de tipo abductivo, los y las estudiantes desarrollen hipótesis sobre cambios ambientales en una región.

A su vez, promueven un ámbito de discusión donde es posible establecer relaciones entre el registro fósil y la interpretación de la historia geológica, o el impacto de las actividades humanas en el pasado reciente.

El ejemplo y los materiales propuestos corresponden a la provincia de Buenos Aires, pero alentamos a los y las docentes a generar, a partir de estos ejemplos, materiales adaptados a sus contextos específicos. A su vez, si se cambia el insumo de los testigos sedimentarios obtenidos del fondo de lagunas por otros tipos de registros estratigráficos, puede aumentarse tanto la escala temporal abordada como el tipo de fenómenos a interpretar para la reconstrucción de la historia del paisaje local.

¹ Una primera aproximación sencilla sería asumir que durante cada período reconocible en el testigo, la tasa de sedimentación ha sido aproximadamente constante. Podría estimarse esa tasa viendo la altura de la capa de sedimentos en cuestión y el tiempo que ha pasado.



Posible interpretación a partir de los testigos: las marcas de datación absoluta se usan para poner en correspondencia los registros. Al usarlo junto a la información del gráfico de la página 128, pueden realizarse inferencias sobre el nivel del mar y la temperatura (relativas a las condiciones actuales), y sobre el impacto antrópico en la zona.

Referencias bibliográficas

Acevedo, M., Franzoni, J. N., González, M. E., Viqueira, M., & Arias Regalía, D. (2019). La inmutabilidad aparente del planeta, el catastrofismo y la escala temporal geológica como obstáculos para la percepción del riesgo. *Terræ Didactica*, 15, 1-7. DOI:10.20396/td.v15i0.8654691.

Aurell, M., & Bádenas, B. (1997). Didáctica de las ciencias estratigráficas. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 5(3), 195-199.

Izquierdo, M., Espinet, M., García, M. P., Pujol, R. M., y Sanmartí, N. (1999). Caracterización y fundamentación de la ciencia escolar. *Enseñanza de las Ciencias*, 17, 79-91.

Martín, R., Franzoni, J., Laino, L., Rodríguez Rizk, G. (2021). Cambio Climático y Evolución Ambiental, un taller donde construir el concepto de Tiempo Geológico. *Terræ Didactica*, 17, 1-9. DOI: 10.20396/td.v17i00.8666408.

Pedrinaci, E. (2001). Dificultades de aprendizaje: aportaciones deducidas de las ideas de los alumnos sobre la dinámica terrestre. *Los Procesos Geológicos Internos*.

La danza de las rocas

Ciclo de las rocas y volcanismo

Cynthia Tunstall
Diego Arias Regalía

El volcanismo, con su fascinante dinámica y sus impactantes efectos, ha despertado un innegable interés a lo largo de la historia de la humanidad. Los volcanes representan una de las manifestaciones más impactantes de lo que ocurre en el interior del planeta ya que, a diferencia de otros fenómenos geológicos, es casi imposible no pensarlos como una ventana a ese interior. No resulta extraño, entonces, que durante mucho tiempo se haya pensado en un interior de la Tierra completamente fundido, a semejanza de la lava que sale del volcán.

Los modelos que describen a la Tierra como un planeta mayormente sólido, organizado en capas concéntricas con distinta composición, temperatura y densidad, son relativamente modernos, y se consolidaron a partir del desarrollo y perfeccionamiento del estudio de las ondas sísmicas que viajan por el interior del planeta.

Y si bien ya no pensamos en que la lava sea representativa del estado de los materiales en el interior de la Tierra, los volcanes, como manifestaciones superficiales de la dinámica interna, nos permiten explorar la estructura y el funcionamiento de nuestro planeta, particularmente en sus capas más externas (corteza y manto). Esta conexión entre lo superficial y lo profundo refuerza el potencial pedagógico de los volcanes: al trabajar con su dinámica, docentes y estudiantes pueden emprender un viaje hacia ese mundo subterráneo rico y dinámico, comprendiendo no solo los procesos internos de la Tierra, sino también la

interconexión entre los subsistemas terrestres y su impacto —directo o indirecto— en nuestra vida cotidiana.

Además, nada ilustra mejor la formación de rocas que un volcán en erupción. La lava que fluye desde su cráter no es solo un espectáculo natural: al enfriarse, se transforma en rocas ígneas volcánicas, ejemplo tangible de cómo el material fundido del interior de la Tierra se convierte en suelo sólido bajo nuestros pies.

Con esto como punto de partida, el capítulo propone vincular un fenómeno fácilmente reconocible —el volcanismo— con algunos procesos geológicos que lo explican y, fundamentalmente, con algunos de los modelos que permiten comprender la dinámica del planeta. En este camino revisaremos ideas sobre el interior de la Tierra, la formación de las rocas ígneas, el ciclo de las rocas y la relación entre el volcanismo y la tectónica de placas, incorporando también aportes de la didáctica de las ciencias de la Tierra para pensar la enseñanza de estos temas.

La Tierra como sistema dinámico: materia y energía en movimiento

Como se desarrolló en el capítulo 1, la Tierra puede entenderse como un sistema dinámico en el que interactúan constantemente el flujo de energía y la circulación de materiales. Las distintas capas internas del planeta no funcionan de forma independiente, sino que se encuentran interconectadas, de modo que los cambios que ocurren en una de ellas pueden generar efectos en otras. Esta perspectiva permite comprender fenómenos geológicos como el vulcanismo, la tectónica de placas o el metamorfismo, y favorece una visión del planeta como un sistema integrado y en continua evolución.

Los materiales que componen la Tierra se originan y transforman a través de procesos que se desarrollan a distintas escalas de tiempo. Tanto los procesos geológicos internos como los externos modifican las condiciones físicas y químicas del entorno, impulsando cambios continuos en los materiales a lo largo del tiempo geológico. Estas

transformaciones pueden ser graduales o abruptas, desarrollarse lentamente durante largos períodos de tiempo o manifestarse en eventos puntuales de gran intensidad.

En el funcionamiento de este sistema intervienen tres grandes fuentes de energía. Por un lado, una fuente interna, vinculada al calor residual de la formación del planeta y a la desintegración radiactiva de ciertos elementos presentes en su interior. Por otro lado, una fuente externa, asociada principalmente a la energía proveniente del Sol, y finalmente, la acción de la propia gravedad. La interacción entre estas fuentes de energía y los materiales terrestres produce cambios físicos y químicos que dan lugar a la dinámica geológica del planeta.

A lo largo de la historia del planeta, los materiales geológicos pueden desplazarse entre distintos ambientes. Rocas y sedimentos formados en la superficie pueden ser transportados hacia zonas profundas como consecuencia de la subsidencia o de la dinámica de las placas tectónicas, donde quedan sometidos a mayores presiones y temperaturas. De manera inversa, materiales que se originaron en zonas profundas de la corteza —o incluso del manto— pueden ascender y aflorar en la superficie mediante procesos de elevación y erosión. Esta circulación de materiales entre el interior y la superficie constituye uno de los rasgos más característicos de la dinámica terrestre. Una forma interesante de ilustrar esta dinámica es a través de las transformaciones que experimentan las rocas a lo largo del tiempo geológico.

La Danza de las Rocas: Un Viaje a Través del Ciclo Geológico

A primera vista, las rocas pueden parecer objetos inertes y permanentes, presentes en el paisaje desde siempre. Sin embargo, cada roca que vemos hoy constituye el resultado de una serie de procesos geológicos que actuaron a lo largo del tiempo, dejando su marca sobre ella. Su composición, su textura y su estructura guardan información sobre las condiciones en las que se formó y sobre su historia geológica. En este sentido, las rocas pueden entenderse como evidencias de la historia dinámica del planeta.

Las rocas son el material más abundante de la Tierra y se presentan en una gran variedad de formas, colores y texturas. Cada roca está formada por pequeños cristales o granos llamados minerales, que tienen propiedades específicas y pueden variar en tamaño desde microscópicos hasta visibles a simple vista. El tipo de minerales que contiene y la estructura en la que estos se organizan influyen directamente en el aspecto y las características de la roca.

Como tanto la composición como la textura son el resultado de los procesos geológicos que dieron origen a la roca, a partir de su análisis es posible reconstruir cómo se formaron y, con ello, entender mejor el funcionamiento del planeta. Esto ha dado lugar a una clasificación de las rocas en tres grandes grupos, según cómo son los procesos que las originan: ígneas, sedimentarias y metamórficas.

Pero la Tierra funciona como un sistema dinámico en el que las rocas no son elementos estáticos y aislados, sino que están interconectadas a través de procesos que ocurren tanto en la superficie como en el interior del planeta y, miradas a lo largo del tiempo geológico, se transforman continuamente mediante esos mismos procesos. Por ejemplo, rocas sedimentarias que se funden en el interior de la corteza pueden dar origen a rocas ígneas. Una roca ígnea en la superficie puede sufrir erosión, produciendo así los sedimentos que luego, por procesos de litificación, terminarán transformados en otra roca sedimentaria, etc. Este conjunto de transformaciones se conoce como el ciclo de las rocas, que representa una forma de entender cómo están conectados entre sí los distintos tipos de roca.

Las investigaciones en didáctica de las geociencias muestran que los estudiantes suelen tener dificultades para comprender los procesos de la dinámica terrestre. En el capítulo 2, dedicado a la construcción del concepto de tiempo geológico, se presentaron algunas de las cuestiones que suelen actuar como obstáculos para esta comprensión. Entre ellas, en este apartado nos detendremos en las relacionadas con el origen y la naturaleza de las rocas.

Tendemos a naturalizar la existencia de las rocas y a pensar en ellas desde una perspectiva eminentemente

estática, como materiales muy estables que no experimentan cambios de importancia. No nos resulta difícil en general aceptar procesos destructivos como roturas, desgaste o erosión, pero la idea implícita que se desprende de muchas investigaciones sobre nuestras creencias o modelos explicativos ingenuos es que las rocas actualmente existentes son, esencialmente, tan antiguas como la Tierra misma.

Pedrinaci (2001) llama la atención sobre que, en el contexto escolar, muchas veces se presenta la clasificación a priori de las rocas en ígneas, sedimentarias y metamórficas, sin subrayar que justamente esa clasificación hace referencia a la génesis de las rocas: esto es, que todas tienen un origen. Recién a partir de esto cobraría sentido establecer las categorías. Esto convierte la clasificación en parte del modelo, no en una simple lista.

Tipos de rocas

Las **rocas ígneas** se forman cuando el magma —roca fundida que se origina en zonas profundas de la corteza o en el manto superior— se enfría y solidifica. Si este enfriamiento ocurre lentamente en el interior de la corteza (miles de años), los cristales de sus minerales constitutivos tienen tiempo de crecer antes de que el material se solidifique, formándose rocas de grano grueso llamadas plutónicas, como el granito. Distintos procesos (por ejemplo tectónicos) pueden elevar esas rocas desde las profundidades de la corteza hasta posiciones más superficiales, donde la erosión de lo que tengan por arriba puede dejarlas expuestas. En cambio, si el magma llega a la superficie y se enfría rápidamente, como sucede en una erupción volcánica, se forman rocas volcánicas de grano fino, como el basalto.

Si bien ambos sub-tipos de rocas ígneas se originan en el enfriamiento y solidificación del magma, sus características finales reflejan (y permiten diferenciar) detalles del proceso que les dio origen.

Las **rocas sedimentarias** se originan a partir de restos de otras rocas que han sido fragmentadas o alteradas por la acción mecánica o química de distintos agentes. Estos sedimentos se transportan por el agua, el viento o el hielo, y se acumulan en

capas horizontales en lugares como deltas, llanuras fluviales inundables o cuencas oceánicas. Con el tiempo, y debido al peso de las capas superiores y a la acción de minerales disueltos en el agua, los sedimentos se compactan y cementan, formando rocas.

Aunque las rocas sedimentarias representan solo una pequeña fracción del volumen total de la corteza terrestre, son las que encontramos de manera más frecuente dado que se forman cerca de la superficie. A partir de las características de estas rocas pueden realizarse importantes inferencias respecto de cómo fueron transportados y depositados los sedimentos, cómo eran las características del ambiente en el pasado, y qué organismos vivieron en ese lugar y esa época (ya que constituyen el principal depósito de fósiles).

Las **rocas metamórficas** se forman a partir de rocas ígneas, sedimentarias o incluso de otras rocas metamórficas, cuando éstas son sometidas a altas presiones y temperaturas sin llegar a fundirse. Estos cambios, que pueden ser leves o muy intensos, modifican su estructura y composición mineral. Como resultado se generan nuevas texturas y minerales, que muchas veces vuelven irreconocible a la roca original.

El metamorfismo puede producirse por el contacto de las rocas con cuerpos magmáticos (por ejemplo en una intrusión de material fundido), por la circulación de fluidos calientes entre las fracturas de la roca (por ejemplo debido a actividad hidrotermal) o como resultado de las grandes presiones que se producen durante los procesos de formación de montañas (metamorfismo regional). Muchas regiones montañosas y zonas profundas de los continentes están compuestas por este tipo de rocas.

Abordar estas cuestiones desde una perspectiva sistémica permite movilizar estas ideas, al introducir elementos conceptualmente centrales: los ciclos de materia y flujos de energía del ciclo de las rocas.

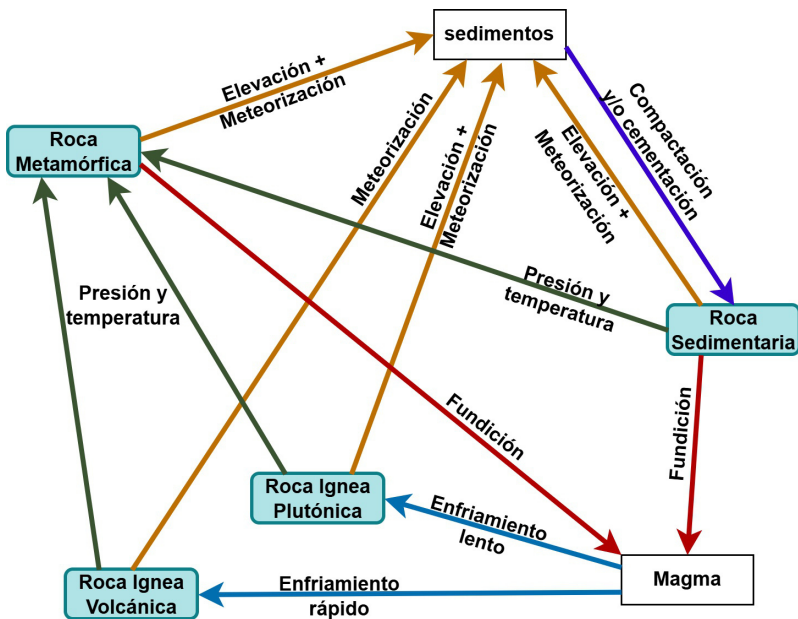
A través de la interacción entre procesos internos y externos se generan los diferentes tipos de rocas que encontramos en la Tierra. Estas rocas experimentan cambios a lo largo de grandes períodos temporales, formando parte de un ciclo que implica la formación, transformación y reformación continua de las rocas. Comprender el ciclo de las rocas nos permite apreciar cómo

los distintos tipos están interconectados y cómo pueden transformarse unos en otros a lo largo del tiempo geológico.

Es importante notar que este ciclo no es un mecanismo causal para la formación de las rocas, sino un modelo que permite establecer relaciones entre sus distintos tipos. Es decir, los materiales que forman una roca particular no van necesariamente a recorrer todos estos pasos ni a formar parte de todos los tipos de roca en algún momento.

En muchos materiales escolares se representa el ciclo de las rocas como una secuencia circular. Sin embargo, esto puede resultar engañoso: Un mismo material puede atravesar algunas de estas transformaciones o permanecer largos períodos sin experimentar cambios significativos, y no necesariamente pasar por todas las etapas del ciclo.

Una forma de pensarlo es imaginar una red de procesos con varios caminos posibles y sin punto de inicio ni de final.



El ciclo de las rocas

Fuente: Adaptado de Tarbuck y Lutgens (2005)

El magma es la roca fundida que se forma a una gran profundidad por debajo de la superficie de la Tierra. Con el tiempo, el magma se enfría y se solidifica. Este proceso, denominado cristalización, puede ocurrir debajo de la superficie terrestre o, después de una erupción volcánica, en la superficie.

En cualquiera de las dos situaciones, las rocas resultantes se denominan rocas ígneas. Si las rocas ígneas afloran en la superficie experimentarán meteorización, en la cual la acción de la atmósfera desintegra y descompone lentamente las rocas.

Los materiales resultantes pueden ser desplazados pendiente abajo por la gravedad antes de ser captados y transportados por algún agente erosivo como las aguas superficiales, los glaciares, el viento o las olas. Por fin, estas partículas y sustancias disueltas, denominadas sedimentos, son depositadas. Aunque la mayoría de los sedimentos acaba llegando al océano, otras zonas de acumulación son las llanuras de inundación de los ríos, los desiertos, los pantanos y las dunas.

Los sedimentos pueden experimentar litificación, un término que significa «conversión en roca». El sedimento suele litificarse dando lugar a una roca sedimentaria cuando es compactado por el peso de las capas suprayacentes o cuando es cementado conforme el agua subterránea de infiltración llena los poros con materia mineral.

Si la roca sedimentaria resultante se entierra profundamente dentro de la Tierra e interviene en la dinámica de formación de montañas, o si es intruida por una masa de magma, estará sometida a grandes presiones o a un calor intenso, o a ambas cosas.

La roca reacciona ante el ambiente cambiante y se convertirá en un tercer tipo de roca, una roca metamórfica. Cuando la roca metamórfica es sometida a cambios de presión adicionales o a temperaturas aún mayores, puede fundirse, creando un magma, que acabará cristalizando en rocas ígneas.

Los procesos impulsados por el calor desde el interior de la Tierra son responsables de la creación de las rocas ígneas y metamórficas. La meteorización y la erosión, procesos externos alimentados por una combinación de energía procedente del Sol y la gravedad, producen el sedimento a partir del cual se forman las rocas sedimentarias.

Las rocas ígneas, en vez de ser expuestas a la meteorización y a la erosión en la superficie terrestre, pueden permanecer enterradas profundamente. Esas masas pueden acabar siendo sometidas a fuertes fuerzas de compresión y a temperaturas elevadas asociadas con la formación de montañas. Cuando esto ocurre, se transforman directamente en rocas metamórficas.

Las rocas metamórficas y sedimentarias, así como los sedimentos, no siempre permanecen enterrados. Las capas superiores pueden ser eliminadas (por erosión por ejemplo), dejando expuestas las rocas que antes estaban enterradas.

Cuando esto ocurre, los materiales son meteorizados y convertidos en nueva materia prima para las rocas sedimentarias.

Las rocas pueden parecer masas invariables, pero el ciclo de las rocas nos presenta otra idea. Los cambios, sin embargo, requieren tiempo; grandes cantidades de tiempo.

La Estructura Interna y sus Implicaciones Geológicas

Muchos de los procesos que intervienen en la formación y transformación de las rocas —como el vulcanismo, el metamorfismo o la tectónica de placas— están vinculados con dinámicas que ocurren en el interior del planeta. Aunque en general estos procesos no pueden observarse directamente, ya sea porque se desarrollan a grandes profundidades o porque ocurren a lo largo de extensos períodos de tiempo, sus efectos pueden manifestarse en la superficie terrestre.

Comprender estos fenómenos requiere, por lo tanto, considerar cómo está organizado el interior de la Tierra. Las características físicas y químicas de sus distintas regiones condicionan la manera en que circula la energía y la materia dentro del planeta, y permiten explicar muchos de los procesos geológicos que modelan la superficie.

La Tierra no es un cuerpo homogéneo. Durante las primeras etapas de su formación, el planeta experimentó intensos procesos de acreción y numerosos impactos de cuerpos extraplanetarios, lo que generó una importante liberación de energía y un aumento progresivo de la temperatura en su interior. Como consecuencia de este calentamiento, parte de los materiales experimentó

procesos de fusión parcial, lo que permitió que se reorganizaran según su densidad en un proceso conocido como diferenciación planetaria. Los elementos más densos, como el hierro y el níquel, tendieron a concentrarse hacia el centro del planeta, mientras que los materiales más livianos se ubicaron en las regiones externas. Como resultado de este proceso se estableció una estructura interna heterogénea organizada en capas aproximadamente concéntricas.

Para ampliar, recomendamos la lectura del artículo **El origen de la Tierra**, de Jesús Martínez Frías (2013).

Disponible en:

<https://www.raco.cat/index.php/ECT/article/view/274147/362240>

Dos formas de describir el interior del planeta

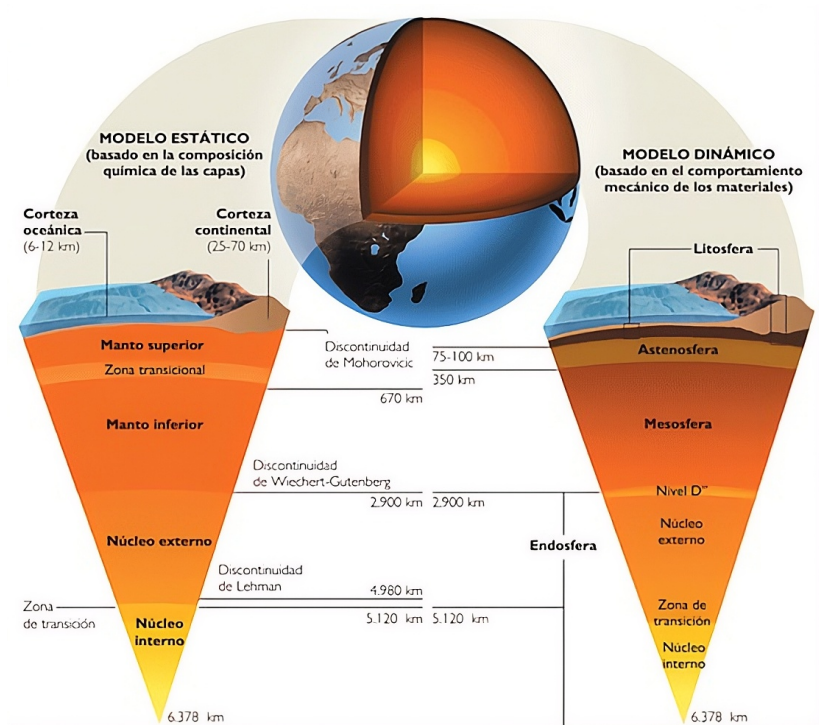
Para estudiar esta estructura interna, los geólogos utilizan distintos modelos que responden a criterios diferentes. En términos generales, pueden distinguirse dos formas principales de describir el interior de la Tierra.

El modelo composicional o geoquímico se basa en la composición de los materiales que constituyen el planeta. Desde esta perspectiva, la Tierra se divide en tres grandes capas: corteza, manto y núcleo, cada una con características químicas diferenciadas.

Por su parte, el modelo dinámico o mecánico se centra en el comportamiento físico de los materiales y en la forma en que estos responden a las condiciones de presión y temperatura del interior terrestre. Este enfoque distingue capas como la litosfera, la astenosfera, la mesosfera y el núcleo, definidas por sus propiedades mecánicas.

La existencia de estos dos modelos responde a la necesidad de explicar distintos aspectos de un mismo sistema. Mientras que el modelo composicional permite comprender de qué está hecha la Tierra, el modelo dinámico ayuda a explicar cómo se comportan sus materiales y cómo se producen ciertos procesos geológicos.

Lejos de contradecirse, ambos enfoques se complementan y permiten construir una visión más completa del funcionamiento interno del planeta.



Representación de los dos modelos utilizados para estudiar la estructura interna de la Tierra. El modelo estático se basa en la composición química de los materiales, mientras que el modelo dinámico considera su comportamiento físico y mecánico. Ambos modelos permiten comprender distintos aspectos de la dinámica interna del planeta y resultan complementarios para el estudio de los procesos geológicos. (Imagen: <https://www.geoxnet.com>)

En el modelo composicional, la estructura interna de la Tierra se organiza en tres grandes capas: la corteza, el manto y el núcleo.

La corteza es la capa más externa y delgada del planeta. Su espesor es muy variable: puede tener apenas unos pocos kilómetros en algunas regiones oceánicas y alcanzar

varias decenas de kilómetros en zonas continentales montañosas. En términos relativos, su espesor es muy pequeño en comparación con el tamaño total de la Tierra, por lo que suele compararse con la cáscara de un huevo.

Debajo de la corteza se encuentra el manto, que se extiende hasta unos 2900 km de profundidad y constituye la mayor parte del volumen del planeta. Aunque está compuesto por rocas sólidas, estas pueden deformarse muy lentamente cuando se encuentran sometidas a altas presiones y temperaturas durante largos períodos de tiempo. Esta capacidad de deformación permite la circulación de materiales en su interior.

En el centro del planeta se encuentra el núcleo, una región dominada por metales, principalmente hierro y níquel. Esta zona desempeña un papel fundamental en la dinámica interna de la Tierra y está relacionada, entre otros procesos, con la generación del campo magnético terrestre.

Las ideas de los estudiantes sobre el interior de la Tierra

Comprender la estructura interna del planeta no resulta sencillo dado que, entre otras cosas, se trata de un espacio inaccesible a la observación directa, con propiedades muy distintas a las observadas en superficie, y en el que los procesos se desarrollan a lo largo de muy grandes períodos de tiempo.

Diversas investigaciones en didáctica de las ciencias muestran que, cuando se pide a los estudiantes que dibujen o describan el interior de la Tierra, aparecen representaciones muy variadas. En los primeros años de escolaridad es frecuente encontrar dibujos que representan el interior del planeta como una esfera sólida homogénea o incluso como un espacio con cavernas, animales o personas, lo que sugiere que aún no se ha construido una idea clara sobre su estructura.

A medida que los estudiantes avanzan en su escolaridad comienzan a aparecer representaciones que incluyen capas internas, generalmente dibujadas como anillos concéntricos. Pero pocas veces pueden explicar por qué

esas capas deberían tener esa forma. En muchos casos, la imagen parece provenir de analogías utilizadas en la enseñanza —como la comparación con una cebolla o con un blanco de dardos— más que de una comprensión del proceso geológico que dio origen a esa estructura.

Aunque estas analogías pueden ayudar a imaginar la existencia de regiones internas diferenciadas, también pueden generar la idea de que las capas del planeta son perfectamente regulares y están claramente separadas. En realidad, los límites entre muchas de estas regiones son graduales y su propia definición depende del modelo utilizado.

Una dificultad asociada es la confusión entre los distintos criterios aplicables para describir la estructura interna de la Tierra. En muchos casos se mezclan o superponen las capas definidas por su composición —corteza, manto y núcleo— con aquellas definidas por su comportamiento mecánico —litósfera, astenósfera, etc. — sin reconocer que responden a modelos diferentes.

También es común que el espesor de la corteza aparezca exagerado en relación con el tamaño del planeta, lo que indica la necesidad de dedicar atención a las escalas involucradas y de realizar cierta curaduría de los materiales y recursos utilizados. Muchas imágenes sobre-representan el espesor de una corteza que, si fuera dibujada en la escala correcta, sería prácticamente indistinguible.

Como las propiedades de los materiales sometidos a condiciones de alta presión y temperatura a lo largo de grandísimos períodos de tiempo son tan distintas de lo que ocurre en superficie, resulta difícil formarse una imagen mental de algunos procesos subsuperficiales. Por ejemplo, la idea de que las rocas pueden fluir dúctilmente bajo estas condiciones no encaja con la experiencia cotidiana respecto del comportamiento de los sólidos. Cuestiones como la convección en el manto, el desplazamiento de la litósfera o la “desaparición” en el manto inferior de las placas litosféricas subducidas llevan muchas veces a imaginar el interior de la Tierra como una gran masa de material fundido. En este marco, el manto suele interpretarse como una capa líquida y el magma como un material que ocupa gran parte del interior del planeta.

En otras representaciones en las que sí se piensa un interior sólido, el magma aparece conectado directamente con el núcleo terrestre, como si los volcanes fueran conductos que llegan hasta el centro del planeta.

Estas representaciones simplificadas pueden dificultar la comprensión de procesos como la generación del magma o la dinámica de las placas tectónicas¹.

Incluso entre docentes se han detectado algunas concepciones alternativas similares, lo que pone de manifiesto la complejidad conceptual de estos temas y la importancia de trabajar cuidadosamente con los modelos utilizados para representarlos.

Comprender cómo está organizado el interior de la Tierra constituye un paso fundamental para interpretar muchos procesos geológicos. Esta estructura es la que sirve de marco para explicar fenómenos como la dinámica del manto, la tectónica de placas o la generación del magma, que serán abordados en las secciones siguientes.

Para reflexionar

En los libros de texto y en las clases de geología suelen aparecer distintos esquemas de la estructura interna de la Tierra. Algunos muestran las capas corteza–manto–núcleo, mientras que otros presentan divisiones como litosfera, astenósfera o núcleo externo e interno.

¿Por qué una misma región del planeta puede aparecer clasificada de maneras diferentes según el esquema utilizado?

Esta pregunta permite discutir con los estudiantes que los modelos científicos no son copias exactas de la realidad, sino herramientas que se construyen para explicar distintos aspectos de un fenómeno.

Para profundizar, recomendamos la lectura del artículo **Ideas previas en el alumnado sobre el interior de la Tierra**, de Carrillo Rosúa y colaboradores (2010).

Disponible en: <https://digibug.ugr.es/handle/10481/5558>

¹ Nota: el magma se genera principalmente en la parte superior del manto o en la corteza inferior, en regiones generalmente asociadas a límites de placas o a puntos calientes, en donde se dan condiciones particulares de temperatura, presión o presencia de agua.

Las rocas ígneas y los volcanes

En la enseñanza de las ciencias de la Tierra, las rocas ígneas suelen ocupar un lugar destacado debido a que su origen se asocia directamente con procesos visibles y llamativos como el volcanismo. Sin embargo, esta centralidad puede conducir a una interpretación simplificada de la dinámica geológica, en la que las rocas ígneas aparecen como el “punto de inicio” del ciclo de las rocas. Resulta fundamental destacar que las rocas ígneas no constituyen un estado inicial obligatorio, sino una de las múltiples formas que pueden adoptar los materiales terrestres a lo largo del tiempo geológico.

La formación de las rocas ígneas está vinculada a procesos internos del planeta y a la liberación de energía térmica. Estas rocas pueden, a su vez, transformarse en otros tipos mediante procesos de meteorización, sedimentación, metamorfismo o nueva fusión. Así, sus características texturales —como el tamaño de los cristales, vinculado a si el proceso de enfriamiento fue lento o rápido— ofrecen una valiosa oportunidad didáctica para trabajar la relación entre las condiciones de formación y las propiedades de los materiales, sin necesidad de recurrir a clasificaciones exhaustivas. Estas características se vinculan directamente con los procesos magmáticos que permiten la formación de las rocas ígneas, tanto en profundidad como en superficie.

El volcanismo representa un vínculo directo entre los procesos que ocurren en el interior de la Tierra y la superficie del planeta. Los volcanes se originan cuando el magma asciende a través de fracturas de la corteza y es expulsado al exterior en forma de lava, gases y materiales piroclásticos. No obstante, no todo el magma generado en el interior del planeta alcanza la superficie. En numerosos casos, este magma se enfría y solidifica en profundidad, dando lugar a cuerpos ígneos intrusivos conocidos como plutones.

Los plutones son masas de roca ígnea que se forman cuando el magma queda atrapado en el interior de la corteza y se enfría lentamente, sin producir una erupción

volcánica. Aunque no son visibles en el momento de su formación, pueden aflorar millones de años después como consecuencia de procesos de elevación y erosión, constituyendo una parte fundamental de la corteza continental. De este modo, el volcanismo y el plutonismo pueden entenderse como dos expresiones complementarias de un mismo proceso magmático: una superficial y otra profunda.

Desde una perspectiva más amplia y evolutiva, el concepto de volcán no se limita únicamente al momento eruptivo. Pujadas, Brusi y Pedrinaci (1999) proponen una definición integradora al señalar que:

«Un volcán es la evidencia geológica de la llegada de material magmático a un lugar de la superficie terrestre (o de otro cuerpo planetario). Debe tenerse en cuenta que es un término general que hace referencia a la manifestación magmática en sí misma, pero también a todas las estructuras y materiales (chimenea, ramificaciones de esta, edificios volcánicos construidos, coladas de lava, depósitos piroclásticos, entre otros) que se forman y permanecen en el registro geológico después de finalizar la actividad volcánica».

Esta definición permite comprender al volcán no sólo como un fenómeno puntual, sino como el conjunto de procesos, estructuras y materiales vinculados a la actividad magmática, reforzando una visión sistémica y de largo plazo de la dinámica terrestre.

La distribución de los volcanes en el planeta no es aleatoria, sino que se encuentra estrechamente relacionada con la dinámica de las placas tectónicas. La mayoría se localiza en los bordes de placas, ya sea en zonas de divergencia, donde el magma asciende debido a la separación de las placas, o en zonas de convergencia, donde una placa se hunde bajo otra favoreciendo la fusión parcial de los materiales. También existen volcanes asociados a puntos calientes, vinculados a anomalías térmicas en el manto, procesos que pueden igualmente dar origen a grandes plutones en profundidad.

Desde la perspectiva sistémica, el volcanismo y el plutonismo pueden entenderse como mecanismos mediante los cuales la Tierra libera y redistribuye su energía interna y recicla materiales entre el interior y la superficie. En el marco de este apartado, ambos procesos permiten comprender cómo la actividad magmática contribuye simultáneamente a la construcción de la corteza terrestre y a la configuración del paisaje. En el caso del volcanismo, además, pueden generar peligros naturales con la potencialidad de afectarnos.

Volcanismo submarino

La mayor parte del volcanismo del planeta ocurre bajo los océanos. El volcanismo submarino es el más frecuente y, en términos de volumen de magma emitido, uno de los más potentes de la Tierra. Estas erupciones se producen principalmente a lo largo de las dorsales oceánicas, donde las placas tectónicas se separan y el magma asciende desde el manto. Aunque muchas de estas erupciones pasan desapercibidas por ocurrir a gran profundidad, son fundamentales para la formación de nueva corteza oceánica y para la renovación constante del fondo marino. Esto refuerza la idea de que la actividad volcánica es un proceso continuo y global, aunque muchas veces invisible para las personas.

Recomendamos las siguientes lecturas ampliatorias:

Artículo **Los volcanes: algunas perspectivas para un conocimiento científico y didáctico**, de Perales Palacios y colaboradores (2021).

Disponible en:

<https://digibug.ugr.es/handle/10481/69499>

Libro **Conociendo los volcanes: Guía didáctica para la enseñanza y aprendizaje del volcanismo, su relación con el ecosistema y el ser humano**, de D'Elia y colaboradores (2021).

Disponible en:

<https://www.memoria.fahce.unlp.edu.ar/libros/pm.4927/pm.4927.pdf>

En constante transformación

A lo largo de este capítulo hemos recorrido distintos aspectos de la dinámica terrestre a partir de una pregunta central: ¿cómo se forman y se transforman las rocas? Lejos de ser materiales estáticos, las rocas constituyen el resultado de procesos geológicos que actúan a lo largo de grandes escalas de tiempo. Su composición, su textura y su estructura conservan huellas de las condiciones en las que se formaron y de las transformaciones que experimentaron posteriormente.

El ciclo de las rocas permite representar estas transformaciones como parte de un sistema en el que la materia circula entre distintos ambientes del planeta. Este modelo no describe una secuencia única ni obligatoria, sino un conjunto de relaciones posibles entre procesos geológicos que tienen lugar tanto en la superficie como en el interior de la Tierra. Comprender estas relaciones implica reconocer el papel de las distintas fuentes de energía que impulsan la dinámica terrestre y la interacción entre procesos internos, como el magmatismo o el metamorfismo, y procesos externos, como la meteorización, el transporte y la sedimentación.

En este contexto, el volcanismo constituye una de las manifestaciones más visibles de la actividad interna del planeta y un punto de encuentro entre los procesos que ocurren en profundidad y aquellos que modelan la superficie terrestre. Las rocas volcánicas, al igual que las sedimentarias y las metamórficas, forman parte de una historia mucho más amplia: la historia de un planeta en constante transformación.

El ciclo de las rocas como red de transformaciones

Una actividad interesante consiste en tomar una roca ígnea, sedimentaria o metamórfica y narrar posibles recorridos que podría seguir dentro del ciclo de las rocas. Para facilitar la elección, puede pensarse en ejemplos de rocas presentes en la vida cotidiana, como el granito de una mesada de cocina, la caliza utilizada en la construcción, o el mármol empleado en pisos o esculturas.

La narración tendría que incluir qué procesos geológicos intervienen en cada etapa del recorrido y qué fuentes de energía están involucradas en dichos procesos.

Ejemplo orientativo para el docente

Roca ígnea: granito

Un ejemplo cotidiano de roca ígnea es el granito utilizado en las mesadas de cocina. Este material se originó a partir del enfriamiento lento del magma en el interior de la corteza terrestre, lo que permitió la formación de cristales visibles y dio lugar a una roca ígnea plutónica.

Si este granito quedará expuesto en la superficie como consecuencia de procesos de elevación y erosión, podría comenzar a sufrir meteorización, fragmentándose en partículas más pequeñas. Estos fragmentos podrían ser transportados por el agua o el viento y posteriormente depositados en otro lugar, donde, mediante procesos de compactación y cementación, podrían dar origen a una roca sedimentaria.

Con el paso del tiempo geológico, esta roca sedimentaria podría quedar sometida a altas presiones y temperaturas, sin llegar a fundirse, transformándose en una roca metamórfica. Si las condiciones de temperatura aumentarán aún más, el material podría experimentar fusión, generando nuevamente magma y abriendo la posibilidad de nuevas transformaciones dentro del ciclo de las rocas.

En este recorrido intervienen distintas fuentes de energía: la energía interna de la Tierra, responsable del calentamiento, la fusión y el metamorfismo, y la energía externa, principalmente la solar y la gravitatoria, que impulsa los procesos de meteorización, transporte y sedimentación.

Referencias bibliográficas

Carrillo Rosúa, J.; Vilchez González, J. y González García, F. (2010). Ideas previas en el alumnado sobre el interior de la Tierra. Actas del II Congr s Internacional de Didactiques.

D'Elia, L. y Carrera, J.(Dirs.). (2021). Conociendo los volcanes: guía didáctica para la enseñanza y aprendizaje del volcanismo, su relación con el ecosistema y el ser humano. La Plata: Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación. (Andamios; 7. Serie Materiales).

Martínez Frías, J. (2013). El origen de la Tierra. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, (21.2), 139-145.

Pedrinaci, E. (2001). Los procesos geológicos internos. Síntesis.

Perales-Palacios, F. J., Carrillo-Rosúa, J., García-Yeguas, A. y Vázquez V lchez, M. (2021). Los volcanes: algunas perspectivas para un conocimiento científico y didáctico. Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias, 18(3), 3105.

Pujadas, Brusi y Pedrinaci (1999) ¡Los volcanes han cambiado! Nuevos enfoques de terminología volcánica. Enseñanza de las Ciencias de la Tierra, (7.3), 200-209.

Tarback,E. y Lutgens, F. (2005). Ciencias de la Tierra - Una introducción a la geología física. Pearson Educación.

Un planeta azul donde el agua ¿es escasa?

Agua subterránea, ciclo hidrológico, y otras yerbas

José G. Salminci
Diego Arias Regalía

Desde una perspectiva antropocéntrica, filantrópica ó ecológica, el agua es la sustancia más importante ya que de su existencia depende la Vida tal y como la conocemos. Existen organismos adaptados a condiciones ambientales extremas como super ácidas (pH de 2) ó super calientes (150° C) pero no se conocen en la actualidad formas de vida que no necesiten la presencia de agua para sostener la vida. De hecho, las misiones de búsqueda de vida extraterrestre (astrobiología) ponen foco en los sitios con eventual presencia de agua líquida para sus investigaciones.

El volumen de agua recomendada de consumo humano es de 1,5 l/persona/día (OMS) para una vida saludable y en condiciones extremas el cuerpo humano sólo resiste unos días (entre 4 y 5) sin ingesta de ella antes de morir. Pero cuando se habla de agua en el mundo natural es fundamental tener en cuenta que no se hace referencia a la sustancia abstracta H₂O, sino a una mezcla de esa sustancia con otros componentes, que pueden estar en suspensión, diluidos en ella, etc. Así, en el caso de las personas (y del resto de los seres vivos) además de la cantidad necesaria mencionada, se requiere que el agua tenga una composición química específica ya que el exceso de algunos componentes da lugar al envenenamiento y el déficit de otros puede ser perjudicial para la salud. Es por eso que habitualmente decimos que el agua se necesita en cantidad y en calidad suficientes.

Desde otra perspectiva, el agua es el agente geomorfológico necesario para el desarrollo del proceso fluvial, siendo este proceso el más extendido en el planeta y por tanto el principal modelador del paisaje en áreas continentales. Muchas sustancias se disuelven bien en agua y así, la disolución de minerales de la geosfera se suma a su potencia mecánica para movilizar la materia.

Desde el aspecto ambiental, el agua juega un rol destacado ya que además de su sensibilidad a la contaminación (impactos en el uso del agua y ecológicos), su punto de fusión a los 0°C hace que los cambios de temperatura atmosférica -y el actual cambio climático- tengan efectos notables en zonas frías tanto por latitudes (cerca de los polos) como por grandes altitudes (zonas de montaña) con efectos a escala global.

Algunos ejemplos no tan mencionados respecto del rol del agua en la dinámica planetaria

(Adaptado de Brusi et al, 2013)

El vapor de agua es uno de los gases que tienen influencia en las temperaturas atmosféricas puesto que absorbe parte de las radiaciones ultravioletas e infrarrojas procedentes del Sol y de la propia superficie del planeta, contribuyendo así con el efecto invernadero.

Algunos gases atmosféricos pueden combinarse con el vapor de agua, convirtiéndose en ácidos. Por ejemplo el dióxido de azufre (SO_2) o el óxido de nitrógeno (NO_2) reaccionan con el agua para dar ácido sulfúrico (H_2SO_4) y ácido nítrico (HNO_3), que al precipitar a la superficie dan lugar al fenómeno de la "lluvia ácida". Aunque el SO_2 puede proceder de las erupciones volcánicas, tanto éste como el NO_2 proceden, en su mayor parte, de la quema de combustibles fósiles y procesos industriales. También la combinación del CO_2 con el agua origina el ácido carbónico (H_2CO_3) que es capaz de atacar a muchos de los minerales que componen las rocas.

La baja conductividad térmica del agua, relacionada con su alto calor específico (es decir, se necesita mucho calor para aumentar su temperatura), permite, por ejemplo, la presencia de hielo en superficie (no llega a derretirse) y agua líquida en profundidad en las zonas frías (no llega a congelarse), lo que favorece el mantenimiento de la vida. Esta misma propiedad convierte a la hidrosfera en un regulador térmico, amortiguando los cambios bruscos de temperatura atmosférica.

En general sabemos porqué se denomina a la Tierra el Planeta Azul: 2/3 de la superficie está cubierto por agua y 1/3 por masa continental), pero del total del volumen de agua, el 97,5% corresponde a mares y océanos (agua salada), el 2,49% se encuentra congelada o en el subsuelo y sólo el 0,01% es accesible de forma más o menos directa (lagos, ríos, atmósfera, etc.). La historia de la humanidad y su paso hacia la civilización está ligada a la disponibilidad del agua y es por ello que los primeros asentamientos humanos se desarrollaron a orillas de los grandes ríos del planeta como ser el Nilo, el Indo, el río Amarillo y el Yangtzé. Actualmente, con el aumento demográfico, gran parte de la población mundial tiene grandes dificultades de acceso al agua potable.

En el presente capítulo trataremos el tema de las **aguas subterráneas** ya que allí se alojan los mayores volúmenes de agua dulce y líquida del planeta.

El ciclo del agua

"... Posiblemente el ciclo del agua o ciclo hidrogeológico, junto con la parte superficial del ciclo de las rocas, sea el modelo por antonomasia de los procesos [geológicos] externos. No hace falta repasar aquí todas sus etapas y flujos pero sí reivindicar la importancia en la enseñanza de las ciencias de la Tierra de su tratamiento en profundidad. Especialmente de los estadios y procesos relacionados con el agua subterránea, puesto que, a menudo son los menos conocidos por los estudiantes." (Brusi et al, 2013. p.188).

Dado el particular rango de temperaturas y presiones que pueden encontrarse en nuestro planeta, el agua puede hallarse en la naturaleza en tres estados: sólido, líquido y gaseoso. Distintos procesos a través del tiempo, que obtienen su energía fundamentalmente del sol, hacen que pueda pasar de un estado a otro de manera dinámica,

desplazándose por el planeta y formando parte de distintos subsistemas del sistema Tierra: criósfera, hidrósfera, atmósfera, biosfera y geósfera. La circulación y conservación de agua en la Tierra se llama ciclo hidrológico, o ciclo del agua.

El ciclo hidrológico¹, como todo ciclo, no tiene un principio ni un fin, aunque suele explicarse comenzando con la evaporación del agua en los océanos, su condensación formando nubes, y su traslado mediante el viento hacia otras áreas oceánicas y continentales donde precipita. La precipitación en forma de lluvia o nieve da lugar a la escorrentía superficial, a la acumulación de nieve y posterior recristalización para formar parte de glaciares ó la infiltración que da lugar a los acuíferos (formaciones geológicas capaces de almacenar y transmitir agua). Luego el agua recorre distintos caminos hasta regresar a los océanos, desde donde puede evaporarse nuevamente. También evaporarse o sublimarse desde áreas continentales y regresar a la atmósfera sin pasar por el océano.

En el estudio de las aguas subterráneas, la etapa del ciclo hidrológico más importante es la infiltración ya que de ella depende la recarga de los acuíferos, aunque como en todo proceso complejo, hay también otras variables en juego como la precipitación, la evapotranspiración y la escorrentía superficial.

Explicitando la perspectiva sistémica, pueden establecerse algunas grandes ideas sobre el ciclo hidrológico (adaptado de USGS, 2022):

El ciclo del agua permite comprender tanto la distribución del agua en el planeta como los procesos que determinan su movimiento. El agua puede encontrarse en la atmósfera, en la superficie terrestre o en el subsuelo, y presentarse en estado líquido, sólido o gaseoso. A lo largo del ciclo, el agua se desplaza entre estos distintos reservorios, tanto a gran escala como a escalas muy pequeñas. Este movimiento ocurre de forma natural, pero también está influido por las actividades humanas, que pueden modificar dónde se almacena el agua, cómo circula y en qué condiciones de calidad lo hace.

¹ En el capítulo “Todas las aguas, el agua” en este mismo libro puede encontrarse el desarrollo del concepto de ciclo hidrosocial, haciendo referencia a las diferentes intervenciones de origen humano en el ciclo del agua biogeoquímico (natural).

Los espacios en los que el agua (en sus distintos estados) se acumula constituyen las reservas. La mayor parte del agua del planeta —aproximadamente el 96%— es salada y se encuentra almacenada en los océanos. Además del océano, existen otras reservas de agua salada, como algunos lagos interiores. El agua dulce líquida, por su parte, se almacena en lagos, ríos, embalses artificiales, humedales y en el suelo como humedad. También se encuentra más profundamente, formando reservas subterráneas llamadas acuíferos, que ocupan grietas y poros en las rocas. En su forma sólida, el agua se almacena como hielo y nieve en glaciares, capas de hielo y regiones elevadas o polares; en su estado gaseoso, se presenta como vapor de agua en la atmósfera, tanto sobre los océanos como sobre los continentes. Estas distintas formas y ubicaciones nos permiten hablar de diferentes reservas de agua que forman parte del ciclo hidrológico.

Las diferentes formas en que el agua se mueve entre las reservas constituyen los flujos. A medida que se mueve, el agua puede ir pasando por distintos estados de agregación (sólido, líquido o gaseoso). Los flujos incluyen procesos como la evaporación, la evapotranspiración y la precipitación, que permiten el intercambio de agua entre la superficie terrestre y la atmósfera. También se producen flujos dentro y sobre la Tierra: el agua se desplaza por la superficie mediante la escorrentía, el deshielo o el flujo de ríos, y se mueve hacia el subsuelo a través de la infiltración y la recarga de acuíferos. Una vez bajo tierra, el agua subterránea circula lentamente dentro de los acuíferos y puede volver a la superficie por medio de manantiales o descargando naturalmente en ríos y océanos. Estos flujos conectan las distintas reservas de agua y permiten que el ciclo hidrológico funcione como un sistema dinámico y continuo.

Las actividades humanas modifican el ciclo natural del agua. Redirigimos el curso de los ríos, construimos represas para almacenarla y drenamos humedales para dar lugar al desarrollo urbano o agrícola. Además, extraemos agua de ríos, lagos, embalses y acuíferos subterráneos para diferentes usos: abastecimiento de hogares y comunidades, agricultura, ganadería, o actividades industriales. La cantidad de agua disponible no depende solo del volumen presente en cada reserva, sino también de otros factores clave: el momento y

velocidad con que el agua se mueve, el nivel de demanda o uso que hacemos de ella, y su calidad, es decir, si está en condiciones aptas para ser utilizada.

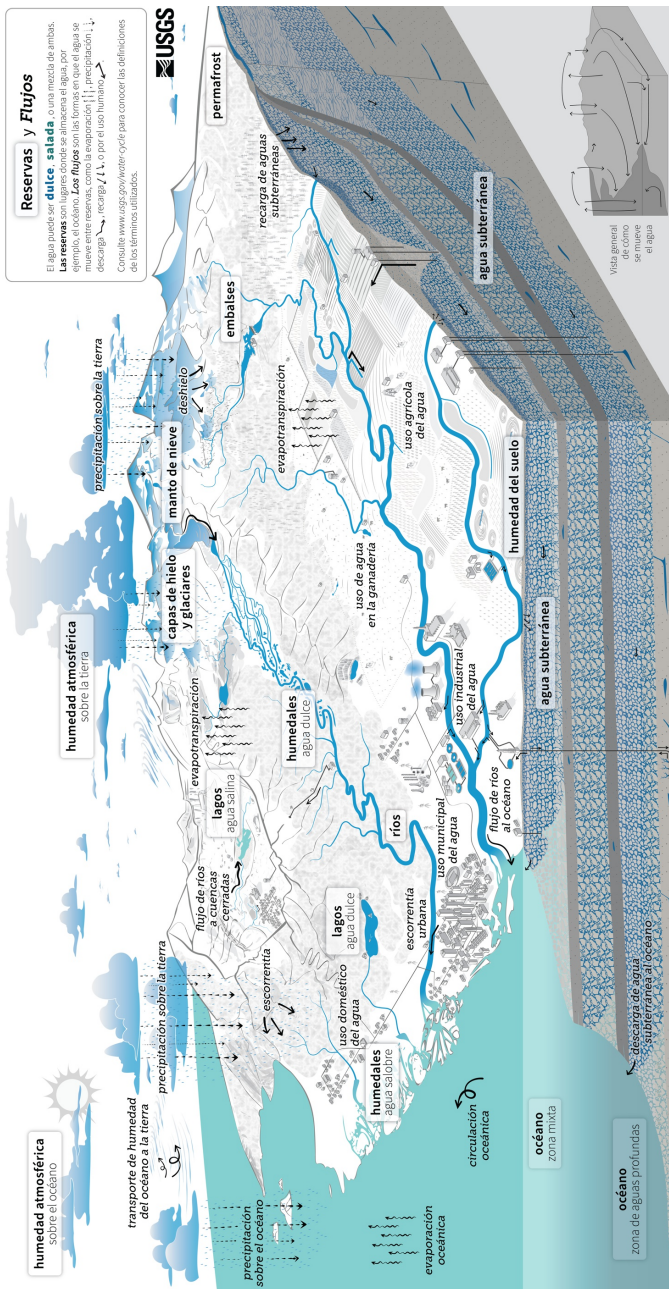
Las actividades humanas afectan la calidad del agua. En zonas agrícolas por ejemplo, el agua de riego o de lluvia puede arrastrar fertilizantes y pesticidas hacia ríos o acuíferos subterráneos. También, algunas industrias y centrales eléctricas devuelven al ambiente agua más caliente o contaminada, alterando el equilibrio de los ecosistemas. Además, la escorrentía superficial puede transportar sustancias químicas, sedimentos y aguas residuales hacia lagos y ríos, generando consecuencias como proliferaciones de algas, propagación de enfermedades o deterioro de hábitats acuáticos. Por otro lado, el cambio climático está modificando profundamente el ciclo del agua: influye en su calidad, cantidad, distribución y uso. Provoca fenómenos como la acidificación de los océanos, el aumento del nivel del mar y eventos climáticos extremos.

Abordar el ciclo hidrológico desde una mirada sistémica implica explicitar interrelaciones entre distintas partes del sistema, habilitando la reflexión sobre la gestión del agua como recurso vital, limitado y compartido.

Siguiendo a Márquez y Bach (2007), y en función de las ideas presentadas en el primer capítulo de este libro (Una perspectiva sistémica para la enseñanza de las ciencias naturales), quisiéramos introducir algunos elementos vinculados a la enseñanza del ciclo del agua.

Partiendo de alguna pregunta problematizadora vinculada a nuestros objetivos y contexto, podemos modelar el ciclo del agua poniendo en juego de manera explícita la perspectiva sistémica. Algunas preguntas de ejemplo podrían ser:

- ¿De dónde viene el agua que usamos en casa?
- ¿Qué pasa con esa agua una vez que la usamos?
- ¿De dónde se obtiene agua en lugares en los que no hay ríos o lagos cercanos?



Ciclo global del agua (USGS, 2022).
 Fuente: <https://www.usgs.gov/media/images/el-ciclo-del-agua-water-cycle-spanish-png>

¿Qué cosas pueden hacer que haya más o menos agua disponible?

¿Por qué el río lleva agua aun cuando pasa tiempo sin llover?

Para comenzar a modelar el ciclo y buscar la explicación correspondiente, podemos empezar identificando los flujos (junto a los procesos que se desarrollan) y las reservas de agua en la naturaleza (junto a los estados de agregación involucrados).

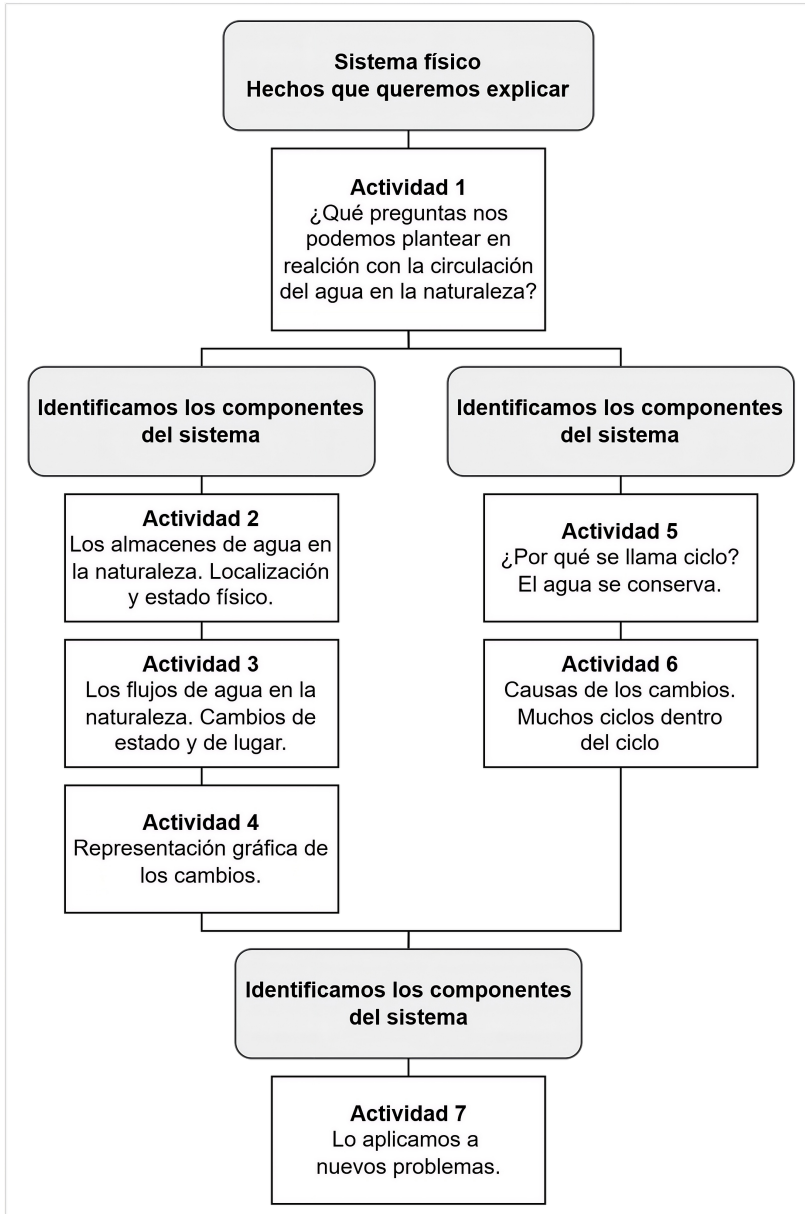
En un paso siguiente, podemos buscar las causas de los cambios identificados. Repetir estas operaciones recursivamente nos permitirá a su vez ampliar las fronteras de lo que miramos, hasta llegar a una visión global que reconstruya un ciclo completo.

Los autores mencionados ejemplifican este proceso con una secuencia sintética de actividades, que reproducimos esquemáticamente en la siguiente página.

Para ampliar, recomendamos la lectura del trabajo de Conxita Márquez y Joan Bach (2007) **“Una propuesta de análisis de las representaciones de los alumnos sobre el ciclo del agua”**. Disponible en: <https://www.raco.cat/index.php/ECT/article/view/121419/167869>

Comportamiento del agua subterránea: los acuíferos

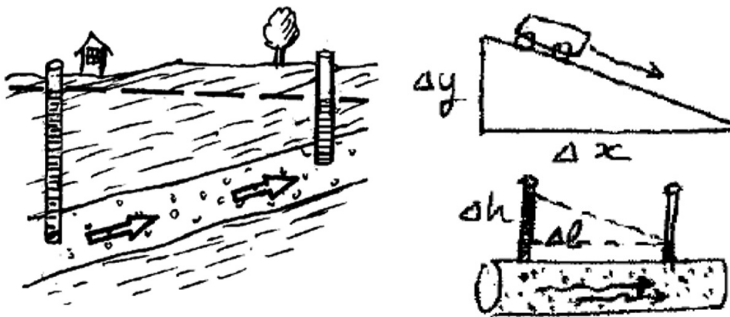
Existe una concepción sobre el agua subterránea que suele ser errada, y es que la presencia en el subsuelo ocurre en forma de grandes piletas o ríos subterráneos. Si bien hay algunos casos en los que el agua subterránea puede fluir de forma similar a como lo hace en superficie (verdaderos ríos subterráneos en ambientes de disolución de rocas), en la mayoría de los casos el agua circula a través de los poros de los materiales debido a diferencias de presión, y de esta presión (definida estrictamente como carga hidráulica) depende hacia dónde se dirige. Es decir, hay formaciones de roca, más o menos porosa, en la que el agua está contenida en esos poros.



Versión esquemática de la secuencia de actividades propuesta por Márquez y Bach (2007).

Decimos que el agua circula de zonas con mayor carga o potencial hidráulico (mayor presión) a zonas de menor carga o potencial hidráulico (menor presión), lo que puede generar flujos de agua que son anti intuitivos, tal como el de la figura en donde circula desde zonas más profundas a zonas menos profundas.

Se puede realizar una analogía con la gravedad para entender los procesos que regulan el movimiento del agua en el seno de las formaciones geológicas como el de la siguiente figura:



En este ejemplo, el agua circula viajando entre los poros de la capa de rocas, de un punto más bajo donde la columna de agua es más alta (mayor carga hidráulica) hacia un punto más alto donde la columna es más baja (menor carga hidráulica). A la derecha una analogía con el plano inclinado:

al recorrer la rampa el carro se desplaza de mayor a menor altura (potencial gravitatorio) recorriendo una distancia horizontal x , mientras que en un medio poroso permeable lo hace desde un h (altura de la columna de agua relacionada con el potencial hidráulico) mayor a un h menor, recorriendo una distancia l . Fuente: Univ. Salamanca (España)

A las formaciones geológicas que pueden contener y transmitir agua se las conoce como *acuíferos* y éstos pueden ser de distinto tipo: detríticos (sedimentos y rocas sedimentarias), macizos rocosos fisurados (rocas y formaciones rocosas) y kársticos (en rocas son solubles).

Un concepto clave en hidrogeología es el de permeabilidad, que informalmente se define como la facilidad que un cuerpo ofrece a ser atravesado por el agua. En el influyen fundamentalmente 2 cuestiones: qué proporción del volumen de la roca ocupan los poros (algo así

como cuánto espacio hay disponible para ser ocupado por el agua) y qué tan bien conectados están estos poros entre sí, de modo de permitir el flujo de agua.

Un material puede tener muy alta porosidad (mucho espacio disponible), pero baja permeabilidad, porque esos poros no están bien conectados y por lo tanto se dificulta la circulación de agua). Un ejemplo de esto son las arcillas.

Según su comportamiento hidrogeológico, las formaciones geológicas se pueden clasificar en:

Acuífero: Almacena agua en los poros y circula con facilidad por ellos.

Acuífugo: No posee capacidad de circulación ni de retención de agua.

Acuícludo: Contiene agua en su interior, incluso hasta la saturación, pero no la transmite.

Acuícardo: Contiene agua y la transmite muy lentamente.

	Capacidad de			Formaciones características
	almacenar	drenar	transmitir	
ACUÍFEROS	ALTA	ALTA	ALTA	Gravas, arenas, calizas
ACUITARDOS	ALTA	MEDIA/BAJA	BAJA	Limos, arenas limosas y arcillosas
ACUICLUDOS	ALTA	MUY BAJA	NULA	Arcillas
ACUIFUGOS	NULA	NULA	NULA	Granitos, gneises, mármoles

Adaptado de: González Vallejo et al (2004)

Yacimiento, usos y explotación

Tal como se mencionó anteriormente, el volumen de agua disponible en lagos, ríos y humedales representa una fracción pequeña del total de agua que existe en el planeta. Aunque estas fuentes suelen ser utilizadas para la provisión de agua potable por su aparente facilidad de acceso, en muchos casos se presentan limitaciones: ya sea porque es

necesario transportarla a grandes distancias mediante acueductos, o porque su calidad y/o cantidad no resultan suficientes para satisfacer las necesidades de la población.

En estos casos la explotación de las aguas subterráneas es una alternativa fundamental ya que el aproximadamente el 30% del agua dulce se encuentra en forma de agua subterránea.

En función del tipo de porosidad, el yacimiento de aguas puede ocurrir en distintos tipos de acuíferos según su textura (ver la figura de la página anterior).

En los acuíferos de tipo detríticos el agua circula a través de los sedimentos y/o rocas sedimentarias poco consolidadas, en los cuales la porosidad corresponde a los huecos que existen entre las partículas sólidas. Este tipo de acuíferos es que representa la mayor parte de las explotaciones en Argentina dada su gran distribución areal, que comprende los grandes acuíferos regionales (acuíferos Guaraní, Ituzaingó, Puelches, etc.) así como los acuíferos periserranos o pedemontanos en zonas de sierras y montañas respectivamente. Son fáciles de explotar dado que pueden ser perforados sin grandes gastos de energía.

Cuando las rocas se encuentran fisuradas y fracturadas, se encuentran los acuíferos macizos fisurados, típicos de regiones de sierra y montaña, estos presentan mayor complejidad para su explotación.

Por último, los acuíferos kársticos hacen referencia a los yacimientos de agua que se encuentran en rocas solubles como ser rocas carbonáticas o algunas variedades de yeso. En Argentina son poco comunes, pero en países como España son muy abundantes y ampliamente explotados.

La calidad (composición hidroquímica) y la cantidad (volumen) de agua necesarias para el desarrollo humano depende del uso que se le quiera dar. Este aspecto es fundamental ya que la aptitud del agua, es decir los valores de referencia de la concentración de cada elemento químico (y microbiológico) que la componen despenden de ese uso. No es lo mismo el agua para ser bebida por los humanos, que el agua para el ganado o para el riego.

A continuación, se menciona una clasificación del agua según su uso:

- Consumo humano en suministro urbano.
- Consumo humano en zonas rurales
- Consumo humano (aguas minerales).
- Para Riego en la producción agraria.
- Abastecimiento para industrias
- Uso en minería y petróleo
- Producción de energía
- Agua para fines terapéuticos
- Carga, descarga y transportación
- Conservación de la flora y fauna silvestre.
- Agua para fines recreativos y culturales

En función de los caudales necesarios y el tipo de acuífero de los mencionados anteriormente, se podrá optar por distintos tipos de captaciones de agua, con distintas tecnologías tanto de perforación como de diseño constructivo de los pozos.

Pueden ser técnicas tan antiguas y rústicas como los pozos excavados, pasando por el desarrollo de Jagüeles (pequeñas depresiones de poca profundidad) o las modernas captaciones donde se perfora mediante equipos específicos para cada terreno y se diseña el pozo según los requerimientos.

Cabe señalar que además del acceso al agua lo más habitual es realizar un tratamiento de potabilización que también puede ser más o menos complejo, desde una filtración de material particulado y cloración a técnicas de ósmosis inversa, dependiendo nuevamente del uso, de la calidad inicial y de los costos del tratamiento.

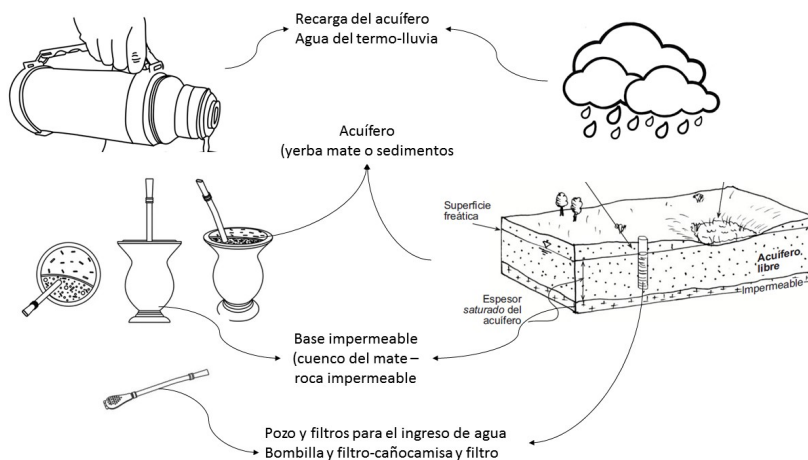
Analogía con el mate

El modelado conceptual de un acuífero debe considerar, como mínimo, 4 elementos: la reserva de agua (dónde se almacena el agua), el proceso de recarga (cómo llega el agua ahí), la base impermeable (qué evita que el agua se filtre hacia mayor profundidad), y el proceso de descarga

(qué es lo que saca agua del acuífero). A partir de esto pueden identificarse los flujos y las reservas así como analizarse los parámetros que influyen sobre estos elementos.

Un 5to elemento que complejiza, pero potencia el análisis, consiste en incorporar de manera explícita el factor temporal. Los diversos procesos de descarga y recarga funcionan a velocidades distintas, y las propias características físicas del acuífero condicionan el flujo de agua que puede sostener.

La explotación de un acuífero puede ser entendida de forma simple mediante la analogía con un mate, en la que las partes del mate se corresponden con los elementos de un sistema de captación de agua.



Mediante esta analogía se pueden abordar distintos conceptos:

- El agua subterránea es un recurso parcialmente renovable (si no hay aporte de agua y se bombea mucho se agotan las reservas), lo mismo ocurre con la contaminación.

- El acuífero debe ser un medio poroso y permeable que permita el paso del agua, si la yerba es un polvo muy fino cada vez es menos permeable y hay que succionar mucho para poder beberlo.
- Si la bombilla se tapa es equivalente al tapado de filtros, por eso se usan prefiltros de gravilla antes del caño por el que se extraerá el agua, y el ranurado del sistema se calcula en base al tipo de acuífero y al volumen de captación esperado.
- Si no hay una base menos permeable que el acuífero o el recipiente es permeable no hay forma de que el agua quede contenida en ese medio ya que migra hacia otras zonas (no serviría un mate hecho de esponja por ejemplo).

Para ampliar, puede consultarse el artículo **“El ciclo del agua en una garrafa”**, de María Roser Nebot Castelló, publicado en la revista Enseñanza de las ciencias de la Tierra, 15(3) de 2007. En él se discuten algunos problemas vinculados al estudio del tema, y se presenta una actividad de modelado para realizar con estudiantes.

Disponible en:

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2904753>

Una invitación al abordaje escolar de estas temáticas

Como se mencionó anteriormente, el ciclo hidrológico permite entender la dinámica global del agua en el planeta, y su abordaje desde una perspectiva sistémica habilita conectarlo con una multiplicidad de procesos y problemáticas de interés en la formación de ciudadanos y ciudadanas científicamente alfabetizados.

Las fases subsuperficiales del ciclo resultan en general desconocidas por los y las estudiantes, lo que lleva al desarrollo inconsciente de miradas ingenuas y/o apromblemáticas del tema, por ejemplo en lo que tiene que ver con los acuíferos.

La comprensión y valoración de los acuíferos resulta actualmente un imperativo estratégico, especialmente desde una perspectiva latinoamericana donde el agua es un bien en disputa, y las problemáticas alrededor del acceso y la calidad del agua están en crecimiento.

Incorporar el estudio de los acuíferos en la educación obligatoria no solo fomenta una ciudadanía informada sobre la gestión sustentable de un recurso hídrico crucial, sino que también siembra la conciencia necesaria para enfrentar los desafíos futuros relacionados con la seguridad hídrica y la adaptación al cambio climático en nuestra región.

Referencias bibliográficas

Brusi, D., Roqué, C., y Mas-Pla, J. (2013). Los procesos geológicos externos: las infinitas interacciones en la superficie de la Tierra. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 21(2), 181-194.

Castelló, M. (2007). El ciclo del agua en una garrafa. *Enseñanza de las ciencias de la Tierra*, 15(3), 333-340.

González de Vallejo, L. et al (2004). *Ingeniería Geológica*. Pearson Educación.

Márquez, C. y Bach, J. (2007). Una propuesta de análisis de las representaciones de los alumnos sobre el ciclo del agua. *Enseñanza de las ciencias de la Tierra*, 15(3), 280-286.

USGS (2022). El ciclo del agua (The water cycle) [en español]. U.S. Geological Survey.
<https://www.usgs.gov/special-topics/water-science-school/science/el-ciclo-del-agua-water-cycle-spanish>

Todas las aguas, el agua

El ciclo hidrosocial y su mirada multidimensional e intercultural

Natalia Couselo

Diego Arias Regalía

El agua constituye un eje privilegiado para abordar problemáticas ambientales en la escuela, ya que permite articular contenidos de distintas áreas y promover una comprensión integrada de las relaciones entre naturaleza y sociedad. Desde la perspectiva de la Educación Ambiental Integral, enseñar sobre el agua implica reconocer su carácter multidimensional, considerando tanto sus aspectos físicos y biológicos como sus dimensiones sociales, culturales, económicas y políticas.

En este capítulo nos proponemos reflexionar sobre los desafíos que supone trabajar estos temas en el aula, evitando miradas simplificadoras y promoviendo recortes didácticos que conserven la complejidad de los problemas ambientales. Para ello, analizamos aportes conceptuales —como el ciclo el ciclo hidrosocial— junto con ejemplos, preguntas orientadoras y casos de estudio que buscan acompañar la planificación docente. El propósito es ofrecer herramientas que permitan construir propuestas de enseñanza situadas, críticas e interdisciplinarias.

Una forma de iniciar este recorrido consiste en plantearnos algunas preguntas: ¿qué es el agua?, ¿qué significados le otorgamos?, ¿cómo la podemos definir y nombrar?

Para comenzar a explorar estas preguntas podemos observar los distintos lugares y formas en que el agua aparece en el planeta: lagos, lagunas, arroyos, ríos, humedales, lluvia, granizo, neblina, nubes, napas, glaciares

o el mar. Debido a la diversidad de sus "formas", es común aclarar su origen, por lo que solemos hablar de agua de río, de mar, de arroyo, de lluvia, de granizo, de deshielo, entre otras.

Quizás aquí encontramos una pista para responder a nuestras preguntas iniciales: ¿qué es lo que hay en común en esta diversidad de "aguas"? A su vez, surge una dificultad: ¿cómo encapsular en una sola definición algo tan diverso y, a la vez, tan esencial?

En Wikipedia encontramos una definición: "El agua (del latín aqua) es una sustancia cuya molécula está compuesta por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno (H₂O) unidos por un enlace covalente"¹. Esta definición se basa claramente en el punto de vista de la Química.

Si consultamos otras fuentes, hallaremos otras definiciones, como las siguientes:

-“El agua es un elemento insustituible para el sostenimiento de la vida humana y el resto de los seres vivos, siendo al mismo tiempo un insumo imprescindible en innumerables procesos productivos”².

-“El derecho al agua potable y el saneamiento es un derecho humano esencial para el pleno disfrute de la vida y de todos los derechos humanos”³.

-“La función crucial que desempeña el agua exige que los ecosistemas acuáticos, el ciclo del agua y el agua misma se gestionen de forma justa y sostenible, implicando a las poblaciones locales, regionales y mundiales en una estructura anidada de gobernanza. El agua y los ecosistemas acuáticos deben gestionarse como bienes comunes de dominio público”⁴.

¹ <https://es.wikipedia.org/wiki/Agua>

² Principios Rectores de Política Hídrica de la República Argentina (2003). Documento disponible en: <https://www.cohife.org/s60/principios-rectores-de-politica-hidrica>

³ Resolución aprobada por la Asamblea General de la ONU (Organización de las Naciones Unidas) (2010) que reconoce el derecho humano al agua y al saneamiento en julio de 2010. Disponible en: <https://docs.un.org/es/A/RES/64/292>

⁴ Informe del Relator Especial sobre los derechos humanos al agua potable y al saneamiento de la ONU, Pedro Arrojo Agudo. Disponible en: <https://docs.un.org/es/A/HRC/57/48>

A la luz de esta diversidad, surge la pregunta de si debemos decidir si el agua es una sustancia, un derecho humano, un bien común o, incluso, un recurso natural. No obstante, nuestra intención no es tomar partido asumiendo que una definición particular sea la "correcta". Nos interesa reconocer la multidimensionalidad de lo que llamamos agua y, por consiguiente, la dificultad de encapsularla en una sola dimensión.

Diversas culturas, en distintos contextos históricos y geográficos, le han otorgado al agua múltiples significados simbólicos, sociales y políticos. De esta manera, el agua no solo es valorada como un recurso natural por su utilidad, sino también como una entidad sagrada cargada de significados, lo que influye directamente en las prácticas comunitarias y en la gestión territorial.

Pensar el agua no se reduce a contemplar su materialidad, sino que incluye reconocer que está entrelazada con muchos ámbitos de la vida social. Podemos ampliar nuestro listado inicial para incluir formas más indirectas en las que "encontramos" el agua, como refranes, dichos, poesías, textos literarios, pinturas, dibujos, canciones y muchas otras expresiones culturales.

De este modo, podemos notar que hay diversas formas de valorar el agua, ya que coexisten múltiples sistemas de conocimiento a través de los cuales distintas culturas la entienden. Adoptando una perspectiva intercultural, reconocemos que hay una diversidad de maneras de relacionarse con lo que llamamos naturaleza y, por lo tanto, con el agua.

Arturo Escobar (2000) sostiene que, para muchos grupos, comunidades y culturas, los seres vivos y no vivos no constituyen dominios distintos y separados. Por el contrario, establecen relaciones de continuidad entre el mundo biofísico, el humano y el sobrenatural, las cuales están culturalmente arraigadas a través de símbolos, rituales y prácticas. Desde estas cosmovisiones, las relaciones que la cultura occidental considera del orden de lo social, abarcan más que a los seres humanos.

Los significados de un río

¿Qué significa un río para las comunidades que viven en sus orillas? El escritor Mempo Giardinelli, en su libro "Paraná, Crónicas de un río herido", recopiló crónicas publicadas en el diario Página/12. En una de sus notas, señala que el río Paraná es esencial para la Argentina, ya que el país entero depende de él por cuestiones políticas, económicas y demográficas.

Por su parte, Carlos Galano (2016) advierte que reflexionar sobre la complejidad del río Paraná nos lleva a comprender que es mucho más que un curso de agua: es el arraigo cultural de una forma de vida intercultural. Este referente del Pensamiento Ambiental Latinoamericano propone renombrar la Cuenca del Plata recuperando "una palabra de los originales de la región, que es ñé' é, en guaraní: palabra, alma y tierra agua. Esta región, desde esa mirada situada, es la Comarca del Agua" (Galano, 2016, pp. 33-34).

La idea de que un río es mucho más que un simple río aparece en múltiples expresiones culturales, como el fragmento de la canción que presentamos a continuación:

Oración del remanso

(fragmento, Jorge Fandermole)

Soy de la orilla brava
Del agua turbia y la correntada
Que baja hermosa
Por su barrosa profundidad

<https://www.youtube.com/watch?v=pZtqi3XWbho>
(link a la canción)

Para profundizar en el tema, se sugiere escuchar a Humberto Elías González, licenciado en Lengua Guaraní, quien explica el vínculo de la cultura guaraní con el agua en el siguiente video:

<https://www.educ.ar/recursos/156787/la-cultura-guarani-y-el-agua>

Los distintos significados que se le atribuyen al agua pueden superponerse y complementarse, o ser mutuamente excluyentes. Reconocer esta diversidad de sentidos y dimensiones del agua plantea un desafío particular para la enseñanza: ¿cómo abordar en el aula un objeto que no puede reducirse a una única perspectiva? Partimos, entonces, del reconocimiento de que optar por una u otra definición es un acto no solo pedagógico sino también político, que implica privilegiar un punto de vista por sobre otros.

El agua como objeto de enseñanza

En cuanto a la enseñanza, el agua (¿o deberíamos hablar de "las aguas" en plural?) no es un tema exclusivo de las Ciencias Naturales. Desde una perspectiva integral, podemos afirmar que su estudio requiere la confluencia de diversos saberes y conocimientos. Sin embargo, como el agua es inabarcable de manera totalizadora, se hace necesario seleccionar y definir un recorte. Por ejemplo, si sabemos que en un aula "están trabajando sobre el agua", podemos preguntarnos qué aspectos se están considerando. Abordar el ciclo hidrológico, las propiedades físico-químicas del agua, los conflictos ambientales relacionados con el agua, o el agua como derecho humano necesitará de diferentes enfoques. Mientras que los dos primeros casos se centrarán mayormente en las Ciencias Naturales, los dos últimos necesariamente incluirán contenidos de Ciencias Sociales y Formación Ética y Ciudadana.

Para ampliar esta idea, recurrimos a un breve fragmento de Antonio Elio Brailovsky. En él, el autor se pregunta qué especialista podría estudiar la contaminación de una laguna y reflexiona sobre los límites de cada campo disciplinar.

Para estudiar la vida en una laguna el ecólogo pedirá información a la botánica, la zoología, la climatología, la hidrología, la geomorfología, que le darán los datos necesarios sobre ese conjunto de seres vivos, sobre su ambiente, sobre sus interacciones. [...] Si la pregunta es:

“¿Qué le va a pasar a esa laguna si la seguimos contaminando?”, el ecólogo sería el más indicado para contestarla. Hasta aquí estamos hablando solamente de las ciencias naturales. Pero si la siguiente pregunta es: “¿Por qué la estamos contaminando?”, la respuesta sólo podrá provenir de las ciencias sociales (Brailovsky, 2015, p. 14-15).

En definitiva, decidir qué formará parte de una unidad de estudio —y qué se dejará fuera— implica reconocer el punto de vista desde el cual se construye el recorte. Al incorporar la dimensión social, resulta necesario considerar factores económicos, políticos, históricos y éticos, entre otros, así como trabajar con distintas escalas de análisis (local, regional, nacional y global) y con diversas temporalidades (pasado, presente y futuro).

Por ejemplo, mientras que desde las ciencias naturales la contaminación del agua puede abordarse a partir de sus aspectos físico-químicos y biológicos, su comprensión integral requiere necesariamente de los aportes de las ciencias sociales. Este enfoque permite reconocer la complejidad del fenómeno —sus múltiples causas, dimensiones, escalas y perspectivas de análisis— evitando interpretaciones simplificantes o reduccionistas.

Por ejemplo, en muchos libros de texto de ciencias naturales se menciona que el agua, en su estado natural, suele ser potable, pero que las actividades humanas terminan contaminándola. La mirada simplificante pasa, en este caso, por la representación de la humanidad como un agente homogéneo responsable de los problemas ambientales.

Aquí es importante preguntarse: ¿quiénes, dentro de la humanidad, son los que contaminan el agua?

La idea de una humanidad como agente unificado oculta la complejidad del mundo social, en el que intervienen distintos actores con intereses muchas veces contrapuestos. El acceso, la apropiación y el uso del agua están atravesados por desigualdades económicas, políticas y culturales, así como por diferencias de edad, género o pertenencia étnica. En consecuencia, las responsabilidades

en los procesos de contaminación son comunes pero diferenciadas, ya que no todos los grupos participan del mismo modo ni se ven afectados de igual manera por sus impactos, que suelen recaer con mayor intensidad sobre los sectores más vulnerables.

En esta línea, la antropóloga Astrid Ulloa (2002) propone considerar la diversidad de actores sociales que intervienen en los discursos y decisiones ambientales. Entre ellos menciona al Estado y sus instituciones, los organismos multilaterales, las corporaciones transnacionales, las organizaciones no gubernamentales, los movimientos sociales y los actores locales —como autoridades comunitarias y distintos miembros de la población—, cada uno con roles e intereses específicos en relación con el uso y la gestión del agua.

La autora también incluye a las llamadas comunidades epistémicas, es decir, los ámbitos científicos y técnicos que producen conocimientos especializados y contribuyen a legitimar determinadas interpretaciones sobre los problemas ambientales. Estos actores no actúan de manera aislada: se relacionan en distintas esferas —estatales, económicas y sociales— a través de vínculos que pueden ser conflictivos o cooperativos. Como resultado, en el campo ambiental conviven múltiples discursos, posiciones y prácticas, que no siempre son coherentes entre sí.

La invitación a abrir la mirada para reconocer esta diversidad y complejidad tiene, no obstante, un riesgo al que debemos atender: el de caer en propuestas excesivamente abarcadoras que, al intentar considerar “todo”, terminan resultando ingenuas y superficiales.

Insistimos entonces en la necesidad de elegir recortes de la realidad que, conservando la complejidad del contexto, sean abordables en el nivel escolar concreto de interés. Esto implica asumir que ningún problema ambiental —como la contaminación del agua— puede tratarse de manera completa, así como reconocer la parcialidad propia de toda perspectiva: al enfocar ciertos aspectos, inevitablemente otros quedarán en segundo plano.

La decisión sobre el recorte de enseñanza supone un posicionamiento ético, político, epistemológico y

pedagógico que dependerá de múltiples factores. Consideramos fundamental reconocer que ninguna dimensión del agua es "más verdadera" que otra a priori; sino que es dentro de un itinerario didáctico definido en un contexto específico que algunas dimensiones cobrarán mayor sentido que otras.

El ciclo hidrosocial

Entre los múltiples recortes posibles, uno de los más frecuentes en la enseñanza de las Ciencias Naturales es el estudio del ciclo hidrológico (ver el capítulo 8 de este libro), proceso mediante el cual el agua, disponible en diferentes reservorios del sistema Tierra, se mueve entre estas reservas así como cambia de un estado a otro (Camillioni y Vera, 2012).

Para historizar el concepto de ciclo hidrológico tomamos los aportes de Jessica Budds y Jamie Linton (2014) quienes, al relatar la génesis de la idea, señalan que no se trata de una representación neutral del agua: el concepto fue formulado en 1931 por el hidrólogo Robert Horton, en el contexto de la consolidación de la hidrología como disciplina científica en Estados Unidos. Horton definió el ciclo hidrológico como la circulación natural del agua en, sobre y bajo la Tierra, entendida como un proceso independiente de la acción humana. En esta misma línea, David Maidment describe al ciclo como un "inmenso motor de agua" impulsado por la energía solar y la gravedad, que funciona de manera continua con o sin actividad humana (Maidment, 1993, citado en Linton y Budds, 2014).

Desde una perspectiva histórica, el ciclo hidrológico puede entenderse como una forma particular de representar los flujos de agua que surgió en un contexto histórico específico, con fines políticos concretos y que, en última instancia, contribuyó a la legitimación de una autoridad técnica sobre el agua y su gestión. Según Linton y Budds (2014), este enfoque tiende a reducir el agua a su composición material, homogeneizando la diversidad de "aguas" y presentando los procesos hidrológicos como universales y ordenados.

Sin embargo, cuando observamos cómo circula el agua en las sociedades humanas, resulta evidente que una mirada centrada en procesos fisicoquímicos no alcanza para abarcar por completo su distribución y sus usos. En nuestra vida diaria, las personas utilizamos el agua para diversas actividades, como:

- Uso doméstico directo: para beber, cocinar, lavar, así como para la higiene y cuidados personales.
- Riego: de cultivos, huertas, parques y jardines.
- Vector⁵ para eliminar desechos: desagües, cloacas, y transporte de efluentes industriales, entre otros.
- Ganadería: para la bebida de animales e irrigación de pasturas.
- Generación de energía hidroeléctrica.
- Uso industrial: como materia prima o de forma indirecta en procesos productivos como enfriamiento, solvente y lavado.
- Uso recreativo: natación, canotaje, rafting, etc.
- Comercialización de agua embotellada: ya sea agua mineral o agua potable para la venta.
- Alimentación: pesca y recolección de otras especies.
- Acuicultura: cultivo y producción de especies acuáticas, vegetales y animales.
- Uso terapéutico: en aguas termales, por ejemplo.
- Navegación: como medio de transporte doméstico o comercial.

Todos los usos del agua mencionados modifican el ciclo natural mediante múltiples intervenciones humanas. Por ejemplo, que el agua salga de una canilla no es tan simple como parece: depende de infraestructuras extensas y complejas, así como de instituciones y sistemas de gestión que operan en distintas escalas temporales y espaciales. En este sentido, el agua también puede entenderse como un fenómeno social.

Para dar cuenta de esta inseparabilidad entre las dimensiones material y social del agua, Erik Swyngedouw propuso en la década de 1990 el concepto de **ciclo hidrosocial**, con el objetivo de destacar la interdependencia entre los flujos de agua y los procesos

⁵ Se utiliza el término vector para referirse a la gran cantidad de agua que no se consume de forma directa, sino que se utiliza para eliminar parte de los desechos domésticos e industriales, degradando su calidad en el proceso.

sociales. Desde esta perspectiva, las reservas y circulaciones del agua están mediadas por relaciones políticas, económicas y culturales que, a su vez, se ven condicionadas por sus características materiales. El enfoque permite analizar estas interacciones, incluyendo el hecho de que la definición, distribución y disponibilidad del agua resultan de una dinámica conjunta entre lo natural y lo social.

El ciclo hidrosocial se entiende, entonces, como un proceso híbrido socio-natural que, a diferencia del ciclo hidrológico, incorpora el papel de diversas instituciones y dispositivos sociales —como leyes, tecnologías, políticas públicas y relaciones de poder— que influyen en las formas de gestión y uso del agua.

Desde tiempos inmemoriales, las civilizaciones han desarrollado técnicas y tecnologías para obtener, almacenar y distribuir el agua. Muchas comunidades aún poseen intrincados sistemas de conocimiento para gestionarla que surgen de una forma particular de compromiso con el agua.

A continuación, se comparten dos notas periodísticas que profundizan estas cuestiones y presentan ejemplos concretos:

Hidrotecnologías andinas. Oasis ancestrales: hallazgos arqueológicos en la puna catamarqueña

<https://www.pagina12.com.ar/470221-oasis-ancestrales-hallazgos-arqueologicos-en-la-puna-catamar>

Hallan una represa milenaria en la puna catamarqueña

<https://www.pagina12.com.ar/341882-hallan-una-represa-milenaria-en-la-puna-catamarquena>

La historia de la humanidad está intrínsecamente ligada al agua. El agua y las tecnologías hídras entrelazan los sistemas naturales y socioculturales. A medida que el agua circula, atraviesa diversas intervenciones tecnológicas que van conectando lugares, espacios y personas. De este modo, el agua, la tecnología, la sociedad y la naturaleza aparecen como elementos interrelacionados que se articulan en lo que Boelens et al. (2016) denominan redes y territorios hidrosociales.

Aunque el concepto de ciclo hidrosocial y la noción de territorios hidrosociales provienen de marcos teóricos distintos, este escrito no busca profundizar en sus diferencias. Más bien, nos interesa destacar su punto en común: ambos consideran que el agua y la sociedad se construyen y se reconfiguran mutuamente en el espacio y el tiempo. Reconocer el agua como una construcción social implica entender que los significados y valores que le atribuimos tienen efectos materiales, y viceversa, permitiendo desnaturalizar ciertas ideas para abrir la discusión y así reconocer o imaginar otros cursos de acción posibles.

Los valores del agua

Incorporar la dimensión social en la circulación del agua implica también introducir las tensiones vinculadas con los distintos intereses, valores y formas de acceso que existen entre los grupos sociales.

Imaginemos la construcción de una central hidroeléctrica. Esta intervención no solo afectará el cauce del río y el ecosistema, sino que también provocará la inundación de territorios donde muchas personas inscriben sus mundos de vida, quizás por generaciones, forzándolas a un desplazamiento. Ante una situación así, nos preguntamos: ¿cómo se toman decisiones sobre el uso de un curso de agua? ¿Qué aspectos deben considerarse? ¿Quiénes participan en esta decisión?

Rápidamente, se hace evidente que las decisiones sobre la gestión del agua no son meramente técnicas, sino inherentemente políticas. Estas decisiones implican considerar los valores, intereses y la organización de diversos actores sociales. Este caso, aunque esquemático, ilustra que el problema no reside en el agua en sí, sino en el conflicto entre distintos intereses. La politicidad surge de una disputa por el acceso, la apropiación, la disponibilidad y el uso del agua entre los diferentes actores.

El disenso en muchos conflictos ambientales se origina en las diferencias de significado que se otorga a lo que está en disputa en tanto los distintos actores sociales tienen

"distintos intereses, valores, culturas, saberes y también distintos grado de poder, usan o pueden usar distintos lenguajes de valoración" (Martinez Alier, 2004, p. 33). De esta forma, los conflictos ambientales también tienen una dimensión cultural que incluye diferencias en las formas de entender la vida, de valorar la naturaleza o de dotar de significado al mundo.

Arturo Escobar (2016) advierte que existe una dimensión "ontológica" anudada en estos conflictos:

El hecho de que ciertos grupos indígenas o campesinos en América Latina defiendan una montaña o una laguna contra la minería a gran escala argumentando que éstas son seres vivos, por caso, pone de manifiesto la dimensión ontológica a la que nos referimos: no se trata tan sólo de creencias o de elaboraciones simbólicas (como diríamos nosotros los modernos basados en aquella práctica que llamamos ciencia), sino de toda una forma diferente de mundificar la existencia. (Escobar, 2016, p. 9)

La aproximación puramente técnica a los procesos hidrológicos tiene serias limitaciones al momento de guiar la toma de decisiones y la formulación de políticas. Esta visión simplista no solo es incompleta, sino que a menudo conduce a profundas injusticias ambientales y desigualdades sociales (ver cuadro en la página siguiente).

En el ámbito de la enseñanza, esto nos obliga a reconocer que el agua, los bosques y la energía no conciernen únicamente a las ciencias naturales, ya que su apropiación, uso y disponibilidad están intrínsecamente entrelazados con relaciones sociales, valores y creencias.

En este sentido, la crisis hídrica no es un problema del agua en sí, sino que está profundamente atravesada por factores políticos. Desde esta perspectiva, podemos reconocer que lo que está en crisis no es el agua en sí, sino la relación que los distintos grupos humanos establecen con ella.

El agua y las injusticias ambientales

En el capítulo 4 se desarrolló el concepto de justicia ambiental. A continuación, presentamos dos ejemplos concretos de injusticia ambiental, es decir, situaciones en las que las consecuencias de la crisis del agua recaen de manera desproporcionada sobre determinados sectores sociales.

Las mujeres y las niñas cargan con la peor parte de la crisis del agua y el saneamiento

Según un nuevo informe de UNICEF y la OMS, las mujeres y las niñas cargan con la peor parte de la crisis del agua y el saneamiento a escala mundial. Es mucho más probable que las mujeres sean las encargadas de ir a recoger agua para sus hogares, y esta probabilidad se duplica en el caso de las niñas, quienes dedican más tiempo que los niños a esta tarea diariamente.

La escasez de agua obliga a mujeres y niñas a recorrer largas distancias con cargas pesadas, lo que las expone a un riesgo significativo de sufrir violencia. Esta labor también las aparta de la escuela o reduce sus oportunidades de obtener ingresos.

Para profundizar, se puede consultar esta noticia aquí: <https://www.who.int/es/news/item/06-07-2023-women-and-girls-bear-brunt-of-water-and-sanitation-crisis---new-unicef-who-report>

Una cuarta parte de la humanidad aún carece de acceso a agua potable segura

Las personas en los países menos desarrollados tienen el doble de probabilidades de carecer de acceso a agua potable y saneamiento básico. Las poblaciones rurales, los niños, y las minorías étnicas e indígenas son los más afectados. En muchos países, la recolección de agua sigue siendo una tarea asignada a las mujeres.

Se puede encontrar más información sobre este tema en el siguiente enlace: <https://news.un.org/es/story/2025/08/1540364>

Frente a estos conflictos, surge la necesidad de analizar cómo se toman las decisiones sobre el agua y qué actores participan en esos procesos. Para ello retomamos nuestra pregunta inicial: ¿cómo entendemos el agua? Exploraremos cuatro perspectivas clave (sin la intención de cubrir todas las posibilidades).

a. Sistemas de gobernanza del agua

La gobernanza ambiental es una categoría de análisis que permite examinar los diversos sistemas —organizacionales, institucionales y epistemológicos— a través de los cuales se estructura y negocia el acceso a los bienes naturales comunes mediante los cuales se toman decisiones sobre su uso y manejo. Este término, a menudo utilizado en reemplazo de gestión ambiental, se distingue por su enfoque menos técnico.

El cambio discursivo de la gestión del agua a la gobernanza del agua en las últimas décadas refleja una creciente conciencia sobre los vínculos del agua con una diversidad más amplia de actores sociales. A diferencia del concepto de gobierno, que se limita a las acciones del Estado, la gobernanza abarca una red más amplia de procesos, mecanismos y organizaciones que regulan las acciones humanas sobre el ambiente; incluyendo a actores como comunidades, empresas y organizaciones no gubernamentales (ONG).

Planteamos este concepto como una categoría de análisis que permite reconocer que, en la práctica, coexisten diversos sistemas de gobernanza ambiental, en contraste con las propuestas promovidas muchas veces por organismos multilaterales (como el Banco Mundial), que entienden la gestión de los recursos naturales desde una posición gerencial.

En un contexto de avance del neoliberalismo, muchas estrategias favorecen la acumulación de capital a través de la reconfiguración institucional del manejo de los sistemas naturales, que son reducidos a meros recursos naturales para beneficiar a determinados actores y prácticas de mercado específicas. Así, es posible hablar de una

gobernanza ambiental neoliberal cuando las políticas ambientales se reorientan para servir a los objetivos del mercado, facilitando la expansión del capital mediante la privatización y mercantilización de los bienes comunes. Esto impulsa procesos que el geógrafo David Harvey (2005) ha denominado acumulación por desposesión, como la mercantilización y privatización de la tierra, que conlleva la expulsión forzosa de poblaciones campesinas, así como la conversión de diversas formas de derechos de propiedad (común, colectiva, estatal, etc.) en derechos de propiedad exclusivos.

b. Mercantilización del agua

En los últimos años, el agua ha comenzado a ser considerada un "bien económico", una noción que ha ganado hegemonía en la gobernanza del agua. Esta idea fue reforzada por los Principios de Dublín de 1992. Leemos en el principio 4:

El agua tiene un valor económico en todos sus diversos usos en competencia a los que se destina y debería reconocérsele como un bien económico. En virtud de este principio, es esencial reconocer ante todo el derecho fundamental de todo ser humano a tener acceso a un agua pura y al saneamiento por un precio asequible. La ignorancia, en el pasado, del valor económico del agua ha conducido al derroche y a la utilización de este recurso con efectos perjudiciales para el medio ambiente. La gestión del agua, en su condición de bien económico, es un medio importante de conseguir un aprovechamiento eficaz y equitativo y de favorecer la conservación y protección de los recursos hídricos (CIAMA, 1992).

Considerar el agua como un bien económico implica tres procesos interrelacionados que vale la pena diferenciar: la privatización, la mercantilización y la financiarización. La privatización se refiere a la transferencia de la propiedad o gestión del agua del sector público al privado. La

mercantilización implica la prevalencia de principios comerciales en la gestión del agua (que se plasma en la idea de los recursos hídricos) que incluye el análisis de costos y el uso de mecanismos de precios. Por último, la financiarización es la reducción del valor de todo lo que se intercambia a un instrumento financiero intercambiable o un derivado de un instrumento financiero.

El 7 de diciembre de 2020, el agua comenzó a cotizar en el mercado de futuros de Wall Street, basándose en el índice Nasdaq Veles California Water (NQH2O). Esto convierte el agua en un activo financiero, al igual que el petróleo o el trigo. Es importante aclarar que lo que se cotiza no es el agua en sí misma, sino los derechos de uso.

Para ampliar esta información, se puede consultar: **“El agua ya es parte del mercado de futuros en Wall Street”** - Agencia Tierra Viva. Disponible en: <https://agenciaterraviva.com.ar/el-agua-ya-es-parte-del-mercado-de-futuros-en-wall-street/>

En el capítulo 5 se diferenciaron las nociones de recurso natural y bien común. En este caso nos interesa destacar que en la Conferencia del Agua (ONU) de 2023, influyentes expertos, economistas, abogados, activistas de derechos humanos y diversas organizaciones se refirieron al agua como un bien común. Según un documento de la ONU (2023), los participantes recalcaron que era esencial: “...promover la gobernanza democrática del agua y la idea de que el agua era un bien común accesible a todos del que nadie debía servirse para apropiarse de él” (p. 25). Incluso el Secretario General de la ONU, António Guterres, la calificó como un “bien común global” antes y durante su discurso de clausura⁷. Guterres se refirió al agua “como el bien común máspreciado de la humanidad, nos une a todos. Por eso debe ocupar un lugar central en la agenda política global”. A pesar de este consenso, la posición de promover el agua como un bien común no se reflejó en el documento final. En su lugar, el texto final vuelve a aparecer una versión mercantilista del agua al proponer: “La valoración

⁷ <https://www.un.org/pga/77/2023/05/08/letter-from-the-president-of-the-general-assembly-water-for-sustainable-development-conference-summary/>

precisa del agua es condición previa para el logro de un desarrollo sostenible e inclusivo. En consecuencia, la fijación del precio del agua en mayor consonancia con su valor real es decisiva para mejorar radicalmente la eficiencia del uso del agua y alcanzar la equidad. La fijación de los precios y la orientación adecuada de los subsidios hacia las comunidades pobres y vulnerables ayudarán a reducir las presiones sociales” (ONU, 2023, p. 61).

Desde la perspectiva de la ecología política, la escasez de agua no es un fenómeno natural o absoluto, sino que es producida socialmente. Si bien no se niega que la distribución natural del agua es desigual, se enfatiza que la escasez también es resultado de las acciones humanas, las percepciones culturales, las condiciones históricas y las desigualdades sociales. En ocasiones, la idea de escasez se utiliza para promover que el agua sea vista como un bien económico, una perspectiva impulsada por iniciativas de gobernanza neoliberal. Así, el sector privado busca la privatización y muchas ONG adoptan un enfoque de "mercados verdes", argumentando que la conservación requiere la comercialización de los bienes comunes. Volvemos, entonces, a la pregunta: ¿cuál es el valor del agua?

Frente a la mercantilización de los sistemas naturales, las organizaciones sociales defienden el concepto de bienes comunes para designar a aquellas esferas que no pueden ser definidas como privadas o públicas, ya que están sujetas a normas de uso culturalmente determinadas por las personas y los grupos cuya existencia depende de ellas (Merlinsky, 2017).

c. El agua como derecho humano

El agua es indispensable para la vida. Sin embargo, distintas interpretaciones sobre su valor —como un bien material desvinculado de su contexto social o como un bien con un valor inherente más allá de su precio— generan resultados sociales muy diferentes. En contraposición a la visión del agua como una propiedad o una mercancía, existe la perspectiva que la considera un derecho humano.

El 28 de julio de 2010, la Asamblea General de las Naciones Unidas, a través de la Resolución 64/292, reconoce que el derecho al agua potable y el saneamiento como un derecho humano esencial para el pleno disfrute de la vida y de todos los derechos humanos. Además, “exhorta a los Estados y las organizaciones internacionales a que proporcionen recursos financieros y propicien el aumento de la capacidad y la transferencia de tecnología por medio de la asistencia y la cooperación internacionales, en particular a los países en desarrollo, a fin de intensificar los esfuerzos por proporcionar a toda la población un acceso económico al agua potable y el saneamiento”.

Abuela Grillo

El cortometraje “Abuela Grillo” hace referencia a la Guerra del Agua ocurrida en Cochabamba, Bolivia, en el año 2000, un conflicto que surgió tras la decisión del gobierno de privatizar el suministro de agua en la región. Además, el filme entrelaza ese conflicto con la abuela de los Ayoreos, un grillo llamado Direjná, guardiana del agua, que a través de su canto, puede atraer la lluvia.

Disponible en:

https://www.youtube.com/watch?v=AXz4XPuB_BM

d. Los cursos de agua como sujetos de derecho

Otorgar a un curso de agua la condición de sujeto de derecho (en el capítulo 4 se presentó la noción de derechos de la naturaleza) no implica necesariamente personificarlo, sino sustraerlo de un trato meramente instrumental y convertir su protección y cuidado en un fin en sí mismo.

Tomaremos los desarrollos de Paulo Tavares (2024), quien señala que la definición de daño ambiental sigue, en su mayoría, condicionada por los perjuicios que causa a las personas, como daños a la salud, a la propiedad o la pérdida de ganancias. Razón por la cual, la restitución de la naturaleza suele considerarse secundaria en relación con la compensación humana.

Cuerpos de agua como sujetos de derecho

Presentamos tres ejemplos de cuerpos de agua a los que se les ha otorgado derechos:

1. El río Whanganui en Nueva Zelanda

En 2017, Nueva Zelanda reconoció al río Whanganui como persona jurídica, convirtiéndose en uno de los primeros países en otorgar derechos a un río. Un estudio de caso de Klaus Bosselmann y Timothy Williams explora cómo este reconocimiento podría influir en la legislación y las políticas ambientales.

Enlace al estudio **“El río como persona jurídica: el caso del río Whanganui en Nueva Zelanda. Estudio de caso”**:

https://www-boell-de.translate.google.com/en/2025/01/29/river-legal-person-case-whanganui-river-new-zealand?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=tc

2. El río Machángara en Ecuador

El Poder Judicial de Ecuador emitió un fallo histórico al declarar al río Machángara como un sujeto de derechos. Este curso de agua, que atraviesa la ciudad de Quito, ahora debe ser saneado por el gobierno municipal. La Constitución de Ecuador contempla los derechos de la naturaleza desde 2008.

Enlace a la noticia **“Fallo judicial declaró a un río como sujeto de derechos”**:

<https://agenciatierraviva.com.ar/fallo-judicial-declaro-a-un-rio-como-sujeto-de-derechos/>

3. Las olas en Linhares, en Espírito Santo, Brasil

En 2025 la ciudad de Linhares, en Espírito Santo, Brasil, se convirtió en pionera al reconocer sus olas como titulares de derechos. Para la abogada ambientalista Vanessa Hasson y el profesor Alexander Turra, este reconocimiento jurídico representa un avance significativo para la conservación costera.

Enlace a la noticia **“Reconocer los derechos de las olas puede cambiar la relación de la sociedad con el océano”**:

<https://jornal.usp.br/atualidades/reconhecer-direitos-das-ondas-pode-mudar-relacao-da-sociedade-com-oceano/>

Tavares (2024) argumenta que, aunque es de sentido común que la justicia por daños ecológicos incluya la compensación a las personas afectadas de manera directa o indirecta, es igualmente importante entender las implicaciones político-ideológicas que se ocultan bajo la distinción legal entre las medidas retributivas aplicadas a seres humanos y no-humanos. Para este autor, esta diferencia no sólo desatiende los derechos de las generaciones futuras a acceder a los bienes comunes -violando así los principios más básicos de la sostenibilidad-, sino que también reduce la degradación ecológica a una cuestión de cálculos económicos, al dar mayor importancia a la "pérdida de ganancias".

Frente a las críticas que tildan de animista esta postura, Tavares destaca que la justicia moderna está llena de entidades con derechos cuya personificación no es más que una ficción jurídica, como es el caso de las corporaciones, definidas como "personas jurídicas". El autor concluye que "siempre que ha habido un movimiento para ampliar derechos más allá de los reconocidos, al igual que con las disputas históricas sobre si los esclavos debían o no tenerlos, se han generado feroces opiniones opositoras, pues esas propuestas resultaban tan ridículas como amenazantes para las estructuras de poder que ayudaban a sostener" (Tavares, 2024, p. 103).

A modo de cierre: pensar desde los ejes de la Educación Ambiental Integral

A lo largo del capítulo argumentamos que enseñar sobre el agua implica más que solo comprender los procesos naturales que la involucran, presentando algunos de los peligros de las miradas excesivamente simplificadoras o reduccionistas. Al mismo tiempo, resaltamos la complejidad del tema y la imposibilidad de abordar todos sus aspectos, lo que nos impone la necesidad de plantear recortes contextualmente significativos. Pensar desde los ejes de la Educación Ambiental Integral (EAI) puede ayudarnos a transitar esta complejidad.

Abordar el agua desde la EAI implica adoptar un enfoque pedagógico y didáctico que sea transversal, situado, crítico, complejo y comunitario, reconociendo la diversidad como punto de partida. Para esto, es necesario un análisis que incluya, entre otras cuestiones, los valores y significados que se le otorgan al agua (como recurso natural, bien común y derecho humano), la desigualdad e inequidad en su acceso, uso, disponibilidad y distribución, las formas de gobernanza que la regulan, los discursos y conflictos en torno a ella, la diversidad de sistemas de conocimiento (incluyendo saberes locales, indígenas y científicos, entre otros) así como las responsabilidades e impactos diferenciados entre diferentes sectores sociales, regiones y países.

En el capítulo 4 se presentaron los ejes transversales de la Educación Ambiental Integral (EAI). Basándonos en el material producido por el Ministerio de Educación de la Nación (2022), se propone transformar estos ejes en preguntas que, como docentes, podemos hacernos a la hora de pensar nuestras propuestas de enseñanza y como forma de guiar la reflexión y la selección de contenidos.



Los 5 ejes transversales de la EAI (Fuente: MEN, 2022).

Eje transversal de la EAI
Reconocer la complejidad del ambiente

¿En qué lugares del planeta se encuentra el agua, cuál es su dinámica? ¿Cómo se distribuye a nivel planetario, nacional y regional? ¿En qué procesos participa? ¿Qué es y en qué consiste el ciclo natural del agua? ¿Qué propiedades del agua la hacen tan importante para el sistema planetario y los ecosistemas? ¿Qué relación existe entre los seres vivos y el agua?

¿Qué condiciones debe cumplir el agua para ser apta para el consumo humano? ¿Qué es el agua potable y qué organismo se encarga de definir sus estándares? ¿En qué consiste el proceso de potabilización del agua? ¿De dónde y cómo se obtiene el agua para el consumo humano? ¿Cómo es el acceso al agua para diferentes personas y grupos humanos a nivel mundial, nacional y regional?

¿Para qué actividades se utiliza el agua? ¿Cuáles son sus usos directos e indirectos? ¿Qué porcentaje de agua se destina a cada actividad y qué sectores productivos consumen más? ¿A qué se denomina agua virtual? ¿Qué actividades productivas degradan la calidad del agua? ¿Qué es la contaminación del agua, qué tipos de contaminación existen y qué consecuencias tiene para la salud humana y los ecosistemas? ¿En qué consiste el proceso de tratamiento de efluentes?

¿Qué cursos de agua se encuentran cerca de la escuela? ¿Qué usos se les da a estos cursos de agua y en qué condiciones se encuentran?

Eje transversal de la EAI
Cuidar el ambiente y la sustentabilidad de la vida

¿Por qué, para qué y para quiénes hay que cuidar el agua? ¿Qué prácticas de cuidado podemos reconocer en torno al agua? ¿Qué responsabilidad tienen los distintos actores en relación al cuidado del agua? ¿Cuál es el rol del Estado?

¿Qué se considera un uso sustentable del agua? ¿Por qué se dice que el agua es un recurso no renovable? ¿A qué se llama gobernanza del agua y en qué escalas es posible pensarla? ¿Qué relación existe entre el cuidado del ambiente, el agua y la salud humana? ¿A qué se denomina enfoque “Una Salud”? ¿Qué relación hay entre el cuidado del agua y la salud de los ecosistemas?

¿Qué acciones son necesarias para enfrentar un escenario de crisis ambiental y de cambio climático? ¿Quiénes deben llevar a cabo estas acciones? ¿Qué podemos hacer desde la escuela?

Eje transversal de la EAI
Analizar los problemas y conflictos ambientales

¿Cómo se relacionan los usos del agua con los problemas ambientales? ¿Para quiénes representan un problema? ¿Siempre fue el mismo problema o ha cambiado a lo largo del tiempo?

¿Qué conflictos se pueden identificar en el uso, la distribución, el acceso o la apropiación del agua? ¿En cuáles conflictos ambientales el agua es un bien en disputa? ¿Qué actividades o sectores disputan su uso? ¿Qué actores sociales intervienen? ¿Qué intereses, capacidades de acción, decisión y responsabilidades tiene cada uno? ¿Qué relaciones de poder se establecen entre estos grupos? ¿Qué responsabilidad tiene el Estado?

¿En qué se diferencia entender los cursos y reservorios de agua como bienes comunes o como recursos naturales? ¿A qué se llama mercantilización del agua?

¿Cómo se relacionan el uso, la disponibilidad, la distribución y el acceso al agua con otros problemas ambientales como la deforestación, la salud y el cambio climático?

Eje transversal de la EAI
Ejercer nuestros derechos

¿Cómo posicionarnos frente a los problemas ambientales relacionados con el agua? ¿Como usuarios, consumidores o ciudadanos? ¿Qué es el derecho al agua? ¿En qué situaciones o lugares se encuentra vulnerado? ¿Qué relación existe entre el acceso al agua, la justicia ambiental y las desigualdades sociales?

¿Qué normativas rigen el uso y la gestión del agua? ¿Qué es la Ley de Glaciares y cómo se relaciona con los diferentes usos del agua? ¿Qué normativas específicas regulan el agua potable y el agua embotellada?

¿Qué significa que tenemos derecho a vivir en un ambiente sano? ¿Cómo se relaciona este derecho con el uso del agua? ¿Qué consecuencias tiene para la salud la falta de acceso a agua segura y de calidad? ¿Cuáles son las poblaciones más afectadas y qué herramientas legales tienen a su disposición?

¿Qué son los derechos de la naturaleza? ¿Qué implica que un río sea declarado sujeto de derechos?

Eje transversal de la EAI Generar un diálogo de saberes

¿Desde qué áreas curriculares es posible abordar temáticas referidas al agua?

¿Qué significados se le otorgan al agua y cómo se expresan? ¿Quiénes los construyen? ¿Qué relación establecen las distintas sociedades y culturas con el agua? ¿Qué valores se le ha otorgado? ¿Qué formas de relación podemos reconocer?

¿Qué tecnologías median los diferentes usos y la gestión del agua? ¿Qué tecnologías se utilizaron en el pasado para gestionar el agua? ¿Siguen en uso? ¿Qué usos se le daba al agua históricamente y por qué?

¿Cómo aparece el agua en las diferentes expresiones culturales (poemas, canciones, cuentos, leyendas, etc.)?

¿Cómo afecta la falta de acceso a agua segura a los distintos sectores sociales? ¿Qué desigualdades de género se generan cuando no se cuenta con agua corriente?

La disputa por el río Atuel entre las provincias de La Pampa y Mendoza, Argentina

A modo de cierre de este capítulo presentamos un caso de estudio sobre el que proponemos un ejercicio para los y las docentes: De las preguntas presentadas en los cuadros anteriores, ¿cuáles elegiría (y cómo las adaptaría al caso concreto) para trabajar algunas de las perspectivas y/o elementos de los abordados en este capítulo?

El conflicto por el río Atuel constituye un caso representativo para poner en juego el concepto de ciclo hidrosocial. Se trata de una disputa histórica entre las provincias de La Pampa y Mendoza, en Argentina, vinculada con el uso y la distribución de un río interprovincial: La construcción del complejo hidroeléctrico El Nihuil (1947) en territorio mendocino permitió regular el caudal para la generación de energía y el riego agrícola. Esta regulación redujo significativamente el flujo de agua hacia el oeste pampeano, afectando humedales, actividades productivas y asentamientos rurales. La Pampa reclama un caudal mínimo permanente, mientras que Mendoza sostiene su derecho al aprovechamiento histórico del recurso. El caso involucra

dimensiones ambientales, productivas, políticas y jurídicas, e incluye la intervención de la Corte Suprema y diversos intentos de acuerdo. Analizado desde el enfoque del ciclo hidrosocial, el conflicto muestra cómo los flujos de agua están modelados por infraestructuras, decisiones políticas y relaciones de poder, evidenciando que el agua es tanto un proceso natural como social.



La zona de conflicto (Imagen: diario La Nación).

Recomendamos la lectura de los siguientes artículos escritos por María Laura Langhoff, Patricia Rosell y Alejandra Geraldí:

-El ciclo hidrosocial del río Atuel en el contexto extractivista (1987-2018) en las provincias de Mendoza y La Pampa, Argentina.

Disponible en: <https://doi.org/10.19053/01233769.11076>

-El concepto de ciclo Hidro-social aplicado a los conflictos por el acceso al agua. El caso de la disputa por el río Atuel entre las provincias de la Pampa y Mendoza, Argentina.

Disponible en: <http://dx.doi.org/10.6018/geografia/2017/280681>

Referencias bibliográficas

Boelens, R., Hoogesteger, J., Swyngedouw, E., Vos, J., y Wester, P. (2016). Hydrosocial territories: a political ecology perspective. *Water International*, 41(1), pp. 1–14. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/02508060.2016.1134898>

Brailovsky, A. y Foguelman, D. (2015). *Memoria verde*. Buenos Aires: Debolsillo.

Camilioni, I y Vera, C. (2012). *El aire y el agua en nuestro planeta*. 1a ed. 2a reimp. Buenos Aires: Eudeba.

Escobar, A. (2000) El lugar de la naturaleza y la naturaleza del lugar: ¿globalización o postdesarrollo? en Lander, E. (comp.) *La colonialidad del saber: eurocentrismo y ciencias sociales. Perspectivas latinoamericanas*. Buenos Aires: CLACSO, pp. 68- 87. Disponible en: https://biblioteca.clacso.edu.ar/clacso/sur-sur/20100708045100/7_escobar.pdf

Escobar, E. (2016) A manera de prólogo. En Merlinsky, G. (comp.) *Cartografías del conflicto ambiental en Argentina 2*, pp. 7-11. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: CICCUS.

Galano, C. (2016) Crisis ambiental y salud. En Verzeñassi, D. (comp.) *Recordar: un ejercicio saludable. Memorias del Primer Congreso Latinoamericano de Salud . - 1a ed . - Ciudad Autónoma de Buenos Aires : El Colectivo*. Disponible en: <https://drive.google.com/file/d/1emTEfbWEN3p2ZleQqXpMXC270QoHV8rx/view>

Giardinelli, M. (2025). *Paraná, crónicas de un río herido*. CABA: Marea.

Langhoff, M. L., Rosell, P., & Gerdali, A. (2021). El ciclo hidrosocial del río Atuel en el contexto extractivista (1987-2018) en las provincias de Mendoza y La Pampa, Argentina. *Perspectiva Geográfica*, 26(1), 87-107. <https://doi.org/10.19053/01233769.11076>

Harvey, D. (2005) El “nuevo” imperialismo : acumulación por desposesión. Buenos Aires: CLACSO.

Disponible en:

<https://biblioteca.clacso.edu.ar/clacso/se/20130702120830/harvey.pdf>

Langhoff, M. L., Gernaldi, A., & Rosell, P. (2017). El concepto de ciclo Hidro-social aplicado a los conflictos por el acceso al agua. El caso de la disputa por el río Atuel entre las provincias de la Pampa y Mendoza, Argentina. *Papeles de Geografía*, (63), 146–160.

<https://doi.org/10.6018/geografia/2017/280681>

Linton, J. y Budds, J. (2014) The hydrosocial cycle: Defining and mobilizing a relational-dialectical approach to water, *Geoforum*, 57, pp. 70-180.

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016718513002327>

Martinez Alier, J. (2004) El ecologismo de los pobres. Conflictos ambientales y lenguajes de valoración. Barcelona: Icaria Editorial.

Merlinsky, G. (2017) Los movimientos de justicia ambiental. La defensa de lo común frente al avance del extractivismo. Disponible en: <https://vocesenelfenix.economicas.uba.ar/los-movimientos-de-justicia-ambiental-la-defensa-de-lo-comun-frente-al-avance-del-extractivismo/>

Ministerio de Educación de la Nación [MEN] (2022) Documento marco. Educación Ambiental Integral. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Ministerio de Educación de la Nación. Disponible en:

<https://www.educ.ar/recursos/158587/documento-marco-del-programa-de-educacion-ambiental-integral>

Tavares, P. (2024) La naturaleza política de la selva. Escritos sobre arquitectura, ecología y derecho no-humanos. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Caja Negra.

Ulloa, A (2002) De una naturaleza dual a la proliferación de sentido: La discusión antropológica en torno a la naturaleza, la ecología y el medio ambiente en Palacio, G. y Ulloa, A. (editores) Repensando la naturaleza. Encuentros y desencuentros disciplinarios en torno a lo ambiental, Colombia: Universidad Nacional de Colombia, pp. 139-152.

Informes internacionales

Conferencia Internacional sobre el Agua y el Medio Ambiente [CIAMA] (1992) Declaración de Dublín sobre el Agua y el Desarrollo Sostenible. Disponible en: https://aguaysaneamiento.cndh.org.mx/Content/doc/Normatividad/Instrumentos/Declaracion_DADS.pdf

ONU (2010) Resolución 64/292. El derecho humano al agua y el saneamiento. Disponible en: <https://docs.un.org/es/A/RES/64/292>

ONU (2023) Informe de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Examen Amplio de Mitad de Período del Logro de los Objetivos del Decenio Internacional para la Acción “Agua para el Desarrollo Sostenible” (2018-2028) Disponible en: <https://documents.un.org/doc/undoc/gen/n23/315/03/pdf/n2331503.pdf>

Se terminó de imprimir en el mes de abril de 2026
en Fp Impresora S.A.

Un libro sobre la enseñanza de las Ciencias de la Tierra hoy no puede ser un simple manual de procesos geológicos; este libro es, ante todo, una invitación a cambiar la escala de nuestra mirada. Durante mucho tiempo se enseñó a fragmentar el mundo: por un lado las rocas, por otro la atmósfera o el agua y, en un rincón distante, la vida. La realidad de nuestro tiempo —marcada por la urgencia de la crisis climática y la comprensión profunda de los ciclos biogeoquímicos— nos exige una pedagogía distinta.

Este libro refleja parte del trabajo realizado por el grupo de investigación en enseñanza de las Ciencias de la Tierra **DidacTerra**.

Pudo ser llevado adelante gracias tanto al apoyo y la financiación de la Universidad de Buenos Aires, mediante su programa de Proyectos de Desarrollo Estratégico (PDE), como a la colaboración de la Escuela Normal Superior Nro 3 “Bernardino Rivadavia” de la ciudad de Buenos Aires.

Esperamos que docentes de todos los niveles, tanto en actividad como en formación, encuentren de utilidad e interés las ideas que presentamos en los diversos capítulos que conforman la obra.



ISBN 978-987-45224-6-7

