



¿Cómo y por qué mejorar la comprensión del tiempo geológico en el alumnado de Secundaria?

 Jorge Roldán Muñoz

Departament de Didàctica de la Matemàtica i de les Ciències Experimentals de la
Universitat Autònoma de Barcelona (UAB).

[Recibido: 21 enero 2025, Revisado: 11 marzo 2025, Aceptado: 7 abril 2025]

Resumen: El tiempo geológico es un concepto extraño para la mayoría de la población. La inmensa escala temporal de la historia del planeta, la difícil reproducibilidad de muchos procesos geológicos o la lentitud con la que se dan algunos de ellos, dificultan la adquisición y el uso apropiado del concepto. A pesar de ello, es un concepto fundamental para entender el pasado, pero también el futuro del planeta en un momento de crisis ambiental. El artículo repasa los aspectos más relevantes para la comprensión del tiempo geológico, presenta un modelo para ayudar a su incorporación en la descripción de los procesos geológicos externos y expone una investigación cuasiexperimental, basada en el análisis de contenido, que demuestra que el uso de este modelo puede facilitar la comprensión y expresión del concepto de tiempo geológico.

Palabras clave: alfabetización científica; construcción de modelos; enseñanza secundaria; prospectiva; tiempo geológico; trabajo de clase.

How to improve understanding of geological time among secondary school students – and why we should

Abstract: Geological time is a strange concept for most people. The vast time scale of the planet's history, the limited reproducibility of many geological processes and the slowness with which they occur make it difficult to understand and use the concept properly. Nevertheless, it is fundamental to our understanding of both the past and the future of the Earth at a time of environmental crisis. This article examines the main aspects of geological time and proposes a model for how to use it to describe external geological processes. The article also presents the results of a content analysis-based quasi-experimental study, showing how the model improves both understanding and articulation of the concept of geological time.

Keywords: scientific literacy; model construction; secondary education; prospective; geological time; classroom activities.

Introducción

No cabe duda de que el tiempo geológico es un concepto extraño. Algunas personas, entre las que se encuentran los geólogos y las geólogas, poseen un conocimiento apropiado de su significado porque se han topado con él en multitud de ocasiones, y lo necesitan para dar coherencia a sus estudios y conclusiones. Igual que sabemos escribir, pero no por ello estamos capacitados para enseñar a hacerlo a niños y niñas de seis años, no le resulta fácil al geólogo explicar cómo ha ido construyendo el significado de tiempo geológico que utiliza habitualmente.

En este artículo nos proponemos tres objetivos. En primer lugar, revisar la literatura para definir los aspectos más relevantes que forman parte del concepto de tiempo geológico, a la vez que se discuten algunas orientaciones y actividades paradigmáticas que puedan ayudar en su aprendizaje. En segundo lugar, proponer un modelo o andamiaje que facilite la inclusión de la perspectiva temporal en la interpretación de los procesos geológicos externos, donde el concepto de tiempo geológico es transcendental por las implicaciones que tiene en nuestra vida sobre el planeta. Finalmente, el tercer objetivo es demostrar que el modelo propuesto ayuda, de manera significativa, al alumnado de secundaria a incorporar una perspectiva temporal cuando interpreta los paisajes.

Marco teórico

La esencia del tiempo geológico

Los puntos clave sobre los que construir un aprendizaje del tiempo geológico son:

- a. Todos los objetos geológicos (una roca, un desprendimiento, un arco natural, una erupción volcánica, una surgencia, un pliegue, el mismo planeta Tierra...) tienen un origen, una edad. Esta edad no es la misma para todos los objetos geológicos, los hay muy antiguos y otros son más recientes.
- b. Nada de lo que podemos observar en el planeta Tierra es inmutable. La dinámica, el cambio es la norma. Y las causas y los efectos del cambio han sido siempre similares a los que se pueden observar en la actualidad, aunque no hayan sido siempre al mismo ritmo.
- c. Cuantitativamente, físicamente, el tiempo geológico abarca millones de años (Cohen *et al.*, 2013).
- d. Existen métodos, técnicas e instrumentos para reconstituir los cambios geológicos.
- c. La comprensión del tiempo geológico ayuda a minimizar cualquier impacto negativo de la acción del hombre sobre el sistema Tierra (Bjornerud, 2019; Cheek *et al.*, 2017).

A la búsqueda del tiempo (geológico) perdido

En las ciencias de la Tierra nos topamos con el tiempo geológico cuando tratamos de reconstruir la historia geológica a partir de un corte transversal, en un afloramiento o en un ejercicio en el aula, o cuando correlacionamos cronológicamente las columnas estratigráficas de una cuenca sedimentaria. También observamos el tiempo geológico en el crecimiento cristalino, en la evolución de las series filogenéticas del registro fósil, en las geoformas de nuestros paisajes, en los períodos de retorno y en las dataciones absolutas y relativas de los objetos geológicos.

Como escribe Reguant:

“En geología podem fer servir la dimensió temps de diverses maneres” (Reguant, 1986).

Un tiempo físico, cuando nos referimos a la duración de un fenómeno geológico como un terremoto o a la tasa de sedimentación en un lago glacial. Un tiempo cíclico, cuando somos capaces de observar etapas en la interpretación de procesos geológicos como la tectónica de placas o el origen de las rocas. Y, finalmente, un tiempo histórico, que nos permite rellenar el continuo del tiempo físico con sucesos geológicos ordenados temporalmente.

El gran divulgador Stephen Jay Gould nos regaló una excelente revisión histórica del descubrimiento del tiempo geológico en base a esa dicotomía entre un tiempo lineal y un tiempo cíclico, que fueron perspectivas contrapuestas en el pensamiento filosófico durante mucho tiempo (Gould, 1992).

Actividades relacionadas con la enseñanza-aprendizaje del tiempo geológico

La actividad más habitual en las aulas de secundaria relacionada con la enseñanza y aprendizaje del tiempo geológico es alguna de las variaciones de la línea del tiempo (Dodick y Orion, 2006; Earthlearningidea, 2020a) que pretende que el alumnado ordene determinados eventos naturales que ocupan todo un continuo temporal desde el origen del Universo o del planeta Tierra hasta nuestros días.

Dodick y Orion (2006) propusieron trabajar con seis escalas diferentes de tiempo (geológico, biológico, fósil, evolución humana, civilización y personal). Resnick *et al.* (2012) y Marqués *et al.* (2017) también proponen la realización progresiva de líneas del tiempo de diferentes escalas. Cheek (2013b) considera que estas escalas temporales relativas a períodos más cortos pueden servir de andamios para los estudiantes cuando aprendan sobre la duración de los procesos geológicos.

Pedrinaci y Berjillos (1994) proponen una serie de actividades para relacionar el tiempo geológico con el cambio, pues la percepción “estática” de los eventos geológicos dificulta la comprensión de la perspectiva temporal por parte del alumnado, que suele ser discontinua. Aunque los autores encuentran más facilidad para trabajar con los cambios “rápidos”, no quisieran renunciar a hacerlo de la misma manera con los cambios “lentos”. Una actividad interesante que podríamos incorporar en este sentido es la lectura de un artículo de Anchel Belmonte en el Heraldo de Aragón, donde refiere qué tipo de experimentos pueden llevar a cabo los geólogos para reconocer la tasa de meteorización de las rocas de una cordillera (Belmonte, 2019).

Para trabajar la sucesión, Sequeiros *et al.* (1996), Pedrinaci y Berjillos (1994) y Schierl (2014) animan a utilizar imágenes de fenómenos geológicos en diferentes momentos, con el ánimo de trabajar la secuencia temporal. Actualmente, muchos recursos nos facilitan esta tarea. Por ejemplo, <https://climate.nasa.gov/images-of-change> permite comparar dos imágenes de la superficie terrestre en momentos diferentes para casos relacionados con las ciencias de la Tierra y <https://earthtime.org> presenta vídeos en cámara rápida que permiten observar la variación de cualquier parte de la superficie terrestre entre 1984 y el presente. Es suficiente con observar la secuencia temporal de estas cuatro décadas en un tramo fluvial meandriforme de la cuenca del Amazonas para darse cuenta de lo que significa cambio y sucesión.

En la literatura (Sequeiros *et al.*, 1996), también encontramos actividades que hacen referencia al cálculo de la edad de la Tierra, como los trabajos de Darwin, Kelvin o Joly en base a la erosión, la pérdida de calor o la salinidad. Todos ellos son cálculos basados en el uniformismo de los procesos geológicos; es decir, en velocidades constantes de cambio, independientemente de otras consideraciones que deberíamos hacer explícitas en el caso de proponer las actividades de este tipo. En menor número, encontramos actividades relacionadas con la datación por radioisótopos, el método más conocido para datar las rocas de manera absoluta.

Las actividades en el campo son importantes para la construcción del concepto de tiempo geológico en los adolescentes. Itinerarios geológicos con presencia de rocas estratificadas, contenido fósil, discontinuidades y, sobre todo, una continuidad vertical de los afloramientos como en los escarpes son ideales (Baceta *et al.*, 2010).

Recomendaciones desde la Psicología cognitiva para conocer el tiempo geológico

Los trabajos de Dodick y Orion (2003, 2006) se basan en el modelo de pensamiento diacrónico de Montagnero. Según este marco teórico, para que las personas sean capaces de representar transformaciones a lo largo del tiempo, es imprescindible que inicialmente reconozcan la transformación o cambio en el objeto de estudio. Esta idea parece aceptada por la mayoría de los autores que han investigado sobre el tiempo geológico (Pedrinaci, 1993; Pedrinaci y Berjillos, 1994; Shierl, 2014; Cheek *et al.*, 2017; Layow, 2017).

Para activar el esquema de transformación, el sujeto debe ser capaz de enlazar su conocimiento empírico con el pasado, basado en el principio de actualismo. En nuestro caso, por ejemplo, esto significa que el alumnado debe asimilar la idea de que los fósiles tienen su origen en los seres vivos del pasado o en los restos de su actividad que han quedado registrados en los sedimentos, o que lo que antes era una serie de capas horizontales ahora es un pliegue. En el estudio de Dodick y Orion (2006), los alumnos de 12 años fueron capaces de utilizar el principio del actualismo sin problemas.

El concepto cambio parece ser de gran relevancia en el aprendizaje del tiempo geológico. Una referencia clarividente es el artículo de Márquez y Artés (2016) sobre el modelo cambio geológico del alumnado del Grado en Educación Primaria. Las autoras analizaron las representaciones gráficas de setenta y ocho estudiantes sobre el origen y los cambios de un canto rodado y de un paisaje en cuatro momentos de una propuesta de enseñanza y aprendizaje centrada en la construcción del modelo sistémico de cambio geológico. Concluyeron que las representaciones eran cada vez más abstractas y complejas, incorporando los componentes dinámicos y las interacciones entre los elementos del sistema a medida que avanzaba el desarrollo de la propuesta.

Una vez hemos asociado el tiempo al cambio o viceversa, la literatura no explicita ningún obstáculo importante respecto a la sucesión de los eventos geológicos; es decir, respecto al orden que deberían ocupar en una flecha del tiempo.

Según Resnick *et al.* (2012), los humanos piensan en términos de eventos, que parece ser que pueden ordenar sin excesiva dificultad (Cheek, 2013a), y no en el intervalo en la escala del tiempo; es decir, en la duración o en las velocidades del cambio. Dicen Resnick *et al.* (2012) que este es un hecho adaptativo, y alinear educación con psicología puede reducir la frustración de alumnado y profesorado. Y es que la duración parece ser el siguiente obstáculo en la comprensión del tiempo geológico. Y lo es en dos sentidos fundamentales.

Por una parte, en la característica innata en los humanos de asociar el tiempo al espacio (Cheek, 2013a). El ejemplo más observable en nuestro alumnado de esta asociación es cuando asignan a un estrato más potente una cantidad de tiempo mayor para su formación que en el caso de un estrato menos potente, suponiendo que el proceso de deposición sedimentaria es lineal, uniforme (Dodick y Orion, 2006). De manera similar puede ocurrir cuando nos referimos al número de estratos (Dodick y Orion, 2003).

Por otra parte, en la dificultad de desentrañar el ritmo en que sucede el cambio. Algunos cambios son rápidos y otros son lentos. Marques *et al.* (2017) han demostrado que los alumnos tienen más dificultad en la asociación correcta del tiempo en los fenómenos lentos (por ejemplo, la erosión de una montaña) que en los fenómenos más rápidos

(terremotos). Según Cheek *et al.* (2017), los primeros suelen ser sobreestimados y los segundos infraestimados, de manera similar a como sucede con la escala espacial.

Hablando de tasas y ritmos, nosotros añadiríamos la irreversibilidad de algunos cambios lentos. Es evidente que un desprendimiento es irreversible para los alumnos, al igual que una erupción volcánica o un terremoto. Pero hay procesos que aparecen como continuos y que no lo son. Es decir, que van a ser irreversibles, aunque se ralentice o detenga su tasa de cambio, desde el momento que traspasen un determinado umbral. Uno de los ejemplos más interesantes es el relacionado con la reducción de la superficie de algunos glaciares causada por el aumento de la temperatura en el planeta. Los expertos (Ryan *et al.*, 2019) nos dicen que no hay que esperar a que se fundan todos los glaciares para emprender acciones que reduzcan el calentamiento global, puesto que el mantenimiento de los glaciares también está relacionado con el efecto de albedo. Una reducción de las superficies blancas reflectantes de los glaciares repercutirá en un aumento de la temperatura irreversible a escala humana.

Las recomendaciones que podemos ofrecer para reducir este obstáculo relacionado con la duración de los procesos geológicos van desde promover en los estudiantes ejemplos cotidianos en los que el espacio y el tiempo no se combinen, simular o modelizar depósitos sedimentarios jugando con diferentes tasas e informar y discutir sobre las duraciones temporales teóricas de los procesos geológicos más habituales (Brusi *et al.*, 2013; Schierl, 2014; Earthlearningidea, 2020b).

Como decíamos en la introducción, no es lo mismo poseer un buen entendimiento de un concepto que saberlo enseñar. Recientemente, Layow (2017) ha desarrollado su tesis doctoral investigando las diferencias existentes entre alumnado y profesorado a la hora de entender y utilizar el concepto de tiempo geológico. Su trabajo, a partir del análisis del discurso y la fenomenografía, arroja algunas consideraciones que podríamos tener en cuenta. En primer lugar, los expertos tienen estructuras cognitivas y modelos diferentes de los novices. Los primeros resuelven los problemas planteados atendiendo a la coherencia con el esquema que ya poseen del concepto en cuestión. Utilizan puntos de anclaje que les facilitan ubicar la situación problema en alguna parte de su esquema. Estos anclajes dependen de la disciplina en la que sean expertos. En cambio, el alumnado sin experiencia, carente todavía de un esquema fiable o incompleto, muestra otras estrategias para tomar una decisión. Las alternativas son variadas, pero surgen necesariamente del bagaje cultural de cada alumno y de razonamientos lógicos básicos (agrupar, ordenar, ...). En segundo lugar, los expertos reconocen más fácilmente la información relevante (características, patrones, ...) para solucionar el problema, mientras que los alumnos tienen más dificultad para detectarla y puede pasar desapercibida. Finalmente, destaca que el papel del profesorado debe estar relacionado con la formación de un esquema cognitivo que pueda permitir al alumnado incorporar aprendizajes posteriores que necesariamente modificarán el esquema para perfeccionarlo. Para ello, las actividades metacognitivas donde el estudiante discute y reflexiona sobre su proceso de aprendizaje, de reconocimiento y recuperación de patrones dan lugar a niveles más altos de comprensión.

¿Por qué pensar como geólogos puede ayudarnos a salvar el planeta?

Éste es el subtítulo de un libro aparecido recientemente. La autora en un alegato quizás un poco impetuoso llega a decir que:

“La comprensión del tiempo profundo es posiblemente la mayor contribución de la geología a la humanidad” (Bjornerud, 2019).

Lo que trata de explicarnos es que únicamente con una visión a medio y largo plazo de los procesos naturales podemos acometer con seguridad los retos ambientales que afrontamos actualmente. La visión cortoplacista, o bien busca soluciones no sistémicas que trasladarán los problemas a otras esferas o bien espera generar procesos que reviertan la situación problemática, quizás cuando ya sea irreversible. Alinear ritmos naturales con actividad humana puede guiarnos en una respuesta sostenida ante el desafío medioambiental. Parece ser que esta visión se abre camino dentro del colectivo que debe tomar las decisiones políticas, como hemos podido ver tras el paso del huracán Gloria, al inicio de 2020, que ha destrozado innumerables infraestructuras del litoral mediterráneo (González, 2020), y que ahora será necesario valorar su reconstrucción o su deconstrucción como aparece en el artículo de Alós (2020).

Otras publicaciones recientes, más generalistas, están ayudando a divulgar este pensamiento a largo plazo (Krznaric, 2022; Farrier, 2022), y existe un cuerpo teórico bastante desarrollado para enmarcar investigaciones sobre prospectiva en el campo ambiental y de la ordenación del territorio (Ahvenharju *et al.*, 2018 y Hervé *et al.*, 2021, a modo de ejemplos introductorios).

Materiales y métodos

Una propuesta desde la didáctica de las ciencias de la Tierra

Los y las adolescentes aprenden una lengua extranjera además de su lengua propia, pero siempre hablan en su lengua propia por defecto. Solo si les exigen que hablen o escriban en una lengua extranjera, lo hacen sin excesivos problemas. Se activa su recurso lingüístico. Más o menos es lo que pretendemos en este artículo, poner a disposición del alumnado un recurso didáctico que pueda utilizar para incorporar una visión temporal a sus interpretaciones, en nuestro caso de los procesos geológicos externos formadores del paisaje y, posteriormente, activar el uso de tal recurso.

Nos centramos, como diría Cheek (2013a), en la acepción de tiempo que tiene que ver con la habilidad para concebir procesos que ocurren a ritmos muy lentos y que a la vez requieren largos períodos de tiempo; y no tanto en la acepción que tiene que ver con la habilidad para emplazar eventos en la historia de la Tierra en una escala temporal suficientemente larga. Consideramos el concepto de tiempo geológico como componente básico de la alfabetización científica (Pedrinaci *et al.*, 2013), pues es imprescindible para comprender muchos de los procesos naturales y sus repercusiones sobre los seres vivos, incluido, por supuesto, el ser humano.

Tal y como hemos venido exponiendo, la construcción de un esquema cognitivo para incorporar la visión temporal no resulta fácil, y seguramente es siempre perfectible, porque en parte depende del conocimiento de la disciplina (Cheek, 2013a). Otros factores limitantes, como el manejo de los grandes números y las dificultades con el tiempo convencional, son más soslayables a lo largo del período de aprendizaje.

Hemos visto que algunos conceptos son cruciales para el buen entendimiento del tiempo geológico y, por lo tanto, deben formar parte de este esquema (Figura 1). En primer lugar, ha de haber un espacio para el cambio. El alumnado ha de dirigir su atención a los cambios. Los indicadores de cambio pueden tener relación con la forma, los materiales, la vegetación, etc. A continuación, debe relacionar los indicadores de cambio con los factores que lo han podido producir (climáticos, litológicos, estructurales, biodiversidad, actividad humana, etc.). A medida que vaya mejorando su esquema, en base a la experiencia, aparecerán demandas sobre cómo estos factores afectan el cambio según su intensidad o

combinación. Para trabajar la sucesión, hay que pedir al alumnado que visualice y describa escenas anteriores y posteriores a las que observa. El siguiente paso hace referencia a la duración, el obstáculo más difícil. En esta parte del esquema hemos de hacer hincapié en las tasas de cambio, si son cambios continuos o discontinuos en el tiempo, si las tasas son uniformes o no uniformes y si los cambios observados en una escena son simultáneos o consecutivos. Finalmente, y como pretendemos que la perspectiva temporal ayude a la minimización de los impactos generados por la actividad humana y a una ordenación del territorio racional, hemos de requerir a los alumnos que determinen cómo puede la actividad humana afectar o verse afectada por los previsibles cambios en el futuro. Ofrecerles la posibilidad de discutir la localización de una infraestructura en diferentes puntos de la escena estudiada debería poner en danza todas las reflexiones anteriores.

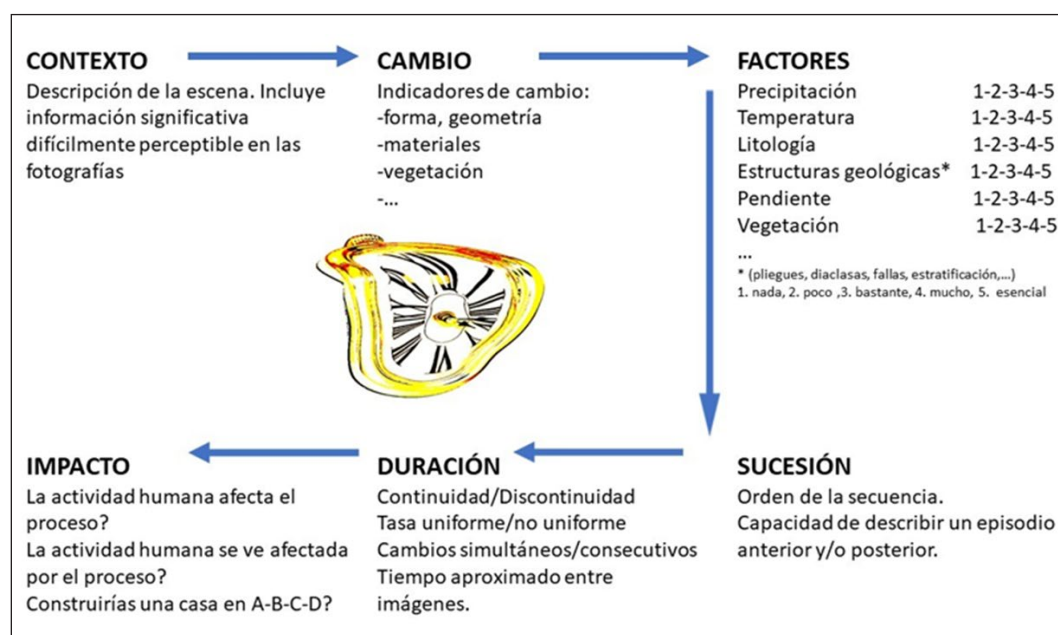


Figura 1. Esquema para orientar al alumnado en el aprendizaje del concepto de tiempo geológico.

Metodología

Durante el curso 2020-21 se puso en práctica el esquema anterior con un grupo de diecinueve alumnos de primero de Bachillerato de la materia optativa de modalidad Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente. La investigación llevada a cabo se podría definir como un cuasiexperimento (diseño de muestras cronológicas o en serie temporal interrumpida) basado en el análisis de contenido de las producciones de un grupo (Corbetta, 2003). La recogida de datos se llevó a cabo en tres momentos diferentes del curso. En la primera ocasión (13/01/2021), se presentó al alumnado una fotografía y un breve enunciado que permitiera redactar la descripción de un paisaje y su relación con la materia (Figura 2). Se optó por trabajar con imágenes relacionadas con el paisaje porque se consideró que la percepción del paso del tiempo (geológico) podría resultar más sencilla para el alumnado, sobre todo a medida que avanzara la secuencia de aprendizaje.

A estas alturas del curso, la programación de la materia ya había cubierto los contenidos relacionados con el interior de la Tierra, los materiales geológicos, la geodinámica interna y la tectónica de placas. A continuación, se desarrollarían los contenidos relativos a la geodinámica externa y una segunda recogida de datos a partir del mismo enunciado y fotografía (19/04/2021). Siguieron dos sesiones dedicadas a contenidos relacionados



Figura 2. Fotografía que acompañada del enunciado “Haz una descripción lo más detallada posible de lo que representa la siguiente imagen y de la relación con la materia de CTMA” sirvió para obtener los datos analizados en este artículo. En Juanjo (2011).

con el tiempo geológico y a la presentación del esquema propuesto anteriormente, como precalentamiento o activación del recurso. Hay que añadir que, durante el desarrollo de la unidad didáctica sobre geodinámica externa, el concepto tiempo estaba implícito en todas las explicaciones, discusiones y actividades que se llevaron a cabo, ejemplificando, para todos los paisajes modelados por los agentes geológicos, la evolución temporal de las geoformas. Finalmente (23/04/2021), se recogieron los últimos datos cuando se ofreció al alumnado el mismo enunciado, pero referido a un nuevo paisaje (Figura 3), con la ayuda del esquema propuesto para activar el concepto tiempo geológico en las respuestas. Se optó por ofrecer una imagen nueva, únicamente para no generar cansancio entre el alumnado y arriesgarse a reducir su motivación en la respuesta. Una nueva imagen también favorecería la validez interna de la investigación por reducir la influencia del pretest sobre este segundo postest (Corbetta, 2003). Se seleccionó una imagen que permitiera hacer incidencia en todos los parámetros que nos interesaba estudiar.

Cabe decir que la participación del alumnado en la experiencia sobrepasó las expectativas del autor y que los resultados recogidos representan fielmente tanto la evolución de sus respuestas como el esfuerzo y las competencias de cada individuo y del grupo en general.

Para el análisis del campo semántico del tiempo, nos pareció muy interesante el trabajo de Macazaga *et al.* (2020), relacionado con la preparación de un diccionario de unidades temporales a partir del léxico del español, más allá de la morfología verbal y la sintaxis que son los instrumentos básicos de la gramaticalización del tiempo. Los autores definen unidad temporal como “toda pieza léxica que incluya en su significado algún tipo de información temporal” (Macazaga *et al.* 2020), y proponen catorce clases de expresiones temporales asociadas a sus respectivos rasgos.



Figura 3. Fotografía que acompañada del enunciado “Haz una descripción lo más detallada posible de lo que representa la siguiente imagen y de la relación con la materia de CTMA. Utiliza el esquema sobre el tiempo geológico que hemos trabajado en clase y que aparece bajo la imagen” sirvió para obtener los datos analizados en este artículo. Fotografía modificada a partir de Traveler (2021).

Para nuestro artículo, centramos el análisis de los datos en las cinco clases que nos resultan más interesantes para la enseñanza-aprendizaje del tiempo geológico y que hemos incluido en el esquema propuesto como andamio para la modelización del tiempo geológico (Figura 1). Estas clases son: transformatividad, orden, duración, frecuencia y tiempo-espacio. La primera sería un sinónimo de cambio y la frecuencia para estos autores coincide con la definición de recurrencia utilizada en las ciencias de la Tierra.

Resultados

Los datos analizados se obtuvieron en las tres recogidas determinadas por la secuencia de aprendizaje. El alumnado produjo textos como respuesta a una pregunta relativa a un paisaje.

En primer lugar, se procedió a un conteo de palabras, que incluía la media, la desviación estándar y el rango en las respuestas para cada uno de los tres textos, y que muestra claramente que el contenido de los textos aumentó primero con el conocimiento teórico y posteriormente con el uso del modelo (Tabla 1).

Tabla 1. Estadísticas referentes al número de palabras en las representaciones

	Texto 1	Texto 2	Texto 3
Media de palabras	178,81	238,75	389,83
Desviación estándar	83,66	98,01	127,58
Rango	27-320	67-454	116-603

A continuación, en la Tabla 2, se recogen algunos ejemplos de frases escritas por el alumnado relacionadas con el tipo de expresiones que Macazaga *et al.* (2020) vincularon con las clases o rasgos temporales definidos en su trabajo, y que nosotros hemos escogido como marco para el análisis de contenido. Antes de mostrar la tabla queremos aclarar, de nuevo, una modificación respecto al marco original de Macazaga *et al.* (2020), puesto que consideramos que la recurrencia de los procesos geológicos tal y como la entendemos en ciencias de la Tierra está más ligada a la definición que los autores hacen de frecuencia que a la que hacen de recurrencia.

Tabla 2. Ejemplos de frases del alumnado según los rasgos temporales definidos en Macazaga *et al.* (2020). *Se mantiene el rasgo original (frecuencia).

Rasgos	Expresiones ...	Ejemplos
Transformatividad	que denotan eventos dinámicos o cambios asociados con el transcurso del tiempo	<ul style="list-style-type: none"> - Al cabo de unos años el río tendrá los meandros más curvados y pronunciados. - Con el paso de los años el acantilado ha tenido un retroceso y estas formas han quedado de referencia para saber dónde estaba el nivel de antes del acantilado.
Orden	que se caracterizan por el hecho de que forma parte de su significado una información acerca de un orden	<ul style="list-style-type: none"> - Las montañas se debían formar por el choque de dos placas tectónicas y posteriormente por los agentes geológicos se han ido denudando hasta poder ser observadas. - Probablemente lo primero que se formó fue el acantilado, aunque mientras se formaba ya se iban erosionando algunos sitios más que otros. Lo último que se ha formado han sido los islotes y el tómbolo porque, para formarse se han de haber separado del acantilado. Aun así, todo pasa de forma continua, ya que el único agente geológico aquí es el mar y nunca para de erosionar.
Duración	que se caracterizan por ofrecer información relativa a la duración o a su ausencia	<ul style="list-style-type: none"> - Un valle en V, formado por la constante erosión de este río durante millones de años. - Aunque más tarde que en la casa blanca, la roca seguirá siendo erosionada y con el paso del tiempo (años) caerá al mar. - En cuestión de meses es muy probable que una marea fuerte o un temporal engulla parte de la casa.
Frecuencia*	vinculadas a la repetición de eventos o períodos en intervalos no regulares o bien en las que la noción de regularidad no es pertinente.	<ul style="list-style-type: none"> - Al lado izquierdo sí que hay un conjunto de rocas de diferentes colores que es signo de erosión cuando por un temporal o otros el río aumenta su caudal. - Es obvio que no se genere (vegetación) en las playas, debido al constante y rápido movimiento de material que se produce allí.
Tiempo-espacio	que denotan relaciones espaciotemporales vinculadas al campo conceptual de la velocidad	<ul style="list-style-type: none"> - El río que hay que lo ha formado (valle en V) que lo ha formado gracias a su lenta, pero continua erosión. - en unos mil años el acantilado podría llegar hasta la casa azul y entonces, la casa desaparecería. - Calculando la velocidad de erosión podríamos saber cuánto tiempo duraría la construcción.

Entre los dieciséis alumnos y alumnas que completaron el primer texto se recogieron 30 ejemplos o frases referentes a uno o más de un rasgo. En el segundo texto, 58 ejemplos de los dieciséis alumnos que lo completaron. Y del tercer texto, se compilaron 148 ejemplos entre los dieciocho alumnos que participaron.

Si nos centramos en los rasgos seleccionados, cabe destacar que las expresiones relacionadas con el cambio (rasgo transformatividad) están muy representadas desde el primer texto recogido y están presentes en los textos de todo el alumnado. En lo que se refiere a la sucesión de eventos (rasgo orden) se aprecia un aumento de las expresiones a partir del segundo texto. Cuando hablamos de duración tenemos que esperar al tercer texto para ver un espectacular aumento de las expresiones temporales, y especialmente, respecto al número de alumnos y alumnas que las utilizan. Una tendencia parecida se puede observar para las expresiones relacionadas con los rasgos frecuencia y tiempo-espacio, pero que sólo son utilizadas por aproximadamente la mitad de los estudiantes que participaron en la experiencia. Un resumen de estos datos se presenta en la Tabla 3.

Tabla 3. Número de expresiones y de estudiantes que aparecieron en cada texto relacionados con los rasgos temporales según Macazaga *et al.* (2020). *Se mantiene el rasgo original “frecuencia”

Rasgos		Texto 1 (16)	Texto 2 (16)	Texto 3 (18)
Transformatividad	Expresiones	27	51	132
	Alumnos	15	16	18
Orden	Expresiones	5	18	24
	Alumnos	3	10	12
Duración	Expresiones	4	4	43
	Alumnos	2	3	17
Frecuencia *	Expresiones	5	5	20
	Alumnos	3	5	11
Espacio-tiempo	Expresiones	5	5	26
	Alumnos	3	4	9

Discusión

Los resultados mostrados son coherentes con el hecho de que el alumnado de este grupo percibe, desde el primer momento, que los paisajes no son estáticos. El texto 2, redactado después del aprendizaje de los contenidos de geomorfología, incluye una caracterización más académica de los cambios y un mayor uso de expresiones relacionadas con el orden o sucesión. Pero ¿por qué no aumentan en este momento las expresiones de duración? Hemos de recordar que durante la secuencia de aprendizaje de los contenidos de geomorfología se incorporaba, por parte del docente y del alumnado, el concepto de tiempo geológico, a base de ejemplos observables en diferentes fotografías y discutiendo los cambios en las geoformas tanto hacia el pasado como las alternativas hacia el futuro. Ya comentamos anteriormente que el concepto de duración es el más complejo y difícil de asimilar (Resnick *et al.*, 2012; Dodick y Orion, 2003 y 2006; Marques *et al.*, 2017, Cheek *et al.*, 2017). Verdaderamente, no creemos que poco más de una hora dedicada a recordar conceptos relacionados con el tiempo geológico haya sido suficiente como para producir el salto tan significativo que ha habido entre el texto 2 y el texto 3 respecto al número de

frases relacionadas con la duración y, menos aún, al más importante todavía aumento en el número de alumnos y alumnas que lo han incorporado en su tercer texto (Tabla 3). Podemos pensar que la mayor parte del alumnado había asimilado el concepto de tiempo geológico, al menos en lo que respecta al modelado superficial de la Tierra, pero que no lo había activado hasta que se le presentó un esquema y se le pidió que sus descripciones contemplaran la variable tiempo. Las expresiones relacionadas con la repetición o recurrencia de los procesos (rasgo frecuencia) y las relacionadas con las tasas de cambio (rasgo tiempo-espacio) también están relacionadas con la duración, pero seguramente comportan un nivel más elevado de conocimiento y experiencia (Cheek, 2013a).

Con la recopilación de las expresiones temporales escritas por los diferentes alumnos y alumnas en el texto 1, se configuró un nuevo redactado (digámosle texto Frankenstein), indicando entre paréntesis el número de alumnos y alumnas que colaboraban en cada frase del nuevo redactado aglutinador. Se hizo lo mismo con el texto 2 y con el texto 3. De esta manera se pretendía observar tres aspectos. Por una parte, comparar los tres textos Frankenstein para ver la evolución del alumnado. Por otra parte, comparar los textos Frankenstein con el redactado de un experto (el profesor y autor del artículo). Y finalmente, utilizar todos los textos creados para formalizar una propuesta de rúbrica, donde poder discriminar los niveles de novel, aprendiz, avanzado y experto (Tabla 4).

Desde este punto de vista se pudieron percibir algunos detalles. Por ejemplo, en el primer texto, no se habla de valle en V, como es lógico puesto que no se había desarrollado la secuencia de aprendizaje sobre geodinámica externa. Pero no es solo eso, el alumnado mayoritariamente concibe el río como un agente transportador y sedimentador, pero no como un agente erosivo que esté contribuyendo a la formación del valle. Las frases de este primer texto apuntan a que el río pasa “casualmente” por un valle. Una alumna escribe:

“Aquí se puede ver una especie de río que está en medio de una montaña”.

En el segundo texto, las redacciones eran más completas desde el punto de vista del conocimiento específico del tema. El alumnado incluía una descripción de los meandros, utilizando generalmente el presente,

“... las curvas que hace el río hace que en la parte interior se acumulen sedimentos y en la otra, que se erosione el terreno”.

el pasado

“Un valle que con el paso del tiempo ha sido erosionado por los pequeños sedimentos que transporta el río”.

y/o perífrasis verbales aspectuales durativas retrospectivas

“... pasa un río que ha ido erosionando el espacio entre las dos montañas”.

No se hace mención, en ningún caso, a un proceso que pueda continuar en el futuro.

En el tercer texto, quizás debido a la obligación de responder sobre la afectación a las tres casas y a la utilización del esquema, el uso de tiempos verbales es más diverso, incluyendo el futuro y el condicional. Del tercer texto destacaríamos otro detalle que podemos relacionar con un aspecto que comentamos anteriormente (Layow, 2017) acerca de cómo estructura el conocimiento un experto y como lo hace un estudiante. Lo que observamos en este tercer texto, comparado con el del experto, es que algunos estudiantes han incorporado a sus descripciones del modelado litoral los aspectos relacionados con

la pendiente de la playa, mientras que nuestro experto lo ha obviado en su descripción, seguramente porque lo ha incorporado consciente o inconscientemente en su descripción de la deriva litoral. Desde el punto de vista de la didáctica es un detalle bastante importante, porque nos avisa de que los modelos que utiliza el profesorado no coinciden con los que utiliza nuestro alumnado. Si lo que pretendemos es orientarles en la construcción de sus modelos mentales, debemos reconocer los pasos que los expertos han ido obviando a medida que aumentaba su experiencia. Este tipo de ejercicio puede facilitar al profesorado el conocimiento de esas fases o alternativas individuales que se dan en la construcción de modelos por parte del alumnado. Las informaciones recogidas hoy servirán para mejorar las secuencias de aprendizaje de mañana.

Llegados a este punto, podemos decir que la propuesta desarrollada para la adquisición y activación del concepto de tiempo geológico ha puesto de manifiesto algunos de los aspectos que aparecen en la literatura sobre el tema. El primero de ellos es que tiempo y cambio van indefectiblemente asociados (Pedrinaci y Berjillos, 1994; Márquez y Artés, 2016; Layow, 2017; Cheek *et al.*, 2017). La percepción del cambio no es automática, pero tenemos a disposición un gran número de actividades de aprendizaje que pueden ayudar al alumnado a adquirir esta competencia (Pedrinaci y Berjillos, 1994). El aprendizaje de la sucesión u orden de los eventos también cuenta con multitud de actividades (Sequeiros *et al.*, 1996; Resnick *et al.*, 2012; Cheek *et al.* 2013a; Schierl, 2014) y la inestimable ayuda del uso de determinadas reglas lógicas que utilizamos cotidianamente en contextos diferentes al geológico. Es en el aspecto de la duración de los procesos geológicos donde encontramos un gran escollo puesto que trabajamos en una escala temporal excesivamente extensa para la vida cotidiana y a la que asociamos, como si un imán se tratara, la escala espacial (Cheek, 2013a; Dodick y Orion, 2006). Si no franqueamos este obstáculo, nos resultará muy difícil entender el tiempo geológico y aplicarlo a la resolución de los problemas ambientales a los que nos enfrentamos, desde una perspectiva sistémica.

Conclusiones e implicaciones didácticas

Trabajar el tiempo geológico en las clases de secundaria es un objetivo irrenunciable a la vez que un gran reto. La comprensión del tiempo geológico no es solo un apartado de los currículos de ciencias de la Tierra, es un requisito para entender la evolución biológica, la dinámica de nuestros paisajes, la ordenación del territorio o la historia de nuestro planeta. Una perspectiva dinámica de los objetos geológicos, como no se la negamos a los biológicos, puede ayudarnos a minimizar algunos problemas ambientales que ya no esperan.

Tenemos que seguir trabajando en los aspectos del tiempo geológico que presentan más dificultades para su comprensión. Hemos comentado algunas actividades que se pueden llevar a cabo y hemos expuesto un esquema que activa la necesidad de tener en cuenta la duración, la recurrencia y las tasas de diferentes procesos geológicos. Sin duda, podríamos mostrar un nuevo esquema mejorado, quizás una tabla con preguntas, un mapa conceptual (Kastens y Manduca, 2012) o cualquier otro instrumento que orientara al alumnado hacia la adquisición de su propio modelo mental referente al tiempo geológico. Cada alumno o alumna construirá un modelo según su experiencia, por lo que lo trascendente es facilitarles instrumentos para que afloren nuevas preguntas y nuevas respuestas que le ayuden a autorregularse y corregularse para optimizar su modelo.

Seguir los pasos de cada alumno o alumna en la confección de sus modelos mentales no es tarea fácil, pero solo de la observación y del estudio de sus representaciones podremos obtener algún conocimiento significativo para aplicarlo en nuestra docencia.

A continuación, presentamos la rúbrica a la que hicimos referencia en la discusión (Tabla 4) que puede orientar al profesorado en el desarrollo de actividades de enseñanza-aprendizaje, y al alumnado en la evaluación de sus avances en la adquisición de los aspectos más relevantes a la hora de construir un modelo mental que permita incorporar el tiempo geológico en sus representaciones sobre el paisaje.

Tabla 4. Rúbrica para la evaluación de la enseñanza-aprendizaje del concepto tiempo geológico.

	Experto	Avanzado	Aprendiz	Novel
Cambio	Percibe el paisaje como dinámico, determinando la causa de los cambios a macro y microescala.	Percibe el paisaje como dinámico, determinando la causa de los cambios a macroescala.	Percibe el paisaje como dinámico, pero sin determinar la causa del mismo.	Percibe el paisaje como estático (no cambio).
Procesos geológicos	No olvida ningún proceso geológico significativo y los explica con detalle.	No olvida ningún proceso geológico significativo.	Describe algún proceso geológico, pero olvida algún otro significativo.	No describe ningún proceso geológico
Sucesión y Duración	Ordena los sucesos y establece posibles intervalos temporales para cada uno.	Ordena los sucesos, pero la duración de los mismos no es relevante, aunque la puede citar.	Ordena algunos sucesos, pero sin mencionar la duración de los mismos.	No ordena los sucesos ni establece ninguna duración de los mismos.
Interacciones	Describe las posibles interacciones con el ser humano y el impacto de las mismas. Propone acciones para reducir el impacto.	Describe alguna interacción con el ser humano y el impacto de la misma.	Describe alguna interacción con el ser humano, pero ningún impacto.	No describe ninguna interacción con el ser humano excepto si está implícita en la imagen.
Tiempo geológico	Incluye el tiempo geológico en la explicación de los procesos geológicos y en lo que se refiere a los impactos y riesgos asociados.	Incluye el tiempo geológico en la explicación de los procesos geológicos, pero raramente en lo que se refiere a los impactos.	No incluye el tiempo geológico en su descripción.	No incluye el tiempo geológico en su descripción.

Para generalizar los resultados que muestra esta investigación, el siguiente paso sería repetir la experiencia con otros grupos y, en el caso de que fuera posible, con un grupo control.

Referencias bibliográficas

- Ahvenharju, S., Minkinen, M., y Lalot, F. (2018). The five dimensions of Futures Consciousness. *Futures*, 104, 1-13. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.futures.2018.06.010>
- Alós, C. (27 de enero de 2020). Oltra no ve sentido a reparar otra vez las infraestructuras que se lleva el mar. *Levante. El mercantil valenciano*. Recuperado de: <https://www.levante-emv.com/comunitat-valenciana/2020/01/28/oltra-ve-sentido-reparar-vez/1970940.html>
- Baceta, J. I., Orue-Etxebarria, X., y Apellaniz, E. (2010). El flysch entre Deba y Zumaia. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 18(3), 269-283.
- Belmonte, A. (26 de mayo de 2019). Geología invisible en un laboratorio gigante. *Heraldo de Aragón*. Recuperado de: <https://www.heraldo.es/noticias/sociedad/2019/05/26/geologia-invisible-en-un-laboratorio-gigante-investigacion-en-cotiella-pirineo-1316402.html>
- Bjornerud, M. (2019). *Conciencia del tiempo. Por qué pensar como geólogos puede ayudarnos a salvar el planeta*. Ed. Grano de sal.
- Brusi, D., Roqué, C., y Mas-Pla, J. (2013). Los procesos geológicos externos: las infinitas interacciones en la superficie de la Tierra. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 21(2), 181-194. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10256/14050>
- Cheek, K. A. (2013a). Exploring the Relationship between Students' Understanding of Conventional Time and Deep (Geologic) Time. *International Journal of Science Education*, 35(11), 1925-1945. DOI: <https://doi.org/10.1080/09500693.2011.587032>
- Cheek, K. A. (2013b). How geoscience novices reason about temporal duration: The role of spatial thinking and large numbers. *Journal of Geoscience Education*, 61(3), 334-348.
- Cheek, K. A., Ladue, N. D., y Shipley, T. F. (2017). Learning about spatial and temporal scale: Current research, psychological processes, and classroom implications. *Journal of Geoscience Education*, 65(4), 455-472. DOI: <https://doi.org/10.5408/16-213.1>
- Cohen, K. M., Finney, S. C., Gibbard, P. L., y Fan, J. X. (2013; actualizada). The ICS International Chronostratigraphic Chart. *Episodes*, 36, 199-204.
- Corbetta, P. (2003). *Metodología y técnicas de investigación social*. McGraw Hill.
- Dodick, J., y Orion, N. (2003). Measuring Student Understanding of Geological Time. *Science Education*, 87(5), 708-731. DOI: <https://doi.org/10.1002/sce.1057>
- Dodick, J., y Orion, N. (2006). Building an understanding of geological time: A cognitive synthesis of the "macro" and "micro" scales of time. *Geological Society of America Special Papers*, 413, 77-93. DOI: [https://doi.org/10.1130/2006.2413\(06\)](https://doi.org/10.1130/2006.2413(06))
- Earthlearningidea (2020a). A timeline in your own backyard. Recuperado de: https://www.earthlearningidea.com/PDF/Washing_line_time.pdf#_blank
- Earthlearningidea (2020b). ¿Cuánto tiempo tarda? Desde rápido hasta muy, muy, muy lento. Ordenando los acontecimientos de la Tierra según el tiempo que tardan. Recuperado de: https://www.earthlearningidea.com/PDF/150_Spanish.pdf
- Farrier, D. (2022). *Huellas. En busca del mundo que dejaremos atrás*. Crítica.

- González, M. (coord.) (2020). *El temporal Gloria (19-23/01/2020): Els efectes dels processos geològics sobre el territori*. Col·lecció: Monografies tècniques 8. Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya. Barcelona.
- Gould, S. J. (1992). *La flecha del tiempo: descubrimiento del tiempo geológico*. Alianza.
- Hervé, N., Panissal, N., Schouver, F., y Gueziec, C. (2021). Développer la pensée prospective? *Recherches & éducations* 23. DOI: <https://doi.org/10.4000/rechercheseducations.11878>
- Juanjo (14 de septiembre de 2011). Los ríos del P.N. Ordesa y Monte Perdido. Hablando en verde [imagen]. Recuperado de: <http://machanguito.blogspot.com/2011/09/los-rios-del-pn-ordesa-y-monte-perdido.html>
- Kastens, K. A., y Manduca, C. A. (2012). Mapping the domain of time in the geosciences. *Geological Society of America Special Papers*, 486, 13–18. DOI: [https://doi.org/10.1130/2012.2486\(02\)](https://doi.org/10.1130/2012.2486(02))
- Krznaric, R. (2022). *El buen antepasado. Cómo pensar a largo plazo en un mundo cortoplacista*. Capitán Swing.
- Layow, E. A. (2017). *How do novice and expert learners represent, understand, and discuss geologic time?* [Tesis de doctorado, Syracuse University]. ALL 684. Recuperado de: <https://surface.syr.edu/etd/684>
- Macazaga, E., De León, F., Costa, S., y Montenegro, Y. (2020). Del tiempo al conocimiento del tiempo. Un estudio a partir del léxico del español hacia un diccionario de unidades temporales. *Revista de Investigación Lingüística*, 23, 331-352. DOI: <https://doi.org/10.6018/ril.434741>
- Marques, L., Rebelo, D., Bonito, J., Morgado, M., Trindade, V., Medina, J., Soares De Andrade, A., Praia, J., Leite, A., y Futuro, A. (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), 319-329.
- Márquez, C., y Artés, M. (2016). Propuesta de análisis de representaciones sobre el modelo cambio geológico del alumnado del grado de educación primaria. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 24(2), 169-181.
- Pedrinaci, E. (1993). La construcción histórica del concepto de tiempo geológico. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 11(3), 315-323. DOI: <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.4512>
- Pedrinaci, E., y Berjillos, P. (1994). El concepto de tiempo geológico para su tratamiento en la educación secundaria. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 2(1), 240-251.
- Pedrinaci, E., Alcalde, S., Alfaro, P., Almodóvar, G. R., Barrera, J. L., Belmonte, A., Brusi, D., Calonge, A., Cardona, V., Crespo-Blanc, A., Feixas, J. C., Martínez, E. M. F., González-Díez, A., Jiménez-Millán, J., López Ruiz, J., Mata-Perelló, J. M., Pascual, J. A., Quintanilla, L., Rábano, I., ... Roquero, E. (2013). Alfabetización en Ciencias de la Tierra. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 21(2), 117-129.
- Reguant, S. (1986). *Geologia Històrica*. Ketres.
- Resnick, I., Atit, K., y Shipley, T. F. (2012). Teaching geologic events to understand geologic time. *Geological Society of America Special Papers*, 486, 41-43. DOI: [https://doi.org/10.1130/2012.2486\(08\)](https://doi.org/10.1130/2012.2486(08))

- Ryan, J. C., Smith, L. C., van As, D., Cooley, S. W., Cooper, M. G., Pitcher, L. H., y Hubbard, A. (2019). Greenland Ice Sheet surface melt amplified by snowline migration and bare ice exposure. *Sci. Adv.*, 5, eaav3738. DOI: <https://doi.org/10.1126/sciadv.aav3738>
- Schierl, Z. P. (2014). *Effectiveness of time-lapse videos as a method to teach rates of surface geological processes*. [Tesis de master, Western Washington University]. WWU Graduate School Collection, 381. Recuperado de: <https://cedar.wvu.edu/wwuet/381>
- Sequeiros, L., Pedrinaci, E., y 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.
- Traveller (2021). The Twelve Apostles, Great Ocean Road, Victoria [imagen]. Recuperado de: <https://www.traveller.com.au/backyard-blitz-where-to-holiday-in-australia-gttkju>