

## Un abordaje integrador y sistémico de las Ciencias Naturales para la alfabetización científica: el ejemplo de la historia del tiempo geológico

Diego Arias Regalía

Leonor Bonan

Pedro Wagner Gonçalves

### Resumen

*Este artículo tiene como objetivo mostrar que las Geociencias tienen una configuración singular que puede contribuir a una visión sistémica e integradora para la comprensión y enseñanza de las diferentes Ciencias Naturales. Se presenta un conjunto de referencias para caracterizar el enfoque epistemológico adoptado, así como para definir líneas de trabajo capaces de articular las Ciencias de la Tierra y la Naturaleza, buscando un enfoque integrador que se vincule simultáneamente con la formación para la ciudadanía y la alfabetización científica. El tiempo geológico se considera una concepción clave por sus implicancias que van más allá de las geociencias y que conducen a reflexionar sobre los procesos naturales, permitiendo abordar la sostenibilidad ambiental planetaria, un tema crucial para la alfabetización científica. La historia del concepto de tiempo geológico, aunque no lineal entre 1770 y 1830, revela cómo la historia de la Tierra, las nociones de continuidad y discontinuidad de las transformaciones (y sus vínculos con el actualismo y el catastrofismo) y la finitud de los recursos naturales da origen a una concepción diferente de la naturaleza. Esta perspectiva del tiempo profundo marca los procesos socio-político-económicos, los problemas ambientales, el cambio climático, el consumo de recursos naturales, la conservación de los acuíferos y la reducción de la biodiversidad, con fuertes implicancias en la manera en la que pensamos la ciencia y tecnología.*

**Palabras clave:** Enseñanza de las Ciencias Naturales. Visión sistémica. Historia del tiempo geológico. Alfabetización científica. Modelos socio-científicos.

### Resumo

*Este artigo pretende mostrar que as Geociências têm uma configuração singular que pode contribuir para uma compreensão e ensino sistêmicos e integradores das distintas Ciências Naturais. Se apoia em um conjunto de referências para caracterizar a abordagem epistemológica adotada, bem como para definir linhas de trabalho capazes de articular Ciências da Terra e da Natureza. Busca-se um enfoque integrador vinculado simultaneamente à formação para a cidadania e para a alfabetização científica. O tempo geológico é considerado concepção chave por suas implicações que ultrapassam as Geociências e conduzem a refletir sobre processos naturais para tratar a sustentabilidade ambiental planetária, tema crucial para a alfabetização científica. A história do conceito de tempo geológico, embora não tenha sido linear entre 1770 e 1830, revela como a história da Terra, noções de continuidade e descontinuidade das transformações (e seus nexos com atualismo e catastrofismo) e a finitude dos recursos naturais se combinaram e criaram uma concepção diferente de natureza. Esta perspectiva de tempo profundo marca os processos sócio-político-econômicos, as questões ambientais, a mudança climática, o consumo de recursos naturais, a conservação dos aquíferos, bem como a redução da biodiversidade. Esse olhar traz implicações para refletir sobre a ciência e a tecnologia.*

**Palavras-chave:** Ensino de Ciências Naturais. Visão sistémica. História do tempo geológico. Alfabetização científica, Modelos sócio-científicos.

## Abstract

*This paper shows up that Geosciences can be a starting point to a systemic and integrated understanding and teaching of the Natural Sciences. It relies on a set of different conceptual and theoretical foundations to characterize the epistemological approach adopted, as well as to define lines of work capable of articulating Earth and Nature Sciences, from a perspective aimed to the integration between citizenship formation and scientific and technological literacy. Geologic time is considered a key conception for its implications that go beyond geosciences, and lead to reflect on natural processes to address planetary environmental sustainability, a crucial subject for scientific literacy. The historic changes in the concept of geologic time from 1780 to 1830 was not linear and reveals how the history of the Earth, the notions of continuity and discontinuity of transformations (and its links with actualism and catastrophism) and the finitude of natural resources, combined and created a different conception of nature. This deep time perspective marks socio-political-economic processes, environmental issues, climate change, natural resource consumption, aquifer conservation, and the reduction of biodiversity. This perspective has strong implications in the way we think about science and technology.*

**Keywords:** *Natural sciences teaching, systemic approach, history of geologic time, scientific literacy, socioscientific models.*

## INTRODUCCIÓN

Cuando se piensa en la enseñanza de las Ciencias Naturales existe un altísimo grado de consenso respecto de la importancia de que la formación docente involucre una mirada que vaya más allá del dominio de la disciplina. Muchos trabajos de investigación en didáctica de las Ciencias Naturales proponen incluir en la enseñanza, por ejemplo, cuestiones de Epistemología (construcción y naturaleza del conocimiento científico) y de Historia de la Ciencia<sup>1 2 3 4 5 6</sup>.

Se hace necesaria una enseñanza de las Ciencias Naturales que promueva la reflexión crítica sobre la naturaleza de la ciencia (qué es la ciencia, cómo produce su conocimiento). Pero también, sobre los fines de la educación científica (qué ciencia enseñar, para qué, para quiénes, qué ciudadano o ciudadana tener en mente). Esto implica pensar por ejemplo la conexión entre la ciencia, la tecnología, la

<sup>1</sup> Leonor Bonan, "La historia reciente de las Ciencias de la Tierra como estrategia de enseñanza para afrontar las representaciones epistemológicas ingenuas", en *Actas del XIV Simposio sobre Enseñanza de la Geología* (Aveiro, 2006).

<sup>2</sup> Agustín Aduriz-Bravo, *Una introducción a la naturaleza de la ciencia. La epistemología en la enseñanza de las Ciencias Naturales* (Buenos Aires, Fondo de Cultura Económica, 2005).

<sup>3</sup> Mauricio Compiani y Pedro Gonçalves, "Epistemología e Historia de la Geología como fuentes para la selección y organización del currículum", *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, nº 4.1 (1996): 38-45.

<sup>4</sup> Leandro Sequeiros, "La formación del profesorado de geología: nuevos saberes y nuevas tareas", *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, nº 2.2 (1994): 318-325.

<sup>5</sup> Jaime Carrascosa, Isabel Fernández, Daniel Gil y A. Orozco, "Análisis de algunas visiones deformadas sobre la Naturaleza de la Ciencia y las características del trabajo científico", *Enseñanza de las Ciencias*, número extra (1993): 43-44.

<sup>6</sup> Emilio Pedrinaci, "Construcción histórica de los conceptos de cambio geológico, tiempo geológico y origen de las rocas. Aportaciones para su enseñanza y aprendizaje", en *Memoria investigación curso doctorado* (Universidad de Sevilla, inédito).

sociedad y el ambiente (relaciones CTSA) o las implicancias éticas y culturales de la ciencia, de modo de abordar el estudio de conocimientos que tengan relevancia social<sup>7 8 9 10</sup>.

El desarrollo científico-tecnológico del mundo en el que vivimos tiene profundas implicancias en nuestra vida diaria: comunicaciones, transporte, producción de alimentos, medicina, explotación de recursos naturales, generación de energía, impacto ambiental, impacto sociocultural, distribución de la riqueza, acceso a los recursos, etc., y existe un cierto consenso dentro de la comunidad educativa respecto de la necesidad de lograr algún tipo de alfabetización científica, que tenga en cuenta que la ciencia es una actividad cultural de la humanidad, que se desarrolla en contextos históricos, sociales, culturales, políticos y económicos que influyen directamente en su dinámica.

En este artículo se pretende mostrar, a partir de algunas reflexiones, que las Geociencias 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 (estéticos, 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<sup>11</sup>.

### VISIÓN SISTÉMICA Y PARADIGMA DE LA COMPLEJIDAD

Desde la didáctica de las Ciencias de la Tierra se entiende que una manera de conseguir los objetivos antes mencionados, de una forma que además sea coherente con las propias características del conocimiento geocientífico, es proponer un abordaje integrador y sistémico de las Ciencias Naturales, en contraposición a la propuesta reduccionista tradicional según la cual un elemento de la naturaleza -fuese éste un orógeno o una bacteria- se comprende si su estudio se puede reducir a un conjunto de leyes físicas o físico-químicas<sup>12</sup>.

Vivimos en un mundo complejo, entendida esta complejidad a partir de mirar el tipo de relaciones entre sus partes y la imprevisibilidad de muchos de los cambios espaciales y temporales que ocurren: la sociedad, la economía, el medio ambiente, el cerebro humano, la vida, el planeta, la información y el

---

<sup>7</sup> Leonor Bonan, "Desarrollo profesional en educación ambiental. Resignificación de estrategias de formación docente en Ciencias Naturales", Proyecto UBACyT (2012), Universidad de Buenos Aires.

<sup>8</sup> Emilio Pedrinaci, "Alfabetización en Ciencias de la Tierra, una propuesta necesaria", *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, nº20.2 (2012): 133-140.

<sup>9</sup> Daniel Gil Pérez y Amparo Vilches, "Educación ciudadanía y alfabetización científica: Mitos y Realidades", *Revista Iberoamericana de Educación*, nº 42 (2006): 31-53.

<sup>10</sup> Neus Sanmartí, *Didáctica de las ciencias en la educación secundaria obligatoria* (Madrid: Síntesis, 2002).

<sup>11</sup> Mauricio Compiani y Pedro Gonçalves, "Epistemología e Historia de la Geología", (1996).

<sup>12</sup> Francisco Anguita, "La Teoría General de los Sistemas y las Ciencias de la Tierra", *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, nº 1.2 (1993): 87-89.

conocimiento, etc. Estas cuestiones (y muchas otras además) son difícilmente reductibles a algoritmos o a fórmulas sencillas, y se resisten a ser comprendidos de forma fragmentada.

Rolando García sostiene que desde esta concepción de la complejidad, lo que está en juego es la relación entre el objeto de estudio y las disciplinas a partir de las cuales realizamos el abordaje, dada la imposibilidad de considerar la globalidad de un fenómeno, proceso o situación desde una 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 unívoca con alguna disciplina en particular. En ese sentido, podemos hablar de una realidad compleja. Un sistema complejo es una representación de un recorte de esa realidad, conceptualizado como una totalidad organizada (de ahí la denominación de sistema), en la cual los elementos no son "separables" y, por tanto, no pueden ser estudiados aisladamente<sup>13</sup>.

Desde esta visión, los ecosistemas o las placas litosféricas poseen una dinámica compleja que no se deja reducir a esquemas simples y, por tanto, la comprensión del todo no se puede conseguir simplemente a base de sumar estudios parciales.

Cada sistema es un todo, cuyos elementos serían subsistemas. Y a la vez, cada sistema es un subsistema de algún sistema mayor. Por ejemplo el Sistema Solar, compuesto por subsistemas (los planetas), integrados a su vez por subsistemas (núcleo, litosfera, atmósfera,...). No podemos comprender cabalmente la dinámica de la corteza sin comprender la del interior terrestre, pero tampoco sin ideas sobre la relación del planeta con el resto del Sistema Solar. En otro ejemplo, los problemas ecológicos son problemas de interrelaciones entre "eco" sistemas y otros sistemas terrestres, como la atmósfera y la hidrosfera.

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, y esto independientemente de qué disciplina los había venido estudiando.

El enfoque sistémico se asienta en una idea básica: que los objetos de estudio presentan una organización que emerge de la interacción entre sus elementos, y que esta se encuentra sujeta a cambios. Es decir, la organización aparece como resultado de las propias interacciones entre los elementos<sup>14</sup>. Surge así también una nueva categoría de objeto de estudio, el sistema. Por ejemplo, un organismo es el resultado de las interacciones que establecen entre sí las células que lo componen. Una célula es el resultado de las interacciones entre biomoléculas, y así sucesivamente.

---

<sup>13</sup> Rolando García, *Sistemas complejos* (Barcelona: Gedisa, 2006).

<sup>14</sup> Fernando Rojero, "¿Una asignatura sistémica o sistemática?", *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, nº 8.3 (2000): 189-196.

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 entre ellos, como sintetiza la conocida frase de que el todo es más que la suma de las partes.

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<sup>15</sup> 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, y es aquí donde se encuentra el potencial integrador de las Ciencias de la Tierra, proyectadas sobre otras disciplinas de las Ciencias Naturales, para su enseñanza.

## LOS MODELOS CIENTÍFICOS COMO FUENTE DE CARACTERIZACIÓN DE LOS CONTENIDOS DE ENSEÑANZA

Antes de avanzar con el desarrollo de los ejemplos que sustentan la afirmación anterior, resulta conceptualmente importante detenernos en la relación entre los modelos científicos de las distintas disciplinas y los contenidos de enseñanza.

Para caracterizar estos vínculos disciplinares anclaremos en la noción de modelo científico propuesta por Giere<sup>16</sup> que plantea que los modelos son los medios con que los científicos representan el mundo para sí mismos y para los demás; son idealizaciones que tienen la intención de representar alguna porción del mundo. La conexión entre un modelo y el mundo real se expresa mediante afirmaciones, es decir, hipótesis (teóricas) que aseveran similitud, de modo específico y en un grado implícito de fidelidad entre el modelo abstracto y alguna cosa del mundo real.

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 consistiría así en una continua construcción, interrelación y revisión de los modelos y de las familias de modelos que emplea continuamente para hacer frente a la diversidad

---

<sup>15</sup> Jorge Wagensberg, *“Ideas sobre la complejidad del mundo”* (Tusquets: Barcelona, 1985).

<sup>16</sup> Ronald Giere, *Explaining Science: A Cognitive Approach*, (Chicago: University of Chicago Press, 1988).

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<sup>17</sup>.

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 modelos de origen físico, químico o biológico forman parte de este conglomerado de modelos que fundamentan las teorías en Ciencias de la Tierra. Esta peculiaridad de las Geociencias en el contexto de las Ciencias Naturales es la que permite sostener la propuesta presentada.

Desde un punto de vista educativo, este dialogo entre modelos tanto intra como inter disciplinares no tiene por qué limitarse a aquellos modelos actualmente en vigencia. El abordaje histórico del estudio de controversias científicas es por ejemplo un enfoque que permite abordar en simultaneo tanto la construcción de los conceptos importantes de una disciplina como la propia dinámica de producción de conocimiento en ciencias (no es el objetivo de este trabajo el profundizar sobre este aspecto, pero resulta importante resaltar que este tipo de abordajes permite, entre otras cosas, introducir en la clase de ciencias la discusión crítica sobre el valor de verdad de los postulados científicos o la influencia de los elementos socioculturales en el desarrollo de las ideas).

Por ejemplo, distintos modelos sobre el comportamiento de la corteza pueden asociarse con el modelo de la estructura interna del manto y el papel de las discontinuidades en el reciclaje de materiales terrestres de la litosfera, lo que se pone de manifiesto en el caso histórico de la controversia sobre el hundimiento de las placas tectónicas en el manto. Dos escuelas científicas disputaron sobre la velocidad, la duración y la ubicación de los procesos de convección, cómo fue discutido por Bonan<sup>18</sup>.

A principios del siglo XIX estas dos escuelas geofísicas atribuyeron una importancia diferente a los datos. ¿Cuál es el significado del rebote de la corteza terrestre después del último máximo glacial? La discusión alrededor de esta controversia por un lado permite que los estudiantes comprendan cómo los modelos ayudan a *construir* los datos y, al mismo tiempo, contribuye a que puedan abordar la duración del tiempo geológico.

Como se argumentó en la sección anterior, muchos problemas precisan abordajes amplios que integren más de una mirada, lo que hace difícil establecer límites precisos entre las disciplinas desde las que se los abordará. 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 es el que

---

<sup>17</sup> M. Arcà, P. Guidoni y P. Mazzoli, *Enseñar ciencia. Cómo empezar: reflexiones para una educación científica de base*, (Barcelona: Paidós, 1990).

<sup>18</sup> Leonor Bonan, *La transposición didáctica de la teoría de convección en el manto en el nivel universitario superior*. Tesis Doctoral (Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires, 2007).

introduce los modelos de 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 en la sociedad. 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<sup>19</sup>.

### PROPUESTAS CONCRETAS DE ABORDAJE DE LOS CONTENIDOS

Pensando concretamente en el aporte que desde las Geociencias puede hacerse al abordaje sistémico de las Ciencias Naturales, lo expuesto anteriormente puede materializarse a partir de algunas ideas clave<sup>20</sup>:

- La Tierra es un sistema complejo en el que interactúan varios subsistemas: la geósfera, la hidrósfera, la atmósfera y la biósfera.
- Los subsistemas de la Tierra son dinámicos.
- 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.
- Hay una relación intrínseca entre el tiempo y las transformaciones. Los subsistemas terrestres interactúan en un amplio rango de escalas espaciales y temporales.
- 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.
- La humanidad depende del planeta Tierra. Los recursos naturales son limitados y por lo tanto es necesario encarar su uso de forma sustentable.
- Algunos procesos naturales implican riesgos para la humanidad. Las personas no pueden eliminar los procesos naturales peligrosos pero sí adoptar decisiones que reduzcan el riesgo.

A continuación, y 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 Naturales, lo que permite pensar en abordajes que las pongan en diálogo:

---

<sup>19</sup> Leonor Bonan, "Dispositivos de Formación Docente y Producción de Materiales para la Educación Ambiental", Proyecto UBACyT (2018), Universidad de Buenos Aires.

<sup>20</sup> Emilio Pedrinaci, Santiago Alcalde, Pedro Alfaro, Gabriel Almodóvar, José Luis Barrera, Ánchel Belmonte, David Brusi, Amelia Calonge, Vicente Cardona, Ana Crespo-Blanc, José Carlos Feixas, Esperanza Fernández-Martínez, Alberto González-Díez, Juan Jiménez-Millán, José López-Ruiz, Josep M<sup>a</sup> Mata-Perelló, José Antonio Pascual, Luisa Quintanilla, Isabel Rábano, Luis Rebollo, Ana Rodrigo y Elvira Roquero, "Alfabetización en Ciencias de la Tierra", *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, n<sup>o</sup> 21.2 (2013): 117-129.

Tretter, Jones y Minogue<sup>21</sup> argumentan que el trabajo sobre la conceptualización de las escalas espaciales podría servir como tema unificador del estudio de las Ciencias Naturales. En esta línea, Arias Regalía y Bonan<sup>22</sup> proponen poner la mirada sobre las escalas temporales y espaciales junto con el desarrollo de la idea de magnitudes características como “hilo conductor” de un abordaje interdisciplinario. 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<sup>23</sup> 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 relieve con 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

---

<sup>21</sup> T. Tretter, M. Jones y J. Minogue, “Accuracy of scale conceptions in science: mental maneuverings across many orders of spatial magnitude”, *Journal of Research In Science Teaching*, nº 43.10 (2006): 1061-1085.

<sup>22</sup> Diego Arias Regalía y Leonor Bonan, “Relevamiento de los contenidos curriculares de Ciencias de la Tierra en la formación de profesores de primaria de la Ciudad de Buenos Aires”, *Terrae Didactica*, nº 10.3 (2014): 455-460.

<sup>23</sup> Héctor Lacreu, “La historia geológica del paisaje como contenido esencial en la enseñanza obligatoria”, *Alambique Didáctica de las Ciencias Experimentales*, nº 51 (2007): 76-87.

de la naturaleza de la ciencia y de la dinámica de la comunidad científica, incorporando en la discusión cuestiones de relevancia social.

### LA ENSEÑANZA DEL TIEMPO GEOLÓGICO A LA LUZ DE LA ALFABETIZACIÓN CIENTÍFICA DE LOS CIUDADANOS Y CIUDADANAS

Reflexionar sobre el tiempo que llevan los procesos que se desarrollan en la naturaleza resulta esencial para considerar la sustentabilidad ambiental planetaria, temática capital para la alfabetización científica. Por ello, a continuación se aborda con algo más de profundidad la enseñanza del concepto de tiempo geológico (o *tiempo profundo*) y, en particular, sus implicancias más allá de su uso al interior de las Geociencias. El abordaje propuesto se desprende de los trabajos desarrollados en el marco del grupo de investigación en enseñanza de las Ciencias de la Tierra (DidacTerra) de la Universidad de Buenos Aires.

Gould<sup>24</sup> toma una idea de Freud como inicio de su libro "Time's arrow, time's cycle": que 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: la Tierra ya no es el centro del universo sino un punto más en un sistema de magnitud inconmensurable; los seres humanos no somos una privilegiada creación especial separada del mundo animal sino que somos 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 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<sup>25</sup>, 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 es particularmente adecuada para comprender los desafíos económicos y ambientales que enfrenta el mundo moderno.

Frodeman<sup>26</sup> apunta que para desarrollar modelos adecuados de sustentabilidad en el planeta es indispensable una perspectiva temporal geológica, que permita enmarcar cuestiones como cambio

---

<sup>24</sup> Stephen Gould, *Time's arrow, time's cycle* (Cambridge: Harvard University Press, 1988).

<sup>25</sup> Cinzia Cervato y Roger Frodeman, "A importância do tempo geológico: desdobramentos culturais, educacionais e econômicos", *Terrae Didactica*, nº 10 (2013): 67-79.

<sup>26</sup> Roger Frodeman, "Geological reasoning: Geology as an interpretive and historical Science", *GSA Bulletin*, nº 107.8 (1995): 960-968.

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<sup>27</sup> 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, 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<sup>28 29</sup>. 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<sup>30 31 32 33 34</sup>.

<sup>27</sup> E-na Zen, "What is deep time and why should anyone care", *Journal of Geoscience Education*, nº 49.1 (2001): 5-9.

<sup>28</sup> Jorge Bonito, Jorge Medina, Margarida Morgado, Dorinda Rebelo, Graça Monteiro, Luisa Martins y Luís Marques, "La naturaleza del tiempo y su complejidad: el caso del tiempo geológico - implicaciones educativas", *Dyna*, nº 78.169 (2011): 247-257.

<sup>29</sup> Cinzia Cervato y Roger Frodeman, "A importância do tempo geológico", (2013).

<sup>30</sup> Luis Marques, Dorinda Rebelo, Jorge Bonito, Margarida Morgado, Vitor Trindade, Jorge Medina, Antonio Soares de Andrade, João Praia, Alexandre Leite y Aurora Futuro, (2017) "El lugar de la investigación-formación-innovación en la didáctica de las Ciencias de la Tierra: El caso del tiempo geológico", *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, nº 25.3 (2017): 319-329.

<sup>31</sup> Lourdes Correa dos Santos y Roberto Greco, "La integración de temas geocientíficos para la educación en ciencias, tecnología, sociedad y medioambiente: una propuesta para el aprendizaje significativo", *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, nº 25.2 (2017): 168-175.

<sup>32</sup> Jorge Medina, Dorinda Rebelo, Margarida Morgado, Graça Monteiro, Jorge Bonito, Luisa Martins y Luis Marques, "El tiempo geológico: una contribución para la ciudadanía", en *Comunicaciones del XVII Simposio sobre Enseñanza de la Geología* (Huelva, 2012).

<sup>33</sup> Mauricio Compiani, "Estrategias didácticas para el geólogo que queremos formar", en *Actas del XVI Congreso Geológico Argentino* (Buenos Aires, 2005).

<sup>34</sup> Mauricio Compiani y Pedro Gonçalves, "Epistemología e Historia de la Geología", (1996).

Sin embargo, Gonçalves et al.<sup>35</sup> 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.

En esta línea, Bowring<sup>36</sup> indica que la mayoría de las personas se enfrentan en algún momento a la necesidad de tomar decisiones que estarían mejor informadas teniendo un conocimiento básico de las interacciones entre los sistemas terrestres, el pasado profundo y el futuro profundo<sup>37</sup>, y que tienen que ver con temas tan diversos como las interacciones entre humanos; la agricultura a gran escala; la evolución del clima; la eliminación de residuos; la disponibilidad de agua potable; cuestiones de uso y desarrollo de la tierra; preparación ante desastres naturales; o el uso de recursos naturales en un mundo altamente tecnológico. Por ello cree que es necesario aumentar la conciencia del público en general sobre la importancia de los procesos geológicos en todas las escalas de tiempo, lo que permitiría tener más herramientas para comprender las implicancias y actuar en consecuencia. Así, la alfabetización geocientífica debería ser un objetivo principal y crucial para la administración del planeta.

### ALGUNOS ASPECTOS DE LA HISTORIA DE LA CONCEPCIÓN DEL TIEMPO GEOLÓGICO

El desarrollo de la idea de tiempo geológico puede ilustrar algunas de las complejidades del concepto, pero también iluminar algunos caminos posibles para su abordaje y para la comprensión de sus implicancias.

Una serie de pasos independientes y, en cierto modo conflictivos, contribuyeron a construir la moderna concepción del tiempo geológico. Rudwick<sup>38</sup> explicita los eventos independientes ocurridos en el Reino Unido, Francia y Sajonia que formaron parte de ese proceso que reunió tradiciones diferentes: el estudio de fósiles, actividades de campo, cierta tradición de clasificación de rocas y de formaciones geológicas, los estudios de los objetos naturales y la prospección mineral de metales y de carbón. Rossi<sup>39</sup> enmarca este camino dentro del desarrollo cultural que estudió y racionalizó las investigaciones de los objetos naturales entre los siglos XVII y XIX. Hooykaas<sup>40</sup> por su parte revela las interrelaciones de los

---

<sup>35</sup> Pedro Gonçalves, Natalina Sicca, Maurilio Alves, Ma. Cristina Fernandes y Silvia de Sousa Fernandes, "Concepção de Natureza e tectônicas de placas: quai são suas inter-relações?", em *Atas do IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências* (Águas de Lindóia: Brasil, 2013).

<sup>36</sup> Samuel Bowring, "Perceptions of Time Matter: The Importance of Geoscience Outreach", en *Geoscience Research and Outreach*, ed. V. Tong (Springer, 2014).

<sup>37</sup> Bo Holm Jacobsen, "Grasping Deep Time with Scaled Space in Personal Environs", en *Geoscience Research and Outreach*, ed. V. Tong (Springer, 2014).

<sup>38</sup> Martin Rudwick, "Worlds before Adam: the reconstruction of Geohistory in the age of reform" (Chicago: The University of Chicago Press, 1997).

<sup>39</sup> Paolo Rossi, "The dark abyss of time: the history of the Earth and the history of nations from Hooke to Vico" (Chicago: The University of Chicago Press, 1984).

<sup>40</sup> Reijer Hooykaas, "Continuité et discontinuité en géologie et biologie" (Paris: Seuil, 1970).

estudios de los objetos naturales, de las plantas y animales y su cruce (conflictivo muchas veces) con el pensamiento religioso para sugerir un camino que, en las primeras décadas del siglo XIX, construyó al tiempo y las transformaciones como más continuas y más largas que en épocas anteriores.

Podemos decir que ciertas tradiciones contribuyeron a cambiar el modo de ver la naturaleza en un período de especial valorización de la ciencia empírica y la racionalidad (a pesar de las limitaciones traídas de las metáforas románticas del siglo XIX).

Abraham G. Werner usó y difundió la taxonomía que se había convertido en clave en Europa. Se trataba de una ciencia eminentemente práctica que trataba de los objetos observados en el campo. Pero, especialmente involucrada con la explotación de recursos minerales y depósitos de importancia económica, despreció los fósiles<sup>41</sup>.

William Smith fue un geonóstico particular. En su esfuerzo por la prospección de carbón incorporó el estudio de los fósiles al trabajo de campo. Clasificó fósiles pero con la finalidad de prospectar carbón. Contribuyó a ampliar la idea de tiempo para que pudiera ocurrir la sucesión de los fósiles y de las capas y así construir una clave para identificar las capas con carbón<sup>42 43</sup>.

La universalización de un lenguaje y terminología geognostica común entre los naturalistas fue el paso decisivo que aproximó la exploración mineral, el estudio de los fósiles y el trabajo de campo. Tal combinación traía una implicación decisiva: la ampliación de las escalas de tiempo incluso cuando no fue la preocupación principal de esos investigadores.

Un camino independiente fueron los estudios de la Cuenca Sedimentaria de París. Rudwick describió cómo las mejores evidencias de Georges Cuvier provenían de su experiencia de campo hecha junto con el mineralogista Alexandre Brongniart. Ellos levantaron lo que se denominó Cuenca de París: secuencia compleja de formaciones de rocas, algunas ricas en fósiles. Sus métodos fueron similares a los adoptados por William Smith, pero transformando el uso estratigráfico de los fósiles: no tomaron los fósiles como característicos de cada formación, sino como diagnósticos de condiciones ambientales específicas tratando la región alrededor de París en términos geohistóricos: reivindicaron la alternancia de períodos tranquilos y agitados, interpretaron la existencia de lagos, charcas, etc., planteando entonces que cambios rápidos y ocasionales del ambiente fueron responsables de los cambios abruptos observados en las rocas<sup>44</sup>.

---

<sup>41</sup> Martin Rudwick, *“Worlds before Adam”*, (1997).

<sup>42</sup> Hugh Torrens, *“The practice of British Geology, 1750-1850”* (Suffolk: Ashgate Publishing Limited, 2002).

<sup>43</sup> Martin Rudwick, *“Worlds before Adam”*, (1997).

<sup>44</sup> Ibid.

La escala temporal implicada en estas ideas era mucho más amplia de lo que se imaginaba en la época, con secuencias de fenómenos continuos interrumpidas por catástrofes. Estos eran los cambios ambientales (alteraciones paleogeográficas) responsables de las extinciones y el surgimiento de nuevas especies que se interpretaban a partir de los fósiles. Tanto Cuvier como otros naturalistas de la época imaginaron transformaciones radicales y rápidas para reconfigurar los ambientes (catástrofes), ya que no concebían que los procesos actuales pudieran causar cambios tan significativos.

Como Rudwick<sup>45</sup> mostró, revisiones empíricas trajeron nuevas concepciones de los cambios del ambiente. Adolphe Theodore Brongniart estudió minuciosamente los fósiles del Terciario usando los mismos criterios de Cuvier y concluyó que los especímenes se extinguieron gradualmente, por lo que no hubo extinción en masa. George Poulet Scrope insistió en el valor explicativo de causas actuales sin recurrir a la idea de procesos lentos defendidos por los uniformistas como John Playfair, mostrando que el actualismo (que, a diferencia del catastrofismo, defiende que la forma en la que podemos reconstruir el pasado es analizando las causas que intervienen en la actualidad) no es necesariamente gradualista. Las Memorias sobre la geología de la Francia central de Scrope fueron un instrumento de retórica visual al servicio de la visión actualista. La detallada descripción de los volcanes extintos, sus conos, cráteres, flujos de lava y otros productos construyó una escala para medir el tiempo en que los valles fueron excavados. Pensando en cómo los arroyos habían cavado profundamente los flujos de lava, Scrope se convenció de que esta erosión era extremadamente lenta para los patrones humanos y que esas lavas debían ser muy antiguas.

El modelo del Uniformitarismo se consolida con Lyell, que adoptó la idea de usar las características del presente para explicar los acontecimientos del tiempo profundo. Su trabajo organiza, estructura y fundamenta estas ideas que ya se estaban generalizando en Europa como el método de la Geología para construir la historia de la Tierra. Los geólogos de aquella época aceptaban que las leyes físicas y químicas no cambiaban en el tiempo geológico, pero Lyell radicalizó la idea de continuidad de procesos<sup>46</sup> enfatizando la uniformidad en el ritmo con que han actuado.

A la hora de pensar la enseñanza del tiempo geológico apoyado en la Historia de la Ciencia, estas breves referencias permiten pensar la relevancia de mostrar cómo la idea de tiempo está ligada a la concepción de transformación de la naturaleza (y sus múltiples ramificaciones como ya mostraron Cervato y Frodeman<sup>47</sup>). Esto implica destacar también la idea de que la configuración espacial del registro de esas transformaciones ayuda a secuenciar los eventos. El tiempo, su acumulación en los objetos de la

---

<sup>45</sup> Martin Rudwick, *“Worlds before Adam”, (1997).*

<sup>46</sup> Ibid.

<sup>47</sup> Cinzia Cervato y Roger Frodeman, *“A importância do tempo geológico”, (2013).*

naturaleza (rocas, minerales, fósiles, formaciones geológicas) necesita ser tratado (si es posible) en el campo. La reflexión sobre el tiempo y los procesos contribuye de esta manera a formar una nueva concepción de la naturaleza.

## CONCLUSIONES

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. 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<sup>48</sup>.

Este trabajo intenta mostrar que la visión sistémica que está en la propia raíz de las Ciencias de la Tierra ofrece una puerta al abordaje integrador de la enseñanza de las Ciencias Naturales. En particular, 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.

Como lo ponen Cervato y Frodeman en el cierre de su artículo, lamentablemente vemos muy pocos ejemplos en donde las enseñanzas de las Geociencias desde esta perspectiva hayan sido tomadas en cuenta en la economía o la política. Nosotros agregamos que, como docentes, tenemos la posibilidad de llevar estas cuestiones al aula como una posible respuesta a la pregunta ¿qué ciudadanos y ciudadanas queremos formar?

## SOBRE OS AUTORES:

Diego Arias Regalía  
Instituto de Investigaciones en Enseñanza de las Ciencias CeFIEC  
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales  
Universidad de Buenos Aires  
[dariasregalia@gmail.com](mailto:dariasregalia@gmail.com)

---

<sup>48</sup> Alicia Massarini y Adriana Schnek, *"Ciencia entre todxs. Tecnociencia en contexto social. Una propuesta de enseñanza"* (Buenos Aires: Paidós, 2015).

Leonor Bonan  
Instituto de Investigaciones en Enseñanza de las Ciencias CeFIEC  
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales  
Universidad de Buenos Aires  
[lbonan@de.fcen.uba.ar](mailto:lbonan@de.fcen.uba.ar)

Pedro Wagner Gonçalves  
Pós-Graduação em Ensino e História de Ciências da Terra  
Universidade Estadual de Campinas  
[pedrog@ige.unicamp.br](mailto:pedrog@ige.unicamp.br)