

Una contribución desde las geociencias al abordaje integrador y sistémico de las ciencias naturales

Diego Arias Regalía (dariasregalia@ccpems.exactas.uba.ar)

Docente en el Profesorado de Educación Primaria – Normal 3 – San Telmo

Palabras clave: Ciencias Naturales. Visión sistémica. Primaria. Investigación. Formación docente.

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. Tanto los diseños curriculares como los trabajos de investigación en didáctica de las ciencias naturales proponen incluir, por ejemplo, cuestiones de Epistemología (construcción y naturaleza del conocimiento científico) y de Historia de la Ciencia (Bonan 2006, Aduriz Bravo 2005, Compiani y Gonçalves 1996, Sequeiros 1994, Carrascosa et al. 1993, Pedrinaci 1992).

Se hace necesaria una enseñanza de las ciencias naturales que promueva la reflexión sobre la naturaleza de la ciencia (qué es la ciencia, cómo produce realmente su conocimiento). Pero también, sobre los fines de la educación científica (qué ciencia enseñar, para qué, para quiénes, con qué ciudadano en mente). Esto implica pensar por ejemplo la conexión entre la ciencia, la tecnología, la sociedad y el ambiente (relaciones CTSA) o las implicaciones éticas y culturales de la ciencia, de modo de abordar el estudio de conocimientos que tengan relevancia social (Bonan 2012, Pedrinaci 2012, Gil Pérez & Vilches 2006, Sanmartí 2002).

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

Artículo

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 quisiera mostrar, a partir de algunas reflexiones, que las geociencias¹ tienen en su propia conformación de partida un enfoque sistémico e integrador de las ciencias naturales que puede contribuir a la apropiación material del planeta, a la discusión de valores (estéticos, éticos, morales, ideológicos, etc.) implícitos en esta apropiación y al análisis de sus consecuencias sociales y ambientales (Compiani y Gonçalves, 1996).

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 (Anguita, 1993).

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 conocimiento, etc. Estas cuestiones (y muchas otras además) son difícilmente reducibles 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 estudio, dada la imposibilidad de considerar aspectos particulares 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 con alguna disciplina en particular. En ese sentido, podemos hablar de una realidad compleja. Un sistema complejo es una

¹Geociencias, ciencias de la Tierra o ciencias del sistema Tierra: normalmente se hace referencia con esta denominación al conjunto de disciplinas que estudian al planeta y a las relaciones entre sus "esferas": geósfera, atmósfera, hidrósfera, biósfera, etc. Formalmente, incluyen geología, oceanografía, ciencias de la atmósfera, paleontología y astronomía. Una mirada más amplia incorpora también a la ecología y a las ciencias ambientales.

Artículo

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 (García, 2006).

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 a base de sumar estudios parciales.

Cada sistema sería un todo, cuyos elementos serían subsistemas. Por ejemplo el Sistema Solar, compuesto por subsistemas (los planetas), integrados a su vez por subsistemas (núcleo, astenosfera, litosfera, atmósfera,...). No podemos comprender la dinámica litosférica sin comprender la del interior terrestre, pero tampoco sin ideas claras sobre los otros planetas, ya que la Tierra es sólo un subsistema. 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.

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. Es decir, la organización surge como resultado de las propias interacciones entre los elementos. 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.

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.

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".

Artículo

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.

Algunas potenciales líneas de trabajo

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:

- Presentar la idea de interacción entre las esferas en los procesos terrestres. La Tierra es un sistema complejo en el que interactúan las rocas, el agua, el aire y la vida.
- 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.
- Establecer relaciones entre el tiempo y las transformaciones. Los subsistemas terrestres interactúan en un amplio rango de escalas espaciales y temporales.
- Incluir al ser humano como componente del ambiente, pero sin centralidad.
- 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 primaria, lo que permite pensar en abordajes que las pongan en diálogo (Arias Regalía y Bonan, 2014):

Tretter, Jones y Minogue (2006) argumentan que el trabajo sobre la conceptualización de las escalas espaciales podría servir como tema unificador del estudio de las ciencias naturales. En Arias Regalía y Bonan (2014) proponemos poner la mirada sobre las escalas temporales y espaciales junto con el

Artículo

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, nuestra capacidad de percibir su ocurrencia²). Pensando en la formación docente, esto permite atravesar gran variedad de situaciones con obstáculos cognitivos y/o concepciones alternativas conocidas.

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 desde la perspectiva de las ciencias del sistema 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, el análisis de controversias, el desarrollo de la tectónica de placas, o la evolución 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 dinámica de la comunidad científica, e incorporar en la discusión cuestiones de relevancia social.

² Para ampliar esta idea se puede consultar el artículo: "La inmutabilidad aparente del planeta, el catastrofismo y la escala temporal geológica como obstáculos para la percepción del riesgo", de Acevedo, Franzoni, González, Viqueira y Arias Regalía. Disponible on line en www.cefic.fcen.uba.ar/didacterra

Implicancias culturales del concepto de tiempo geológico

Como cierre de esta perspectiva, quisiera tocar con algo más de profundidad una de las líneas que permite este abordaje interdisciplinar mencionado, que se desprende de los trabajos desarrollados por nuestro grupo de investigación en enseñanza de las ciencias de la Tierra (*DidacTerra*) de la Universidad de Buenos Aires: la enseñanza del tiempo geológico (o *tiempo profundo*) y, en particular, sus implicancias más allá de su uso al interior de las geociencias.

Gould (1988) 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 (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 es la adecuada para comprender los desafíos económicos y ambientales que enfrenta el mundo moderno.

Frodeman (1995) apunta que para desarrollar modelos adecuados de sustentabilidad en el planeta es indispensable una perspectiva temporal geológica, que permita enmarcar cuestiones como cambio climático, consumo de recursos o la pérdida de biodiversidad (Cervato y Frodeman, 2012). 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.).

Artículo

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, 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 (Bonito et al, 2017; Cervato y Frodeman, 2012). Existe un amplio consenso (por ejemplo, y en adición a los autores ya mencionados, Marques et al, 2017; Correa dos Santos y Greco, 2017; Gonçalves et al, 2013; Medina et al. 2012; Compiani, 2005; Compiani y Gonçalves, 1996) 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.

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.

En esta línea, Bowring (2014) 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 (Jacobsen, 2014), 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

Artículo

consecuencia. Así, la alfabetización científica debería ser un objetivo principal y crucial para la administración del planeta.

Como lo ponen Cervato y Frodeman (2012) en el cierre de su artículo, 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, como docentes, tenemos la posibilidad de llevar estas cuestiones al aula como una posible respuesta a la pregunta ¿qué ciudadanos queremos formar? Deberíamos dedicar más esfuerzo enseñando a los estudiantes a pensar sobre el futuro, usando el pasado geológico como una guía.

Referencias bibliográficas

Aduriz Bravo A. (2005). Una introducción a la naturaleza de la ciencia. La epistemología en la enseñanza de las ciencias naturales. Buenos Aires, Fondo de Cultura Económica.

Anguita, F. (1993). La Teoría General de los Sistemas y las Ciencias de la Tierra. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 1(2), pp 87-89.

Arias Regalía, D.; Bonan, L. (2014). Los contenidos curriculares de Ciencias de la Tierra en la formación de profesores de primaria de la Ciudad de Buenos Aires. *TerraeDidactica*, 10(3), pp 455-460.

Bonan L. (2012). Desarrollo profesional en educación ambiental. Resignificación de estrategias de formación docente en ciencias naturales. Proyecto UBACyT. Universidad de Buenos Aires.

Bonan L. (2006). La historia reciente de las Ciencias de la Tierra como estrategia de enseñanza para afrontar las representaciones epistemológicas ingenuas. Publicado en actas del XIV Simposio sobre Enseñanza de la Geología. Aveiro, Portugal. 24 al 29 de julio. Ponencia oral.

Bowring S., (2014). Perceptions of Time Matter: The Importance of Geoscience Outreach. En Tong (ed.) *Geoscience Research and Outreach*. Springer.

Carrascosa J.; Fernández I.; Gil D.; Orozco, A. (1993). Análisis de algunas visiones deformadas sobre la Naturaleza de la Ciencia y las características del trabajo científico. *Enseñanza de las Ciencias*, número extra (IV Congreso): pp 43-44.

Artículo

Cervato, C.; Frodeman, R. (2012). The significance of geologic time: Cultural, educational, and economic frameworks. En Kastens, Manduca (editores) *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.

Compiani, M.; Gonçalves, P. (1996). Epistemología e Historia de la Geología como fuentes para la selección y organización del currículum. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 4(1), pp 38-45.

Compiani, M. (2005). Estrategias didácticas para el geólogo que queremos formar. Actas del XVI CGA – La Plata (Argentina).

Correa dos Santos, L. y Greco, R. (2017). 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*, 25(2), pp 168-175.

Frodeman, R. (1995). Geological reasoning: Geology as an interpretive and historical science. *GSA Bulletin*, 107(8), pp 960-968.

García, R. (2006). *Sistemas complejos*. Barcelona: Gedisa.

Gil Pérez D.; Vilches A. (2006). Educación ciudadanía y alfabetización científica: Mitos y Realidades. *Revista Iberoamericana de Educación*, 42.

Goncalves, P.; Sicca, N.; Alves, M.; Fernandes, M.; Fernandes, S. (2013). Concepção de Natureza e tectônicas de placas: quais são suas inter-relações? Atas do IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (IX ENPEC), pp 1-8.

Gould, S. (1988). *Time's arrow, time's cycle*. Harvard University Press.

Jacobsen, H. (2014). Grasping Deep Time with Scaled Space in Personal Environments. En Tong (ed.) *Geoscience Research and Outreach*. Springer.

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.

Marques et al, (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*, 25(3), pp 319-329.

Artículo

Medina, et al, (2012). El tiempo geológico: una contribución para la ciudadanía. En Sarmiento, Cantano y Almodôvar (Orgs.), Comunicaciones del XVII Simposio sobre Enseñanza de la Geología (pp. 267-274). Universidad de Huelva,

Pedrinaci E. (1992). Construcción histórica de los conceptos de cambio geológico, tiempo geológico y origen de las rocas. Aportaciones para su enseñanza y aprendizaje. Memoria Investigación curso doctorado, Universidad de Sevilla (inédito).

Pedrinaci E. (2012). Alfabetización en Ciencias de la Tierra, una propuesta necesaria. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 20(2), pp 133-140.

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

Sanmartí, N. (2002). Didáctica de las ciencias en la educación secundaria obligatoria. Madrid: Síntesis.

Sequeiros, L. (1994). La formación del profesorado de geología: nuevos saberes y nuevas tareas. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 2(2), pp 318-325.

Tretter, T.; Jones, M.; Minogue, J. (2006). Accuracy of scaleconceptions in science: mental maneuverings across many orders of spatial magnitude. *Journal Of Research In Science Teaching*, 43(10), pp 1061-1085.

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