



Cambio Climático y Evolución Ambiental, un taller donde construir el concepto de Tiempo Geológico

CLIMATE CHANGE AND ENVIRONMENTAL EVOLUTION, A WORKSHOP TO BUILD THE CONCEPT OF GEOLOGIC TIME

RODRIGO SEBASTIÁN MARTÍN¹, JIMENA FRANZONI², LEANDRO LAINO³, GONZALO RODRÍGUEZ RIZK⁴

1 - GRADUADO EM PALEONTOLOGIA PELA UNIVERSIDADE DE BUENOS AIRES (UBA), CONICET TESE DE DOUTORADO, ASSISTENTE DE CLASSE DA UNIVERSIDADE DA UBA, COORDENADOR DE DIVULGAÇÃO DAS CIÊNCIAS DE LICENCIATURA EM PALEONTOLOGIA PELA FCEN-UBA E MEMBRO DO GRUPO DICADTERRA, DEPARTAMENTO DE PESQUISA (CEFIEC, UBA).

2 - GRADUADO EM BIOLOGIA PELA UNIVERSIDADE DE BUENOS AIRES (UBA) E ASSISTENTE DE CLASSE UNIVERSITÁRIO DA UBA.

3 - GRADUADO EM BIOLOGIA PELA UNIVERSIDADE DE BUENOS AIRES (UBA) E ASSISTENTE DE CLASSE UNIVERSITÁRIO DA UBA.

4 - ALUNO AVANÇADO DE LICENCIATURA EM BIOLOGIA. COORDENADOR DE GUIAS DE MUSEUS DO CENTRO CULTURAL DE CIÊNCIAS (C3).

E-MAIL: RODRIGOSMARTIN.EDU@GMAIL.COM, RODRIGOSMARTIN.EDU@GMAIL.COM, LAINO.LEANDROBIO@GMAIL.COM, GONZALORIZK@GMAIL.COM

Abstract: The present work describes an innovative method for secondary school students. The objective of the work is to use paleontology to establish relationships between the stratigraphic record (and the geological time) and climate change. In this workshop, students analyzed a hypothetical evidence of fossil records in order to relate them with climate and environmental change, through a playful activity and with an abductive reasoning to make hypotheses. Additionally, previous ideas about these concepts, in 152 students, and the state of knowledge about cognitive-linguistic abilities were described. The generalized conceptions on stratigraphic principles stand out, such as the principle of superposition, and the difficulty in establishing a relationship between climate change and its impact on the fossil record.

Resumen: El presente trabajo propone un método innovador para que alumnos de escuela media, logren establecer relaciones entre el registro estratigráfico (y por extensión el tiempo geológico) y el cambio climático, utilizando como puente a la paleontología. En esta propuesta se trabaja sobre una hipotética evidencia de registros fósiles en la provincia de Buenos Aires, para así, a través de una actividad lúdica y un razonamiento de tipo abductivo realizar hipótesis sobre el cambio ambiental de la región y, posteriormente, el cambio climático del planeta en el pasado. Adicionalmente, la actividad se utilizó para hacer un primer relevamiento de las concepciones alternativas sobre tiempo geológico en un total de 152 alumnos de nivel medio. De esta recopilación se destaca la presencia generalizada de concepciones sobre principios estratigráficos, como el principio de superposición; y la fuerte dificultad para establecer una relación entre los cambios climáticos y su repercusión en el registro fósil.

Citation/Citação: Martín, R. S., Franzoni, J., Rizk, G. R. (2021). Cambio Climático y Evolución Ambiental, un taller donde construir el concepto de Tiempo Geológico. *Terraé Didática*, 17(Publ. Continua), 1-9, e021031. doi: 10.20396/td.v17i00.8666408.

Keywords: Climate change, Geological time, Education, Paleoclimatology, Stratigraphy.

Palabras Claves: Cambio climático, Tiempo geológico, Educación, Paleoclimatología, Estratigrafía

Manuscript/Manuscrito:

Received/Recebido: 17/07/2021

Revised/Corrigido: 02/08/2021

Accepted/Aceito: 14/09/2021



Introducción

La Tierra cambia continuamente: el clima se modifica, surgen las montañas, la vida evoluciona, e incluso actualmente se abren nuevos mares (Fig. 1); pero la tasa de cambio de esos (y muchos otros) procesos suele ser muy baja, incluso imperceptible a escala histórica. De esta forma, muchos procesos ocurren de modo imperceptible para la humanidad, la cual en muchos casos ve los resultados de éstos como sucesos repentinos y catastróficos (Acevedo et al., 2019). En particular, tanto la geología como la paleontología son ciencias que estudian eventos, registros y procesos que por su duración o por el momento en el cual ocurrieron, resultan difíciles de explicar en términos de tiempo físico (Alegret,

2001), construyendo relatos que contemplan la geocronología como tiempo, pero también como sucesión de eventos y procesos. Gould (1994) propone a las unidades geocronoestratigráficas como estructuras que carece de sentido si olvidamos que sus principales divisiones se deben a importantes eventos bióticos y geológicos que ocurrieron en nuestro planeta. Como bien expuso el historiador de la paleontología Rudwick (2002), los primeros geólogos transitaron un muy largo camino sin cuantificar numéricamente el tiempo profundo en absoluto, sino que trabajaron por casi tres siglos con lo que en geología se conoce como escala de tiempo relativa, reconstruyendo de manera exitosa eventos y su secuencia temporal.

El Tiempo Geológico (TG), uno de los conceptos fundamentales y más estructurantes de la enseñanza de las ciencias de la Tierra, resulta ser una de sus mayores dificultades (Ault, 1982; Gagliardi, 1986; Pedrinaci, 1987; Carrillo, 1990; Sequeiros, 1991; Gallegos, 1992; García Cruz, 1993). Numerosas investigaciones en didáctica de las ciencias de la Tierra describen al TG como uno de los mayores obstáculos a la hora de entender tanto la geología como la paleontología (Sequeiros, 1996; Alcalá, 2010; Morgado, 2010; Medina, 2013). Pedrinaci (2001) sugiere que muchos de los obstáculos epistemológicos que debieron ser superados en la historia de las ciencias geológicas pueden servirnos de guía para detectar y trabajar los obstáculos que deben enfrentar los alumnos a la hora de estudiar estos conceptos.

Por un lado, la exorbitante magnitud de tiempo involucrado hace que solo podamos concebirlo metafóricamente (Sagan, 1984); y por otro lado, la comprensión de que el concepto no implica tan solo tiempo como magnitud física, sino también acontecimientos, sucesión e historia (Sequeiros, 1996) que involucran diferentes conceptos. Entre ellos, se destacan el cambio de facies, sucesión causal, duración y cronología (Pedrinaci, 1993). Consecuentemente, se pueden considerar, al menos cuatro componentes interrelacionados del TG, las cuales forman el concepto y cada una de sus dificultades: el tiempo como magnitud física, la cronología, el registro y los procesos involucrados.

La cantidad de tiempo transcurrido en términos de magnitud física genera una de las grandes problemáticas a ser abordada por los docentes. En este caso al trabajar con escalas de tiempo mucho mayores a la de la vida humana se pierde la proporcionalidad. Sobre todo en procesos que se desarrollan a lo largo de cientos de millones de años como son el desarrollo de nuevas configuraciones continentales. De esta forma, los tiempos entre eventos geológicos y paleobiológicos (que pueden ser de cientos de miles, millones o cientos de millones de años) quedan desdibujados. Entonces para nuestros alumnos puede parecer igual de prolongado el tiempo de formación de un glaciar (cien mil años) y el de división de un continente (millones de años).

Otro obstáculo es la cronología de los principales eventos bióticos y geológicos que ocurrieron en nuestro planeta, como es el caso de las extinciones masivas, eventos que marcan las divisiones formales de la Tabla Cronoestratigráfica Internacional. En este



Figura 1. La carretera que une Narok con Nairobi fue atravesada por una grieta (de 15 m de profundidad y hasta 20 m de ancho) que se abrió en marzo de 2018 en el suroeste de Kenia. Fuente: BBC Mundo (2018)

caso, los alumnos demostraron tener nociones intuitivas sobre el orden de los sucesos ocurridos durante el tiempo profundo, pero tienden a distribuir uniformemente los eventos a lo largo de los 4500 Ma que posee el planeta Tierra ignorando que la cantidad de sucesos relevantes para la vida crece exponencialmente conforme avanza el TG (Martín et al., 2017). Esto explica que nuestros alumnos relacionen a humanos prehistóricos (de no más de 300 mil años) con dinosaurios no avianos (de más de 65 Ma).

Es conocida la relación entre los paleontólogos y el registro sedimentarios, pese a eso la comprensión de los registros fósil conlleva uno de los grandes conflictos de la vida cotidiana del científico. Desde este punto de vista, resulta evidente que esta dificultad se traduzca en un obstáculo para la enseñanza a nivel educativo. Dicha problemática radica en la dificultad de lectura propia de un registro que se encuentra a lo largo y ancho de una región de gran escala, y parcialmente enterrado en las rocas.

Por último, los procesos involucrados en la formación de dichos registros (sucesión facial) suelen sumar una dificultad extra a la interpretación del registro. El registro geológico no es transparente, ya que los procesos tafonómicos, de fosilización, sedimentarios y tectónicos suelen hacer modificaciones que hacen muy crípticos a los registros en el campo. Como ejemplo, se puede citar la dificultad de interpretación de un afloramiento en el que fósiles más antiguos se encuentren sobre fósiles más modernos, debido al retrabajo sedimentario.

La dificultad de experimentación y la imposibilidad de observación directa plantea otro importante obstáculo en la enseñanza de muchos fenómenos y procesos geológicos. Habitualmente, existe una falsa percepción de inmutabilidad, a excepción de eventos puntuales, como terremotos o erupciones volcánicas. Esta sensación, muchas veces asociada a las tradiciones fijistas e inmovilistas, resulta ir

en detrimento del concepto de tiempo geológico, donde el cambio toma un rol preponderante (Accevedo et al., 2019).

Tal vez, una de las mejores formas de abordar estos conceptos sea desde un enfoque paleontológico; ya que resulta una de las ciencias más populares entre niños y adolescentes (Alcalá et al., 2010). Además, la reconstrucción de historias a partir de las pistas dejadas por los fósiles resulta una actividad especialmente atractiva para los estudiantes (Sequeiros et al., 1996).

Por otro lado, hoy en día, es muy abundante la información que se recibe sobre el Cambio Climático actual (Boykoff, 2009). Nosty (2009) narra cómo los medios de comunicación utilizan el cambio climático como un recurso de moda para la explotación comercial, sin importar el impacto educativo que eso implica. Resulta vital entender los cambios climáticos del pasado para poder comprender su actualidad y finalmente postular el futuro cambio (Cohen, 2007). La paleoclimatología es la encargada de comprender estos cambios; permitiendo realizar estudios cuali/cuantitativos del cambio climático-ambiental para períodos pre-instrumentales (Ballesteros-Barrera & Ramírez, 2011). En estos casos, el estudio de los estratos, la estratigrafía, es esencial para interpretar la secuencia cronológica de estos cambios, permitiendo distinguir los procesos, eventos y sus registros (geológicos y paleontológicos) a lo largo del tiempo geológico (Martín-Chivelet et al., 2015).

Desde una perspectiva post-constructivista, se hace necesario tener en cuenta los conocimientos que el alumno ya posee, dado que son aquellos con lo que el alumno va a interpretar las actividades y los nuevos conocimientos que se presenten (Pedrinaci, 1994). Estas ideas pueden actuar, entonces, como obstáculos que impidan el aprendizaje de los estudiantes, sin embargo, son un buen punto de partida para una construcción colectiva del conocimiento, de modo reflexivo, participativo y motivador (Carrillo Rosúa et al., 2010).

Por otro lado, también es sumamente importante la formulación de preguntas productivas, las cuales tienen el propósito de guiar el pensamiento del alumno. De este modo, el docente puede proveer a los estudiantes el camino para la construcción de su propio conocimiento, a partir del soporte necesario. Estas preguntas no deben ser aplicadas en un orden determinado, sino que el andamiaje se construye en la medida que se va observando lo que ocurre con los alumnos (Lee Martens, 1999). Lee

Martens (op.cit) afirma que la aplicación estratégica de este tipo de preguntas mantiene a los alumnos motivados. Se espera, entonces, que de esta manera los alumnos se involucren en la tarea de manera activa y responsable.

Metas

En el presente trabajo se propone un método innovador para enseñar los conceptos de tiempo geológico y cambio climático-ambiental de un modo transversal, utilizando como puente la paleontología. Se propone una actividad lúdica donde, a través de razonamientos de tipo abductivo (Adúriz-Bravo, 2002; Rapanta, 2018), los estudiantes construyen hipótesis sobre el cambio ambiental de la región y, posteriormente, establecen relaciones con el cambio climático del planeta en el pasado.

Adicionalmente, se utilizará la primera etapa del taller (el planteamiento de una situación problemática) como un instrumento para realizar un primer relevamiento sobre las concepciones alternativas de estudiantes de nivel medio sobre tiempo geológico desde una perspectiva del registro dejado por eventos climáticos.

Materiales, métodos y técnicas

Se realizaron cuatro talleres de 60 minutos, en estos participaron cinco cursos con estudiantes de ciclo superior de escuela media. Los mismos fueron realizados en el marco de la semana de las Ciencias de la Tierra en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (UBA), mayo de 2017. Participaron cinco colegios de bachillerato con un promedio de en promedio 31 alumnos por curso, de entre catorce y dieciséis años, provenientes tanto de Ciudad Autónoma de Buenos Aires y del Gran Buenos Aires.

Se realizó un análisis cuali-cuantitativo de las concepciones y representaciones de los estudiantes previos de realizar la propuesta del taller. A posteriori, se realizó un análisis comparativo entre las respuestas de los estudiantes durante la indagación de ideas previas en contraposición con las realizadas durante la fase final del taller (donde se buscó que los alumnos volvieran a responder dicha actividad). Es importante destacar que a lo largo del taller nunca se explicó cómo se leía una secuencia estratigráfica ni se mencionó específicamente a los procesos de sedimentación, en su lugar se trabajó sobre los cambios en el nivel del mar regionales

mediante la lectura de una sucesión de mapas que mostraban los cambios geográficos en el tiempo. Por medio de ese proceso de enseñanza se buscaba dar herramientas para que los alumnos pudieran realizar un proceso metacognitivo (González Galli, 2011) que les permitiera reinterpretar los registros logrando corregir sus hipótesis pre-taller.

Propuesta Didáctica

Primer acercamiento a la lectura del registro fósil

Como puerta de entrada, el taller comienza con el ingreso teatralizado de dos “obreros” constructores de la línea D de subterráneo portando una réplica de cráneo de un tigre dientes de sable (*Smilodon populator* Lund, 1842) que fue encontrado durante su trabajo de excavación. El motivo de su llegada es un pedido de ayuda para resolver un extraño hallazgo del cual provenía ese cráneo. Además, traen consigo un esquema de lo encontrado en la excavación de la galería del subterráneo. En esta consigna se ve un muy esquemático perfil estratigráfico donde se intercalan diferentes fósiles de ambientes marino y continental. De abajo hacia arriba se encuentra un smilodon, en el estrato siguiente (el cual se reconoce por un ligero cambio de color) fragmentos de bivalvos y ballenas, luego otro nivel con otro *Smilodon* y por encima de este, basura urbana (Fig. 2).

En ese momento el encargado del taller les propone a los alumnos buscar una hipótesis para poder explicar el hallazgo y así poder ayudar a los inesperados visitantes.

Se les entrega el esquema a los alumnos con el fin de que contesten la siguiente pregunta: ¿De qué modo explicarías los hallazgos? Escribí o dibujá alguna explicación posible.

Construyendo el concepto de glaciaciones y su ciclicidad

Una vez terminada esta primera actividad se discute sobre cómo los sedimentos más antiguos se encuentran a más profun-

didad. Y se comienza a dialogar sobre el hallazgo. El ejemplar encontrado se puede vincular con el personaje “Diego” de la película la Era del Hielo, para poder relacionar el clima en el que vivía éste y contrastar con el clima actual de Buenos Aires, y así poder introducir el concepto de cambio climático pre humano moderno y el de era glaciaria. Como contra punto, para establecer la relación entre temperatura, calota glaciaria y nivel del mar se discutió la relación entre el calentamiento global y la posible subida del nivel del mar (concepto muy familiar para los alumnos). De esta forma, se establece conjuntamente la noción de que en los momentos fríos el nivel del mar más desciende y viceversa.

Luego, con el fin de afianzar los conocimientos recientemente adquiridos los docentes explican los ciclos glaciares de 100 mil años (diferenciando entre periodo interglaciario y glaciario). Se expresan en números el tamaño de las calotas glaciares estimadas para el Último Máximo Glaciario.

Armado de la línea de tiempo

Como actividad central del taller se propone relacionar una serie de registros de vertebrados y bivalvos fósiles con las condiciones ambientales en vida, para luego identificar las condiciones paleoambientales descritas por las presencias de determinados fósiles (ejemplo cinturones de bivalvos en regiones hoy muy alejadas del mar). Para ello se utiliza una serie de tarjetas (alrededor de 20) que contienen información sobre distintos hallazgos paleontológicos hipotéticos (por ejem-



Figura 2. Foto y esquema de los depósitos hipotéticos descubiertos en la excavación del subte

plo la Fig. 3). Cada tarjeta presenta un taxón (una ballena, un bivalvo, un smilodon o un gliptodonte), la ubicación en un mapa de buenos aires y la edad absoluta del registro.

A continuación, se les solicita a los alumnos que se agrupen (idealmente de a cuatro personas) para desarrollar las siguientes actividades. La primera es la construcción de una línea de tiempo ordenando cronológicamente las tarjetas, y escribiendo en una hoja la especie y la edad del registro.

A continuación, se analiza en una puesta en común sobre cómo ordenaron las tarjetas y se les pide que las agrupen cronológicamente armando tres grupos discretos; de esta forma una de las tarjetas queda como dato no utilizable dado que era el único registro para un determinado periodo de tiempo y que no otorgaba información ambientalmente relevante (ejemplo un gliptodonte en una región actualmente continental durante un momento de alto nivel del mar). Así se introduce el concepto de outlayer, se discute su relevancia y se explica que estos datos anómalos pueden o no ser tomados en cuenta dependiendo de la pregunta de estudio original.

Mapeo de paleocostas a partir del registro fósil

Una vez realizada la línea de tiempo, se les pide a los alumnos que junto a cada registro en su línea de tiempo escriban si se trata de una especie terrestre o acuática. Posteriormente, se entregan tres mapas de la provincia de Buenos Aires en blanco y un cuarto mapa con las posiciones donde se encontraron los fósiles de las tarjetas. Se les propone que utilicen un mapa para cada uno de los tres períodos (previamente consensuado) y marquen en él los hallazgos encontrados (señalando en cada caso si el taxón es terrestre o acuático).

Seguidamente se les hace notar que no todos los fósiles se encuentran en un área que coincida con su hábitad (terrestre o acuático), luego se les propone que teorice sobre posibles causas por medio de preguntas constructivas entre las que se destacan: ¿Cómo se puede explicar el hallazgo animales terrestres a tantos km de la costa (mar adentro)? y ¿los registros de animales marinos continente adentro?, ¿Qué significa que donde hubo

agua hay ahora tierra? De esta forma los participantes del taller terminan por inferir cambios en las paleocostas como consecuencia de ascensos o descensos en el nivel del mar.

Del registro fósil a las inferencias paleoclimáticas

Finalmente, se hace una puesta en común, a modo de cierre, en el pizarrón y se construyéndose de modo colaborativo una nueva línea de tiempo donde se grafica el nivel del mar y se establecen las condiciones climáticas necesarias para dichas variaciones en el nivel del mar. Como resultado de la actividad los alumnos establecen a grandes rasgos en la línea de tiempo momentos de menor temperatura (periodos glaciares) y momentos de mayor temperatura (periodos interglaciares).

Repensando el primer registro fósil

Para concluir, se les pide a los alumnos que vuelvan a repensar el registro fósil de la excavación del subterráneo (Fig. 2). Leyendo su explicación original y pensando si pueden existir explicaciones alternativas para el mismo registro. En esta instancia se busca que los alumnos deduzcan que los cambios en el registro fósil es probablemente el resultado de cambios ambientales estrechamente relacionados con los cambios en el nivel del mar.

Presentación de datos y discusión

La pregunta original del ejercicio resultó vaga, y ello obedeció a la decisión de no influenciar las respuestas de los estudiantes; de esta forma, ante la pregunta original (“¿de qué modo explicarías los hallazgos? Escribí o dibujá alguna explicación posible”), y pese a que se aclaró oralmente que debían explicar porque se pasaba de un ensamble



Figura 3. Imagen de una de las tarjetas con hallazgos fósiles presentadas

de fósiles continentales a uno marino y luego a uno continental, no todos los alumnos respondieron a esa pregunta. Del 79,1% de los alumnos que argumentaron solo el 36% (Fig. 5) buscó responder a la pregunta: ¿por qué hay un estrato con fósiles marinos entre estratos con fósiles continentales?, el resto o explicó ¿por qué los fósiles están enterrados? o ¿por qué los fósiles están cercanos a la superficie?. Para estas explicaciones recurrieron a tres tipos de forzantes: el 50,9% (66 alumnos) propuso a la sedimentación como argumento para responder solo sobre el soterramiento de los fósiles (Fig. 4F); el 26,4% (34 alumnos) utilizó al tectonismo como causa para explicar la exhumación de los fósiles (42,8%), el soterramiento por subsidencia (28,5%, Fig. 4B y C) y la existencia de fósiles marinos (25%, Fig. 4D); y el 22,4% (29 alumnos) utilizaron las variaciones en el nivel del mar como argumento para justificar solo la aparición de fósiles marinos (Fig. 4E). Cabe destacar que las explicaciones no siempre fueron unicasuales, proponiendo causas que involucran varios agentes de cambio al mismo tiempo, esto hace que la suma entre los argumentos ya descriptos y aquellos que carecían de toda lógica exceda el 100%.

De los estudiantes que explicaron la secuencia de hallazgos como resultado de la depositación de sedimentos, centrándose en la posición relativa de cada fósil sin analizar el significado ambiental de la presencia de los mismos en dicha región, el 14,8% confunde el término de erosión con el de depositación (Fig. 4F), este error puede deberse a la falta de dicho concepto como contenido curricular en la escolaridad primaria y secundaria, a excepción del 3er año de bachiller donde se lo aborda como una de “Las problemáticas ambientales más relevantes a escala regional y/o local” (MEGCBA, 2012a; MEGCBA, 2012b; MEGCBA, 2015).

En cuanto a aquellos alumnos que propusieron el tectonismo como causa de la intrusión o penetración de estratos marinos consolidados en estratos de origen continental, es interesante destacar dos problemáticas: la primera, es que los alumnos no tienen nociones intuitivas ni de los tiempos que tardan en litificarse los estratos, ni de lo recientes que son los fósiles de megafauna; la segunda, está asociada a no entender las escalas geográficas de los eventos ya que (según nuestra interpretación) este mecanismo propuesto por los alumnos es el resultado de una falta de comprensión de las dimensiones de subducción de la corteza oceánica que se ve en geografía de primer año del secundario.

Se sabe también que existe cierta facilidad para pensar en un nivel del mar variable (Granda, 1988; Pedrinaci, 1996), aunque en la literatura parece estar asociado a eventos puntuales como tsunamis o subidas extraordinarias de la marea. En este estudio resulta interesante que algunos de los alumnos dieron argumentos climáticos (53,3%, alrededor de 15 alumnos) para explicar los cambios eustáticos. Pero fueron pocos en relación a los 152 alumnos que pasaron por el taller, y es que si bien la problemática asociada a la subida del nivel del mar debida al calentamiento global fue ampliamente difundida desde el 2001 (cuando se publicaron los primeros informes del IPCC), no parece ser intuitiva la relación entre el nivel del mar anómalo y el clima (Houghton, 2001). En este punto el presente taller demostró ser muy eficiente, ya que dicha tendencia cambió durante la última actividad, momento donde los alumnos repensaron sus respuestas iniciales, y más del 80% de ellos notó que la respuesta más parsimoniosa era un cambio en el nivel del mar probablemente asociado a períodos glaciares e interglaciares.

Del total de grupos de alumnos que propusieron causas climáticas para justificar el cambio en el nivel del mar durante la primer parte del taller, el 75% explica cómo se establecería esa relación dando razones para la transgresión o regresión del mismo. Los alumnos, en general, proponen respuestas unicasuales (como propuso Rojero, 2000), registrándose explicaciones policausales solo en el 10,4% de las respuestas. Únicamente un grupo da razones para la entrada y salida del mar, haciendo mención al ingreso por causas climáticas (inundación por exceso de lluvias) y al egreso por causas sedimentarias (colmatación). Entre las razones climáticas más nombradas se destaca la sequía

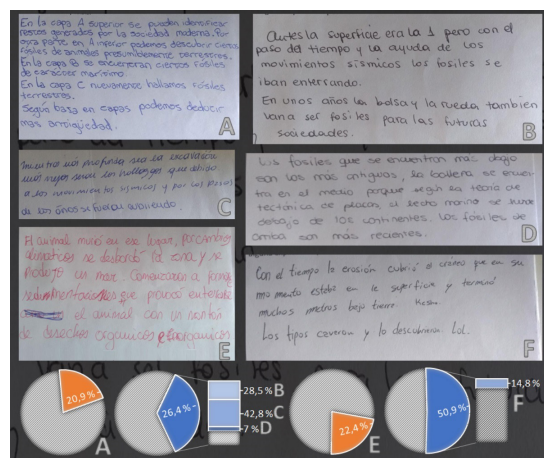


Figura 4. Extractos de las respuestas de los alumnos

como principal proceso utilizado para explicar el descenso en el nivel del mar. Si bien podría ser un motivo para explicar el descenso del nivel del mar en algunas regiones acotadas, carece de poder explicatorio para justificar un abrupto descenso en el nivel del mar como el descrito en los registros sedimentarios entregados (Fig. 2). Por otro lado, y según las percepciones no sistematizadas que recopilamos durante los talleres, los estudiantes parecen estar refiriéndose a descensos en el nivel ocurridos por desconexión con otro curso de agua y exceso de evaporación (como en el caso del Mar de Aral); dejando en estos casos por fuera los descensos en el nivel del mar ocurridos a causa de grandes períodos glaciares o ascensos tectónicos del fondo marino. Asimismo, parece ignorarse el potencial climático para el ascenso del nivel del mar, precisamente producido por deshielo en las calotas glaciares.

Del total de las respuestas dadas por el alumnado, el 20,9% confundió la consigna dando sólo una descripción de las facies sin mencionar causas que justifiquen la sucesión de fauna encontrada (Fig. 4A). Dicha confusión puede deberse a una ausencia de competencias cognitivo-lingüísticas, como resultado de la falta de prácticas para la ejercitación de explicaciones (Revel Chion, 2014).

Por último, la mayoría de los estudiantes parecen entender de forma intuitiva el principio de superposición, definiendo los estratos inferiores como más antiguos (94,2%). Dicho saber puede desprenderse del quehacer cotidiano, ya que es de público conocimiento que existe una relación entre la cantidad de sedimento acumulado sobre un objeto y el tiempo transcurrido sin ser limpiado; en este caso el objeto “sucio” queda debajo de los depósitos eólicos más jóvenes acumulados a lo largo de unos pocos días. Cabe destacar también que los alumnos se concentraron en el registro fósil, ignorando otras diferencias en los estratos, como el color de los mismos. Esto podría deberse a que los fósiles les resultan más llamativos (Alcalá et al., 2010).

Durante la fase final del taller, momento donde se les propone rever su hipótesis inicial del registro estratigráfico, se hace evidente una tendencia a la explicación de índole climática de los registros (la cual hace evidente el resultado de haber atravesado el taller). Pero resulta llamativo el detalle con el que los alumnos y alumnas construyen hipótesis que explican la sucesión faunística en la secuencia estratigráfica. A esta altura, resulta importante recordar que en ningún momento se les explicó cómo leer un

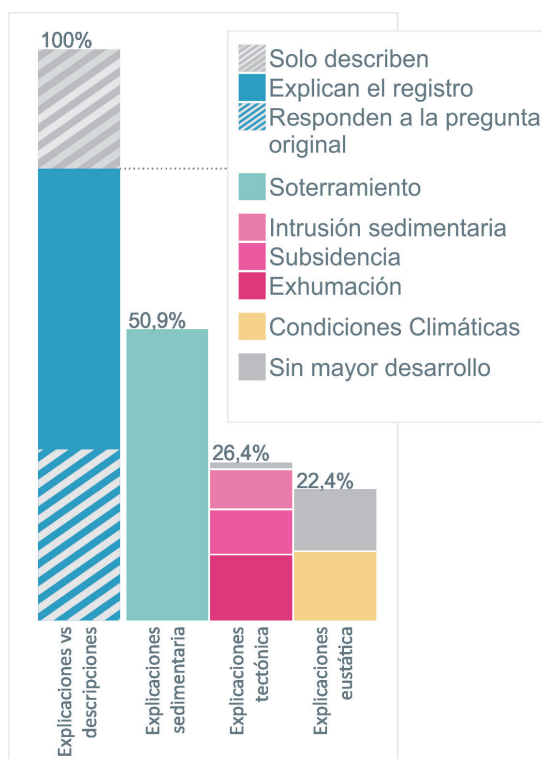


Figura 5. Gráfico que resume los resultados de la primera actividad, donde se diferencia entre aquellos alumnos que solo describen y aquellos que explican con argumentos tectónicos, sedimentarios y eustáticos.

registro estratigráfico; pero pese a esta situación, parece que la comprensión sobre la evolución ambiental (fuertemente ligada a cambios climáticos de gran escala) deriva en herramientas sobradas para poder construir un relato desde la relectura de la secuencia estratigráfica. Durante los cuatro talleres se registró que la mayoría de los alumnos y alumnas pudieron explicar lo ocurrido durante la secuencia (un 62,5% de los participantes), mientras que un grupo algo menor pero relevante (un 14% del total) pudo construir un relato complejo sobre cómo se originaron los ambientes que dieron lugar a esos registros.

En cuanto a la actividad del taller, al momento de construir la línea de tiempo, se observó que todos los alumnos situaban las tarjetas “equidistantes”. Lo que implicaba un error competencial ya que las tarjetas marcaban 3 grandes agrupaciones cronológicas distintas y ampliamente separadas entre sí, este tipo de detalles es importante cuando se trabaja con el TG porque el mismo no solo encierra la sucesión de eventos sino que también la cronología ya que no es lo mismo que un evento ocurra en un momento o en otro. Ésto implicaba una complicación ya que afectaba a la dinámica de la tarea asignada. Probablemente esta

conducta responda a una falta de práctica en la elaboración de gráficos cuantitativos.

Todos los alumnos lograron inferir la evolución de la línea de costa durante los tres períodos. De este modo, la actividad mostró ser lo suficientemente potente para que los alumnos puedan construir el concepto de línea de costa variable (en tiempo geológico), y (luego de que por medio de preguntas productivas los alumnos lograsen relacionar el nivel del mar con la formación de las calotas Euroasiática y Lauréntica) relacionarlo a una forzante climática (como podrían ser las glaciaciones).

Si bien la actividad propuesta fue puesta a prueba en un taller de ciencias en una Facultad, por sus características, podría realizarse en las escuelas secundarias. Además, esta propuesta aborda los temas del eje Historia de la Tierra y de la vida, que se encuentra estructurado en el Diseño Curricular de la Nueva Escuela de la Ciudad de Buenos Aires (MEGCABA, 2015) y en la materia Ciencias de la Tierra en provincia de Buenos Aires para escuelas secundarias con orientación en Ciencias Naturales (DGCEPBA, 2011).

Conclusiones

La experiencia sugiere que los estudiantes poseen nociones intuitivas (y correctas) sobre el principio de superposición, por lo que sería interesante capitalizar dicho conocimiento por medio de prácticas escolares que relacionen los registros estratigráficos con el propio TG. Por otro lado, es entendible que ante la carencia de herramientas para explicar los cambios históricos en el nivel del mar, la mayoría de los alumnos se centraron tan solo en explicar porque los fósiles se encuentran bajo tierra.

Así mismo, resulta necesario destacar la importancia de la enseñanza de competencias argumentativas en disciplinas científicas, ya que sin ellas resulta muy difícil la puesta en práctica de actividades complejas.

La ausencia de contenidos sencillos, como el de erosión, durante la escolaridad pueden complicar el desarrollo de las prácticas en ciencias de la Tierra; por esta razón es recomendable la implementación de pequeñas actividades donde se trabajen nociones básicas de sedimentología y estratigrafía previo al desarrollo de actividades que involucren procesos más complejos. La presencia de taxa fósiles debe ser una ayuda y no un problema, los mismos deberían ser pocos

y muy fáciles de reconocer. Las actividades deben valerse de los mismos como una herramienta que llame la atención pero que no disperse demasiado a los alumnos. De nada ayudan los dinosaurios a una actividad cuyo fin es aprender estratigrafía, si los estudiantes se preocupan más por saber cada detalle de ellos y no por ubicarlos en el tiempo geológico.

El trabajo resulta evidentemente eficaz a la hora de establecer una fuerte relación entre el nivel del mar y los intervalos glaciares e interglaciares. Cabe destacar que dicha relación es uno de los mayores temores que hoy existe en muchos países costeros ya que debido al calentamiento global podría ponerse en peligro muchas ciudades.

Este tipo de actividades con dinámicas regionales, que incluyen características como la geomorfología, el clima, los glaciares y a la biota pueden ser una herramienta muy eficaz para problematizar sobre las explicaciones monocausales, más aún si dentro de este tipo de actividades se coloca el impacto de origen antrópico. El trabajo con registros y sucesión de mapas permitió, en este caso, la construcción de explicaciones policausales a partir de registros sencillos (en este caso, fósiles) sobre la evolución geomorfológica regional y asociada a ella el cambio climático a escala milenial.

Por último, creemos que enseñar de una forma integral el concepto de tiempo geológico, prestando especial atención a la evolución del registro fósil permite abordar la pregunta: ¿Cómo los geocientíficos reconstruyen el pasado de nuestro planeta?. Ya que, no es suficiente con que los alumnos aprendan cifras referentes a los principales eventos geológicos (edad de la tierra, origen de la vida, grandes extinciones, etc) como si se tratase de una verdad revelada por los científicos o el docente de ciencias (en algunos casos la misma persona); sino que consideramos que para lograr una real alfabetización en geociencias debemos lograr que se entienda cómo funciona la construcción de conocimiento científico.

Agradecimientos

Agradecemos a los estudiantes y docentes de los distintos cursos que aceptaron participar en el estudio. A las autoridades del departamento de Ciencias Geológicas de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (Universidad de Buenos Aires) por ceder el espacio y los materiales necesarios para desarrollar la tarea. Y a los distintos alumnos de la misma facultad que colaboraron en la puesta en marcha de dicho taller.

Referencias

- Adúriz-Bravo, A. (2002). Aprender sobre el pensamiento científico en el aula de ciencias: una Propuesta para usar novelas policíacas. *Alambique: Didáctica de las ciencias experimentales*, 31, 105-111.
- Alcalá, L., González, A., & Luque, L. (2010). Los talleres paleontológicos como recurso didáctico Interactivo. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 18(1), 119-124.
- Alegret, L., Meléndez, A., & Trallero, V. (2001). Didáctica del tiempo en Geología: Apuntes en Internet. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 9(3), 261-269.
- Ballesteros-Barrera, C. & Ramírez, A. R. (2011). *Métodos de reconstrucción paleoclimática*. Cambio Climático. Capítulo 1, 1-14. Universidad autónoma del Estado de Hidalgo.
- BBC Mundo (2018). *La enorme grieta que está separando el Cuerno de África del resto del continente*. BBC. URL: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-43618192>. Acceso 27.09.2021.
- Boykoff, M. T. (2009). El caso del cambio climático: los medios y la comunicación científica. *Infoamérica: Iberoamerican Communication Review*, (1), 117-127.
- Carrillo Rosúa, J., Vílchez González, J. M., & González García, F. (2010). Ideas previas en el alumnado de magisterio de educación primaria sobre el interior de la tierra. CiDd: II Congrés Internacional de Didàctiques, Girona, España, 2010.
- Cohen, I. S., Bustamante, W. O., Díaz, J. V., Padilla, G. D., Valle, M. V., & Villalobos, J. M. (2007). Clima y Disponibilidad de Agua: Análisis del pasado para prever el futuro. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 6, 169-176.
- Dirección General de Cultura y Educación de la Provincia de Buenos Aires (Dgcepa) (2011). *Diseño curricular para la escuela secundaria: Orientación Ciencias Naturales 5º año*. La Plata, Argentina.
- García Cruz, C. M. G. (2007). El origen de las montañas. I. Del mito y la superstición al Neptunismo. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 15(1), 16-29.
- González Galli, L. M. (2011). *Obstáculos para el aprendizaje del modelo de evolución por selección natural*. Doctoral disertación, Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales.
- Gould, S. J. (1994). *La vida maravillosa*. RBA.
- Granda, A. (1988). Esquemas conceptuales previos de los alumnos en Geología. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 6(3), 239-243.
- Houghton, J., Ding, Y., Griggs, D. J., Noguer, M., Van der Linden, P. J., Dai, X., Maskell, K., Johnson, C. A. (2001). IPCC 2001: climate change 2001. *The climate change contribution of working group I to the third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, 159.
- Lec Martens, M. (1999). Las preguntas productivas como herramienta para soportar el aprendizaje constructivista. trad. Roberto Soto. New York: Ciencia & Children, 36(8), 24.
- Martín, R., Franzoni, J., Laino, L., Pirillo Méndez, J., & Rodríguez Rizk, G. (2017). *Cambio Climático y Evolución ambiental, un taller donde construir el concepto de Tiempo Geológico*. II Congreso Regional en Enseñanza de las Ciencias de la Naturaleza, I Congreso Nacional en Enseñanza de las Ciencias de la Naturaleza y la Matemática, Tandil, Argentina, agosto de 2017.
- Martín-Chivelet, J., Palma, R. M., Domingo, L., & López Gómez, J. (2015). Cicloestratigrafía, Cambio Climático y la Escala de Tiempo Astronómico. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 23(2), 136-147.
- Medina, J., Rebelo, D., Morgado, M., McDade, G., Bonito, J., Martins, L., & Marques, L. (2013). Una contribución para la educación y la ciudadanía: el tiempo geológico. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 21(1), 38-38. URL: <http://dspace.uevora.pt/rdpc/bitstream/10174/8797/1/Medina%20et%20al.pdf>. Acceso 27.09.2021.
- Ministerio de Educación Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires (Megcaba) (2012a). *Diseño curricular para la escuela primaria: primer ciclo de la escuela primaria, educación general básica*. Buenos Aires, Megcaba. URL: https://www.buenosaires.gov.ar/sites/gcaba/files/disenocurricularpara_la_escuela_primaria_primer_ciclo.pdf. Acceso 27.09.2021.
- Ministerio de Educación Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires (Megcaba) (2012b). *Diseño curricular para la escuela primaria: segundo ciclo de la escuela primaria: educación general básica*. Buenos Aires, Megcaba. URL: https://www.buenosaires.gov.ar/sites/gcaba/files/disenocurricularpara_la_escuela_primaria_segundo_ciclo_tomo_1.pdf. Acceso 27.09.2021.
- Ministerio de Educación Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires (Megcaba) (2015). *Diseño curricular nueva escuela secundaria de la Ciudad de Buenos Aires: ciclo orientado del bachillerato, formación general*. Buenos Aires, Megcaba. URL: https://www.buenosaires.gov.ar/areas/educacion/nes/pdf/2015/NES-Co-formacion-general_w.pdf. Acceso 27.09.2021.
- Morgado, M., Rebelo, D., Monteiro, G., Bonito, J., Medina, J., Marques, L., & Martins, L. (2010). *O Tempo Geológico e a aprendizagem da Geologia: concepções de alunos do 7º ano do ensino básico (12-13 anos)*. Dinópolis, Fundación Conjunto Paleontológico de Teruel. 197-204.
- Nosty, B. D. (2009). Cambio climático, consenso científico y construcción mediática. Los paradigmas de la comunicación para la sostenibilidad / Climatic change, scientific consensus and mediatic construction. The paradigm of the communication for the sustainable development. *Revista Latina de Comunicación Social*, (64), 99.
- Pedrinaci, E. (1993). La construcción histórica del concepto de tiempo geológico. *Enseñanza de las Ciencias*, 11(3), 315-323.
- Pedrinaci, E. (1996). Sobre la persistencia o no de las ideas del alumnado en geología. *Alambique*, 7, 27-36.
- Pedrinaci, E. (2001). Los procesos geológicos internos. Editorial Síntesis.
- Pedrinaci, E., & Berjillos, P. (1994). El concepto de tiempo geológico: Orientaciones para su tratamiento en la educación secundaria. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 2(1).
- Rapanta, C. (2018). Teaching as abductive reasoning: The role of argumentation. *Informal Logic*, 38(2), 293-311.
- Revel Chion, A., & Aduriz-Bravo, A. (2014). *La argumentación científica escolar: Contribuciones a una alfabetización de calidad*. Presidente del Consejo Superior Hermano Humberto Murillo López Rector. 52p. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/159292507.pdf>. Acceso 27.09.2021.
- Rojero, F. F. (2000). ¿Una asignatura sistémica o sistémica? *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 8(3), 189-196.
- Rudwick, M. J. (2001). Jean-André de Luc and nature's chronology. London, *Geological Society, Special Publ.*, 190(1), 51-60.
- Sagan, C. (1984). *Los Dragones del Edén*. México, DF, Ed. Grijalbo.
- Sequeiros, L., Pedrinaci, E. & Berjillos, P. (1996). Cómo enseñar y aprender los significados del tiempo geológico: Algunos ejemplos. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 4(2), 113-119.