

Integración de la perspectiva NoSTEM a través de la Ecología del Fuego: un enfoque interdisciplinario para la didáctica de las ciencias

Integration of the NoSTEM perspective through Fire Ecology: An Interdisciplinary Approach to Science Education

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

¹Facultad de Educación, Universidad de Burgos. Calle Villadiego 1, CP 09001, Burgos, España.

*E-mail: victormm@ubu.es

Resumen

En el panorama actual de la educación científica, donde debemos enfrentarnos a desafíos globales complejos, comprender la naturaleza de las disciplinas STEM se presenta como un enfoque crucial. Este trabajo se centra en la fundamentación teórica de una secuencia didáctica diseñada desde la perspectiva NoSTEM (Naturaleza de la Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas), utilizando la Ecología del Fuego como núcleo temático. La secuencia didáctica propuesta busca no solo diseñar un marco educativo interdisciplinario, sino también integrar preconcepciones estudiantiles sobre STEM, proporcionando una comprensión holística y contextualizada que aborda desafíos socio-científicos fundamentales como el cambio climático y el desarrollo sostenible. La secuencia didáctica propuesta, respaldada por una sólida base epistemológica, psicológica y didáctica, guía a los estudiantes a través de la historia del fuego, las ciencias relacionadas con este, la interacción con los ecosistemas y las tecnologías aplicadas al estudio de los incendios forestales. Este enfoque interdisciplinario no solo pretende enriquecer la experiencia educativa, sino que también tiene la intención de preparar a los estudiantes ante desafíos globales complejos, fomentando una participación activa y crítica en la toma de decisiones informadas.

Palabras clave: Educación STEM; Naturaleza de la Ciencia; Diseño de secuencias didácticas; Ecología del Fuego, Epistemología.

Abstract

In the current landscape of science education, where we must confront complex global challenges, understanding the nature of STEM disciplines emerges as a crucial approach. This work focuses on the theoretical foundation of a teaching-learning sequence designed from the NoSTEM (Nature of Science, Technology, Engineering, and Mathematics) perspective, using Fire Ecology as the core theme. The proposed teaching-learning sequence aims not only to design an interdisciplinary educational framework but also to integrate students' preconceptions about STEM, providing a holistic and contextualized understanding that addresses fundamental socio-scientific challenges such as climate change and sustainable development. Supported by a solid epistemological, psychological, and didactic foundation, the proposed teaching-learning sequence guides students through the history of fire, the sciences related to it, its interaction with ecosystems, and the technologies applied to the study of forest fires. This interdisciplinary approach seeks not only to enrich the educational experience but also to prepare students for complex global challenges, fostering active and critical participation in informed decision-making.

Keywords: STEM Education; Nature of Science; Design of Teaching-Learning Sequences; Fire Ecology; Epistemology.

I. INTRODUCCIÓN

En el contexto educativo actual, caracterizado por constantes cambios y desafíos globales, la educación científica se convierte en un pilar fundamental. Problemas complejos como el cambio climático, la salud global y la sostenibilidad ambiental requieren una comprensión profunda de las interacciones dinámicas entre la naturaleza, la organización social y las tecnologías emergentes. Esta complejidad subraya la necesidad urgente de educar e involucrar al público en la influencia de la ciencia y la tecnología, y cómo esta relación impacta en las instituciones y en la toma de decisiones (Prachagool y Nuangchalerm, 2019). Por tanto, la alfabetización científica y tecnológica emerge como un medio esencial para fomentar la participación cívica y facilitar la toma de decisiones informadas por parte de la ciudadanía. A pesar de su importancia, existen significativas brechas en las competencias educativas relacionadas con nuestra comprensión del conocimiento, su producción y validación, el progreso tecnológico y el papel social de la ciencia. Estas deficiencias no pueden ser abordadas eficazmente mediante métodos educativos convencionales, los cuales a menudo perpetúan fundamentos conceptuales inadecuados sobre la naturaleza de la ciencia, limitan el desarrollo del pensamiento crítico y minimizan la valoración de la creatividad. El modelo educativo tradicional tiende a fragmentar el conocimiento al aislar las disciplinas con barreras protectoras, en lugar de fomentar conexiones multidisciplinares. Esta práctica dificulta la comprensión del progreso e innovación científica y tecnológica, especialmente en las áreas interdisciplinarias. Además, presta escasa atención a los aspectos sociales de la ciencia, los cuales están intrínsecamente vinculados a la sociedad y son influenciados por valores, ética y contextos culturales. Estos aspectos frecuentemente se abordan de manera insuficiente en la educación convencional, resultando en una comprensión limitada por parte de los estudiantes sobre el papel crucial que desempeña la ciencia en la configuración y transformación de la sociedad (Falloon, Hatzigianni, Bower, Forbes y Stevenson, 2020; Gresnigt, Taconis, van Keulen, Gravemeijer y Baartman, 2014).

Para enfrentar estas deficiencias, se necesita un enfoque educativo que no solo busque transmitir conocimientos en ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas (STEM), sino que también promueva concepciones adecuadas del marco STEM y el pensamiento crítico. Estas habilidades son fundamentales para que los individuos puedan adaptarse a los cambios, impulsar la innovación en un entorno dinámico y aplicar lo que aprenden en situaciones del mundo real. En este contexto, se ha promovido una perspectiva innovadora como es la NoSTEM. Este enfoque implica una comprensión holística de las disciplinas STEM, incorporando aspectos filosóficos, históricos y sociológicos que enriquecen la experiencia de aprendizaje. Busca superar la fragmentación tradicional de las disciplinas científicas y tecnológicas, fomentando una comprensión más profunda de cómo la ciencia y la tecnología están entrelazadas con la sociedad y la cultura (Aikenhead, 2014; Michel y Neumann, 2016). Aunque NoSTEM es una perspectiva emergente, su adopción promete abordar las limitaciones de los enfoques educativos convencionales relacionados con STEM: conocimiento fragmentado y descontextualizado, falta de fundamento epistemológico y una conciencia social y filosófica insuficiente (Perales-Palacios y Aguilera, 2020).

II. LA ECOLOGÍA DEL FUEGO COMO TEMÁTICA EN LA NOSTEM

Este artículo presenta una reflexión teórica sobre el diseño y la fundamentación de una secuencia didáctica basada en la perspectiva NoSTEM (Ortiz-Revilla, Greca y Arriasecq, 2021). La Ecología del Fuego es utilizada como un tema central para explorar cómo este enfoque interdisciplinario puede enriquecer la enseñanza de las disciplinas STEM al integrar aspectos filosóficos, históricos y sociológicos, promoviendo una educación más contextualizada y relevante frente a los desafíos actuales.

La secuencia didáctica propuesta, respaldada por una sólida base epistemológica, psicológica y didáctica, guía a los estudiantes a través de la historia y la sociología del fuego, las ciencias relacionadas con este, la interacción de la sociedad con los ecosistemas y las tecnologías aplicadas al estudio de los incendios forestales. Este enfoque no solo pretende mejorar la comprensión científica, sino también proporcionar un enfoque teóricamente fundamentado para diseñar secuencias didácticas que adopten la perspectiva NoSTEM (Abd-El-Khalick y Lederman, 2000; Quinn, Reid y Gardner, 2020).

Siguiendo los pilares teóricos discutidos, la Ecología del Fuego se utiliza como un tema central debido a su relevancia científica, complejidad interdisciplinaria y vínculos con aspectos socio-científicos (Adúriz-Bravo, 2014; Domènech y

Márquez, 2014). La Ecología del Fuego ofrece un entorno ideal para explorar principios científicos relacionados con los incendios forestales. Desde la física de la combustión hasta la ecología de los ecosistemas, los estudiantes pueden profundizar en fenómenos naturales complejos, fortaleciendo su comprensión científica y apreciando la interrelación entre diversas disciplinas. La prevención y gestión de incendios forestales involucran el uso de tecnologías avanzadas como sistemas de monitoreo remoto y la modelización matemática de simulaciones predictivas. Además, la ingeniería desempeña un papel crucial en el diseño de estrategias de control de incendios, fomentando habilidades de resolución de problemas innovadoras entre los estudiantes (Thompson y Calkin, 2011). Todo ello ofrece una perspectiva práctica sobre la colaboración entre ciencia, matemática, tecnología e ingeniería para resolver problemas reales.

Desde una perspectiva socio-científica, la Ecología del Fuego también sirve como un caso ideal para explorar cuestiones filosóficas y sociológicas relacionadas con la ciencia. Preguntas sobre el papel histórico del fuego en la Tierra o cómo las percepciones culturales influyen en las políticas de gestión de incendios invitan a los estudiantes a reflexionar sobre la naturaleza de la ciencia y desarrollar habilidades analíticas para participar en debates informados (Minor y Boyce, 2018).

Finalmente, la Ecología del Fuego ejemplifica la ciencia posnormal (Funtowicz y Ravetz, 1993), donde la incertidumbre científica requiere una consulta pública en la toma de decisiones que trasciende los límites científicos convencionales. Esto implica considerar factores sociales, políticos y éticos junto con criterios científicos para abordar de manera integral problemas complejos como los incendios forestales. Para identificar conceptos clave dentro de la Ecología del Fuego adecuados para la enseñanza desde una perspectiva NoSTEM, se empleó el Family Resemblance Approach (FRA). Este enfoque, derivado de la filosofía del lenguaje (Irzik y Nola, 2014, Erduran, Dagher y McDonald, 2019), permite estructurar elementos epistémicos comunes a las disciplinas STEM y facilitar su aplicación didáctica. Los aspectos cognitivo-epistémicos y sociopolíticos de la Ecología del Fuego se abordan en el aula mediante una secuencia didáctica que integra objetivos y valores científicos, prácticas científicas, metodologías, conocimientos científicos, actividades profesionales, ética científica y la difusión social del conocimiento (Martínez-Martínez, Ortiz-Revilla y Greca, 2023).

III. UN MARCO TEÓRICO PARA DISEÑAR SECUENCIAS DIDÁCTICAS BASADAS EN LA ECOLOGÍA DEL FUEGO

El marco teórico de la propuesta educativa NoSTEM se basa en la epistemología de Larry Laudan (1977), que enfatiza la ciencia como una actividad continua de resolución de problemas, integrando factores sociales, económicos y morales. Laudan (1984) introduce el Modelo Reticular de Resolución de Problemas, que destaca una red triádica de justificación: compromiso con teorías, métodos y objetivos. Este enfoque promueve una comprensión profunda e interdisciplinaria en la enseñanza de STEM. El modelo de resolución de problemas de Laudan estructura los objetivos de aprendizaje, promoviendo la educación NoSTEM. Se recomienda usar la indagación guiada, motivando a los estudiantes a investigar y descubrir respuestas por sí mismos, lo que fomenta el pensamiento crítico y la curiosidad. Tanto los estudios de caso como el trabajo cooperativo son esenciales para aplicar teorías a situaciones concretas y desarrollar habilidades sociales, facilitando debates constructivos y la comunicación efectiva.

El marco teórico de la propuesta educativa NoSTEM (Figura 1), ya desarrollado en Martínez-Martínez y Greca (en prensa), se fundamenta en la perspectiva epistemológica de Larry Laudan (1977), quien destaca la evaluación del progreso científico a través de la capacidad de resolver problemas. Este enfoque concibe la ciencia como una actividad continua de resolución de problemas, guiada por diversas tradiciones de investigación. En el contexto de la Ecología del Fuego, permite abordar problemas que trascienden las consideraciones ecológicas, integrando factores sociales, económicos y morales.

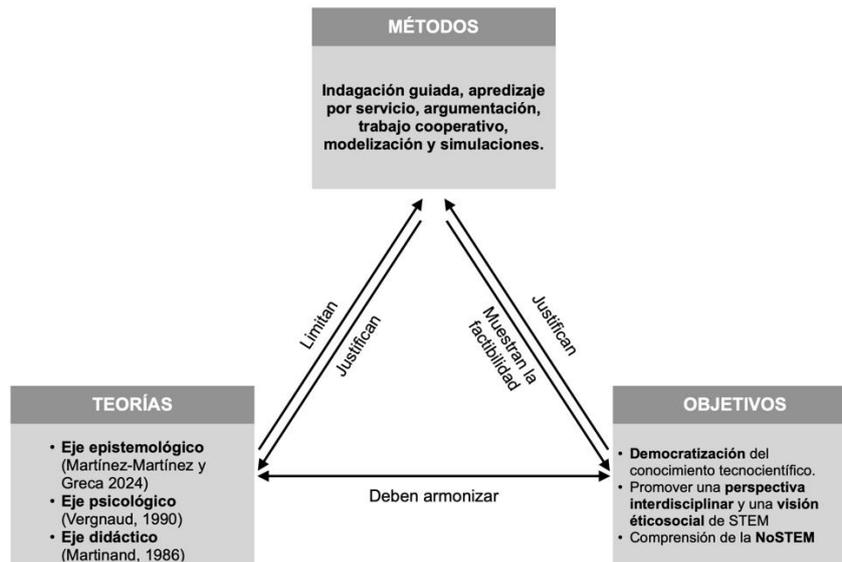


FIGURA 1. Modelo triádico de Laudan aplicado a la Naturaleza de STEM.

Laudan (1984) introdujo el Modelo Reticular de Resolución de Problemas, una alternativa al modelo jerárquico de Kuhn, que se basa en una red triádica de justificación: compromiso con teorías, métodos y objetivos. Esta estructura guía la selección y secuenciación de conceptos científicos en la enseñanza y aprendizaje de STEM, promoviendo una comprensión profunda e interdisciplinaria. El objetivo es fomentar una visión integradora de las disciplinas STEM, apoyada en el marco epistemológico del FRA, para desarrollar una comprensión crítica y ética del conocimiento científico y tecnológico entre los estudiantes, preparándolos para enfrentar desafíos complejos y participar activamente en la sociedad.

Se busca desarrollar una comprensión crítica y ética del conocimiento científico y tecnológico, preparando a los estudiantes para enfrentar desafíos complejos y participar activamente en la sociedad. En un contexto de aprendizaje sobre la regeneración de bosques después de incendios, los estudiantes reflexionan sobre diversos escenarios y conceptos, abandonando ideas preconcebidas sobre el fuego. El docente facilita este proceso, apoyado en la teoría de los campos conceptuales de Vergnaud (2009) y la noción de objetivos-obstáculo de Martinand (1987).

Dado que las metodologías tradicionales no se alinean con los objetivos de NoSTEM, es esencial adoptar metodologías adecuadas. Se sugiere la indagación guiada, que motiva a los estudiantes a formular preguntas y descubrir respuestas utilizando métodos de investigación básicos en STEM, fomentando el pensamiento crítico y la curiosidad. Los estudios de caso, como los incendios forestales, permiten aplicar teorías a situaciones concretas, reflexionando sobre el papel como ciudadanos responsables en contextos de ciencia posnormal. El trabajo cooperativo y el aprendizaje-servicio desarrollan habilidades sociales y facilitan el intercambio de conocimientos, promoviendo debates constructivos y la comunicación efectiva de ideas.

IV. INTEGRACIÓN DE LA PERSPECTIVA NOSTEM EN LA ENSEÑANZA DE LA ECOLOGÍA DEL FUEGO

La secuencia didáctica basada en la perspectiva NoSTEM y fundamentada en las teorías de Laudan, Vergnaud y Martinand, tiene como objetivo que los estudiantes adquieran conocimientos sobre la Ecología del Fuego, desarrollando habilidades críticas, conciencia interdisciplinaria y conceptos epistemológicos adecuados para abordar problemas complejos en STEM.

Un instrumento mixto basado en el FRA (Martínez-Martínez, Ortiz-Revilla y Greca, 2024) se utilizó para identificar las preconcepciones de los estudiantes sobre NoSTEM, enfocándose en la Ecología del Fuego para diseñar la secuencia didáctica. Tras analizar las respuestas de un grupo representativo de estudiantes, se identificaron objetivos-obstáculos congruentes con la teoría de Martinand. Estos obstáculos delinearon barreras epistemológicas a superar y definieron los objetivos de la secuencia, estructurando temas y actividades para abordar deficiencias conceptuales comunes y

alinearse la propuesta con las necesidades y percepciones individuales de los estudiantes, promoviendo así una experiencia de aprendizaje efectiva y personalizada.

Uno de los principales objetivos de la educación científica es desarrollar una comprensión integral de cómo diversas disciplinas contribuyen a la solución de problemas complejos. En el caso de la Ecología del Fuego, es fundamental que los estudiantes reconozcan que no se trata solo de una cuestión ecológica, sino que involucra la física, la informática, la matemática y la ingeniería. Los estudiantes a menudo asumen que los incendios forestales se abordan únicamente desde una perspectiva ecológica, sin apreciar la complementariedad de otras disciplinas. Para abordar esta suposición, la secuencia didáctica debe incluir actividades que demuestren cómo diferentes disciplinas científicas contribuyen a la comprensión y gestión de los incendios forestales. Por ejemplo, se pueden diseñar módulos que expliquen la física de la combustión, el uso de modelos matemáticos para predecir la propagación del fuego y las tecnologías informáticas para el monitoreo y la gestión de incendios. Al comprender estas interconexiones, los estudiantes desarrollan una visión más completa y valoran la interdisciplinariedad en la resolución de problemas reales.

La ciencia se caracteriza por su naturaleza incierta y en evolución, un aspecto que a menudo se pasa por alto en la educación convencional. Los estudiantes tienden a creer que los incendios forestales son impredecibles y que no importa cuánto se estudien sus variables, siempre serán caóticos y difíciles de manejar. Esta percepción puede llevar a una desvalorización de las prácticas científicas y tecnológicas. La secuencia didáctica debe incluir actividades que resalten la importancia de la incertidumbre en la ciencia y cómo ésta se maneja mediante prácticas científicas rigurosas. Por ejemplo, los estudiantes pueden participar en simulaciones de incendios forestales utilizando modelos predictivos que incorporen variaciones y escenarios hipotéticos. Estas actividades no solo demuestran la utilidad de las simulaciones informáticas, sino que también enseñan a los estudiantes a valorar la ciencia como un proceso continuo de descubrimiento y adaptación.

La metodología científica es crucial para el avance del conocimiento y la solución de problemas complejos. Sin embargo, los estudiantes a menudo creen que los incendios sólo pueden estudiarse retrospectivamente y que las simulaciones no son efectivas debido a la naturaleza errática del fuego. Esta suposición limita su comprensión de las herramientas y métodos científicos. Para contrarrestar esta visión, la secuencia didáctica debe incorporar diversas metodologías científicas, incluyendo estudios de caso, experimentos de laboratorio y simulaciones informáticas. Al utilizar estas metodologías, los estudiantes pueden ver cómo se aplican diferentes enfoques para estudiar y gestionar los incendios forestales. Por ejemplo, se pueden organizar experimentos que simulen condiciones de incendio controladas en el laboratorio, complementados con análisis de datos y modelos predictivos. Estas actividades ayudan a los estudiantes a apreciar la diversidad de métodos científicos y su aplicabilidad en situaciones reales.

El conocimiento científico no es estático ni universal, y su validez puede variar según el contexto. Los estudiantes a menudo asumen que los datos científicos sobre la Ecología del Fuego son válidos solo en condiciones específicas y no se aplican a otros contextos. Esta suposición puede limitar su capacidad para transferir conocimientos y aplicar principios científicos en diferentes situaciones. La secuencia didáctica debe abordar esta limitación proporcionando ejemplos de cómo el conocimiento científico puede ser extrapolado y aplicado en diversos contextos. Por ejemplo, los estudiantes pueden analizar estudios de casos de incendios forestales en diferentes regiones y comparar cómo se aplican los mismos principios científicos en cada caso. Además, se pueden realizar actividades que desafíen a los estudiantes a aplicar su conocimiento a escenarios hipotéticos, fomentando su capacidad para transferir y adaptar principios científicos a nuevas situaciones.

La gestión de incendios forestales involucra a una variedad de profesionales, desde ecólogos hasta ingenieros y técnicos en informática. Sin embargo, los estudiantes a menudo perciben que los profesionales en Ecología del Fuego se dedican exclusivamente a la extinción de incendios. Esta visión limitada puede afectar su interés y comprensión de las oportunidades profesionales en este campo. Para ampliar esta percepción, la secuencia didáctica debe incluir actividades que muestren la diversidad de roles y colaboraciones interdisciplinarias en la gestión de incendios forestales. Por ejemplo, se pueden organizar charlas con profesionales de diferentes áreas que trabajen en la Ecología del Fuego, proporcionando a los estudiantes una visión más amplia de las oportunidades profesionales y la importancia de la colaboración interdisciplinaria. Además, se pueden diseñar proyectos grupales donde los estudiantes asuman diferentes roles profesionales, trabajando juntos para desarrollar estrategias integrales de gestión de incendios.

La ética y la colaboración son componentes esenciales de la práctica científica. Los estudiantes a menudo creen que hay competencia entre los grupos de investigación en Ecología del Fuego, lo que puede llevar a una percepción negativa de la ciencia. Sin embargo, la colaboración y el intercambio de resultados son fundamentales para el avance del conocimiento científico. Para abordar esta suposición, la secuencia didáctica debe incluir actividades que fomenten la ética y la colaboración en la ciencia. Por ejemplo, se pueden organizar debates sobre dilemas éticos en la investigación de incendios forestales, destacando la importancia de la transparencia y el intercambio de información.

Además, se pueden promover proyectos colaborativos entre estudiantes, donde deban compartir datos y trabajar juntos para alcanzar objetivos comunes. Estas actividades no solo enseñan la importancia de la ética y la colaboración, sino que también preparan a los estudiantes para participar en la comunidad científica de manera positiva y constructiva.

La diseminación del conocimiento científico es crucial para su validación y aplicación en la sociedad. Los estudiantes a menudo creen que el conocimiento sobre la Ecología del Fuego es propiedad exclusiva de los científicos que lo producen. Esta percepción puede limitar su comprensión de cómo el conocimiento científico se valida y difunde en la sociedad. La secuencia didáctica busca abordar esta suposición proporcionando ejemplos de procesos de certificación y diseminación del conocimiento científico. Por ejemplo, se pueden estudiar casos de políticas públicas basadas en investigaciones sobre incendios forestales y analizar cómo se valida y aplica el conocimiento científico en la toma de decisiones. Además, se pueden realizar actividades que involucren a los estudiantes en la difusión de su propio trabajo científico, como presentaciones en ferias de ciencias o publicaciones en revistas escolares. Estas actividades no solo enseñan la importancia de la diseminación del conocimiento, sino que también empoderan a los estudiantes para contribuir activamente a la comunidad científica.

V. ESTRUCTURA DE LA SECUENCIA DIDÁCTICA

La primera etapa de la secuencia didáctica se centra en el impacto del fuego a lo largo de la historia humana. Se propone explorar historias, mitos y leyendas que ilustran cómo el fuego ha sido percibido culturalmente a través de los siglos. Luego, se estudia el fuego como herramienta, destacando su papel en la evolución de la tecnología y la civilización. Posteriormente, se aborda el fuego como un fenómeno natural y devastador, introduciendo a los estudiantes a la Ecología del Fuego y su importancia en el mantenimiento de diversos ecosistemas.

El segundo capítulo de la secuencia se enfoca en la intersección del fuego con las disciplinas STEM. Aquí, se profundiza en la física y la química del fuego, proporcionando una comprensión científica de sus propiedades y comportamiento. También se explora la relación entre la biología y el fuego, examinando cómo los seres vivos responden y se adaptan a los incendios. Además, se aborda el papel de la ingeniería y la tecnología en la gestión del fuego, destacando los avances en prevención y control de incendios.

En la tercera etapa, se analiza el impacto del fuego en los ecosistemas y la sociedad. Se estudian los incendios naturales y antropogénicos, diferenciando entre aquellos causados accidentalmente y los intencionales. Se evalúan los efectos ambientales de los incendios, incluyendo la pérdida de biodiversidad y la alteración de hábitats. Además, se discuten las consecuencias sociales de los incendios, como los desplazamientos de comunidades y los costos económicos.

El cuarto capítulo se dedica a las herramientas y métodos utilizados en el estudio de los incendios forestales. Se describen las fases de estudio, comenzando con los estudios a priori, que se enfocan en la prevención y preparación ante posibles incendios. Luego, se abordan los estudios durante el incendio, que incluyen el monitoreo y la respuesta en tiempo real. Finalmente, se analizan los estudios a posteriori, que evalúan los efectos y la recuperación después de un incendio.

La quinta etapa explora la complejidad y la incertidumbre asociadas con los incendios forestales. Se introduce a los estudiantes a los sistemas complejos y el caos, explicando cómo estos conceptos se aplican al comportamiento del fuego. Se discute la incertidumbre científica en la predicción de incendios y se examina la capacidad predictiva de la ciencia, destacando las limitaciones y los desafíos en la predicción precisa de incendios forestales.

La última parte se centra en la comunicación y la toma de decisiones relacionadas con los incendios forestales. Se estudian las cadenas de comunicación necesarias para una respuesta efectiva ante incendios, incluyendo la coordinación entre diferentes agencias y la difusión de información al público. Se analiza el proceso de toma de decisiones en situaciones de emergencia, enfatizando la importancia de decisiones informadas y rápidas. Además, se desarrollan campañas de concienciación para educar a la comunidad sobre la prevención y manejo de incendios.

Este enfoque interdisciplinario enriquece la experiencia educativa, cerrando brechas entre disciplinas científicas y preparando a los estudiantes para desafíos del mundo real que requieren colaboración entre diferentes campos. La inclusión de metodologías activas y diversos enfoques de aprendizaje beneficia la diversidad funcional y cognitiva, mientras que la exploración de temas interseccionales promueve una conciencia más amplia sobre las experiencias y desafíos enfrentados por diferentes comunidades frente a los incendios forestales (Greca, Seoane y Arriassecq, 2014; Romero-Ariza, 2017). La educación científica enfrenta el desafío de abordar problemas globales complejos que requieren una comprensión interdisciplinaria y una participación activa en la toma de decisiones informadas. El enfoque NoSTEM se presenta como una solución innovadora para superar las limitaciones de los métodos educativos tradicionales. Este artículo se centra en la descripción y fundamentación teórica de una secuencia didáctica sobre la

Ecología del Fuego, integrando la perspectiva NoSTEM. La secuencia se estructura para proporcionar una comprensión holística y contextualizada de las disciplinas STEM, sin incluir en esta versión resultados específicos de su implementación.

VI. CONCLUSIÓN

Las conclusiones de este trabajo subrayan la importancia de un enfoque educativo centrado en la perspectiva NoSTEM, especialmente en el ámbito de la Ecología del Fuego. Esta aproximación ofrece una base robusta para el desarrollo de secuencias didácticas que integran múltiples disciplinas, y destaca cómo los principios teóricos pueden orientar la creación de experiencias educativas más inclusivas y efectivas. Las futuras aplicaciones de esta secuencia deberían centrarse en analizar su efecto en el fomento de competencias críticas y transversales, así como en su eficacia para enseñar a los estudiantes a gestionar la incertidumbre en contextos científicos.

La Ecología del Fuego, abordada desde la perspectiva NoSTEM y sustentada en teorías contemporáneas de la epistemología y la educación, se presenta como una vía prometedora para la formación de competencias clave en los estudiantes. A través de la combinación de elementos históricos, científicos y tecnológicos, junto con herramientas avanzadas y estudios de caso, los estudiantes logran una comprensión profunda y contextual de los incendios forestales. Este enfoque no solo corrige lagunas conceptuales, sino que también fomenta una visión interdisciplinaria y una reflexión crítica sobre el impacto del fuego en los ecosistemas y la sociedad.

Además, esta secuencia didáctica está diseñada para desarrollar la capacidad de los estudiantes para manejar la incertidumbre inherente a los incendios forestales y otros fenómenos científicos, utilizando simulaciones y otras metodologías científicas. La inclusión de actividades colaborativas y de aprendizaje-servicio fortalece las competencias sociales y la habilidad para trabajar en equipo, preparando a los estudiantes para colaborar en escenarios reales.

La integración de consideraciones éticas y sociales, como la justicia ambiental y las desigualdades geográficas, añade un valor significativo a esta propuesta educativa, fomentando una conciencia crítica y una participación activa en la sociedad. En síntesis, este enfoque interdisciplinario y holístico no sólo busca elevar la calidad de la educación científica, sino también capacitar a los estudiantes para enfrentar desafíos globales complejos con conocimiento y responsabilidad. La implementación de metodologías activas y enfoques de aprendizaje diversos promueve la inclusión y equidad en el ámbito educativo.

REFERENCIAS

Abd-El-Khalick, F. y Lederman, N.G. (2000). Improving science teachers' conceptions of nature of science: a critical review of the literature. *International Journal of Science Education*, 22(7), 665–701. doi: 10.1080/09500690050044044

Adúriz-Bravo, A. (2014). Teaching the Nature of Science with Scientific Narratives. *Interchange*, 45(3-4), 167-184. doi: 10.1007/s10780-015-9229-7

Aikenhead, G. S. (2014). Humanistic Perspectives of Science Education. En R. Gunstone (Ed.), *Encyclopedia of Science Education*. Springer Reference.

Domènech, A. M., y Márquez, C. (2014). ¿Cómo justifican los alumnos el desacuerdo científico relacionado con una controversia socio-científica? El caso de la reintroducción del oso en los Pirineos. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 11(3), 303-319. doi: 10498/10498/16585

Erduran, S., Dagher, Z.R. y McDonald, C. V. (2019). Contributions of the Family Resemblance Approach to Nature of Science in Science Education. *Science & Education*, 28(3-5), 311-328.

Falloon, G., Hatzigianni, M., Bower, M., Forbes, A. y Stevenson, M. (2020). Understanding K-12 STEM education: a framework for developing STEM literacy. *Journal of Science Education and Technology*, 29(3), 369–385. doi: 10.1007/s10956-020-09823-x

Funtowicz, S. y Ravetz, J. (1993). *La ciencia posnormal*. España: Icaria Editorial.

Greca, I.M., Seoane, E. y Arriasecq, I. (2014). Epistemological Issues Concerning Computer Simulations in Science and Their Implications for Science Education. *Science & Education*, 23, 897-921.
doi: 10.1007/s11191-013-9673-7

Gresnigt, H. L. L., Taconis, R., van Keulen, H., Gravemeijer, K. P. E., y Baartman, L. K. J. (2014). Promoting science and technology in primary education: a review of integrated curricula. *Studies in Science Education*, 50(1), 47-84.
doi: 10.1080/03057267.2013.877694

Irzik, G. y Nola, R. (2014). New Directions for Nature of Science Research. En M. Matthews (Ed.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching* (999-1021). Dordrecht: Springer.
doi: 10.1007/978-94-007-7654-8_30

Laudan, L. (1977). *Progress and its Problems: Toward a Theory of Scientific Growth*. Berkeley: University of California Press.

Laudan, L. (1984) *Science and Values: The Aims of Science and Their Role in Scientific Debate*. Berkeley: University of California Press.

Martinand, J. L. (1987). Connaître et transformer la matière. En L. Geminard (Ed.), *Connaître et transformer la matière. (Exploration, Recherches en sciences de l'éducation)* (113-115).

Martínez-Martínez, V. y Greca, I. M. (En prensa). Theoretical Framework for a Didactic Nature-of-STEM Sequence. *Transdisciplinarity in Citizenship Education. Challenges, Advances, and Research Proposals*. Springer.

Martínez-Martínez V., Ortiz-Revilla J. y Greca I. M. (2023). Enseñanza de la Naturaleza de la Ciencia a partir de la Ecología del Fuego. En P. Membiela y M. Cebreiros (Eds.), *Estrategias metodológicas e investigación en la enseñanza de las ciencias* (117–22). Ourense: Educación Editora.

Martínez-Martínez, V., Ortiz-Revilla, J. y Greca, I. M. (2024). 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), 85-100. doi: 10.17979/arec.2024.8.1.10263

Michel, H y Neumann, I. (2016). Nature of Science and Science Content Learning: The Relation Between Students' Nature of Science Understanding and Their Learning About the Concept of Energy. *Science & Education*, 25, 951–975.
doi: 10.1007/s11191-016-9860-4

Ortiz- Revilla, J, Greca, I. y Arriasecq, I. (2021). A Theoretical Framework for Integrated STEM Education. *Science & Education*, 31(2), 383-404. doi: 10.1007/s11191-021-00242-x

Perales Palacios, F. J. y Aguilera, D. (2020). Ciencia-Tecnología-Sociedad vs. STEM: ¿evolución, revolución o disyunción?. *Ápice. Revista De Educación Científica*, 4(1), 1–15. doi: 10.17979/arec.2020.4.1.5826

Prachagool, V., Nuangchalerm, P. (2019) Investigating understanding the nature of science. *International Journal of Evaluation and Research in Education*, 8(4), 719–25. doi: 10.11591/ijere.v8i4.20282

Quinn, C. M. , Reid, J. W. y Gardner, G. E. (2020). S + T + M = E as a Convergent Model for the Nature of STEM. *Science & Education*, 29, 881–898. doi: 10.1007/s11191-020-00130-w

Romero-Ariza, M. (2017). Inquiry-based learning: Is there enough evidence of its benefits in science education? *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 14(2), 286-299.
doi: 10498/19218

Thompson, M. P. y Calkin, D.E. (2011). Uncertainty and risk in wildland fire management: A review. *Journal of Environmental Management*, 92(8), 1895-1909. doi: 10.1016/j.jenvman.2011.03.015

Vergnaud, G. (2009). The Theory of Conceptual Fields. *Human development*, 52, 83-94. doi: 10.1159/000202727