

Más allá del desastre: el fuego como contexto para promover la comprensión ecológica en el marco de la Naturaleza de STEM

Víctor Martínez-Martínez^{1,*}, Jairo Ortiz-Revilla¹, Ileana M. Greca¹

(1) Departamento de Didácticas Específicas, Facultad de Educación, Universidad de Burgos, C/ Villadiego 1, 09001, Burgos, España.

* Autor para correspondencia / Corresponding author: V. Martínez-Martínez [victormm@ubu.es]

Este artículo ha sido aceptado para su publicación en ECOSISTEMAS. Ha sido sometido a una completa revisión por pares, pero no ha pasado por el proceso de corrección de textos, adaptación de estilo, maquetación y corrección de pruebas, lo que puede dar lugar a diferencias entre esta versión y la versión definitiva. / This article has been accepted for publication in ECOSISTEMAS. It has undergone a thorough peer review process, but it has not yet been through the text editing, styling, layout, and proofreading process, which may result in differences between this version and the final version.

Cómo citar / How to cite: Martínez-Martínez, V., Ortiz-Revilla, J., & Greca, I. M. (en prensa). Más allá del desastre: el fuego como contexto para promover la comprensión ecológica en el marco de la Naturaleza de STEM. *Ecosistemas*, 3043. <https://doi.org/10.7818/ECOS.3092>

Más allá del desastre: el fuego como contexto para promover la comprensión ecológica en el marco de la Naturaleza de STEM

Resumen: Este estudio analiza una propuesta didáctica sobre ecología del fuego implementada en un instituto de educación secundaria de la ciudad de Tandil (Argentina), diseñada desde la perspectiva de la Naturaleza de STEM (NoSTEM). La propuesta buscó favorecer una comprensión integrada de los procesos ecológicos asociados al fuego y promover la reflexión crítica sobre la gestión ambiental. Participaron 24 estudiantes de 17 y 18 años organizados en seis grupos de trabajo. A partir de una lectura informativa sobre el incendio de Yellowstone, el alumnado elaboró respuestas a tres preguntas orientadoras y participó posteriormente en un debate grupal. Las producciones escritas y orales fueron analizadas mediante un enfoque fenomenográfico para identificar diferentes niveles de comprensión conceptual. Los resultados muestran que, aunque persisten concepciones reduccionistas sobre el papel del fuego en los ecosistemas, se evidencian procesos de reorganización conceptual hacia visiones más integradas y funcionales, especialmente en relación con la sucesión ecológica y el carácter regulador del fuego. Se discuten las implicaciones educativas de la temática del fuego como contexto para el aprendizaje interdisciplinar y la alfabetización científica crítica, destacando el potencial del enfoque NoSTEM para conectar el conocimiento escolar con problemáticas socioambientales contemporáneas.

Palabras clave: alfabetización científica; ecología del fuego; educación STEM integrada, naturaleza de la ciencia; naturaleza de STEM; propuesta didáctica

Beyond disaster: fire as a Context to Promote Ecological Understanding within the Nature of STEM Framework

Abstract: This study analyzes a didactic proposal on fire ecology implemented in a secondary school in Tandil (Argentina), designed from the Nature of STEM (NoSTEM) perspective. The proposal aimed to foster an integrated understanding of ecological processes associated with fire and to promote critical reflection on environmental management. Twenty-four students aged 17–18, organized in six working groups, participated in the activity. Based on an informational text about the Yellowstone fire, students wrote answers to three guiding questions and later engaged in a group debate. Written and oral productions were analyzed using a phenomenographic approach to identify different levels of conceptual understanding. Results show that although reductionist conceptions of fire's role in ecosystems persist, there are clear signs of conceptual reorganization toward more integrated and functional views, particularly regarding ecological succession and the regulatory role of fire. Educational implications are discussed, highlighting the potential of fire as a context for interdisciplinary learning and critical scientific literacy, as well as the relevance of the NoSTEM framework for connecting school science with contemporary socio-environmental issues.

Keywords: didactic proposal; fire ecology; integrated STEM education; nature of STEM; nature of Science; scientific literacy

Introducción

Actualmente nos enfrentamos a numerosos desafíos que, si bien tienen una gran relevancia social, no pueden comprenderse ni abordarse sin el conocimiento científico: pandemias, transición energética, sostenibilidad alimentaria, inteligencia artificial, entre otros. En este contexto no se pueden delegar las decisiones exclusivamente en el criterio de los expertos y de los científicos; los ciudadanos deben ser capaces de participar de manera autónoma en los debates que generan este tipo de controversias (Funtowicz y Ravetz, 1993). Así, se pone de especial manifiesto la importancia de una sociedad científicamente alfabetizada capaz de contribuir a la construcción de una democracia más justa y participativa (Santos, 2009; Valladares, 2021).

Entre dichos retos, los problemas ecológicos constituyen una de las preocupaciones más urgentes. El cambio climático, la pérdida de biodiversidad o el aumento de eventos extremos obligan a repensar la relación entre ciencia, sociedad y naturaleza (Berghöfer et al., 2022; De Sousa et al., 2025). El fuego, en particular, representa un fenómeno paradigmático para abordar esta interdependencia, ya que permite analizar procesos ecológicos, tecnológicos y sociales desde una perspectiva integrada. En consecuencia, su estudio ofrece un contexto idóneo para promover una alfabetización científica crítica y una educación ambiental comprometida con los retos socioecológicos contemporáneos (Cañal, 2004; Roberts y Bybee, 2014).

En el campo de la didáctica de las ciencias experimentales, uno de los enfoques más promovidos en los últimos años ha sido la educación STEM integrada (acrónimo inglés de las disciplinas *Science, Technology, Engineering y Mathematics*), orientada a desarrollar competencias como la resolución de problemas o el pensamiento lógico (Greca et al. 2021; Ortiz-Revilla et al. 2020; Portillo-Blanco et al. 2024). Sin embargo, su implementación ha estado frecuentemente guiada por una lógica instrumental, el desarrollo económico y la capacitación técnica (Chesky y Wolfmeyer, 2015; Zouda, 2018; Toma y García-Carmona, 2021), dejando en segundo plano las dimensiones epistemológicas, sociales y políticas del conocimiento científico (Brocos y Jiménez-Aleixandre 2020; Casler-Failing et al. 2021).

Frente a estas limitaciones, emerge la perspectiva de la Naturaleza de STEM (NoSTEM) (Ortiz-Revilla et al., 2021; Martínez-Martínez et al., 2025) que propone una comprensión más rica e integrada del conocimiento tecnocientífico. Este enfoque busca articular las dimensiones cognitivo-epistémicas y político-sociales de las ciencias naturales, la tecnología, la ingeniería y las matemáticas, concibiéndolas como prácticas humanas interdependientes y socialmente situadas (Erduran et al., 2019).

En coherencia con esta visión, la NoSTEM adopta como base conceptual el *Family Resemblance Approach* (FRA), desarrollado por Irzik y Nola (2011), que concibe la ciencia como una práctica caracterizada por una red de semejanzas familiares entre disciplinas, más que por un conjunto de rasgos fijos o esenciales. Este modelo permite reconocer la pluralidad y la interdependencia entre los componentes epistémicos, metodológicos y sociales de la actividad científica, proporcionando un marco flexible para analizar tanto la estructura del conocimiento como su dimensión contextual. En el ámbito educativo, el FRA ha sido adaptado al estudio de la Naturaleza de STEM, ofreciendo una herramienta conceptual para integrar los aspectos epistemológicos y socioculturales del aprendizaje científico (Dagher y Erduran, 2023; Ortiz-Revilla et al., 2023).

Desde esta mirada, las propuestas didácticas diseñadas bajo el marco NoSTEM no solo promueven la comprensión de conceptos científicos, sino también la reflexión sobre cómo se construye, valida y aplica el conocimiento en contextos reales. En el presente estudio, la NoSTEM se operacionaliza mediante el diseño de una actividad que integra el análisis de fenómenos ecológicos con la discusión de prácticas de gestión ambiental y prevención de incendios.

La Naturaleza de STEM

La enseñanza tradicional de las disciplinas STEM, especialmente en la educación secundaria, tiende a reproducir una visión fragmentada y compartimentalizada del conocimiento (Fernández et al. 2002; Ortiz-Revilla et al. 2020), dificultando que el alumnado comprenda las conexiones entre ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas. Esta compartimentalización favorece concepciones reduccionistas y descontextualizadas, y limita el desarrollo de un pensamiento complejo necesario para abordar los desafíos globales desde una mirada integrada (Martín-Páez et al. 2019).

Paralelamente, se ha consolidado un consenso sobre la necesidad de incorporar dimensiones históricas, filosóficas y sociológicas de la ciencia en los planes de estudio para promover una comprensión más profunda y crítica del conocimiento (Matthews, 1994; Ortiz-Revilla et al., 2023). Este consenso se ha materializado en corrientes como la Naturaleza de la Ciencia (NdC), que se centra en mostrar al alumnado cómo se construye, valida y revisa el conocimiento científico, reconociendo su carácter tentativo, modelizado y dependiente del contexto (Adúriz-Bravo 2005; Allchin 2012; Lederman 2007), y el enfoque Ciencia-Tecnología-Sociedad (CTS), que pone el acento en las relaciones entre los desarrollos científicos y tecnológicos y sus impactos sociales y éticos, destacando la necesidad de una educación que cree un ciudadanía emancipada y capaz de tomar decisiones fundadas (Solomon, 1988; Acevedo Díaz y García Carmona, 2016).

Sin embargo, ambas corrientes presentan limitaciones cuando se trata de abordar de forma equilibrada las disciplinas STEM. Tanto la NdC como CTS tienden a privilegiar las ciencias naturales, relegando a las matemáticas al rol de herramienta auxiliar y simplificando la ingeniería como mera aplicación de la ciencia, sin considerar sus prácticas específicas ni sus marcos epistémicos propios (Palacios y Aguilera, 2020; Toma y García-Carmona, 2021). Estas limitaciones obstaculizan una comprensión más rica e integrada del conocimiento tecnocientífico.

La perspectiva NoSTEM surge en la confluencia de estos enfoques, con el propósito de reunir sus fortalezas y superar sus limitaciones. Este marco teórico propone una visión integrada de las disciplinas STEM, articulando sus dimensiones cognitivo-epistémicas y político-sociales, y rechazando la jerarquización epistémica de las disciplinas que componen el conocimiento tecnocientífico. Nuestra visión de la NoSTEM (Martínez-Martínez et al. 2025), inspirada por varios autores (Peters-Burton, 2014; Seoane et al., 2018; Erduran et al., 2019; Quinn et al., 2020), se apoya en la idea de que las fronteras disciplinares son

construcciones históricas, y que el conocimiento debe entenderse como una *seamless web* (e.i. “red sin costuras”) (Hughes, 1986).

Desde esta perspectiva, las propuestas didácticas orientadas por la NoSTEM deben permitir que el alumnado reconozca tanto la naturaleza epistémica de las prácticas científicas como su relevancia social. Diversos autores proponen el análisis de fenómenos socioambientales complejos, como los incendios forestales, para favorecer precisamente la emergencia de estas comprensiones integradas (Park et al., 2023; Arriasecq et al., 2024; Martínez-Martínez et al., 2025). Estos trabajos confirman que el estudio de fenómenos naturales complejos, como los incendios forestales, ofrece un terreno fértil para articular explicaciones ecológicas, tecnológicas y ético-sociales en el aula, en sintonía con los principios de la NoSTEM.

La ecología del fuego como contenido para propuestas NoSTEM

Este enfoque resulta especialmente pertinente cuando se trabaja con fenómenos socioambientales complejos, como es el caso de los incendios forestales. Lejos de ser un contenido puramente biológico o físico, la ecología del fuego implica dimensiones no sólo naturales, sino también sociales, éticas y políticas que exigirían al alumnado articular múltiples saberes (Caldararo, 2002; Minor y Boyce, 2018; El Halwany et al., 2021). Abordar esta complejidad requiere propuestas que integren la comprensión de los procesos ecológicos con la reflexión sobre las implicaciones humanas y sociales del conocimiento científico.

En este sentido, la perspectiva NoSTEM aporta un marco sólido para el diseño de secuencias didácticas que conectan los aprendizajes escolares con problemáticas reales y contextualizadas. Una de sus intenciones es mostrar que el conocimiento científico-tecnológico no es neutro, sino que está imbricado con valores, estructuras sociales e intereses políticos (Millar, 2020). Por ello, las propuestas didácticas desarrolladas desde esta perspectiva no se limitan a la transmisión de contenidos, sino que buscan activar procesos de alfabetización científica situada, crítica y orientada a la acción ciudadana (Pleasants 2020; Cobian et al. 2024).

Más aún, la NoSTEM contribuye al desarrollo de las competencias clave al tiempo que facilita una comprensión más profunda de los fenómenos complejos que atraviesan la vida contemporánea. La propuesta didáctica analizada en este estudio fue diseñada en el marco de una investigación doctoral desarrollada en España, siguiendo los principios competenciales e interdisciplinarios del currículo español vigente, y aplicada posteriormente durante una estancia académica en Argentina.

Esta orientación coincide plenamente con los principios establecidos por la actual legislación educativa española. La LOMLOE y los currículos derivados de ella (Ley Orgánica 3/2020; Real Decreto 217/2022), refuerzan una visión competencial, inclusiva e interdisciplinar de la educación, centrada en la formación integral del alumnado y en su capacidad para afrontar los retos del siglo XXI. El currículo establece como prioridades la resolución de problemas reales, el trabajo por ámbitos, la conexión entre saberes y la participación activa del alumnado (Ortiz Revilla, 2020). Aunque el presente estudio no tiene como finalidad comparar contextos curriculares ni analizar diferencias entre sistemas educativos, la referencia a este marco jurídico español orientó el diseño original de la propuesta.

En este contexto, el presente estudio analiza cómo estudiantes de secundaria comprenden conceptos clave vinculados a la ecología del fuego, tras participar en una actividad didáctica integrada en una secuencia más amplia diseñada desde el enfoque NoSTEM. En particular, se exploran sus concepciones sobre la sucesión ecológica, el papel del fuego como agente regulador y la utilidad de los incendios controlados como estrategia de gestión ambiental. Además, se examinan los procesos de resignificación conceptual manifestados por el propio alumnado, con el fin de identificar aprendizajes emergentes y valorar el potencial formativo de propuestas educativas críticas, interdisciplinarias y contextualizadas. Este enfoque permite examinar cómo el alumnado comprende los procesos ecológicos implicados y, al mismo tiempo, cómo atribuye sentido a las acciones humanas y científicas vinculadas a la gestión del fuego, en consonancia con planteamientos previos tanto sobre las concepciones de fenómenos socioambientales complejos (Martínez-Martínez et al. 2024; Martínez-Martínez, Ortiz-Revilla y Greca 2024a; b) como sobre propuestas educativas al respecto (Gómez Galindo et al., 2008; García-Piqueras y Sotos-Serrano, 2021; Martínez-Martínez y Greca, 2025). A partir de este planteamiento, se plantea la hipótesis de que la participación del alumnado en la actividad promoverá procesos de reorganización conceptual y discursiva, evidenciados en explicaciones más integradas sobre la ecología del fuego y en el reconocimiento incipiente de las relaciones entre ciencia, sociedad y medio ambiente.

Material y métodos

Este trabajo se enmarca en un estudio de carácter cualitativo, con un diseño pre-experimental de tipo intervención didáctica contextualizada (Flick, 1998; Mertens, 2010). Se desarrolló en un entorno escolar real y sin grupo de control, con el objetivo de explorar los efectos iniciales de una propuesta educativa basada en el enfoque NoSTEM sobre las concepciones del alumnado respecto a determinados conceptos científicos y socioambientales. La investigación adopta un enfoque exploratorio y descriptivo, centrado en el análisis del discurso estudiantil para identificar niveles de comprensión y posibles procesos de cambio conceptual (Cohen et al., 2017).

Muestra y contexto

El estudio se llevó a cabo en la Escuela Nacional Ernesto Sábato de educación secundaria perteneciente a la ciudad de Tandil (Argentina), en el marco de una estancia predoctoral internacional. Tandil se ubica en el centro de la provincia de Buenos Aires, dentro de una región serrana caracterizada por ecosistemas de pastizales y por una actividad agropecuaria intensiva que, en las últimas décadas, ha estado asociada a la ocurrencia periódica de incendios rurales. La muestra (N = 24) consistió en estudiantes de 17 y 18 años pertenecientes al mismo grupo-clase, con un contexto sociocultural homogéneo con trayectorias educativas

similares y un acceso compartido a recursos escolares y tecnológicos. Para desarrollar la actividad, el alumnado se organizó en grupos de tres, cuatro o cinco integrantes, dando lugar a un total de seis grupos de trabajo.

Implementación

La actividad analizada se enmarca en una propuesta didáctica más amplia centrada en la ecología del fuego, diseñada desde la perspectiva NoSTEM (Martínez-Martínez y Greca, 2025). Esta temática permite estudiar el fuego como fenómeno físico-químico, explorar conceptos biológicos vinculados a la evolución y la ecología, y analizar desarrollos tecnológicos e ingenieriles relacionados con la prevención, monitoreo y control de incendios. Asimismo, fomenta competencias como la interpretación crítica de datos, imágenes o estadísticas, y el análisis de fuentes de información. Desde una perspectiva más social, posibilita examinar la relación entre incendios y cambio climático, así como las formas en que distintas comunidades han enfrentado este fenómeno históricamente. Además, permite introducir al alumnado en nociones clave de la epistemología contemporánea —como la incertidumbre, la complejidad o la modelización científica—, y reflexionar sobre los procesos de toma de decisiones en contextos de riesgo.

Para este estudio se seleccionó la actividad “Yellowstone: un caso paradigmático en la ecología del fuego”, por tratarse de una de las primeras aplicadas durante la intervención. Esta elección permitió explorar las concepciones iniciales que el alumnado construye a partir de una primera aproximación informativa al tema. El caso de Yellowstone se eligió porque constituye un referente emblemático en la investigación ecológica del fuego: los incendios de 1988 supusieron un punto de inflexión en la comprensión científica de la regeneración natural de los ecosistemas, ampliamente documentado en la literatura y en recursos educativos. Su análisis, aun siendo un fenómeno geográficamente distante, ofrece un contexto bien caracterizado y científicamente relevante para trabajar la dinámica del fuego sin apelar a experiencias locales, a menudo emocionalmente sensibles.

La actividad giró en torno al análisis de los incendios ocurridos en el Parque Nacional de Yellowstone en el verano de 1988. Mediante la lectura de un texto informativo, los estudiantes abordaron las causas naturales del incendio, las etapas de regeneración ecológica y la evolución del ecosistema a lo largo del tiempo. Tras una lectura individual, el alumnado se organizó en grupos para discutir el contenido y consensuar las respuestas a tres preguntas orientadoras, que debían registrar por escrito:

Q1: Explique este caso de sucesión ecológica y las etapas involucradas

Q2: El fuego es crucial en muchos entornos terrestres. En regiones con incendios frecuentes, las comunidades vegetales se adaptan a ellos, como las praderas del sudoeste de Norteamérica, donde incendios estacionales mantienen el equilibrio. ¿A qué equilibrio se refiere este enunciado? ¿Cómo actúa en este caso, el fuego como un agente regulador del ecosistema?

Q3: Hoy, se experimenta con incendios controlados para prevenir incendios masivos. ¿Por qué puede ser una estrategia efectiva?, ¿significa que las campañas preventivas son inútiles? Explique.

La propuesta finalizó con una instancia de debate grupal en la que los grupos compartieron y contrastaron sus respuestas. Posteriormente, se promovió un segundo momento de intercambio centrado en la reflexión metacognitiva, donde las intervenciones fueron individuales y espontáneas: quienes lo desearon expresaron qué ideas nuevas habían aprendido y qué concepciones previas reconocían haber modificado. Tras cada intervención, se registró cuántos estudiantes manifestaban estar de acuerdo con el cambio conceptual manifestado.

Recogida y análisis de datos

Para analizar las concepciones del alumnado, se utilizaron como fuentes principales las respuestas escritas a las tres preguntas de la actividad y las intervenciones orales registradas durante el debate final, que fueron transcritas a partir de notas de campo.

Dado el objetivo del estudio se optó por un análisis cualitativo de tipo fenomenográfico (Marton 1986; Arriasecq et al. 2024) para las respuestas escritas. Este enfoque no busca evaluar la corrección científica, sino explorar la complejidad con la que los sujetos conceptualizan un fenómeno determinado. Aunque las respuestas se elaboraron tras la lectura de un texto informativo, el análisis fenomenográfico resulta pertinente para examinar el nivel de comprensión emergente que los estudiantes construyen en una primera aproximación autónoma al contenido. No se dispone de una evaluación previa de las concepciones iniciales; por ello, el análisis no pretende describir procesos de cambio conceptual, sino caracterizar las diferentes formas de entender la ecología del fuego que se expresan en las producciones estudiantiles. En este sentido, el interés se centra en identificar patrones de comprensión y niveles de complejidad en las explicaciones elaboradas por los estudiantes.

El análisis se basó en una rúbrica (**Tabla 1**) elaborada ex profeso que clasifica las respuestas en cuatro niveles jerárquicos que reflejan formas cualitativamente distintas de interpretar el fenómeno: nivel 0 para respuestas irrelevantes o ausentes; nivel 1 para concepciones ingenuas, descriptivas o fragmentarias; nivel 2 para comprensiones funcionales, aunque con cierta superficialidad; y nivel 3 para interpretaciones integradas o sistémicas, con articulación coherente y reconocimiento de la complejidad. La codificación fue realizada de forma independiente por dos investigadores. Los casos de discrepancia se discutieron hasta alcanzar consenso. Para minimizar posibles sesgos, las respuestas fueron previamente anonimizadas y ordenadas aleatoriamente, de modo que los investigadores no tuvieran acceso a información sobre la identidad o el grupo de pertenencia del alumnado durante el análisis.

Tabla 1. Rúbrica fenomenográfica para el análisis de las respuestas escritas.**Table 1.** Phenomenographic rubric for the analysis of written responses.

Pregunta	Nivel			
	0	1	2	3
Q1	No hay respuesta o es irrelevante; no se mencionan etapas ni procesos ecológicos.	Se dice que el bosque vuelve a crecer sin explicar etapas ni especies; visión lineal o "mágica" del proceso.	Se mencionan varias etapas (germinación, rebrote, crecimiento) y algunas especies, pero sin conexión clara o sin orden temporal completo.	Se explica el ciclo completo con etapas, especies y temporalidad; se reconoce el carácter cíclico del ecosistema.
Q2	No hay respuesta o es irrelevante; se considera al fuego solo como destructor del entorno.	Se reconoce que el fuego ocurre puntualmente y no es intrínsecamente negativo, pero sin explicar qué regula ni hacer referencia al concepto de equilibrio.	Se entiende que el fuego evita que se acumulen residuos y puede favorecer la bio; se menciona el equilibrio, pero de forma general o poco conectada con ejemplos concretos.	Se explica que el fuego impide la acumulación de biomasa, favorece la biodiversidad o permite la regeneración periódica; se reconoce el equilibrio para mantener la dinámica del ecosistema.
Q3	No hay respuesta o se rechaza toda forma de incendio; se entiende como algo negativo en cualquier contexto.	Se acepta la utilidad del incendio controlado o de la prevención, pero de forma superficial o confusa; se presentan como estrategias opuestas.	Se comprende que los incendios controlados eliminan material combustible y pueden prevenir fuegos mayores; se menciona que las campañas preventivas siguen siendo importantes.	Se explica con claridad la función ecológica y preventiva de los incendios controlados, valorándolos como parte de una gestión ambiental integral; se reconoce la complementariedad con otras estrategias preventivas.

En cuanto a las intervenciones recogidas durante el segundo momento de debate, su tratamiento fue de carácter descriptivo e interpretativo, centrado en identificar aquellas expresiones en las que el propio alumnado reconocía explícitamente haber resignificado ideas previas. Esta actividad metacognitiva permitió aportar información complementaria que contribuyó a triangular los resultados y a contextualizar los aprendizajes emergentes durante la propuesta didáctica.

Resultados

El análisis de los datos recogidos se presenta en dos apartados diferenciados: por un lado, se examinan las respuestas escritas elaboradas por el alumnado tras la actividad de lectura y discusión grupal; por otro, se analiza el contenido del debate posterior, centrado en la reflexión sobre los aprendizajes y los posibles cambios conceptuales.

Respuestas escritas

El análisis fenomenográfico tuvo como objetivo identificar los distintos niveles de comprensión expresados por el alumnado en relación con los conceptos clave trabajados en la actividad: la sucesión ecológica, el papel del fuego como agente regulador y la utilidad de los incendios controlados como estrategia de prevención.

A partir de la rúbrica creada, se codificaron las respuestas escritas de cada grupo. El análisis no solo permitió registrar las ideas presentes o ausentes, sino también valorar el nivel de elaboración con que se expresaron. La **Tabla 2** muestra cómo se distribuyeron las respuestas según los niveles definidos para cada una de las tres preguntas, ofreciendo una visión general del grado de comprensión alcanzado por el alumnado.

Tabla 2. Niveles de comprensión de las respuestas escritas.**Table 2.** Levels of understanding in students' written responses.

Pregunta	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5	Grupo 6
Sobre la sucesión ecológica	2	3	1	2	2	1
Sobre el rol del fuego en ciertos entornos	1	2	2	1	3	0
Sobre quemas prescritas y prevención	1	2	0	2	2	1

A continuación, se presentan los resultados desglosados por pregunta, con el objetivo de identificar tendencias comunes y ejemplos ilustrativos. Este análisis contribuye a comprender con mayor detalle cómo los estudiantes interpretaron los conceptos trabajados y en qué medida lograron integrar la información en sus marcos previos de conocimiento.

Sobre la sucesión ecológica

En relación con la primera pregunta, las respuestas se agruparon principalmente en los niveles 1 y 2. Tal como se recoge en la **Tabla 2**, tres grupos se situaron en el nivel 2, mostrando una comprensión funcional del proceso: reconocieron una secuencia de etapas de regeneración tras el incendio, mencionando el papel de las semillas protegidas, el rebrote de especies herbáceas y la aparición de nuevas generaciones de árboles. Sin embargo, estas respuestas tendieron a describir los hechos en orden cronológico sin profundizar en el concepto de sucesión ecológica. Por su parte, dos grupos se clasificaron en el nivel 1, al ofrecer descripciones centradas en detalles puntuales (por ejemplo, el tipo de árbol o la aparición de animales) sin integrar esa información en una narrativa coherente de sucesión ecológica. Un grupo consiguió alcanzar el nivel 3, siendo capaz no solo de ordenar y describir correctamente las etapas descritas, sino también el concepto de sucesión ecológica. Este grupo escribe: *“...es como si primero hubiera un bosque y con los años otro distinto. Van cambiando las especies y el bosque evoluciona...”*

Sobre el rol del fuego en ciertos entornos

En cuanto a la segunda pregunta, las respuestas del alumnado reflejan una comprensión parcialmente desarrollada. Tal como se muestra en la tabla 2, la mayoría de los grupos se situó en los niveles 1 y 2 de la rúbrica. En los niveles más bajos, las respuestas se limitan a repetir frases del texto o a describir el fuego únicamente como un fenómeno destructivo o como una herramienta de limpieza del bosque. Por ejemplo, un grupo señaló que *“... (el fuego) no siempre es malo, en algunos casos puede ayudar a mejorar el bosque...”*, lo cual representa una comprensión clasificada en el nivel 1 que, si bien reconoce un efecto no destructivo, no explica cómo este proceso contribuye a mantener la biodiversidad o evitar desequilibrios ecológicos. En cambio, el grupo que alcanzó el nivel 2 logró incorporar una idea más funcional del fuego como elemento necesario en determinados ecosistemas, aunque sin explicitar del todo el concepto de “equilibrio ecológico” ni articularlo con la dinámica de las especies vegetales. Una respuesta representativa en este nivel es: *“...en algunos lugares el fuego sirve para que no se acumule todo y el ecosistema se mantenga más equilibrado, (...) si no habría demasiadas plantas y sería un caos.”* Solamente uno de los grupos alcanzó el nivel 3, evidenciando una comprensión más integrada del papel del fuego como agente regulador. En este caso, los estudiantes identificaron su función dentro de los procesos de renovación ecológica y lo vincularon explícitamente con la dinámica de las especies y la estabilidad del ecosistema. En su argumentación, el grupo recurrió a un ejemplo concreto que habían discutido: *“algunas semillas solo se abren con el fuego”*

Sobre quemas prescritas y prevención

Los resultados a esta pregunta se concentran mayoritariamente en los niveles 1 y 2 de la rúbrica. En el nivel más bajo, una de las respuestas no abordó el tema de forma relevante, limitándose a repetir que *“los incendios controlados sirven para que no haya incendios mayores...”* sin desarrollar ninguna argumentación adicional ni establecer vínculos con el contenido leído o con otras estrategias de prevención. En el nivel 1, varios grupos identificaron que los incendios controlados pueden ser útiles, pero sin ofrecer fundamentos claros ni problematizar su implementación. Una respuesta representativa afirmaba que *“...sirven para que no se junte mucha madera seca.”*, lo cual denota una comprensión parcial de la lógica preventiva, pero sin referencia a la complementariedad con otras campañas de concienciación o gestión. Los grupos que alcanzaron el nivel 2 fueron capaces de establecer una relación más matizada entre las quemas prescritas y la prevención de incendios masivos. Por ejemplo, un grupo escribió: *“pueden servir para controlar mejor los incendios porque se queman partes que podrían causar uno más grande, pero es más importante hacer campañas para que la gente tenga cuidado.”*

Debate final y resignificación de ideas

Además del análisis de las producciones escritas, se recogieron y analizaron las intervenciones orales realizadas por el alumnado durante el segundo momento del debate grupal, centrado en la identificación de los aprendizajes adquiridos y el reconocimiento de cambios en sus concepciones iniciales.

Varios estudiantes manifestaron haber abandonado la visión del fuego como un fenómeno exclusivamente destructivo, reconociendo su papel como agente regulador en determinados ecosistemas. Asimismo, se cuestionó la idea, muy extendida al inicio, de que todos los incendios son provocados por el ser humano, y se reconoció el papel como agente ecológico. Otro cambio significativo fue el reconocimiento de que el terreno afectado por un incendio no queda necesariamente inutilizado, sino que puede regenerarse de forma progresiva y dar lugar a procesos de sucesión ecológica. A pesar de los resultados positivos del análisis fenomenográfico, varios alumnos reconocieron haber identificado por primera vez la idea de que los ecosistemas no son entidades estáticas que se mantienen sin cambios. También se superó parcialmente la concepción de que el fuego no puede controlarse, al comprender que existen estrategias como las quemas prescritas. Además de los temas más cercanos a las preguntas trabajadas, durante el debate surgió una discusión particularmente interesante sobre cómo estas prácticas pueden ser utilizadas no solo como herramienta de prevención, sino también como práctica epistémica, ya que permiten a los científicos observar de forma controlada la evolución de un ecosistema tras un incendio.

En la **Tabla 3** se resumen las principales ideas nuevas mencionadas por los y las estudiantes, contrastadas con sus concepciones previas. También se indica cuántos participantes manifestaron compartir cada una de estas transformaciones conceptuales, lo que permite observar tendencias comunes en los procesos de resignificación promovidos por la actividad.

Tabla 3. Cambios conceptuales reconocidos por el alumnado durante el debate final.**Table 3.** Conceptual changes identified by students during the final discussion.

Concepto	Idea previa	Nueva idea	Nº de alumnos coincidentes
Rol del fuego	El fuego es algo malo para los ecosistemas y su papel es únicamente destructivo	El fuego ayuda a mantener el equilibrio de ciertos ecosistemas	18
	Los incendios son eminentemente antrópicos	El fuego es un agente ecológico que puede surgir de manera natural	11
Sucesión ecológica	El fuego destruye todas las plantas y deja el terreno inutilizado	En algunas ocasiones sobreviven ciertas especies que pueden rebrotar o germinar	22
	En un ecosistema las especies son siempre las mismas	Las especies de un ecosistema pueden cambiar a lo largo del tiempo	19
Quemas controladas	Solo se pueden investigar incendios que ya estén en marcha	Las quemas controladas forman parte de los métodos de investigación	24
	El fuego no es algo que se pueda controlar	Existen quemas controladas que cumplen una función preventiva frente a los incendios	22

Discusión

El análisis fenomenográfico realizado permitió identificar niveles diferenciados de comprensión en las respuestas del alumnado en torno a los conceptos clave abordados en la actividad. Si bien se observaron dificultades conceptuales en todos los grupos, también emergieron indicios de reorganización conceptual, especialmente en la pregunta vinculada a la sucesión ecológica. Es posible que esta mayor claridad conceptual se relacione con la estructura narrativa del texto —centrada en la evolución temporal del ecosistema— y con el hecho de que la idea de “cambio con el tiempo” resulta más intuitiva y accesible para el alumnado. Además, durante la actividad metacognitiva final, varios estudiantes manifestaron explícitamente haber modificado sus concepciones iniciales sobre el fuego y su papel en la naturaleza, lo que sugiere procesos de revisión y ajuste conceptual. En contraste, las respuestas relacionadas con el papel del fuego como agente regulador y la utilidad de los incendios controlados mostraron niveles más bajos de articulación conceptual, lo que evidencia la complejidad de estos contenidos y su distancia respecto a los marcos explicativos cotidianos.

Esta tendencia coincide con lo observado en otros trabajos del grupo de investigación en distintos niveles educativos, donde también emergen concepciones reduccionistas sobre el papel ecológico del fuego y un escaso conocimiento sobre prácticas como las quemas controladas (Martínez-Martínez et al. 2024; Martínez-Martínez, Ortiz-Revilla y Greca 2024a; b). La persistencia de estas ideas refuerza la necesidad de diseñar propuestas educativas que contribuyan a su resignificación desde una perspectiva integrada.

En este punto, la perspectiva NoSTEM ha permitido orientar el diseño y la interpretación del estudio, ofreciendo un marco teórico que vincula el conocimiento científico con los contextos reales donde este se aplica. En el caso analizado, esta perspectiva no se operacionaliza en todas sus dimensiones, sino que se concreta principalmente en la integración de contenidos ecológicos y reflexiones sobre la gestión ambiental, lo que contribuye a una comprensión más compleja del fenómeno del fuego. De este modo, la NoSTEM actúa como una referencia conceptual que guía la propuesta didáctica y la lectura de los resultados.

La segunda instancia de debate grupal, centrada en la reflexión metacognitiva, permitió identificar procesos de resignificación conceptual. Entre los aprendizajes más reconocidos por los propios estudiantes, destacaron la comprensión de que los incendios pueden formar parte de procesos regenerativos, el concepto de las quemas controladas y su papel en el estudio de la ecología del fuego. En este último caso se observó uno de los objetivos de la perspectiva NoSTEM, esto es, un desplazamiento en la forma de entender el papel de la ciencia: de una visión observacional y pasiva hacia una concepción que reconoce prácticas científicas activas. Precisamente, la pregunta sobre la utilidad de los incendios controlados fue uno de los elementos más relevantes de la actividad, ya que generó tensiones productivas en la discusión. Algunos estudiantes se mostraron inicialmente perplejos ante la idea de que “*los científicos provoquen incendios*”, lo que puso en evidencia, por un lado, el desconocimiento sobre ciertas prácticas metodológicas en la gestión ambiental (González-Picáns y Puig 2017) y, por otro, la dificultad para transferir modelos de experimentación científica aprendidos en contextos escolares hacia situaciones aplicadas y complejas (Domènech-Casal, 2017). Más que una falta de exposición al método científico, esta dificultad parece derivar del modo en que dicho discurso suele presentarse en la enseñanza: de manera reduccionista, lineal y desvinculada de los contextos reales en los que la ciencia opera. En consecuencia, muchos alumnos no logran reconocer que la ciencia también interviene en procesos como la prevención de incendios o la gestión de ecosistemas. Esta dificultad para vincular los modelos escolares de

experimentación con situaciones reales y complejas manifiesta una comprensión limitada y descontextualizada de la práctica científica integrada (Dare et al., 2018; Zandvliet, 2023). Sin embargo, esta reacción espontánea abrió una valiosa oportunidad didáctica: permitió discutir el rol epistemológico de la experimentación en contextos reales y el papel de determinados profesionales y científicos en esta área. Desde el marco de la NoSTEM, este tipo de situaciones no solo facilita la enseñanza de contenidos específicos, sino también de aspectos clave sobre cómo se construye y valida el conocimiento científico (Adúriz-Bravo, 2014; Park et al., 2020).

Conclusiones

La actividad desarrollada en torno al caso del incendio de Yellowstone permitió explorar el potencial de la perspectiva NoSTEM para favorecer una comprensión integrada, crítica y contextualizada de fenómenos socioambientales complejos. A través del análisis fenomenográfico de las respuestas escritas y de las intervenciones recogidas durante el debate metacognitivo, se identificaron evidencias de reorganización conceptual en el alumnado, especialmente en relación con nociones como la sucesión ecológica, el papel regulador del fuego y el uso deliberado de incendios controlados en la gestión ambiental.

Si bien persisten ciertas concepciones fragmentarias y algunas dificultades en la articulación de ideas, los resultados sugieren que una propuesta didáctica diseñada desde la NoSTEM puede generar procesos significativos de aprendizaje en torno a la ecología del fuego, favoreciendo una comprensión más integrada de los fenómenos naturales. En este estudio, la reflexión sobre las prácticas vinculadas a la ciencia se promovió especialmente durante la instancia metacognitiva final, en la que algunos estudiantes expresaron comentarios sobre el papel de la investigación científica en la gestión ambiental y la toma de decisiones. No obstante, el análisis se centró principalmente en las dimensiones conceptuales del aprendizaje, por lo que las evidencias epistemológicas se interpretan como aproximaciones iniciales que merecen ser exploradas con mayor profundidad en futuros trabajos. Estos hallazgos responden a los objetivos del estudio, al mostrar cómo una actividad contextualizada puede favorecer la comprensión de contenidos específicos y abrir espacios para la reflexión sobre la ciencia en acción.

Si bien persisten ciertas concepciones fragmentarias y algunas dificultades en la articulación de ideas, los resultados sugieren que una propuesta didáctica diseñada desde la perspectiva NoSTEM puede generar aprendizajes significativos en torno a la ecología del fuego, favoreciendo una comprensión más integrada de los fenómenos naturales. En este estudio, la reflexión sobre las prácticas e instituciones vinculadas a la ciencia se promovió especialmente durante la instancia metacognitiva final, en la que algunos estudiantes expresaron comentarios sobre el papel de la investigación científica en la gestión ambiental y la toma de decisiones. No obstante, el análisis se centró principalmente en las dimensiones conceptuales del aprendizaje, por lo que las evidencias epistemológicas se interpretan como aproximaciones iniciales que merecen ser exploradas con mayor profundidad en futuros trabajos. Estos hallazgos responden a los objetivos del estudio, al mostrar cómo una actividad contextualizada puede favorecer la comprensión de contenidos específicos y abrir espacios para la reflexión sobre la ciencia en acción.

Pese a las limitaciones del estudio —principalmente el reducido tamaño de la muestra y el carácter puntual de la implementación—, los resultados permiten identificar tendencias valiosas en los procesos de construcción conceptual del alumnado. Se considera, por tanto, pertinente continuar desarrollando propuestas educativas que, desde un enfoque NoSTEM, contribuyan a superar la fragmentación disciplinar, amplíen las formas de representación del conocimiento científico y fortalezcan una alfabetización crítica y democrática. Futuras investigaciones podrían incorporar diseños de mayor alcance, tanto muestral como geográfico, instrumentos mixtos de análisis y seguimientos longitudinales que permitan evaluar con mayor profundidad la estabilidad y evolución del cambio conceptual (Martínez-Martínez et al., en revisión).

Contribución de los autores

Víctor Martínez-Martínez: Research, Investigation, Formal analysis, Writing – initial draft. **Jairo Ortiz-Revilla:** Research, Writing – Review and editing. **Ileana M. Greca:** Research, Supervision, Conceptualization, Funding acquisition, Writing – Review and editing.

Disponibilidad de datos y código

Este artículo no utiliza conjuntos de datos.

Financiación, permisos requeridos, potenciales conflictos de interés y agradecimientos

Los autores/as declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Esta investigación no habría sido posible sin la colaboración del alumnado y del profesorado de la Escuela Nacional Ernesto Sábato, a quienes expresamos nuestro más sincero agradecimiento. Además, extendemos nuestro reconocimiento a la Dra. Irene Arriasecq por su valioso acompañamiento y apoyo durante la estancia doctoral de Víctor Martínez-Martínez. Agradecemos también el apoyo económico recibido a través del programa Erasmus+ y del proyecto “*La naturaleza de i-stem (NoSTEM) para la formación ciudadana*” (PID2020-118010RB-I00), que han contribuido significativamente al desarrollo de este artículo.

Referencias

- Acevedo Díaz, J.A. & García Carmona, A. (2016). «Algo antiguo, algo nuevo, algo prestado». Tendencias sobre la naturaleza de la ciencia en la educación científica. *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias* 13: 3-19.
- Adúriz-Bravo, A. (2005). *Una introducción a la naturaleza de la ciencia: la epistemología en la enseñanza de las ciencias naturales*. 1ª ed. Fondo de Cultura Económica, Buenos Aires. ISBN: 978-950-557-655-5.
- Adúriz-Bravo, A. (2014). Teaching the Nature of Science with Scientific Narratives. *Interchange* 45: 167-184. <https://doi.org/10.1007/s10780-015-9229-7>
- Allchin, D. (2012). Teaching the nature of science through scientific errors. *Science Education* 96: 904-926. <https://doi.org/10.1002/sce.21019>
- Arriasecq, I., Seoane, M.E., Greca, I.M. & Adúriz-Bravo, A. (2024). Extreme Weather Events: An Integrated Didactical Proposal to Discuss the Nature of Postnormal Science. En: Ortega-Sánchez, D. (ed.), *Transdisciplinarity in Citizenship Education: Challenges, Advances, and Research Proposals* (pp. 1-22). Springer Nature Switzerland, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-69209-3_1
- Berghöfer, U., Rode, J., Jax, K., Förster, J., Berghöfer, A. & Wittmer, H. (2022). 'Societal Relationships with Nature': A framework for understanding nature-related conflicts and multiple values. *People and Nature* 4: 534-548. <https://doi.org/10.1002/pan3.10305>
- Brocos, P. & Jiménez-Aleixandre, M.P. (2020). What to Eat Here and Now: Contextualization of Scientific Argumentation from a Place-Based Perspective. En Sánchez Tapia, I. (ed.), *International Perspectives on the Contextualization of Science Education* (pp. 15-46). Springer International Publishing, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-27982-0_2
- Caldararo, N. (2002). Human ecological intervention and the role of forest fires in human ecology. *The Science of the Total Environment* 292: 141-165. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(01\)01067-1](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(01)01067-1)
- Cañal, P. (2004). La alfabetización científica: ¿necesidad o utopía? *Culture and Education* 16: 245-257. <https://doi.org/10.1174/1135640042360951>
- Casler-Failing, S., Stevenson, A. & Miller, B.K. (2021). Integrating Mathematics, Science, and Literacy into a Culturally Responsive STEM After-School Program. *Current Issues in Middle Level Education* 26: 1. <https://doi.org/10.20429/cimle.2021.260103>
- Chesky, N.Z. & Wolfmeyer, M.R. (2015). STEM's What, Why, and How? Ontology, Axiology, and Epistemology. En Chesky, N. Z. & Wolfmeyer, M. R. (eds.), *Philosophy of STEM Education: A Critical Investigation* (pp. 17-43). Palgrave Macmillan US, New York. https://doi.org/10.1057/9781137535467_2
- Cobian, K.P., Hurtado, S., Romero, A.L. & Gutzwa, J.A. (2024). Enacting inclusive science: Culturally responsive higher education practices in science, technology, engineering, mathematics, and medicine (STEMM). *PLOS ONE* 19: e0293953. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0293953>
- Cohen, L., Manion, L. & Morrison, K. (2017). *Research Methods in Education*. 8.ª ed. Routledge, London. <https://doi.org/10.4324/9781315456539>
- Dagher, Z.R. & Erduran, S. (2023). To FRA or not to FRA: What is the question for science education? *Science & Education* 32: 1247-1264. <https://doi.org/10.1007/s11191-023-00425-8>
- Dare, E.A., Ellis, J.A. & Roehrig, G.H. (2018). Understanding science teachers' implementations of integrated STEM curricular units through a phenomenological multiple case study. *International Journal of STEM Education* 5: 4. <https://doi.org/10.1186/s40594-018-0101-z>
- De Sousa, D.A., Cantanhede, L.B., Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão, Cantanhede, S.C.D.S., Universidade Federal do Maranhão, Meireles, F.G.S.R. & Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão. (2025). Textos de divulgação científica como estratégia didática na abordagem ciência, tecnologia, sociedade e ambiente (CTSA). Contribuições para a alfabetização científica na educação básica. *Revista iberoamericana de ciencia tecnología y sociedad* 20: 65-92. <https://doi.org/10.52712/issn.1850-0013-714>
- Domènech-Casal, J. (2017). Propuesta de un marco para la secuenciación didáctica de Controversias Socio-Científicas. Estudio con dos actividades alrededor de la genética. *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias* 14: 601-620. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2017.v14.i3.07
- El Halwany, S., Zouda, M. & Bencze, J.L. (2021). Stepping into STS literature: Some implications for promoting socioecological justice through science education. *Cultural Studies of Science Education* 16: 1083-1096. <https://doi.org/10.1007/s11422-021-10026-y>
- Erduran, S., Dagher, Z.R. & McDonald, C.V. (2019). Contributions of the Family Resemblance Approach to Nature of Science in Science Education. *Science & Education* 28: 311-328. <https://doi.org/10.1007/s11191-019-00052-2>
- Fernández, I., Gil, D., Alís, J.C., Cachapuz, A.F. & Praia, J. (2002). Visiones deformadas de la ciencia transmitidas por la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas* 477-488
- Flick, U. (1998). *An introduction to qualitative research*. Sage, London; Thousand Oaks, Calif. ISBN: 978-0-7619-5588-7.
- Funtowicz, S.O. & Ravetz, J.R. (1993). Science for the post-normal age. *Futures* 25: 739-755. [https://doi.org/10.1016/0016-3287\(93\)90022-L](https://doi.org/10.1016/0016-3287(93)90022-L)
- García-Piqueras, M. & Sotos-Serrano, M. (2021). Regeneración forestal tras un incendio: complejidad y protocolos en una aproximación STEM transversal. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 18: 1-19. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2021.v18.i1.1201
- Gómez Galindo, A.A., Sanmartí Puig, N. & Pujol, R.M. (2008). Fundamentación teórica y diseño de una unidad didáctica para la enseñanza del modelo ser vivo en la escuela primaria. *Enseñanza de las Ciencias. Revista de investigación y experiencias didácticas* 25: 325-340. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3699>
- Greca, I.M., Ortiz-Revilla, J. & Arriasecq, I. (2021). Diseño y evaluación de una secuencia de enseñanza-aprendizaje STEAM para Educación Primaria. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 18: 1802-1802. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2021.v18.i1.1802
- Hughes, T.P. (1986). The Seamless Web: Technology, Science, Etcetera, Etcetera. *Social Studies of Science* 16: 281-292. <https://doi.org/10.1177/0306312786016002004>
- Irzik, G. & Nola, R. (2011). A Family Resemblance Approach to the Nature of Science for Science Education. *Science & Education* 20: 591-607. <https://doi.org/10.1007/s11191-010-9293-4>
- Jefatura del Estado. (2020). Ley Orgánica 3/2020, de 29 de diciembre, por la que se modifica la Ley Orgánica 2/2006, de 3 de mayo, de Educación. BOE-A-2020-17264. <https://www.boe.es/eli/es/lo/2020/12/29/3>
- Lederman, N. (2007). Nature of science: Past, present, and future. In S. K. Abell, & N. G. Lederman (Eds.), *Handbook of Research on Science Education* (pp. 831-879). Lawrence Erlbaum Associates. Mahwah, NJ, USA.
- Martínez-Martínez, V., Ortiz-Revilla, J. & Greca, I.M.G. (2024a). Estudio previo en el diseño y validación de un instrumento para identificar el conocimiento sobre Naturaleza de STEM. *Ápice. Revista de Educación Científica* 8: 1. <https://doi.org/10.17979/arec.2024.8.1.10263>

- Martínez-Martínez, V., Ortiz-Revilla, J. & Greca, I.M. (2024b). Las concepciones científicas de maestras en formación a través de la ecología del fuego. En, Callejas Albiñana, A. I. (ed.), *Formación docente y participación ciudadana: innovación educativa para la sostenibilidad y el desarrollo integral* (pp. 97-107). Dykinson, Madrid, España.
- Martínez-Martínez, V., Ortiz-Revilla, J., Brasca Merlin, A., Sammaritano, M., Molina, R., López, M. & Greca, I.M. (2024c). Sustainability Education in Geomatics Students: Nature of STEM Through Meteorology and Ecology of Fire. *Sustainability* 16: 11208. <https://doi.org/10.3390/su162411208>
- Martínez-Martínez, V. & Greca, I.M. (2025). *Incendios (cada vez más) impredecibles. Una propuesta interdisciplinar desde la Naturaleza de STEM*. UNIVERSIDAD DE BURGOS. Servicio de Publicaciones e Imagen Institucional - Libros en acceso abierto. <https://doi.org/10.36443/9791387585099>
- Martínez-Martínez, V., Ortiz-Revilla, J. & Greca, I.M. (2025). Rethinking Nature of STEM: Theoretical Insights and the Development of EPISTEMIK-Fire as an Assessment Tool. *Science & Education*. <https://doi.org/10.1007/s11191-025-00643-2>
- Martín-Páez, T., Aguilera, D., Perales-Palacios, F.J. & Vélchez-González, J.M. (2019). What are we talking about when we talk about STEM education? A review of literature. *Science Education* 103: 799-822. <https://doi.org/10.1002/sce.21522>
- Marton, F. (1986). Phenomenography: A Research Approach to Investigating Different Understandings of Reality. *Journal of Thought* 21: 28-49
- Matthews, M.R. (1994). Historia, filosofía y enseñanza de las ciencias: la aproximación actual. *Enseñanza de las Ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas* 255-277.
- Mertens, D.M. (2010). *Research and evaluation in education and psychology: integrating diversity with quantitative, qualitative, and mixed methods*. 3. ed. Sage, Thousand Oaks, Calif. ISBN: 978-1-4129-7190-4.
- Millar, V. (2020). Trends, Issues and Possibilities for an Interdisciplinary STEM Curriculum. *Science & Education* 29: 929-948. <https://doi.org/10.1007/s11191-020-00144-4>
- Ministerio de Educación y Formación Profesional. (2022). Real Decreto 217/2022, de 29 de marzo, por el que se establece la ordenación y las enseñanzas mínimas de la Educación Secundaria Obligatoria. BOE-A-2022-4975. <https://www.boe.es/eli/es/rd/2022/03/29/217/con>
- Minor, J. & Boyce, G.A. (2018). Smokey Bear and the pyropolitics of United States forest governance. *Political Geography* 62: 79-93. <https://doi.org/10.1016/j.polgeo.2017.10.005>
- Ortiz Revilla, J. (2020). El desarrollo competencial en la Educación Primaria: efectos de una propuesta STEAM integrada. <https://doi.org/10.36443/10259/5521>
- Ortiz-Revilla, J., Adúriz-Bravo, A. & Greca, I. (2020). A framework for epistemological discussion around an integrated STEM education. *Science & Education* 29: 857-880. <https://doi.org/10.1007/s11191-020-00131-9>
- Ortiz-Revilla, J., Greca, I. & Arriasecq, I. (2021). A Theoretical Framework for Integrated STEM Education. *Science & Education* 31: 383-404. <https://doi.org/10.1007/s11191-021-00242-x>
- Ortiz-Revilla, J., Arriasecq, I., Adúriz-Bravo, A. & Greca, I.M. (2023). Hacia un avance en la educación integrada: análisis del conocimiento sobre Naturaleza de STEM. En: *HPS&ST em tempos de negação científica*. Porto Alegre, Brasil.
- Palacios, F.J.P. & Aguilera, D. (2020). Ciencia-Tecnología-Sociedad vs. STEM: ¿evolución, revolución o disyunción? *Ápice. Revista de Educación Científica* 4: 1-15. <https://doi.org/10.17979/arec.2020.4.1.5826>
- Park, W., Wu, J.-Y. & Erduran, S. (2020). Investigating the Epistemic Nature of STEM: Analysis of Science Curriculum Documents from the USA Using the Family Resemblance Approach. En Anderson, J. & Li, Y. (eds.), *Advances in STEM Education* (pp. 137-155). Springer International Publishing, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-52229-2_8
- Park, W., Lee, H., Ko, Y. & Lee, H. (2023). "Safety" and "integration": examining the introduction of disaster into the science curriculum in South Korea. *Journal of Curriculum Studies* 55: 580-597. <https://doi.org/10.1080/00220272.2023.2239887>
- Peters-Burton, E.E. (2014). Is There a "Nature of STEM"? *School Science and Mathematics* 114: 99-101. <https://doi.org/10.1111/ssm.12063>
- Pleasant, J. (2020). Inquiring into the Nature of STEM Problems. *Science & Education* 29: 831-855. <https://doi.org/10.1007/s11191-020-00135-5>
- Portillo-Blanco, A., Deprez, H., De Cock, M., Guisasaola, J. & Zuza, K. (2024). A Systematic Literature Review of Integrated STEM Education: Uncovering Consensus and Diversity in Principles and Characteristics. *Education Sciences* 14: 1028. <https://doi.org/10.3390/educsci14091028>
- Quinn, C.M., Reid, J.W. & Gardner, G.E. (2020). S + T + M = E as a Convergent Model for the Nature of STEM. *Science & Education* 29: 881-898. <https://doi.org/10.1007/s11191-020-00130-w>
- Roberts, D.A. & Bybee, R.W. (2014). Scientific Literacy, Science Literacy, and Science Education. In Lederman, N. G., Abell, S. K. (eds.), *Handbook of Research on Science Education, Volume II*, chapter 27. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203097267>
- Santos, W.L.P.D. (2009). Scientific literacy: A Freirean perspective as a radical view of humanistic science education. *Science Education* 93: 361-382. <https://doi.org/10.1002/sce.20301>
- Seoane, M.E., Arriasecq, I. & Greca, I.M. (2018). Epistemological Debate Underlying Computer Simulations Used in Science Teaching: The Designers' Perspective. En Prestes, M. E. de B. & Silva, C. C. (eds.), *Teaching Science with Context: Historical, Philosophical, and Sociological Approaches* (pp. 405-417). Springer International Publishing, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-74036-2_25
- Solomon, J. (1988). The Dilemma of Science, Technology and Society Education. In Fensham Monash, P. (ed.), *Developments And Dilemmas In Science Education*, chapter 13. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203064580>
- Toma, R.B. & García-Carmona, A. (2021). «De STEM nos gusta todo menos STEM». Análisis crítico de una tendencia educativa de moda. *Enseñanza de las Ciencias. Revista de investigación y experiencias didácticas* 39: 65-80. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3093>
- Valladares, L. (2021). Scientific Literacy and Social Transformation: Critical Perspectives About Science Participation and Emancipation. *Science & Education* 30: 557-587. <https://doi.org/10.1007/s11191-021-00205-2>
- Zandvliet, D.B. (2023). Getting back to the real world: Creative approaches to science literacy, problem solving and cultural inquiry. *SFU Educational Review* 15: 1. <https://doi.org/10.21810/sfuer.v15i1.6016>
- Zouda, M. (2018). Issues of power and control in STEM education: a reading through the postmodern condition. *Cultural Studies of Science Education* 13: 1109-1128. <https://doi.org/10.1007/s11422-017-9820-6>