

## TIPOLOGÍA DE EXPLICACIONES SOBRE FENÓMENOS DE BIOLOGÍA Y GEOLOGÍA: UN ESTUDIO EXPLORATORIO EN EDUCACIÓN SECUNDARIA

**Irene Ortega Giménez**  
Universitat de València  
ortegagimenezirene@gmail.com  
**Vicente Sanjosé López**  
Universitat de València  
vicente.sanjose@uv.es

Estos autores contribuyeron por igual en este trabajo

*Received: 13 enero 2025*  
*Revised: 17 enero 2025*  
*Evaluator 1 report: 3 febrero 2025*  
*Evaluator 2 report: 17 febrero 2025*  
*Accepted: 20 febrero 2025*  
*Published: mayo 2025*

### RESUMEN

El presente estudio explora la calidad de las explicaciones que el alumnado de Educación Secundaria realizó sobre el efecto de las vacunas y el calentamiento global. Participó un total de 120 estudiantes de ambos sexos de 1º de ESO, 4º de ESO y 1º de Bachiller de la especialidad de Ciencias pertenecientes a tres centros educativos de Valencia (España). La tarea se enunció de un modo insesgado y sin información previa, mencionando el fenómeno y pidiendo su explicación. Los escritos del alumnado fueron analizados cualitativamente y categorizados usando un modelo previamente propuesto en la literatura especializada, en el que la causalidad es un elemento fundamental en una explicación científica. La calidad de las elaboraciones fue más baja de lo esperado. En general el alumnado de secundaria no considera, o no sabe cómo considerar, mecanismos causales complejos y, con frecuencia, tampoco simples, en sus explicaciones. Adicionalmente, el alumnado tampoco incluyó leyes o grandes ideas de la ciencia en sus explicaciones. Tampoco se observaron diferencias globales en la calidad de las explicaciones debidas al nivel académico. Todo ello alerta sobre la necesidad de atender con atención el desarrollo de esta importante destreza durante la educación científica en educación secundaria.

**Palabras clave:** explicación científica; alumnado de secundaria; inmunidad; calentamiento global; tipología

### ABSTRACT

**Typology of explanations of biology and geology phenomena: an exploratory study in secondary education.** The present study examines the quality of explanations provided by secondary school stu-

## TIPOLOGÍA DE EXPLICACIONES SOBRE FENÓMENOS DE BIOLOGÍA Y GEOLOGÍA: UN ESTUDIO EXPLORATORIO EN EDUCACIÓN SECUNDARIA

dents regarding the effects of vaccines and global warming. A total of 120 students of both genders participated, comprising those from the 7th and 10th years (Compulsory Secondary Education) and the 11th year of the Science-specialised Baccalaureate programme, all from three educational institutions in Valencia, Spain. The task was presented in a neutral manner and without prior information, simply mentioning the phenomenon and asking for an explanation. The students' written responses were analysed qualitatively and categorised using a model previously proposed in specialised literature, in which causality is a fundamental element of a scientific explanation. The quality of the explanations was lower than expected. Overall, secondary school students either do not consider or do not know how to consider complex causal mechanisms and often fail to include even simple ones in their explanations. Additionally, students did not incorporate scientific laws or major scientific principles in their explanations. No significant differences were observed in the overall quality of explanations across academic levels. These findings highlight the need to carefully address the development of this important skill during science education in secondary schools.

**Keywords:** scientific explanation; secondary students; immunity; global warming; typology

### INTRODUCCIÓN

Saber elaborar una explicación adecuada de un fenómeno científico es una competencia de interés permanente en educación. Muchos países muestran en sus últimas reformas educativas que existe un creciente interés en su desarrollo (Australian Curriculum, 2015; Instituto Colombiano para la Evaluación de la Educación, 2016; Ministerio de Educación de Brasil, 2018; National Academies of Sciences Engineering and Medicine, 2013; National Research Council, 2012). En España, esta destreza ha estado secularmente presente en el currículo escolar y actualmente se incluye en la denominada Competencia Matemática y Competencia en Ciencia, Tecnología e Ingeniería (STEM) (Real Decreto 217/2022). La OCDE (2019) recoge explícitamente este interés al indicar que saber explicar científicamente es requisito para *comprender y participar en un debate crítico sobre cuestiones relacionadas con la ciencia y la tecnología* (página 98).

La investigación en didáctica de las ciencias ha abordado la explicación científica durante más de cuatro décadas y todavía hoy es objeto de estudio a nivel internacional (Ariely et al., 2024; Cutrera et al., 2021; He et al., 2024; Laliyo et al., 2023; McLure, 2023). Practicar la explicación en clase de ciencias, como se ha observado en algunos estudios, se relaciona con mejoras en la comprensión de fenómenos (Chi et al., 1994; Madu et al., 2020; Walker et al., 2017) y los expertos en enseñanza de las ciencias lo recomiendan enfáticamente ya que, junto a la justificación y la argumentación, se considera consustancial al pensamiento crítico (Solbes et al., 2010).

A pesar de su reconocida importancia educativa y su interés en profesorado e investigadores, se siguen detectando carencias en las explicaciones que elabora el alumnado sobre fenómenos sobre los que han recibido instrucción. Se han hallado dificultades para organizar la información en una secuencia temporal correcta e identificar que un evento era causado por otros (Zohar y Tamir, 1991), resultando en explicaciones fragmentadas, carentes de lógica y consistencia (Faria et al., 2014; Kang et al., 2014; Parnafes, 2012; Zangori et al., 2015). También se ha observado que los estudiantes tienden a simplificar su razonamiento, explicando preferentemente mediante secuencias causales excesivamente simples y lineales (Grotzer, 2003; Perkins y Grotzer, 2005). Por ejemplo, en un estudio de Bell-Basca et al., (2000) sobre ecosistemas, los estudiantes representaron las redes tróficas siguiendo un patrón de causalidad lineal simple basado en una relación de causa-efecto de un solo paso, unidireccional y directa.

Sin embargo, no solo los estudiantes presentan estas simplificaciones. Alameh et al., (2023) hallaron que tanto estudiantes como profesores tenían más dificultades que los científicos para generar explicaciones causales complejas. Zuzovsky y Tamir (1999) observaron limitaciones en la capacidad del alumnado de secundaria para producir explicaciones científicas. El análisis mostró que esas limitaciones procedían del empleo, por parte de ese alumnado, de reglas intuitivas de inferencia, escaso empleo de la terminología científica y ausencia de razonamientos causales en las explicaciones, que se convertían más bien en descripciones o tenían un marcado carácter teleológico.

Los obstáculos asociados con la construcción de explicaciones en el alumnado le dificultan dar sentido a los fenómenos observables (Cheng y Brown, 2015; Prain et al., 2009; Taber y García-Franco, 2010), especialmente cuando son complejos, como ocurre en Biología y Geología, en donde muchos fenómenos cuentan con múltiples causas concomitantes que interactúan entre sí y cuyas secuencias causales suelen incluir bucles de retroalimentación.

## Objetivos

El foco principal del presente estudio fue analizar la habilidad de elaborar explicaciones científicas del alumnado de secundaria sobre fenómenos de Biología y Geología, y cómo esa habilidad progresa a lo largo de la educación secundaria, con el fin último de detectar sus fortalezas y sus posibles dificultades. Los objetivos específicos fueron los siguientes:

Determinar la calidad estructural de las explicaciones del alumnado sobre fenómenos de biología y de geología, evaluada por la inclusión de una historia causal que responda a cómo y por qué ocurrió un fenómeno, de acuerdo con un modelo teórico.

Analizar las posibles diferencias entre niveles educativos en la calidad de las explicaciones elaboradas.

## Modelos Filosóficos de Explicación Científica

Más de seis décadas de discusión filosófica han acumulado diversas perspectivas para definir el concepto de explicación científica (Braaten y Windschitl, 2011; de Andrade et al., 2019). El primer modelo filosófico de explicación científica fue el modelo deductivo-nomológico (Hempel y Oppenheim, 1948) según el cual el mundo natural puede explicarse a partir de regularidades expresadas como "leyes naturales". Ante la dificultad de este modelo para dar cuenta de fenómenos que son improbables o que no están cubiertos por una ley natural, se propusieron otros nuevos. Para el modelo causal (Salmon, 1989), explicar implica localizar las causas que subyacen al fenómeno e inferir relaciones entre estas y sus efectos, trazando una historia causal que permita comprender cómo y por qué el fenómeno se comporta como lo hace. Según el modelo de unificación (Friedman, 1974; Kitcher, 1989), una explicación gana fuerza explicativa cuando logra unificar fenómenos aparentemente inconexos por medio de *grandes ideas científicas*, proporcionando una comprensión global de los mismos en lugar de local.

## Modelos de Explicación Científica en el Ámbito Educativo

Desde la investigación se han realizado esfuerzos en conceptualizar una explicación científica apropiada para el ámbito educativo y proponer pautas que sirvan para su producción y análisis. Dado que existe un debate abierto acerca de si explicar y argumentar son la misma práctica (Osborne y Patterson, 2011), entre la literatura se encuentran trabajos cuyos marcos han adaptado el modelo de argumentación de Toulmin o derivan de éste (Islakhiyah et al., 2017; McNeill et al., 2006; Yao et al., 2016) y otros que provienen de los modelos filosóficos de explicación científica (Alameh y Abd-Khalick, 2018). De entre los segundos, Braaten y Windschitl (2011) propusieron una rúbrica que ilustra un continuo de explicaciones científicas cuya profundidad aumenta a medida que dejan de enfocarse en lo qué ha ocurrido para abordar el cómo y el por qué. Siguiendo este trabajo, se desarrollaron nuevos modelos para analizar explicaciones de los estudiantes (Papadouris et al., 2018; Parfanes, 2012). Las autoras de Andrade et al. (2019) presentaron un sistema de análisis de explicaciones de estudiantes de ciencia en el contexto de la Física y la Química basados en los modelos filosóficos causal y de unificación y, más recientemente, Alameh et al. (2023) elaboraron el llamado marco de la Naturaleza de la Explicación Científica (NOSE) que clasifica las explicaciones según la combinación particular de modelos filosóficos a que hacen referencia.

## Categorías de las Explicaciones del alumnado

Para el presente trabajo se revisó el sistema de análisis y categorización de explicaciones propuesto por de Andrade et al. (2019) y se modificó ligeramente para emplearlo como primera aproximación a las explicaciones

## **TIPOLOGÍA DE EXPLICACIONES SOBRE FENÓMENOS DE BIOLOGÍA Y GEOLOGÍA: UN ESTUDIO EXPLORATORIO EN EDUCACIÓN SECUNDARIA**

de estudiantes en el contexto de la Biología y la Geología, en el cual el modelo causal es el más comúnmente empleado.

En su estudio, las autoras definieron las categorías de explicación en función de la presencia y combinación de los criterios siguientes: C1) relevancia de la información, C2) marco conceptual basado en ideas científicas, C3) niveles de representación macroscópico y microscópico y C4) causalidad (presencia de causas subyacentes y relación lógica entre las causas). Su sistema jerarquiza dichas categorías de explicación, siendo las “No-Explicaciones”, las “Explicaciones Macro-Descriptivas” y “Explicaciones Descriptivas-Mixtas” y las “Explicaciones Asociativas” de menor calidad que las “Explicaciones Causales Simples” y “Explicaciones Causales Complejas”; estas dos últimas sí consideradas explicaciones científicas.

En relación con el criterio C1, las autoras no determinaron claramente qué se considera relevante y qué no en una explicación. De acuerdo con el estudio previo de Braaten y Windschitl (2011), en el presente trabajo se entendió por información relevante aquella que responde a cualquiera de estos tres aspectos: (1) *¿Qué ha ocurrido?*, (2) *¿Cómo ha ocurrido?* y (3) *¿Por qué ha ocurrido?* En concreto, información que: (1) señala el fenómeno de estudio y/o aporta observaciones del fenómeno, (2) describe una historia causal a nivel macroscópico y (3) describe una historia causal a nivel microscópico. Por ende, se consideraron válidas (es decir, relevantes) descripciones y causas que pueden no alinearse con el modelo científico actual.

Dado que el criterio C2 está relacionado directamente con el modelo unificado de explicación científica, fue eliminado en el presente trabajo. Respecto al uso de términos y conceptos, cabe recordar que, en la Historia de la Ciencia, al comienzo del desarrollo de una teoría los científicos pueden emplear un lenguaje marcadamente metafórico y especulativo (Sutton, 1997), el cual no anula el hecho de que los investigadores hacían ciencia. Tampoco el uso de terminología específica revela siempre comprensión científica (Faria et al., 2014) o no necesariamente se acompaña de un razonamiento causal, como se observó en universitarios (Crandell et al., 2020). Por tanto, el presente estudio no exigió el empleo términos científicos en la explicación de un estudiante para ser considerada como tal. Esto implica considerar como “explicación” una elaboración que, aun careciendo de términos científicos propios de un modelo teórico concreto, sí explicitan ideas sobre el fenómeno que aluden al qué, el cómo y/o el por qué ocurre. Algunas de estas elaboraciones serán “locales”, ya que la ausencia de grandes ideas impide su relación potencial con otros fenómenos. Tras esta modificación, la categoría de “No-Explicaciones” debe concebirse como la categoría de elaboraciones que no se ajustan al modelo causal y/o no contiene ninguna idea relevante.

Los criterios C3 y C4 de Andrade et al. (2019) se mantuvieron tal cual se expresan arriba, y también las categorías de explicación propuestas.

### **MÉTODO**

El presente estudio utilizó técnicas cualitativas de análisis del contenido y, posteriormente, algunas técnicas estadísticas para analizar posibles diferencias entre niveles educativos.

### **Muestra**

En el estudio participó un total de 120 estudiantes de secundaria: 40 de primero de ESO, 39 de cuarto de ESO y 41 de primero de bachillerato de la especialidad de Ciencias (58 chicos, 59 chicas y 3 no declarado). El alumnado pertenecía a tres centros educativos de la provincia de Valencia; uno público, uno concertado religioso, y uno concertado laico.

### **Tarea y materiales**

La tarea propuesta al alumnado consistió en explicar dos fenómenos que, de acuerdo con el currículo escolar español, se estudian en las asignaturas de ‘Biología y Geología’ de ESO y ‘Biología, Geología y Ciencias Ambientales’ de Bachillerato. Se tuvo en cuenta también que ambos fenómenos fueran bien conocidos por su

difusión en *mass media* y de interés general para la población. Se seleccionaron los fenómenos 'Inmunidad debida a vacunas' y 'Calentamiento global'.

Dada la variedad de usos del término 'explicar' en la vida diaria, la tarea se presentó en un folio con enunciados sencillos para cada fenómeno cuya redacción debía cumplir los requisitos siguientes: 1) solicitar explícitamente que el/la estudiante 'explique'; y, 2) evitar sesgar el significado de 'explicar' hacia cualquier interpretación, incluida la identificación de las causas u otras posibilidades. Tras valorar diferentes propuestas, se optó por omitir expresiones como 'explica por qué', 'explica cómo', 'explica la razón de' o 'explica el motivo por el cual', pero también, claro está, 'relata' o 'describe', etc. La redacción de los enunciados se resolvió citando primero un hecho observable y conocido, de interés para la ciencia y, después, solicitando su explicación.

Los enunciados resultaron como sigue:

*Estamos más protegidos frente a un virus después de habernos vacunado. Por favor, explícalo.*

*El planeta Tierra se está calentando. Por favor, explícalo.*

### **Variables**

La Variable Dependiente del presente estudio fue:

V1. 'Tipo de explicación elaborada por cada participante del fenómeno asignado'.

Para determinarla se utilizaron los criterios C1 (relevancia de la información) y, C2 (marco conceptual basado en ideas científicas) revisados, así como los C3 (niveles de representación macroscópico y microscópico) y C4 (presencia de causas subyacentes y relación lógicas entre las causas) originales del trabajo de de Andrade et al. (2019).

También se atendió al posible efecto sobre la variable dependiente del Nivel Educativo del alumnado. Se consideraron 3 niveles: 1º de ESO, 4º de ESO, 1º de Bachillerato. En 4º de ESO y 1º de bachillerato participó solo alumnado que estudiase ciencias en la rama u opción elegida.

### **Procedimiento de recogida de datos**

Primero se contactó con cada uno de los centros educativos participantes, se explicó el motivo del estudio y se garantizó documentalmente el destino puramente académico de los datos y resultados, el anonimato de todas las personas participantes y la intención de devolver a esos centros aquellos resultados obtenidos que pudiesen ser de su interés.

Uno de los autores del estudio (IO) acudió a cada centro educativo el día y horario acordado con el profesorado de ciencias. La toma de datos se realizó en grupos-aula intactos, en una sesión ordinaria de clase de ciencias de 55 minutos.

Los primeros 5 minutos se emplearon para presentar el estudio de viva voz y motivar la participación del alumnado, repartir las instrucciones y los enunciados en papel y leer las instrucciones en voz alta. Ambos fenómenos se repartieron al azar en cada aula para lograr un número similar de elaboraciones y reducir sesgos de mayor o menor conocimiento previo, preferencia personal, etc. Entre los 10 y 30 minutos siguientes, los estudiantes elaboraron por escrito la explicación sobre el fenómeno asignado. Ninguno de ellos necesitó más tiempo para realizar la tarea.

### **Procedimiento de análisis de los datos**

El análisis cualitativo consistió en estudiar cada una de las elaboraciones y categorizarla usando el sistema de análisis de de Andrade et al. (2019) modificado tal como se expresó en la Introducción. Este sistema contempla los siguientes tipos y características definitorias de explicaciones del alumnado:

No-Explicaciones: Se repite o reformula el enunciado proporcionado y/o la nueva información es irrelevante (son ideas tautológicas o ideas que no responden al qué, cómo y por qué ha ocurrido el fenómeno).

Explicaciones Macro-Descriptivas: Se señala el fenómeno ocurrido y/o describe lo que ha ocurrido y es observable, es decir, se citan eventos, entidades y propiedades que pueden percibirse a través de los sentidos

## **TIPOLOGÍA DE EXPLICACIONES SOBRE FENÓMENOS DE BIOLOGÍA Y GEOLOGÍA: UN ESTUDIO EXPLORATORIO EN EDUCACIÓN SECUNDARIA**

o con ayuda de instrumentos y sobre los cuales los observadores pueden llegar a un consenso con relativa facilidad.

**Explicaciones Descriptivas-Mixtas:** Se describe lo que ha ocurrido y se puede observar, aunque incluye también una o más entidades microscópicas o teóricas que son discutibles para los observadores.

**Explicaciones Asociativas:** Se aporta una o más causas y/o procesos subyacentes asociados al fenómeno ocurrido. Sin embargo, no se incluyen relaciones causales entre los eventos, o alguna de estas relaciones es ilógica o incompleta (se ha omitido uno o más eventos intermedios necesarios). La información permanece fragmentada y/o está pobremente articulada.

**Explicaciones Causales Simples:** Se aportan causas y/o procesos subyacentes y se explicitan relaciones causales que son lógicas, dibujando una cadena causal unidireccional y de un solo sentido (p.ej., A causa B, B causa C y C causa D).

**Explicaciones Causales Complejas:** Se aportan causas y/o procesos subyacentes y se explicitan relaciones causales que son lógicas, dibujando, al menos, una cadena causal lineal con, además, una o más influencias mutuas (p.ej., A influye sobre B, pero B también influye sobre A), convergencias de dos o más causas sobre un mismo efecto (p.ej., A, B y C causan D) o bucles de retroalimentación (p.ej., A causa B, B provoca C y C da lugar a A).

La categorización de las elaboraciones del alumnado fue sometida a un proceso de acuerdo inter-jueces para aumentar su fiabilidad, en el que participaron tres expertos, uno de ellos ajeno al presente estudio. Se tomaron al azar subconjuntos de igual número de elaboraciones de cada nivel académico y cada fenómeno, en un total de 30. Se repartió por escrito la taxonomía y los criterios de clasificación a los expertos, y se solicitó la categorización de las 30 elaboraciones. Se asoció una escala ordinal de menor a mayor calidad de las categorías en donde la no-explicación es el nivel más bajo, y la explicación causal compleja es el más alto. Con ello, se calculó el coeficiente de correlación no paramétrico rho de Spearman, para cada par de jueces. Los valores obtenidos fueron: Juez 1/Juez 2: 0,89; Juez 1/Juez 3: 0,82; Juez 2/Juez 3: 0,77; Promedio:  $r = 0,83$

Con el fin de reducir el número de casillas posibles, y atender a los aspectos fundamentales de la taxonomía, se calculó una Kappa de Fleiss (López y Pita, 1999) para la clasificación de grandes categorías en lugar de categorías subordinadas. Se atendió a:

(a) Presencia/ausencia de historias causales, agrupando las categorías 'Explicación causal simple' y 'Explicación causal compleja' por un lado, y el resto de las categorías por el otro. El valor de Kappa de Fleiss en este caso fue: 0,80.

(b) Presencia/ausencia de historia causal, diferenciando dos grupos de categorías: 'No-explicación' y 'Explicación descriptiva' por un lado (ausencia de explicación causal), y el resto por otro lado (presencia). El valor correspondiente de Kappa de Fleiss fue: 0,73.

En conjunto, los indicadores de fiabilidad en la aplicación de los criterios y asignación de categorías de explicación fueron considerados suficientemente buenos.

## **RESULTADOS**

### **Tipología de explicaciones del alumnado de secundaria**

La Tabla 1 muestra ejemplos de las diferentes categorías de explicación elaboradas por el alumnado de secundaria. Cada ejemplo categorizado como explicación debe contener información sobre el 'Qué', el 'Cómo' o el 'Por qué' del fenómeno aportando al menos una idea pertinente y diferente del enunciado. De lo contrario, se trata de una 'No-explicación'.

Tabla 1. Ejemplos de categorías de explicaciones del alumnado.

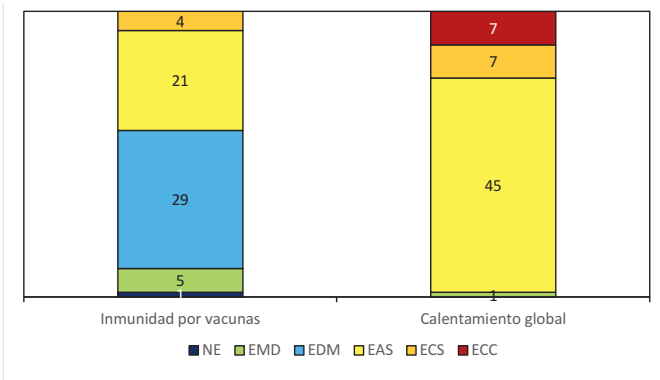
Inmunidad por Vacunas	
No Explicación	<i>“Las vacunas sirven para inmunizar a una persona.”</i>
Descriptiva Macroscópica	<i>“Estamos más protegidos cuando nos vacunamos porque esa vacuna que nos ponen lleva sustancias que hacen que no entren virus a nuestro organismo y estemos más protegidos. Pero si no te vacunas cualquier virus o enfermedad se puede meter a tu organismo fácilmente y causarte enfermedades graves (...).”</i>
Descriptiva Mixta	<i>“(…) yo creo que la base es generar el virus dentro del organismo (...) Para después el cuerpo mismo ser el que genere una serie de anticuerpos que en caso de ser infectado ya tener anticuerpos que puedan defenderlo y matarlo”.</i>
Asociativa	<i>“Los virus se matan o se debilitan para ser insertados en el torrente sanguíneo de un individuo (vacunación) generando que los glóbulos blancos del individuo luchan contra los virus intrusos, por lo que en algunos casos produce fiebre, debido a la microdosis de virus. Como el individuo ya tiene anticuerpos contra el virus, cuando se infecte su cuerpo ya estará listo para atacarlo con más facilidad y rapidez que antes de la vacuna (...).”</i>
Causal Simple	<i>“(…) Una vacuna inyecta un agente químico dentro de nuestro cuerpo mediante la corriente sanguínea, y ese agente se propagará por las células, dándoles nuevas instrucciones. El contenido del agente químico de la vacuna está hecho para controlar el funcionamiento de las partes de la célula que controlan la entrada de nutrientes, sustancias y otras estructuras celulares dentro de la célula. Al reaccionar con ese agente, la célula estará “programada” para no permitir el paso de ese virus y así impidiendo su contaminación. (...) nuestras células han generado anticuerpos que impiden la entrada de ese virus en específico (...).”</i>
Causal Compleja	---
Calentamiento Global de la Tierra	
No Explicación	---
Descriptiva Macroscópica	<i>“(…) El invierno (2023) ha sido de los inviernos más calurosos en la historia de España (...).”</i>
Descriptiva Mixta	---
Asociativa	<i>“Muchos dicen que es por la contaminación, con esto se refieren a la basura que tiramos, lo que ya no nos sirve. El planeta Tierra tiene una capa externa que nos protege de los rayos más fuertes y dañinos del Sol (...) “la capa de ozono” (...) la basura y la contaminación dañan cada vez más esta capa permitiendo que esos rayos del Sol sean más fuertes y nos afecten más (...).”</i>

**TIPOLOGÍA DE EXPLICACIONES SOBRE FENÓMENOS DE BIOLOGÍA Y GEOLOGÍA:  
UN ESTUDIO EXPLORATORIO EN EDUCACIÓN SECUNDARIA**

Causal Simple	<i>“El planeta Tierra se está calentando porque el CO<sub>2</sub> y otros gases nocivos, que están fabricando los humanos como resto de la fabricación de energía y objetos, están creando un efecto invernadero que hace que los rayos de sol entren en la atmósfera y reboten contra la tierra, no puedan salir; rebotando contra la capa de CO<sub>2</sub> volviendo contra la tierra, calentándola más (...) lo que tiene como consecuencia el calentamiento de la Tierra”.</i>
Causal Compleja	<i>“(...) El problema procede de la sobreexplotación de los carburantes. Estas sustancias (...) al combustionar se liberan junto al oxígeno en forma de CO. (...) El CO<sub>2</sub> exornado de fábricas, automóviles y procesos industriales se almacena en la atmósfera. Una diferencia de otros gases (...) este si incide en los rayos solares provocando que aquellos que reboten en la tierra y vuelvan a subir no se liberen al espacio, sino que una capa de CO<sub>2</sub> le haga volver a rebotar provocando que aumente su posibilidad de acabar en el planeta Tierra, aumentado así, su temperatura. (...) también conocemos otro efecto que produce un aumento de las temperaturas (...) mediante un componente que llevaban antiguamente los aerosoles. Resulta que esta sustancia que se almacena en los polos disuelve el ozono creando así un “agujero”, por lo tanto, entra un mayor número de rayos (...)”.</i>

La Figura 1 muestra la frecuencia de categorías de explicación identificadas para cada uno de los fenómenos de estudio.

*Figura 1. Distribución de categorías de explicación para ambos fenómenos*



Nota. NE: No-Explicación; EMD: Explicación Macro-Descriptiva; EDM: Explicación Descriptiva-Mixta; EAS: Explicación Asociativa; ECS: Explicación Causal Simple; ECC: Explicación Causal Compleja.

La frecuencia de No-Explicaciones en ambos fenómenos se reduce a un único caso, donde el alumno #12 simplemente reformuló el enunciado que se le fue proporcionado (ver Tabla 1). Sin embargo, la falta de No-Explicaciones en la muestra no significa que las elaboraciones en otras categorías tengan un contenido completamente relevante. De hecho, en promedio aproximadamente la cuarta parte de las palabras de las elaboraciones se emplearon para expresar ideas que no respondían al qué, cómo y por qué ocurrió el fenómeno, con independencia del nivel educativo.



A diferencia de las elaboraciones sobre calentamiento global, sobre el fenómeno de inmunidad debida a vacunas abundan las Explicaciones Descriptivas y no se detectaron Explicaciones Causales Complejas. Para valorar si hubo diferencias en las categorías de explicaciones para cada fenómeno (inmunidad por vacunas o calentamiento global) se realizó el test no paramétrico U de Mann-Whitney y el resultado revela que las diferencias observadas son significativas ( $U = 723$ ;  $p < 0,001$ ). El fenómeno del calentamiento global generó claramente más elaboraciones que incluyen, al menos, una causa o proceso subyacente (suma de categorías EAS, ECS y ECC en la Figura 1) que la inmunidad debida a vacunas.

#### *Inmunidad por vacunas*

El 70% de los textos de 1º de ESO, el 55% de 4º de ESO y el 45% de 1º de Bachiller son explicaciones Descriptivas que indican lo que ha pasado, pero no sugieren ningún proceso subyacente o alguna historia causal que muestre cómo ha pasado. Por ejemplo, la alumna #27 expresa: "*Cuando nos vacunamos, una ínfima parte del virus desactivado entra en nuestro organismo para que, en el caso de que nos infectemos de forma natural, nuestras células tengan los anticuerpos (...)*". Esta elaboración muestra lo ocurrido (entró el virus desactivado y aparecieron anticuerpos), pero no cómo se desarrolló la respuesta inmune que conduce a la aparición de tales anticuerpos (la protección).

#### *Calentamiento global*

Sobre este fenómeno predominan las Explicaciones Asociativas en todos los niveles educativos. En cambio, estos relatos son más variados por lo que respecta a su elaboración: en un extremo se sitúan aquellos que señalan una causa, pero no un proceso; por ejemplo, la alumna #77 de 1º de ESO: "*El planeta tierra se está calentando debido a que hay mucha contaminación en el mundo*"; y en otro extremo los hay más exhaustivos, como el del alumno #68 de 1º de ESO: "*no paramos de reproducirnos en cantidades cada vez más grandes. Esto ocasionará (...) una sobrepoblación (...) debido al excesivo aprovechamiento del medio ambiente (...) La deforestación de bosques y selvas, la caza en exceso de animales, el humo de las fábricas, etc. Todo esto lo que hace es dañar la capa de ozono que nos protege de los rayos UV del sol*". La mayoría de ellos contiene algún error (como en este ejemplo), pero todos presentan una historia causal fragmentada e ilógica en algún punto. Por ejemplo, este último alumno #68 no explica qué relación puede haber entre deforestación o caza y la destrucción de la capa de ozono, ni cómo ésta conduce al aumento de temperatura.

### **Comparación entre niveles educativos**

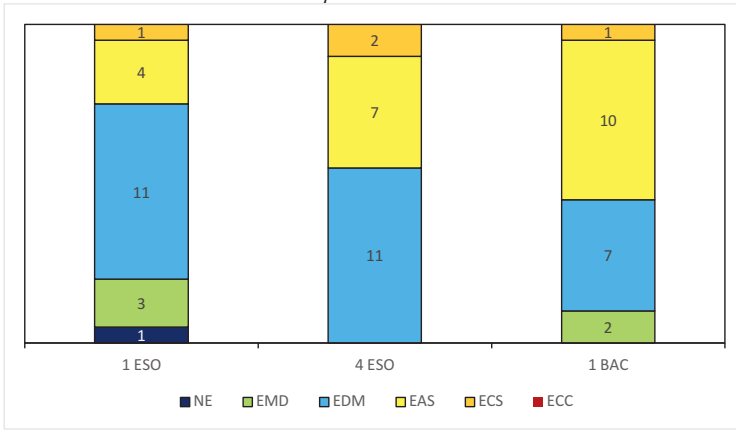
Para analizar el efecto global del Nivel Educativo sobre la distribución de las categorías relativa al fenómeno de protección por vacunas se computó una prueba de Kruskal-Wallis. Para el fenómeno de inmunidad por vacunas, los resultados revelan que dicha distribución no es significativamente distinta entre niveles educativos (Kruskal-Wallis:  $\chi^2(2) = 3,94$ ;  $p = 0,139$ ). En el fenómeno del calentamiento global, tampoco se observaron diferencias debidas al Nivel Educativo (Kruskal-Wallis:  $\chi^2(2) = 0,866$ ;  $p = 0,648$ ).

#### *Inmunidad por Vacunas*

La Figura 2 muestra las categorías obtenidas en cada nivel educativo para las elaboraciones del alumnado.

**TIPOLOGÍA DE EXPLICACIONES SOBRE FENÓMENOS DE BIOLOGÍA Y GEOLOGÍA:  
UN ESTUDIO EXPLORATORIO EN EDUCACIÓN SECUNDARIA**

Figura 2. Frecuencia de Categorías de Explicación sobre el fenómeno de inmunidad debida a vacunas por Nivel Educativo



Nota. NE: No-Explicación; EMD: Explicación Macro-Descriptiva; EDM: Explicación Descriptiva-Mixta; EAS: Explicación Asociativa; ECS: Explicación Causal Simple; ECC: Explicación Causal Compleja.

La disminución a lo largo de los niveles educativos en Explicaciones Descriptivas parece favorecer el crecimiento de Explicaciones Asociativas. Aunque este tipo de elaboraciones ya sugieren algunos procesos subyacentes, son mayoritariamente muy escuetos, de manera que los efectos no se deducen de manera lógica unos de otros. Por ejemplo, el alumno #10 de 1º de ESO escribe "(...) ese virus viaja hasta nuestro sistema inmunológico y él mismo lo mata. Así, (...) ya estará preparado y sabrá cómo es" y la alumna #59 de 1º de Bachiller "Los virus (...) insertados en el torrente sanguíneo (...) generando que los glóbulos blancos del individuo luchan contra los virus (...) Como el individuo ya tiene anticuerpos (...), cuando se infecte su cuerpo ya estará listo para atacarlo con más facilidad y rapidez".

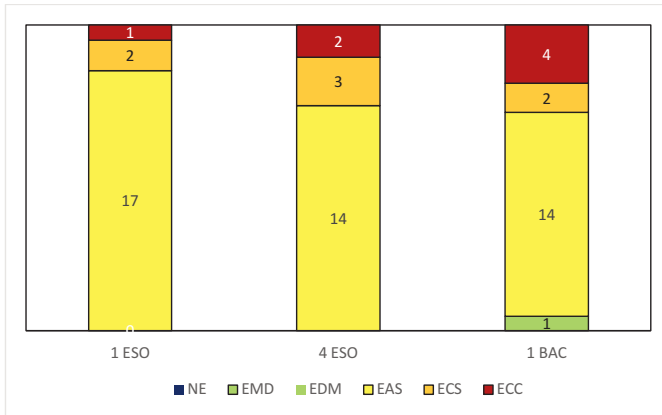
Como se ha dicho, las historias causales con relaciones lógicas fueron muy minoritarias en los tres niveles educativos: no se detectaron Explicaciones Causales Complejas y tan sólo cuatro fueron categorizadas como Explicaciones Causales Simples, ya que presentaron una cadena causal lineal y de un solo sentido. Tres de estas, además, expresaron un modelo muy similar que, aunque lógico, es extremadamente sencillo e incorrecto; el alumno #33 de 4º de ESO lo ilustra de la siguiente manera: "la vacuna tiene unas defensas que atacan a los virus y esos virus mueren y, por lo tanto, nuestro cuerpo queda a salvo de los malos virus".

*Calentamiento global*

La Figura 3 muestra la frecuencia de categorías de explicación sobre calentamiento global identificada en cada nivel educativo.

No se hallan No-Explicaciones, mientras que la presencia de Explicaciones Descriptivas se limita a un único caso, el alumno #101 de 1º de Bachiller, que aporta una observación macroscópica (ver Tabla 1). En conjunto, las Explicaciones Causales de los niveles superiores parecen algo más numerosas que en 1º de ESO y las Causales Complejas sólo superan en número a las Causales Simples en 1º de Bachiller.

Figura 3. Frecuencia de Categorías de Explicación sobre el fenómeno de calentamiento global por Nivel Educativo



Nota. NE: No-Explicación; EMD: Explicación Macro-Descriptiva; EDM: Explicación Descriptiva-Mixta; EAS: Explicación Asociativa; ECS: Explicación Causal Simple; ECC: Explicación Causal Compleja

Un ejemplo de cadena causal sencilla lo muestra la alumna #81 de 4º de ESO: “*Los seres humanos, con acciones como la quema de combustibles hacemos que aumente la cantidad de CO<sub>2</sub> en la atmósfera (...) a consecuencia de esto, la capa de la que hablábamos inicialmente [la atmósfera (...)] compuesta por diferentes gases, entre estos (...) el CO<sub>2</sub> aumente y se haga más “fuerte”. Esto hace que se impida más la salida de calor del Sol, lo que hace que la temperatura de la Tierra aumente*”. Este relato respeta el orden temporal y proporciona suficientes eventos como para construir una historia causal lógica. Cuando a un relato con una cadena causal como la anterior se añade, por ejemplo, un bucle de retroalimentación se categoriza como Explicación Causal Compleja, como fue el caso de la alumna #110 de 1º de Bachiller: “*Además, todo lo que provocamos por estos actos, hacen que se cree un bucle, por ejemplo, con los incendios. Todos estos gases están calentando la Tierra, haciéndolo de una forma tan brutal, que provocan incendios y que también emitan este tipo de gases*”.

## DISCUSIÓN

Explicar es una tarea básica e importante en el aula de ciencias en la que el alumnado muestra dificultades en muchos estudios internacionales. También en el presente estudio el alumnado de diversos niveles educativos de secundaria mostró dificultades para construir explicaciones sobre la inmunidad debida a las vacunas y el calentamiento global del planeta. Estas dificultades se observaron en la escasez de Explicaciones que tienen una estructura causal, más o menos elaborada (categorías de explicaciones Asociativas, Causales Simples y Causales Complejas; ver Figura 1).

Dificultades para identificar causas del fenómeno, así como para relacionarlas entre sí en forma de relatos simples y complejos fueron reportadas por Alameh et al., (2023) en estudiantes universitarios de primer año, profesores de ciencias de secundaria y un grupo constituido por doctorandos en la fase final del programa, becarios postdoctorales y científicos profesionales. Los participantes explicaron hasta cuatro fenómenos cotidianos en dos tipos de tareas, Predice-Observa-Explica o sólo Explica. En el estudio reportado, del área de la Física, solo 7 de 10 participantes elaboraron explicaciones científicas, de los que tan sólo 3 se ajustaron total o parcialmente con el modelo causal (Alameh et al. 2018). También algunos estudios recopilados por Grotzer (2003) mostraron que los estudiantes tienen dificultades para presentar historias causales en las cuales los eventos resultan de la interacción de múltiples componentes. Por ejemplo, Perkins y Grotzer (2005) señalaron que los estudiantes tienen dificultades para elaborar historias que incluyan causas interrelacionadas y factores mediadores.

## **TIPOLOGÍA DE EXPLICACIONES SOBRE FENÓMENOS DE BIOLOGÍA Y GEOLOGÍA: UN ESTUDIO EXPLORATORIO EN EDUCACIÓN SECUNDARIA**

En un trabajo más centrado en las relaciones lógicas implicadas en la causalidad, Zohar y Tamir (1991) diseñaron tests sobre temas biológicos que evaluaban mediante preguntas concretas la capacidad para ordenar eventos en una secuencia temporal e identificar cuáles de estos son "causa de" y "resultado de". Estos tests fueron administrados a 355 estudiantes de 8º y 10º grados. Los autores reportaron dificultades para comprender las relaciones lógicas en el 77.5% de estudiantes de 8º grado y en 53.9% de alumnado de 10º grado. Su análisis les llevó a pensar que esos estudiantes mostraban dificultades para organizar los eventos de acuerdo con una secuencia temporal correcta cuando tenían que manejar varias unidades de información con interrelaciones complejas.

En el presente estudio, además, las dificultades del alumnado fueron especialmente evidentes en la escasez de explicaciones causales (simples o complejas) con una historia lógica que relacione causas y consecuencias. Las elaboraciones en las que el relato causal no existía, era claramente incompleto o impreciso o incluso ilógico fueron frecuentes, particularmente en el fenómeno de calentamiento global (ver Figura 1). Este mismo problema fue también encontrado por Faria et al. (2014), quienes observaron dificultades para emplear un razonamiento claro y lógico en un porcentaje importante del alumnado. Estas autoras diseñaron una tarea para estudiantes de 15 años cuyo enunciado proporcionaba algunos hechos y relaciones causales pertinentes y, a continuación, solicitaba 'Explica cómo' la menopausia contribuye al aumento del riesgo de accidente cardiovascular. La tarea exigía elaborar una inferencia procedente del conocimiento previo y otra inferencia lógica construida por enlace de implicaciones lógicas encadenadas (Si a⊗b Y b⊗c Y c⊗d; Entonces: a⊗d). Un 42% del alumnado omitió información proporcionada en el enunciado, no activó conocimiento previo adecuado, o no elaboró alguna de las inferencias necesarias. También Zuzovsky y Tamir (1999) encontraron una tendencia a elaborar explicaciones simples e incompletas, más descriptivas y teleológicas que causales, en su estudio con 2351 estudiantes de cuarto grado y 1377 de octavo grado sobre variados fenómenos científicos.

Otros estudios han analizado la calidad de las explicaciones del alumnado asimilándola a la construcción de una argumentación. McNeill et al. (2006), Islakhiyah et al. (2020) y Seepootorn (2023) encontraron también muy bajos niveles de calidad en las producciones del alumnado, según un análisis basado en el modelo de Toulmin (afirmación, datos, razonamiento).

A diferencia de los resultados reportados por Zohar y Tamir (1991) y por Zuzovsky y Tamir (1999), en el presente estudio no hallamos mejoras asociadas con el aumento de nivel educativo en cuanto a la estructura de la elaboración de los estudiantes (Figuras 2 y 3). Se esperaba que el alumnado de mayor nivel, con mayor conocimiento previo, pero también con mejor autorregulación y profundidad en el abordaje de la tarea, elaborase mejores explicaciones que el alumnado de nivel bajo (García-Berbén, 2014). Un posible motivo por el cual en el presente estudio el alumnado de cursos superiores no mostró mejores estructuras en sus explicaciones está relacionado con las características de la tarea propuesta, que en el presente estudio fue abierta, sin datos ni pistas que orientasen al alumnado sobre la estructura esperada de la elaboración escrita, a diferencia de la tarea propuesta en los estudios mencionados. En tareas que proporcionan datos e instrucciones más directivas en su enunciado, el alumnado de cursos superiores puede activar y usar su mayor conocimiento previo e insertarlo en estructuras previamente estudiadas en clase. Nuestro alumnado participante, incluso de cursos superiores, mostró una representación mental deficiente sobre qué es 'explicar' en ciencias, cuya forma textual y su función (Yeo y Gilbert, 2014) determinan la activación y uso pertinente de conocimiento previo. Una comprensión deficiente del propósito o función de la explicación, y/o de sus formas textuales posibles provocar estructuraciones escasas de causalidad en las elaboraciones, con independencia del conocimiento previo, que es lo encontrado en el presente estudio.

Por último, en el presente estudio se observaron ciertas diferencias entre los dos fenómenos propuestos, inmunidad debida a vacunas y el calentamiento global, en la estructuración de las explicaciones, mientras que Zohar y Tamir (1991) reportaron resultados similares para todos los fenómenos biológicos considerados. El calentamiento global del planeta reunió significativamente mayor número de Explicaciones Asociativas y

Causales Simples y Complejas que la inmunidad debida a vacunas (Figura 1). El efecto del fenómeno de estudio en la distribución de las categorías de explicación podría estar relacionado con el enfoque diferencial con que se abordan ambos fenómenos en el aula. Haber experimentado una pandemia poco tiempo atrás puede haber redirigido el esfuerzo docente hacia la promoción de actitudes favorables frente a la vacunación, priorizando el desarrollo y seguridad de las vacunas en detrimento del mecanismo biológico que explica su efectividad. Por otra parte, es posible que el calentamiento global se perciba de entrada como un grave problema para el ser humano cuyas causas debemos conocer con la finalidad de proponer y valorar posibles soluciones.

## CONCLUSIONES

En el presente estudio, se propuso a estudiantes de secundaria de distintos niveles educativos la tarea de explicar la inmunidad debida a vacunas y explicar el calentamiento global de la Tierra. El enunciado de la tarea propuesta no incluyó información ni claves para la recuperación de información, ni tampoco orientaba al alumnado sobre la estructura de la elaboración asociada a una "explicación científica". La calidad de las explicaciones de los estudiantes, evaluada por la inclusión de una historia causal que responda a cómo y por qué ocurrió un fenómeno, fue más baja de lo esperado. Además, en los fenómenos utilizados en este estudio (inmunidad debida a las vacunas y calentamiento global) dicha calidad no mejoró significativamente con el Nivel Educativo. En general el alumnado de secundaria no considera, o no sabe cómo considerar, mecanismos causales complejos (y a veces, tampoco simples) en sus explicaciones. Adicionalmente, y aunque este aspecto no fue considerado en el modelo asumido en el presente trabajo, el alumnado tampoco incluyó leyes o grandes ideas de la ciencia en sus explicaciones. Todo esto requiere atención entre profesores e investigadores, y amerita mayor amplitud profundidad en próximos estudios. El presente trabajo, aunque limitado, parece sugerir la necesidad de fomentar la práctica de la explicación científica en el aula, haciendo hincapié en la búsqueda de procesos subyacentes y relaciones causales lógicas. Desde la investigación educativa es necesario también indagar acerca del origen de las dificultades observadas.

## Limitaciones

En primer lugar, la recogida de datos pudo haberse adelantado a la instrucción explícita de dichos fenómenos en alguno de los grupos-aula participantes, de modo que los resultados, aún muy parciales, no pueden ni deben enjuiciar la acción didáctica de los centros educativos. En segundo lugar, en este estudio se usaron solamente dos fenómenos de entre los muchos presentes en los currículos escolares. Por último, la muestra no fue seleccionada al azar, ni es representativa de la población de secundaria, ni siquiera en la región de Valencia en donde se desarrolló el estudio. Por tanto, los resultados obtenidos deben tomarse como indicios de un posible problema educativo que hay que confirmar y, en su caso, abordar rigurosamente.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alameh, S., & Abd-El-Khalick, F. (2018). Towards a philosophically guided schema for studying scientific explanation in science education. *Science & Education*, 27(9–10), 831–861. <https://doi.org/10.1007/s11191-018-0021-9>
- Alameh, S., Abd-El-Khalick, F., & Brown, D. (2023). The Nature of Scientific Explanation: Examining the perceptions of the nature, quality, and "goodness" of explanation among college students, science teachers, and scientists. *Journal of Research in Science Teaching*, 60(1), 100–135. <https://doi.org/10.1002/tea.21792>
- Ariely, M., Nazaretsky, T., & Alexandron, G. (2024). Causal-mechanical explanations in biology: Applying automated assessment for personalized learning in the science classroom. *Journal of Research in Science Teaching*, 61(8), 1858–1889. <https://doi.org/10.1002/tea.21929>
- Australian Curriculum, Assessment and Reporting Authority. (2015). Entity resources and planned performance. Downloaded from: <https://parlinfo.aph.gov.au/parlInfo/search/display/display.w3p;query=Id:%22publications/tailedpapers/107447e0-58a4-4a45-af7d-26c8ac16e812%22>

## TIPOLOGÍA DE EXPLICACIONES SOBRE FENÓMENOS DE BIOLOGÍA Y GEOLOGÍA: UN ESTUDIO EXPLORATORIO EN EDUCACIÓN SECUNDARIA

- Bell-Basca, B., Grotzer, T. A., Donis, K. & Shaw, S. (2000, abril). Using domino and relational causality to analyze ecosystems: Realizing what goes around comes around. Comunicación presentada en Annual Conference of the National Association for Research in Science Teaching (NARST), Nueva Orleans.
- Braaten, M., & Windschitl, M. (2011). Working toward a stronger conceptualization of scientific explanation for science education. *Science Education*, 95, 639–669. <https://doi.org/10.1002/sce.20449>
- Cheng, M. F., & Brown, D. E. (2015). The role of scientific modeling criteria in advancing students' explanatory ideas of magnetism. *Journal of Research in Science Teaching*, 52(8), 1053–1081. <https://doi.org/10.1002/tea.21234>
- Chi, M. T. H., De Leeuw, N., Chiu, M.-H. and Lavancher, C. (1994), Eliciting Self-Explanations Improves Understanding. *Cognitive Science*, 18, 439–477. [https://doi.org/10.1207/s15516709cog1803\\_3](https://doi.org/10.1207/s15516709cog1803_3)
- Crandell, O. M., Lockhart, M. A., & Cooper, M. M. (2020). Arrows on the page are not a good gauge: Evidence for the importance of causal mechanistic explanations about nucleophilic substitution in organic chemistry. *Journal of Chemical Education*, 97(2), 313–327. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00815>
- Cutrerá, G., Massa, M., y Stipich, S. (2021). La explicación científica en el aula. Consideraciones didácticas a partir de las explicaciones de los estudiantes. *Revista de Enseñanza de la Física*, 33(2), 169–178. <https://doi.org/10.55767/2451.6007.v33.n2.35199>
- de Andrade, V., Freire, S., y Baptista, M. (2019). Constructing Scientific Explanations: a System of Analysis for Students' Explanations. *Research in Science Education*, 49(3), 787–807. <https://doi.org/10.1007/s11165-017-9648-9>
- Faria, C., Freire, S., Baptista, M., & Galvão, C. (2014). The construction of a reasoned explanation of a health phenomenon: an analysis of competencies mobilized. *International Journal of Science Education*, 36(9), 1476–1490. <https://doi.org/10.1080/09500693.2013.783723>
- Friedman, M. (1974). Explanation and scientific understanding. *The Journal of Philosophy*, 71(1), 5–19. <https://doi.org/10.2307/2024924>
- García-Berbén, A. B., Justicia, F., Cano, F., & Pichardo, M. C. (2014). Enfoques de aprendizaje, comprensión lectora y autorregulación: últimos hallazgos. *Revista INFAD De Psicología. International Journal of Developmental and Educational Psychology*, 4(1), 255–264. <https://doi.org/10.17060/ijodaep.2014.n1.v4.610>
- Grotzer, T. A. (2003). Learning to understand the forms of causality implicit in scientifically accepted explanations. *Studies in Science Education*, 39(1), 1–74. <https://doi.org/10.1080/03057260308560195>
- He, P., Zhang, Y., Li, T., Zheng, Y., & Yang, J. (2024). Diagnosing middle school students' proficiency in constructing scientific explanations with the integration of chemical reactions and patterns: a cognitive diagnostic modeling approach. *International Journal of Science Education*, 1–28. <https://doi.org/10.1080/09500693.2024.2413926>
- Hempel, C. G., & Oppenheim, P. (1948). Studies in the logic of explanation. *Philosophy of Science*, 15(2), 135–175. <https://doi.org/10.1086/286983>
- Peng He, Yu Zhang, Tingting Li, Yuan Zheng & Jie Yang (13 Oct 2024): Diagnosing middle school students' proficiency in constructing scientific explanations with the integration of chemical reactions and patterns: a cognitive diagnostic modeling approach, *International Journal of Science Education*. <https://doi.org/10.1080/09500693.2024.2413926>
- Instituto Colombiano para la Evaluación de la Educación. (2016). Módulo Pensamiento Científico - Saber Pro Versión inicial. [www.icfes.gov.co](http://www.icfes.gov.co).
- Islakhiyah, K., Sutopo, S., & Yulianti, L. (August 2017). Scientific explanation of light through phenomenon-based learning on junior high school student. In *Proceedings of the 1st Annual International Conference on Mathematics, Science, and Education (ICoMSE 2017)*. Atlantis Press. <https://doi.org/10.2991/icomse-17.2018.31>

- Kang, H., Thompson, J., & Windschitl, M. (2014). Creating opportunities for students to show what they know: the role of scaffolding in assessment tasks. *Science Education*, *98*(4), 674–704. <https://doi.org/10.1002/sce.21123>
- Kitcher, P. (1989). Explanatory unification and the causal structure of the world. In P. Kitcher & W. C. Salmon (Ed.), *Minnesota studies in the philosophy of science: Scientific explanation* (Vol. 13, pp. 410–499). University of Minnesota Press. <https://hdl.handle.net/11299/185687>
- Laliyo, L. A. R., Utina, R., Husain, R., Umar, M. K., Katili, M. R., & Panigoro, C. (2023). Evaluating students' ability in constructing scientific explanations on chemical phenomena. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, *19*(9), 1–21. <https://doi.org/10.29333/ejmste/13524>
- López, I. & Pita, S. (1999). Medidas de concordancia: el índice Kappa. *Cuadernos de atención primaria*, *6*(4), 223–226.
- Madu, B., Ogundeji, O. & Okoye, N. (2020). Scientific explanation of phenomenon, imagination and concept formation as correlates of student's understanding of physics concepts. *Journal of Natural Sciences Research*, *11*(16), 17–28. DOI: 10.7176/JNSR/11-16-03
- McLure, F. (2023). The Thinking Frames Approach: Improving high school student's written explanations of phenomena in science. *Research in Science Education*, *53*, 173–191. <https://doi.org/10.1007/s11165-022-10052-y>
- McNeill, K. L., & Krajcik, J. (April 2006). Supporting students' construction of scientific explanation through generic versus context-specific written scaffolds. In *annual meeting of the American educational research association*, San Francisco.
- Ministerio de Educación de Brasil (2018). Ley 9394 directrices y bases de la educación nacional.
- National Academies of Sciences Engineering and Medicine (2013). *Next Generation Science Standards: For States, By States*. The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/18290>
- National Research Council (2012). *A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas*. The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/13165>
- OCDE (2019). *PISA 2018. Assessment and Analytical Framework*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/b25efab8-en>
- Osborne, J. & Patterson, A. (2011). Scientific argument and explanation: A necessary distinction? *Science Education*, *95*, 627–638. <https://doi.org/10.1002/sce.20438>
- Papadouris, N., Vokos, S., & Constantinou, C. P. (2018). The pursuit of a “better” explanation as an organizing framework for science teaching and learning. *Science Education*, *102*(2), 219–237. <https://doi.org/10.1002/sce.21326>
- Parnafes, O. (2012). Developing explanations and developing understanding: students explain the phases of the moon using visual representations. *Cognition and Instruction*, *30*, 359–403. <https://doi.org/10.1080/07370008.2012.716885>
- Perkins, D. N., & Grotzer, T. A. (2005). Dimensions of causal understanding: the role of complex causal models in students' understanding of science. *Studies in Science Education*, *41*(1), 117–165. <https://doi.org/10.1080/03057260508560216>
- Prain, V., Tytler, R. & Peterson, S. (2009). Multiple representation in learning about evaporation, *International Journal of Science Education*, *31*(6), 787–808. <https://doi.org/10.1080/09500690701824249>
- Real Decreto 217/2022, de 29 de marzo, por el que se establece la ordenación y las enseñanzas mínimas en la Educación Secundaria Obligatoria. *Boletín Oficial del Estado*, *76*, de 30 de marzo de 2022. <https://www.boe.es/eli/es/rd/2022/03/29/217/con>
- Salmon, W. C. (1989). *Four decades of scientific explanation*. University of Minnesota Press.
- Seepootorn, A. (2023). Development of scientific explanation ability of eleventh-grade students through science drama-based learning. *Kasetsart Journal of Social Sciences*, *44*(4), 1135–1146. <https://doi.org/10.34044/j.kjss.2023.44.4.1>

**TIPOLOGÍA DE EXPLICACIONES SOBRE FENÓMENOS DE BIOLOGÍA Y GEOLOGÍA:  
UN ESTUDIO EXPLORATORIO EN EDUCACIÓN SECUNDARIA**

- Solbes, J., Ruiz, J.J. y Furió, C. (2010). Debates y argumentación en las clases de física y química. *Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 63, 65–75.
- Sutton, C. (1997). Ideas sobre la ciencia e ideas sobre el lenguaje. *Alambique*, 12, 8-32.
- Taber, K. S., & García-Franco, A. (2010). Learning processes in chemistry: drawing upon cognitive resources to learn about the particulate structure of matter. *Journal of the Learning Sciences*, 19(1), 99–142. <https://doi.org/10.1080/10508400903452868>
- Walker, C. M., Lombrozo, T., Williams, J. J., Rafferty, A. N., & Gopnik, A. (2017). Explaining Constrains Causal Learning in Childhood. *Child Development*, 88(1), 229–246. <https://doi.org/10.1111/cdev.12590>
- Yao, J. X., Guo, Y. Y. & Neumann, K. (2016). Towards a hypothetical learning progression of scientific explanation. *Asia-Pacific Science Education*, 2(4), 1–17. <https://doi.org/10.1186/s41029-016-0011-7>
- Yeo, J., & Gilbert, J. K. (2014). Constructing a scientific explanation: a narrative account. *International Journal of Science Education*, 36(11), 1902–1935. <https://doi.org/10.1080/09500693.2014.880527>
- Zangori, L., Forbes, C. T., & Schwarz, C. V. (2015). Exploring the effect of embedded scaffolding within curricular tasks on third-grade students' model-based explanations about hydrologic cycling. *Science & Education*, 24, 957–981. <https://doi.org/10.1007/s11191-015-9771-9>
- Zohar, A., & Tamir, P. (1991). Assessing students' difficulties in causal reasoning in biology—a diagnostic instrument. *Journal of Biological Education*, 25(4), 302–307. <https://doi.org/10.1080/00219266.1991.9655229>
- Zuzovsky, R. & Tamir, P. (1999). Growth patterns in students' ability to supply scientific explanations: findings from the Third International Mathematics and Science Study in Israel. *International Journal of Science Education*, 21(10), 1101-1121. <https://doi.org/10.1080/095006999290219>