

La educación STEM a debate desde la Didáctica de las Ciencias

Mario Calvo-Utrilla 

IES Duque de Alarcón. Valera de Abajo (Cuenca). Grupo de investigación en Etnobiología, Botánica y Educación, Instituto Botánico. Área de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Universidad de Castilla-La Mancha. España. mmcu05@educastillalamancha.es

Esther Paños 

Grupo de investigación en Etnobiología, Botánica y Educación, Instituto Botánico. Área de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Universidad de Castilla-La Mancha. España. esther.panos@uclm.es

José-Reyes Ruiz-Gallardo 

Grupo de investigación en Etnobiología, Botánica y Educación, Instituto Botánico. Área de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Universidad de Castilla-La Mancha. España. josereyes.ruiz@uclm.es

[Recibido: 30 marzo 2024, Revisado: 21 diciembre 2024, Aceptado: 29 abril 2025]

Resumen: En los últimos años, el enfoque STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics) ha cobrado una notable relevancia en el campo de la educación. De hecho, en España, la última reforma educativa (LOMLOE) lo incluye como parte de una de las competencias clave. Este trabajo presenta una revisión narrativa de la literatura científica sobre STEM, abordando su definición, objetivos, integración e implementación en el aula, fortalezas, debilidades y resultados, aportando reflexiones y un análisis crítico sobre el debate existente en torno a este enfoque educativo. Además, analiza la distribución de graduados universitarios en titulaciones científico-tecnológicas en algunos países de la OCDE, con el objetivo de evaluar el impacto de este enfoque en el fomento de las vocaciones en esas áreas. En general, los hallazgos revelan algunas disparidades en su definición, potencial para aumentar la motivación hacia las materias STEM y algunas dificultades sobre cómo integrarlo e implementarlo en el aula y sobre cuántas disciplinas deben participar. En cuanto a las vocaciones universitarias, desde el año 2000 no hay grandes cambios en los campos STEM en la mayoría de los países, contrariamente a lo que algunos autores sostienen. Por último, se propone una definición de la educación STEM en la que se integran todas sus disciplinas. Además, se considera esencial la homogeneización de las intervenciones para permitir una comparación más consistente.

Palabras clave: Educación STEM, STEM Integrado, Alfabetización STEM, Resultados Académicos, Motivación.

STEM Education under Discussion: Insights from Science Teaching

Abstract: In recent years, the STEM approach (Science, Technology, Engineering, Mathematics) has gained considerable importance in education. In Spain, the latest educational reform (LOMLOE) includes it as part of one of the key competencies. This study presents a narrative review of the scientific literature on STEM, focusing on its definition, objectives, classroom integration and implementation, strengths, weaknesses, and outcomes, providing reflections and critical analysis of the ongoing debate surrounding this educational approach. It also examines the distribution of university graduates in selected OECD countries to evaluate the impact of this approach on promoting science and technology-related careers. The findings highlight disparities in its definition, its potential to boost motivation towards STEM subjects, and challenges in its integration and implementation, including the scope of disciplines to be involved. Regarding enrollments in STEM degree programs, there have been no major changes in STEM fields in most countries since 2000, contrary to some claims made by some authors. Finally, we propose a definition of STEM education that integrates all its disciplines. We also emphasize the need for standardization to allow for more consistent comparisons of STEM interventions.

Keywords: STEM education, Integrated STEM, STEM Literacy, academic results, motivation.

Para citar este artículo: Calvo-Utrilla, M., Paños, E. y Ruiz-Gallardo, J. R. (2025). La educación STEM a debate desde la Didáctica de las Ciencias. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*. Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias, 22(2), 2102.
https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2025.v22.i2.2102

Introducción

En los últimos años, el enfoque STEM (acrónimo de Science, Technology, Engineering, Mathematics) ha cobrado una notable relevancia en el ámbito educativo, apareciendo continuamente en las programaciones didácticas, pero también en revistas, libros, materiales auxiliares, etc. El término STEM nació en EEUU a principios de la década del 2000 ganando presencia mediante: 1) la administración educativa, a través de su incorporación al currículo, con la creación de estándares basados en STEM (NGSS Lead States, 2013) o con competencias clave basadas en STEM, como se ha hecho en España (Real Decreto 217/2022); 2) la creación de revistas especializadas, como International Journal of STEM Education o European Journal of STEM Education; 3) decenas de artículos publicados con este acrónimo en el título, y 4) el desarrollo de contenidos pedagógicos auxiliares, cursos de formación y perfeccionamiento de profesores, etc.

A pesar de ello, todavía no se ha conseguido una definición consensuada de qué es STEM (Akerson et al., 2018; Bybee, 2013; Martín-Páez et al., 2019; Thibaut et al., 2018; Toma y García-Carmona, 2021). Tampoco existe una aproximación clara sobre cómo deberían plantearse las intervenciones educativas, ni qué asignaturas o materias deberían integrarse (Martín-Páez et al., 2019; Thibaut et al., 2018). Para ello, comenzaremos con una breve revisión de su historia, como punto de partida para aproximarnos al término STEM.

El origen del enfoque STEM puede situarse en los inicios de los años 80 en EEUU, cuando aparecen los primeros informes que abogaban por fortalecer la educación en Ciencias (National Science Foundation -NSF- Department of Education, 1980), ampliándose a la Ingeniería, Tecnología y Matemáticas en los 90 (Toma y García-Carmona, 2021). De ello, surge una corriente que en un primer momento se denomina como SMET (Breiner et al., 2012) aunque, posteriormente, en 2001, y parece que debido a razones meramente estéticas (Sanders, 2009), la NSF lo consolidó como STEM para hablar del currículo de las asignaturas de ciencias, tecnología, ingeniería y matemáticas (Breiner et al., 2012). No obstante, fue durante la administración Obama (2009-2017) cuando se le dio un notable impulso, dedicando una parte importante de sus fondos a la mejora de proyectos educativos STEM, en su plan «Educar para innovar» (Oficina de Prensa de la Casa Blanca, 2015). En esta época, la NSF se fijó como objetivo estratégico aumentar los titulados en carreras STEM (Li, 2020).

Desde el 2001, el uso del acrónimo STEM ha crecido de una manera considerable (Breiner et al., 2012; Li et al., 2019), no solo en EEUU, sino también en el resto del mundo (Li et al., 2020; Toma y García-Carmona, 2021). Una prueba de ello es el notable incremento experimentado en el número de publicaciones en la revista International Journal of STEM Education: 13 artículos en 2014, 56 en 2018, 73 en 2022 y 69 en 2023, reflejando el aumento de interés que hay en STEM en el mundo educativo (Li et al., 2019).

A pesar de este interés y de sus más de veinte años de trayectoria, todavía persiste un importante debate acerca de la naturaleza y pertinencia de la educación STEM. Por ello, una nueva reflexión crítica puede enriquecer el análisis en torno a su solidez y a los desafíos que enfrenta. En este contexto, la presente revisión narrativa busca complementar dicho debate mediante una aportación reflexiva sobre qué es la educación STEM, sus diferentes variantes, los objetivos que impulsaron este enfoque, así como sus principales aportaciones

y desafíos. Estos aspectos, según Toma y García-Carmona (2021), ocupan un lugar central en el debate actual sobre este enfoque educativo.

Para ello, se ha llevado a cabo un análisis en profundidad de los datos presentados en cuatro de las revisiones sistemáticas más citadas en los últimos años (Chu et al., 2022; Marín-Marín et al., 2021; Martín-Páez et al., 2019; Thibaut et al., 2018) - Anexo I), así como en otras investigaciones altamente citadas y en artículos de reflexión o de análisis crítico sobre la educación STEM.

Introducción a la educación STEM

No existe una definición única y consensuada de STEM, apareciendo diferentes propuestas en la literatura educativa. Bybee (2013) ya advirtió sobre este problema, señalando que la falta de claridad conceptual era evidente y que muchos autores reclamaban una mayor precisión. Más de diez años después, el desafío persiste. A continuación, se presentan algunas de las definiciones más destacadas.

La Asociación de Profesores de EEUU (NSTA, 2024), en su web, indica que STEM es: «An interdisciplinary approach to teaching science, technology, engineering, and math, STEM instruction integrates key concepts between two or more STEM disciplines as students apply the practices of science and engineering to real-world problems» [Un enfoque interdisciplinario para la enseñanza de ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas. La instrucción STEM integra conceptos clave entre dos o más disciplinas STEM de forma que los estudiantes aplican las prácticas de la ciencia y la ingeniería a problemas del mundo real (traducción propia)].

Para Martín-Páez et al. (2019) es: «The integration of a number of conceptual, procedural, and attitudinal contents via a group of STEM skills for the application of ideas or the solving of interdisciplinary problems in real contexts. To achieve this learning, “STEM teaching” must be based on the standards of STEM curricula, creating experiences for students that allow them to develop STEM proficiency. These experiences should include participation in research, logical reasoning, and problem solving» [La integración de una serie de contenidos conceptuales, procedimentales y actitudinales a través de un conjunto de habilidades STEM para la aplicación de ideas o la resolución de problemas interdisciplinarios en contextos reales. Para lograr este aprendizaje, la «enseñanza STEM» debe basarse en los estándares de los planes de estudio STEM, creando experiencias para los estudiantes que les permitan desarrollar competencias STEM. Estas experiencias deben incluir la participación en investigaciones, el razonamiento lógico y la resolución de problemas. (traducción propia)] (p. 5).

Por su parte, Aguilera et al. (2021), tras realizar una revisión de otras definiciones en cinco artículos, identifican cuatro palabras clave que siempre se repiten: integrar, enfoque, contextualizado y problema. Con ello proponen que la educación STEM es: «Un enfoque educativo que integra conocimientos y/o habilidades de varias disciplinas implicadas en el acrónimo, orientado a la resolución de problemas y contextualizado en situaciones con diferentes niveles de realidad y autenticidad» (p. 29). Aun así, reconocen que todavía sigue existiendo debate en torno a la cantidad de disciplinas que se deben integrar.

Aunque son pocos los autores que proponen una definición precisa del concepto de educación STEM, muchos coinciden en exponer los objetivos que este enfoque persigue, lo cual resulta esencial para elaborar una caracterización adecuada. Analizando la literatura, se puede identificar que STEM es un movimiento cuya finalidad es: 1) aumentar el número de estudiantes que cursan carreras científicas y tecnológicas (Johnson, 2013; Marín-Marín et al., 2021; Sjoquist y Winters, 2015; Zollman, 2012), justificándose en el hecho de que

EEUU perdía fuerza de innovación frente a otros países como China o India, y también para llevar a cabo la transformación digital (Breiner et al., 2012; Johnson, 2013; Li, 2020; Marín-Marín et al., 2021; Sanders, 2009; Zollman, 2012); 2) hacer realidad la alfabetización STEM para todos los estudiantes (Bybee, 2013; Domènech-Casal, 2018; Johnson, 2013; Zollman, 2012) y trabajar las competencias blandas o «soft skills» (Bybee, 2013; Chu et al., 2022; Marín-Marín et al., 2021; Martín-Páez et al., 2019), preparándolos para un mundo tecnológico y en continuo cambio y 3) acercar las cuatro disciplinas a problemas del mundo real (Breiner et al., 2012; Chu et al., 2022; Sanders, 2009) mediante intervenciones educativas integradas (Aguilera et al., 2021; Akerson et al., 2018; Thibaut et al., 2018) y contextualizadas que ayuden a los alumnos a mejorar su capacidad de resolución de problemas y a conectar así los aprendizajes con lo que ya conocen del mundo que les rodea, fomentando un aprendizaje significativo (Martín-Páez et al., 2019; Thibaut et al., 2018).

Diversidad del movimiento STEM

El movimiento STEM se caracteriza por una notable heterogeneidad, reflejada en la falta de consenso sobre los elementos y la forma de integración que lo definen. En particular, se debate sobre cuántas de las disciplinas que conforman su acrónimo deben involucrarse, como mínimo, para considerarlo auténtico STEM, así como la naturaleza y el grado de dicha integración. En cuanto al número, Sanders (2009) sostiene que las actividades STEM han de implicar a las cuatro disciplinas que componen su acrónimo, mientras, para la NSTA (2024) y Chu et al. (2022) es suficiente con dos (lo llaman STEM tradicional). Por su parte, Johnson (2013) y Thibaut et al. (2018), consideran que deben ser tres o cuatro (denominándolo STEM integrado).

Con relación a la naturaleza de su integración, tampoco hay consenso: Sanders (2012) defiende un STEM integrador, dinámico y centrado en los estudiantes. Wells (2013) propone un proceso más controlado por el docente: más estático y supervisado. Breiner et al. (2012) y Johnson (2013) van más allá y consideran a STEM integrado como el enfoque que mediante la combinación de prácticas científicas, diseño de tecnología e ingeniería, análisis matemático y temas y habilidades del siglo XXI consigue conectar a los alumnos con el mundo real. Akerson et al. (2018) opinan que este último, el STEM integrado, es el único movimiento que aporta algo nuevo al panorama educativo.

Paralelamente, la literatura hace referencia al término alfabetización STEM. De este concepto también surgen diferentes versiones sobre lo que persigue: la sinergia entre las materias implicadas (Zollman, 2012), la capacidad para enfrentarse a los desafíos de la sociedad TIC (Thibaut et al., 2018) y un enfoque holístico que permita resolver problemas (Martín-Páez et al., 2019).

Ante tanta diversidad, es comprensible que aparezcan voces críticas que duden de si se pueden llamar STEM a ciertas intervenciones que integran solo una, dos o tres disciplinas, que no siguen un método de enseñanza concreta y que tampoco se ajustan a un determinado marco teórico (Akerson et al., 2018; Toma y García-Carmona, 2021). Todo ello, además, dificulta la comparación de resultados y la extracción de patrones y tendencias, puesto que, en algunos casos, las intervenciones únicamente comparten el término STEM en la denominación de su propuesta. Adicionalmente, con relación a la alfabetización STEM, añadimos que es necesario que se especifique qué estrategia se sigue para adquirirla, puesto que, por el mero hecho de trabajar contenidos STEM, no tiene por qué conseguirse un adecuado nivel de alfabetización científico-tecnológica.

Así pues, STEM parece haber surgido como una corriente poco normativizada, lo que resulta extraño considerando las disciplinas que lo conforman, tradicionalmente dirigidas por protocolos estandarizados para garantizar la comparabilidad de los resultados y obtener conclusiones consistentes. Consideramos, por tanto, que la investigación STEM debe elegir entre: a) centrarse en su interés como enfoque pedagógico, independientemente del número de disciplinas integradas; b) ser un movimiento que promueva la integración de las cuatro disciplinas en intervenciones educativas flexibles o c) fijar un número de disciplinas mínimo a integrar y normativizar la forma en que deben implementarse. En cualquier caso, se hace imprescindible un mínimo de homogeneización para extraer datos rigurosos y contrastables. Un buen punto de partida es analizar las diferentes formas en las que se presenta este movimiento educativo.

Si bien es cierto que hay algunos autores que han explorado movimientos como STREAM (STEM + Robótica o Religión) (Chu et al., 2022; Toma y García-Carmona, 2021) o STEM más ciencias sociales o humanidades (Li et al., 2020; Martín-Páez et al., 2019), en la literatura se pueden encontrar dos corrientes principales: STEM y STEAM. STEAM supone la integración del Arte, aunque, siguiendo la idea anterior, otros la amplían a las humanidades y a las ciencias sociales (Domènech-Casal, 2018; Li et al., 2020). El arte se incluye con la intención de aumentar o mejorar la creatividad, lo que ha generado cierta controversia puesto que podría presuponer falta de creatividad en el resto de las áreas STEM (Domènech-Casal, 2018).

Otra crítica que se puede encontrar es la cantidad de veces que STEM va junto con la adquisición de las ya comentadas «soft skills» que, en ocasiones, parecen convertirse en el objetivo principal de sus intervenciones y son las únicas en obtener ciertas mejoras (Chu et al., 2022; Marín-Marín et al., 2021; Martín-Páez et al., 2019). Con ello, pueden perderse los objetivos fundamentales de STEM, en favor de estas competencias (Domènech-Casal, 2018).

Martín-Páez et al. (2019) señalan otra limitación: la mayoría de los estudios no explicitan su conceptualización (un 55% de los estudios que analizaron), por lo que no se puede saber con qué criterio están empleando los términos relativos a STEM. Esto es un problema, porque dificulta la comparabilidad de sus resultados. Además, esta revisión encuentra muchas intervenciones que se hacen llamar STEM, pero que no cumplen con los requisitos mínimos necesarios para ser así consideradas, como la falta de integración de disciplinas, algo ya detectado por Toma y García-Carmona (2021). En esta línea, Li et al. (2020) afirman que la indefinición de STEM hace que muchas de las intervenciones estén mal diseñadas y, por lo tanto, no deberían considerarse parte de este enfoque.

A pesar de que muchos autores ven como imprescindible que STEM sea un enfoque integrado (Akerson et al., 2018; Breiner et al., 2012; Johnson, 2013; Martín-Páez et al., 2019; Thibaut et al., 2018), todavía no existe un consenso sobre cómo llevarlo a cabo, dada la diversidad de modelos existentes (Johnson, 2013; Li et al., 2020). En este sentido, incluso agencias como la NRC -National Research Council- (Consejo Nacional de Investigación de EEUU), no logran ponerse de acuerdo sobre si deberían incluir también las ciencias sociales en STEM (Li et al., 2020).

Además, no todas las intervenciones STEM presentan una integración completa, lo que genera dudas sobre si realmente pueden considerarse como tales o si, en realidad, se trata de proyectos interdisciplinarios entre, por ejemplo, dos asignaturas. Incluso, entre las intervenciones que intentan esa integración, no existe un consenso claro sobre cómo fusionar adecuadamente las distintas disciplinas, siendo escasas las que lo hacen a través de los contenidos. Por ejemplo, Martín-Páez et al. (2019) encuentran que solo dos de las 27 interven-

ciones revisadas integran el contenido, mientras que el resto lo hace a través de contenido auxiliar o por contexto.

Fundamentos de la educación STEM

En principio, las organizaciones norteamericanas que pusieron en marcha el movimiento STEM no lo asociaron a ninguna corriente educacional. De hecho, buena parte de las intervenciones que encontramos en la literatura carecen de fundamentación teórica (Thibaut et al., 2018). No obstante, en general las propuestas tienen un marcado carácter constructivista, concretamente basado en el constructivismo social (Marín-Marín et al., 2021; Thibaut et al., 2018). Este considera que el contexto cultural y social es un factor crítico en el aprendizaje, puesto que el conocimiento no se transmite, se construye en función de los conocimientos previos, experiencias y contextos del aprendiz. El constructivismo social se basa, entre otros, en los trabajos de Piaget, Bruner, Goodman (Ertmer y Newby, 2013) y Vygotsky (Guerra García, 2020).

Así, las intervenciones STEM emplean habitualmente metodologías como el Aprendizaje Basado en Proyectos (ABPj), Aprendizaje Basado en Problemas (ABP) o Aprendizaje por Indagación (API) (Chu et al., 2022; Domènech-Casal, 2018; Marín-Marín et al., 2021; Martín-Páez et al., 2019; Milner-Bolotin, 2018; Thibaut et al., 2018; Toma y García-Carmona, 2021; Zollman, 2012), bajo los principios del aprendizaje centrado en el alumno y basados en el constructivismo, con mínima guía durante el proceso (Kirschner et al., 2006). Por lo tanto, se asume que: a) los estudiantes lograrán un aprendizaje más eficaz cuando participen activamente en la construcción de sus propias soluciones a problemas y b) el aprendizaje será más significativo cuando se adquiera a través de la experiencia, utilizando los procedimientos propios de la disciplina, tal como lo hacen los expertos en cada materia (Kirschner y Hendrick, 2020). De hecho, varios autores vinculan la didáctica de STEM con un enfoque más cercano a la epistemología de las ciencias que se estudian (Breiner et al., 2012; Marín-Marín et al., 2021; Toma y García-Carmona, 2021).

En este sentido, dado que STEM suele implementarse bajo el marco de estas metodologías, puede resultar difícil aislar las variables de estudio y determinar si los beneficios observados en las intervenciones se deben a la propuesta integradora o, más bien, a dichas metodologías, cuya eficacia ya ha sido respaldada en otros contextos, como el aprendizaje por indagación (de Jong et al., 2023; Romero-Ariza, 2017).

Por otra parte, aunque la importancia de contextualizar la enseñanza y considerar la experiencia individual de cada estudiante en su proceso de aprendizaje resulta indiscutible, es fundamental ser cauteloso con algunas de las asunciones previas. En primer lugar, estas metodologías centradas en el estudiante parecen funcionar cuando están guiadas por el docente o cuando hay una instrucción previa de los estudiantes (Andersen y Andersen, 2017; de Jong et al., 2023; Furtak et al., 2012; Lazonder y Harmsen, 2016; Stockard et al., 2018; Zhang et al., 2022).

Además, Andersen y Andersen (2017) encuentran que los enfoques centrados en el aprendizaje generan desigualdades en la educación, registrando los peores resultados en su extenso estudio entre los estudiantes procedentes de niveles socioeconómicos desfavorecidos. En el caso específico de STEM, Barak y Assal (2018) observan en su intervención que la metodología ABP en STEM solo funciona cuando hay una buena instrucción directa. De hecho, Rosenshine (2012), en sus principios de instrucción, determina que los profesores más exitosos son aquellos que dedican más tiempo a guiar a sus estudiantes. Ante estas discrepancias, sería conveniente llevar a cabo estudios que comparen intervenciones STEM con distintos niveles de guía, con el objetivo de esclarecer cuáles son los formatos más

adecuados y bajo qué circunstancias resultan más efectivos, si mediante un aprendizaje guiado o mediante un aprendizaje autónomo o por descubrimiento.

Con respecto a la segunda suposición, que plantea que se consigue un mejor aprendizaje siguiendo los procedimientos típicos de cada disciplina, Abell (2007) sostiene que los científicos expertos se distinguen de los docentes en que estos últimos tienen un conocimiento especializado sobre cómo enseñar. Shulman (1986) ya destacaba la importancia de la integración del Conocimiento de la materia (SMK, de sus siglas en inglés) y del Conocimiento Didáctico del Contenido (PCK). Van Driel et al. (2014) afirman que los docentes enseñarán un tema de manera más efectiva si conocen las dificultades de los estudiantes y cuentan con un amplio repertorio de estrategias de enseñanza. En consecuencia, al desarrollar actividades STEM, es necesario que los docentes sean especialistas en SMK y PCK de cada una de las disciplinas integradas y, además, que estén capacitados para desarrollar programaciones con enfoques de enseñanza integrada.

Esta exigencia plantea varios desafíos, pero quizá el más significativo es la inclusión de la ingeniería. Como señala García-Carmona (2023), esta disciplina no forma parte del currículo de educación primaria ni secundaria. Por tanto, al no existir asignaturas específicas, los centros educativos cuentan con muy pocos docentes especializados en ingeniería. Una integración genuina requeriría que los profesores de otras especialidades asumieran la responsabilidad de adquirir y enseñar los conceptos específicos de ingeniería.

Sin embargo, esta opción también plantea dificultades añadidas. Según García-Carmona y Toma (2024), los docentes de ciencias de secundaria presentan bajos niveles de preparación pedagógica para integrar prácticas de ingeniería en sus clases, además de inseguridad y limitada autoeficacia. Esto subraya la necesidad de una formación específica SMK y PCK en ingeniería, como paso previo a su implementación en el aula.

Objetivos STEM

La educación STEM no solo se ideó para generar una serie de beneficios educativos, sino también con el propósito de abordar el bajo número de titulados en carreras científico-tecnológicas. Además, buscaba alfabetizar a todos los estudiantes en estas materias, acercando sus cuatro disciplinas al mundo real. En este apartado, se llevará a cabo un análisis del estado de la cuestión relacionado con cada uno de los objetivos propuestos.

Aumentar el número de titulados en ciencias y tecnología

En primer lugar, este objetivo despierta cierta controversia. Algunos autores justifican sus estudios STEM en la escasez de titulados universitarios en estas disciplinas, especialmente en EEUU, en comparación con países como China (Li, 2020). Otros cuestionan esta necesidad o la consideran exagerada (Breiner et al., 2012). Por ejemplo, Smith (2010) afirma que se ha vivido una «época de oro» en el crecimiento del interés, con un 40% de alumnos cursando titulaciones STEM en Reino Unido. Xue y Larson (2015) indican que, aunque existen algunas especialidades concretas, como desarrolladores de software o ingenieros de datos, que enfrentan una escasez de profesionales, en general hay un exceso de graduados en disciplinas STEM, que compiten por unos pocos puestos de trabajo. Li (2020) añade que los trabajos STEM ya se encuentran suficientemente motivados con menores tasas de paro y sueldos con salarios medios más altos.

En síntesis, aunque la percepción de una carencia de graduados en disciplinas STEM ha sido un argumento recurrente para potenciar su educación, los datos muestran un panorama más complejo y dinámico, donde las necesidades varían según el contexto y las especialidades. Este escenario demanda un enfoque más estratégico y modulable, que se adapte a las exigencias actuales y futuras del mercado laboral.

Hacer realidad la alfabetización STEM

La literatura educativa ha recogido varias definiciones de la alfabetización STEM. Según Zollman (2012), debe promover un aprendizaje integral que combine habilidades, conocimientos y metacognición, para que su impacto vaya más allá de la simple suma de las alfabetizaciones individuales de cada materia. Para Thibaut et al. (2018), implica una conciencia de las características fundamentales de las disciplinas STEM, preparando a los individuos para afrontar los retos de una sociedad tecnológica. Martín-Páez et al. (2019) la entienden como una capacidad de integrar contenidos y enfoques de cada disciplina, para resolver problemas complejos que no pueden abordarse desde una perspectiva aislada. Como se aprecia, todos coinciden en que los dominios específicos (cada una de las disciplinas que lo componen) se integran y conectan en un conjunto muy superior, más cercano a la complejidad de los problemas reales. Esto podría capacitar a los alumnos para abordar problemas desde múltiples perspectivas y con herramientas más flexibles y críticas.

Por otra parte, aunque no hemos encontrado una categoría específica para la alfabetización STEM en las revisiones consultadas, la revisión de Chu et al. (2022) incluye algunos artículos que encuentran beneficios cognitivos relacionados con la alfabetización científica. De los 38 estudios analizados, solo uno, el de Parno et al. (2020), mide estos beneficios en estudiantes de bachillerato e incluye un grupo de control. Los autores encuentran un impacto positivo, con un tamaño de efecto medio tanto en el grupo ABP-STEM como en el grupo ABP (sin STEM), frente al grupo de control. Además, en la revisión de Martín-Páez et al. (2019), solo dos de los 27 trabajos analizados lo mencionan. El primero se realiza con estudiantes de bachillerato en un campamento escolar, sin grupo de control ni pretest. Los alumnos auto informan ganancias en motivación y confianza hacia las ciencias y conocimientos científicos (Marle et al., 2014). En el otro estudio, centrado en alumnos de primaria, con grupo de control y experimental, se miden conceptos relacionados solo con las Matemáticas: rendimiento académico, conocimiento conceptual, conocimiento de estrategias de resolución de problemas y actitudes hacia la resolución de problemas matemáticos encontrando un impacto positivo en todos ellos (Abdullah et al., 2014).

Aunque la mayoría de los autores coincidan en la necesidad de lograr dicha alfabetización, persiste la necesidad de consensuar qué implica y desarrollar instrumentos que permitan medirla (Breiner et al., 2012; Martín-Páez et al., 2019; Zollman, 2012). A partir de ahí, sería necesario profundizar en la investigación sobre su verdadero impacto, ya que, la mera implementación de intervenciones STEM no garantiza lograr su alfabetización.

Resolver problemas del mundo real

La filosofía de la alfabetización STEM se fundamenta en acercar a los alumnos a problemas del mundo real, en los que las disciplinas están interconectadas, reflejando que la realidad no está compartimentada. Aunque este enfoque no es exclusivo de los ideólogos de STEM, ya que otras metodologías como el ABPj (Chen, 2019), el ABP o la indagación (Hmelo-Silver et al., 2007) también persiguen este objetivo, STEM destaca por su énfasis en la integración de sus disciplinas. Resolver problemas del mundo real requiere necesariamente un enfoque multidisciplinar y el desarrollo de habilidades transversales (Chu et al., 2022; Gülen, 2018; Sanders, 2009; Thibaut et al., 2018). Breiner et al. (2012) subrayan que la concepción moderna de la educación STEM se centra en esta integración, mostrando cómo su aplicación trasciende el ámbito educativo y se orienta hacia la resolución de problemas auténticos.

Según Martín-Páez et al. (2019), esta vinculación entre la realidad y la multidisciplinariedad es lo que motiva la integración curricular. Mientras que los enfoques educativos tradi-

cionales presentan los contenidos de manera separada y desconectada, en el enfoque STEM los contenidos de las diferentes disciplinas se combinan, con el objetivo de desarrollar un pensamiento holístico, aplicable a la realidad. Sin embargo, es difícil encontrar en la literatura investigaciones que lo analicen. Por ejemplo, Gülen (2018) sugirió que la educación STEM podría mejorar la capacidad de los estudiantes para resolver problemas del mundo real. No obstante, su investigación se centró en medir el rendimiento académico, sin encontrar evidencias de estas mejoras.

Por último, aunque la mayoría de los autores coinciden en los objetivos que persigue STEM, la evidencia recogida en la literatura aún no respalda de manera concluyente que estos se alcancen plenamente. Existen, por tanto, numerosas líneas de investigación abiertas e imprescindibles para garantizar un adecuado desarrollo de STEM, sólido y basado en evidencias empíricas.

En conclusión, es necesario profundizar en cómo el enfoque STEM facilita la resolución de problemas del mundo real, analizando sus fortalezas y limitaciones a partir de evidencias empíricas y no solo percepciones. Además, es importante destacar que el currículo tradicional no integrado no impide que, asignaturas de ciencias o tecnología, aborden problemas contextualizados o trabajen contenidos relacionados con otras disciplinas. Por ejemplo, el estudio de los circuitos eléctricos (contenidos de Tecnología) o la aplicación de la trigonometría (Matemáticas) pueden integrarse de forma natural en la asignatura de Física.

¿Qué aporta STEM?

Las revisiones sistemáticas que analizan los resultados de STEM son limitadas (Anexo I - Chu et al., 2022; Martín-Páez et al., 2019; Thibaut et al., 2018) y, aunque existen algunos metaanálisis (Chang et al., 2022), enfrentan diversos problemas: falta de homogeneidad de lo que se compara, muestras reducidas, ausencia de grupos de control, predominio de estudios cualitativos, empleo de análisis estadísticos elementales (Chu et al., 2022; Martín-Páez et al., 2019) o escasez de investigaciones sobre los efectos tanto cognitivos como afectivos en los resultados de aprendizaje (Thibaut et al., 2018).

Esta situación se agrava por la estrecha interconexión entre la educación STEM y metodologías como el ABP o la indagación, las cuales han demostrado beneficios similares en otros contextos (de Jong et al., 2023; Hung et al., 2019). Todo ello genera un ruido significativo que dificulta determinar si las contribuciones observadas son atribuibles a la integración de disciplinas propias de STEM, al impacto de estas metodologías o a la influencia de otras variables. Por ello, es fundamental interpretar las conclusiones con cautela y garantizar un control de variables riguroso en los estudios que analicen la efectividad de la educación STEM.

Dicho esto, la literatura suele analizar tres tipos de contribuciones en las intervenciones STEM:

- Cognitivas. Medidas por muy pocos estudios y con hallazgos limitados y poco concluyentes sobre: a) comprensión de los aprendizajes o rendimiento académico (Barak y Assal, 2018; Chu et al., 2022; Gülen, 2018; Martín-Páez et al., 2019) y b) incremento de las conexiones entre los aprendizajes adquiridos en las diferentes disciplinas (Martín-Páez et al., 2019). No obstante, sus resultados presentan una validez metodológica cuestionable: solo uno de 38 estudios analizados por Chu et al. (2022) tiene grupo de control, la mayoría presenta una muestra demasiado pequeña y poco representativa y sus resultados reflejan elevada disparidad (Chu et al., 2022; Martín-Páez et al., 2019).
- Procedimentales. Su evidencia es igualmente escasa. Las revisiones sistemáticas consultadas (Anexo I) identifican mejoras en habilidades como: resolución de problemas,

pensamiento reflexivo, creatividad, indagación, competencias tecnológicas y desarrollo de las «soft skills» (Chu et al., 2022; Martín-Páez et al., 2019; Thibaut et al., 2018). Además, estas intervenciones presentan las mismas limitaciones metodológicas: muestras reducidas, ausencia de grupos de control, carencia de pretest y diseños experimentales débiles.

- **Actitudinales.** Es la categoría más reportada, con resultados que muestran una tendencia positiva, aunque bastante heterogénea. Se analizan aspectos como motivación, actitud y disfrute hacia las disciplinas STEM, hacia la ciencia en cada género, compromiso, interés, predisposición, autoeficacia, potencial para impulsar la obtención de títulos STEM, etc. (Chu et al., 2022; Martín-Páez et al., 2019). Si bien una actitud positiva hacia el aprendizaje científico puede favorecerlo, es necesario comprobar empíricamente esta relación, así como su impacto en la generación de vocaciones científicas.
- **Vocaciones científicas.** De los estudios revisados, tan solo Smith (2010) lo analiza para el Reino Unido, encontrando un 40% de titulados en estas disciplinas. Con el objetivo de actualizar este impacto potencial, se han analizado los datos de la OCDE sobre matrícula universitaria (Figura 1, Anexo II). Para calcular el número de alumnos, se han incluido los siguientes campos de estudio: 1) Ciencias Naturales, Matemáticas y Estadística; 2) Tecnologías de la Información y Comunicación; 3) Ingeniería, Manufactura y Construcción; 4) Agricultura, Forestales, Pesca y Veterinaria y 5) Ciencias de la Salud. Se ha elegido el año 2000 como primera fecha por su cercanía al nacimiento de STEM (primera década de los años 2000).

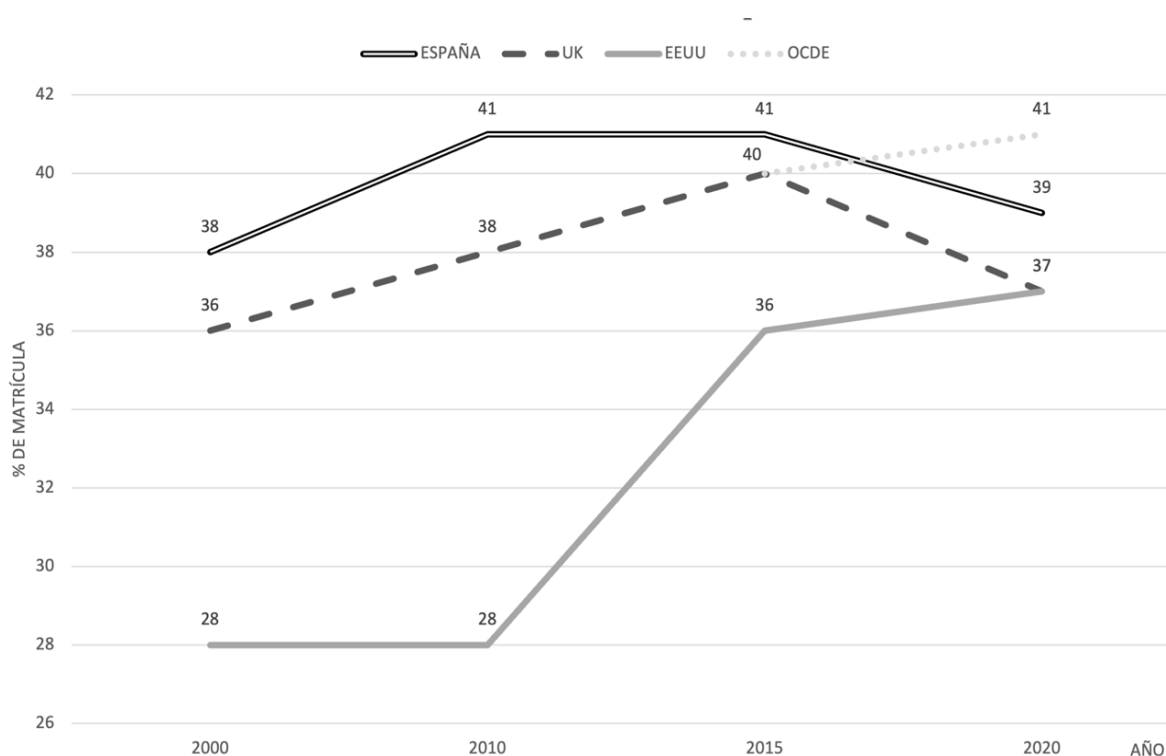


Figura 1. Porcentaje de alumnos matriculados en titulaciones universitarias STEM.

Los datos muestran que la proporción de estudiantes, entre los años 2000 y 2020, se ha mantenido relativamente estable y en torno al 40% en Reino Unido (UK) y en España. Aunque no se dispone de los datos del año 2000 de la media de los países OCDE, los datos disponibles entre 2015 y 2020 parecen mostrar la misma tendencia. Sin embargo, en EEUU entre el 2000 y el 2020 ha crecido casi diez puntos, del 28 al 37%. No obstante, este incremento debe contextualizarse ya que partía de unos niveles considerablemente inferiores a los de UK y España.

Además, en el caso de EEUU, Li (2020) señala que este crecimiento puede atribuirse, no solo a los programas educativos enfocados en STEM, sino también a importantes incentivos económicos que las universidades reciben por graduar estudiantes en estas disciplinas. Esta estrategia ha generado un intenso debate, principalmente por el riesgo de desequilibrio, marginando a otras áreas fundamentales como las artes, humanidades y las ciencias sociales. En el caso español, la evaluación de programas STEM resulta prematura, puesto que, en general, su implementación es bastante reciente y no está suficientemente consolidada en la práctica docente. Será necesario realizar un seguimiento riguroso, más a largo plazo, para evaluar el impacto real de estas iniciativas educativas.

¿Qué necesita STEM?

La educación STEM es una promesa para abordar los desafíos que presenta la enseñanza de las ciencias. Por otra parte, es necesario construir un corpus de investigaciones rigurosas que aporten evidencias empíricas de los beneficios que se le están presuponiendo. Entre las principales limitaciones halladas, destacan:

- Investigación sobre el verdadero impacto del enfoque STEM en la alfabetización científica. Se requieren más estudios que evalúen el alcance de STEM, no solo en estudiantes, sino también como alfabetización en la ciudadanía, otro de sus objetivos básicos. Para ello, sería conveniente definir cuáles deberían ser los resultados esperados, para armonizar y hacer comparables los hallazgos de las investigaciones. Tras esa definición, habría que realizar más intervenciones (Johnson, 2013; Marín-Marín et al., 2021), pero con un diseño experimental más riguroso (al menos, que incluyan análisis pre-posttest y contraste con grupos de control), y que profundicen en los efectos multidimensionales de STEM (Thibaut et al., 2018). Además, resulta esencial desarrollar instrumentos de evaluación más o menos estandarizados, que permitan medir los diferentes tipos de impacto. Actualmente, la investigación empírica es limitada y metodológicamente insuficiente (Yu y Yang, 2022).
- Vocaciones científicas y tecnológicas y equidad de género. Es necesario investigar si la implementación de metodologías STEM ha logrado un incremento real de estas vocaciones. Aunque en países como EEUU el número de matriculados se ha incrementado, se desconoce si es producto directo de su aplicación. Sería necesario realizar trabajos de seguimiento de alumnos, contrastando los que han participado en la metodología STEM frente a los que no, evaluando sus tendencias en la elección y finalización de titulaciones. También habría que revisar si estos programas educativos tienen impacto sobre la representación femenina, sobre todo en campos como las ingenierías, en las cuales históricamente han tenido una subrepresentación. Todo ello puede constituir una futura línea de investigación.

Por tanto, es necesario que los estudios que se publiquen incluyan descripciones más precisas y detalladas del proceso de implementación de la experiencia y de la metodología empleada. Sin embargo, muchas intervenciones tienen serias carencias de planteamiento (Li, 2020), sosteniéndose en marcos teóricos contradictorios o en modelos y enfoques que no

pueden probarse o refutarse (Milner-Bolotin, 2018). La actual y generalizada falta de claridad plantea serias dificultades para la replicabilidad de los estudios (Milner-Bolotin, 2018; Martín-Páez et al., 2019).

En cuanto a la organización de la educación STEM en los centros educativos, también se requieren más estudios debido a que han surgido desafíos internos que dificultan su generalización. Entre los puntos débiles más destacados, además de los ya expuestos, encontramos: a) formación docente: son pocos los docentes con formación en ingeniería y prácticamente ninguno en educación primaria (Akerson et al., 2018); b) interdisciplinariedad: la formación interdisciplinar continúa siendo insuficiente, limitando la integración efectiva de las disciplinas STEM (Milner-Bolotin, 2018; Toma y García-Carmona, 2021); c) organización curricular: la implementación STEM complica la organización educativa, ya que el tiempo del que el docente dispone resulta insuficiente para cubrir todos los contenidos curriculares (Thibaut et al., 2018; Toma y García-Carmona, 2021); d) infraestructura: hay una insuficiencia de recursos y oportunidades para la colaboración entre profesores, dificultando la integración real de las disciplinas (Thibaut et al., 2018; Toma y García-Carmona, 2021); e) conocimiento disciplinar: para poder enseñar STEM como conjunto, los docentes deberían tener un conocimiento sólido de cada disciplina por separado (SMK) (Akerson et al., 2018) y f) conocimiento didáctico: además, también se requiere un conocimiento didáctico (PCK) de cada disciplina, conforme a las propuestas de Shulman (1986).

Finalmente, Akerson et al. (2018) señalan que parece que algunos investigadores realizan proyectos STEM que vinculan a conceptos de moda o atractivos, como Pensamiento Computacional o Robótica, para generar mayor atención y más posibilidades de captación de fondos. Es fundamental delimitar el concepto de STEM para que se aplique por su verdadero valor, y no por ser una simple moda o un medio para financiar a investigadores, docentes y centros escolares.

Conclusiones y propuestas

La educación STEM nació con intenciones muy nobles: acercar la ciencia y la tecnología a los alumnos, aumentar la alfabetización científico-tecnológica y, con ello, intentar fomentar las vocaciones científicas. Ha contado con gran apoyo institucional, tanto a través de su inclusión en los currículos educativos como con recursos económicos, lo que ha contribuido a generar un gran número de experiencias STEM en todos los niveles de enseñanza, creciendo, a su vez, las publicaciones científicas en revistas específicas y generales.

A pesar de este respaldo, todavía resulta difícil atribuir el aumento o la estabilización de las vocaciones científico-tecnológicas a la educación STEM, puesto que no existen todavía suficientes investigaciones concluyentes. Además, en países como España, las políticas educativas que lo incentivan son relativamente recientes y todavía no se ha consolidado en la práctica docente. Por otra parte, aunque en Estados Unidos se han invertido cuantiosos recursos desde hace tiempo en las disciplinas STEM, esto no garantiza que su enseñanza se realice de forma integrada. Por tanto, resulta necesario llevar a cabo estudios específicos que analicen en qué medida los programas educativos de STEM integrado han influido directamente en la elección de estudios universitarios por parte de los alumnos que los han cursado.

El fomento de STEM, además, puede plantear un dilema ético: ¿hasta qué punto es legítimo incentivar activamente una trayectoria profesional (por noble que sea su propósito) en un sistema educativo que idealmente debería priorizar la autonomía y la exploración libre del conocimiento? Por un lado, existe el riesgo de instrumentalizar la educación para cubrir demandas del mercado; pero por otro, no actuar implicaría privar a muchos estudiantes del

descubrimiento de oportunidades que, por contexto social o falta de referentes, jamás considerarían. Este debate se intensifica al considerar la brecha de género en ingeniería (donde la falta de referentes femeninos sigue disuadiendo a muchas jóvenes), revelando que la «neutralidad» educativa puede perpetuar desigualdades estructurales. En el fondo, el debate trasciende lo pedagógico y cuestiona el equilibrio entre la guía necesaria y el adoctrinamiento sutil, entre abrir puertas y dirigir miradas.

Por otra parte, salvo el incremento en la motivación de los estudiantes, los beneficios atribuidos a la enseñanza STEM, como la alfabetización científica, la resolución de problemas multidisciplinares o la mejora del rendimiento académico en disciplinas científicas, no están suficientemente respaldados por un número significativo de investigaciones rigurosas.

Es necesario evaluar mejor los resultados, desarrollando estudios sólidos, controlados y con herramientas adecuadas. De esta manera, para implementar STEM en el aula es esencial tener en cuenta cuestiones prácticas, como la organización de horarios, espacios y asignaturas; la adecuada capacitación docente y una clara identificación de las conexiones entre las disciplinas. No obstante, las investigaciones actuales son bastante heterogéneas, dificultando el análisis de las tendencias generales. Parece deberse, en buena medida, a la indefinición de STEM: qué disciplinas y cuántas de ellas (si no todas) hay que implicar en sus actividades y cómo deben implementarse en el aula.

Tras analizar la historia de STEM, las diferentes definiciones propuestas, sus resultados, fortalezas y debilidades, una propuesta de definición sería: La educación STEM es un enfoque educativo diseñado para despertar el interés y la motivación de los alumnos hacia las disciplinas científicas, matemáticas, tecnológicas e ingenieriles promoviendo su aprendizaje a través de la integración y la interconexión de todas ellas, con el objetivo de alcanzar una alfabetización científica holística que ofrezca una visión multidimensional conectando el aprendizaje con la complejidad de los problemas del mundo real.

Sin embargo, es necesario ser realista y entender que no todos los contenidos de las asignaturas STEM pueden ser aprendidos de forma integrada. Es fundamental identificar cuáles son los más indicados para un enfoque globalizado y cuáles conviene estudiar de forma independiente, realizando un sistema de aprendizaje híbrido STEM-no STEM, considerando, además, los recursos materiales y humanos de cada centro.

Aunque STEM suele apoyarse en metodologías como ABP, ABPj o la indagación, las materias, sus contenidos y competencias requieren tanto una instrucción previa como una guía adecuada. Esto podría evitar la adquisición de errores conceptuales propios del aprendizaje más centrado en el alumno, así como sobrecargas cognitivas, facilitando el aprendizaje de conceptos complejos, como lo son muchos de los científicos y tecnológicos. Investigaciones futuras deberían explorar cómo el grado de guía influye en el rendimiento académico, optimizando así el traslado de STEM al aula.

Finalmente, la principal limitación de este trabajo es la falta de sistematicidad en el análisis de los datos ya que se originó como una revisión narrativa para potenciar el análisis crítico y ajustarse mejor a los principales temas del debate en STEM. Como futura investigación se propone realizar una revisión de revisiones, «Revisión Paraguas» en la que, mediante un procedimiento más sistemático, se analicen críticamente los resultados expuestos en cada uno de los trabajos publicados hasta la fecha.

Agradecimientos

Este estudio ha contado con el apoyo parcial de los fondos de subvenciones internas de la Universidad de Castilla-La Mancha (UCLM) destinados a actividades de grupos de investigación (referencia 2022-GRIN-34471), cofinanciados por fondos FEDER y en el marco del grupo de investigación de Botánica, Etnobiología y Educación (BEE) del Instituto Botánico de Castilla-La Mancha.

Declaración de autoría

Todos los autores participaron en la redacción del borrador original, así como en las revisiones y ediciones posteriores del manuscrito. Mario Calvo-Utrilla contribuyó a la conceptualización del estudio y al desarrollo metodológico, mientras que Esther Paños y José-Reyes Ruiz-Gallardo desempeñaron labores de supervisión.

Declaración responsable de uso de herramientas de Inteligencia Artificial

Se ha utilizado asistencia de IA (ChatGPT-Open AI y DeepSeek Chat) exclusivamente para refinar la redacción de algunas frases y párrafos, sin afectar la autoría ni el contenido intelectual del manuscrito. El contenido final refleja únicamente las ideas y aportaciones del equipo investigador..

Referencias bibliográficas

- Abdullah, N., Halim, L. y Zakaria, E. (2014). VStops: A Thinking Strategy and Visual Representation Approach in Mathematical Word Problem Solving toward Enhancing STEM Literacy. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 10(3).
<https://doi.org/10.12973/eurasia.2014.1073a>
- Abell, S. K. (2007). Research on science teacher knowledge. En S. Abell y N. Lederman (Eds.), *Handbook of research on science education* (pp. 1105–1149). Lawrence Erlbaum.
- Aguilera Morales, D., Lupiáñez, J. L., Perales, F. y Vílchez-González, J. M. (2021). ¿Qué es la Educación STEM? Definición basada en la revisión de la literatura. En Universidad de Córdoba (Ed.), *29 Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales y 5ª Escuelas de Doctorado* (pp. 1148–1456).
- Akerson, V. L., Burgess, A., Gerber, A., Guo, M., Khan, T. A. y Newman, S. (2018). Disentangling the Meaning of STEM: Implications for Science Education and Science Teacher Education. *Journal of Science Teacher Education*, 29(1), 1–8.
<https://doi.org/10.1080/1046560X.2018.1435063>
- Andersen, I. G. y Andersen, S. C. (2017). Student-centered Instruction and academic achievement: linking mechanisms of educational inequality to schools' instructional strategy. *British Journal of Sociology of Education*, 38(4), 533–550.
<https://doi.org/10.1080/01425692.2015.1093409>
- Barak, M. y Assal, M. (2018). Robotics and STEM learning: students' achievements in assignments according to the P3 Task Taxonomy—practice, problem solving, and projects. *International Journal of Technology and Design Education*, 28(1), 121–144.
<https://doi.org/10.1007/s10798-016-9385-9>
- Breiner, J. M., Harkness, S. S., Johnson, C. C. y Koehler, C. M. (2012). What Is STEM? A Discussion About Conceptions of STEM in Education and Partnerships. *School Science and Mathematics*, 112(1), 3–11.
<https://doi.org/10.1111/j.1949-8594.2011.00109.x>
- Bybee, R. W. (2013). *The case for STEM education: Challenges and opportunities*. Arlington, VA: NSTA Press.

- Chang, S.-H., Yang, L.-J., Chen, C.-H., Shih, C.-C., Shu, Y. y Chen, Y.-T. (2022). STEM education in academic achievement: a meta-analysis of its moderating effects. *Interactive Learning Environments*, 1–23.
<https://doi.org/10.1080/10494820.2022.2147956>
- Chen, C.-H. y Yang, Y.-C. (2019). Revisiting the effects of project-based learning on students' academic achievement: A meta-analysis investigating moderators. *Educational Research Review*, 26, 71–81.
<https://doi.org/10.1016/j.edurev.2018.11.001>
- Chu, W. W., Hafiz, N. R. M., Mohamad, U. A., Ashamuddin, H. y Tho, S. W. (2022). A review of STEM education with the support of visualizing its structure through the CiteSpace software. *International Journal of Technology and Design Education*.
<https://doi.org/10.1007/s10798-022-09728-3>
- de Jong, T., Lazonder, A. W., Chinn, C. A., Fischer, F., Gobert, J., Hmelo-Silver, C. E., Koedinger, K. R., Krajcik, J. S., Kyza, E. A., Linn, M. C., Pedaste, M., Scheiter, K. y Zacharia, Z. C. (2023). Let's talk evidence – The case for combining inquiry-based and direct instruction. *Educational Research Review*, 39, 100536.
<https://doi.org/10.1016/j.edurev.2023.100536>
- Domènech-Casal, J. (2018). Aprendizaje Basado en Proyectos en el marco STEM. Componentes didácticas para la Competencia Científica. *Ápice. Revista de Educación Científica*, 2(2), 29–42.
<https://doi.org/10.17979/arec.2018.2.2.4524>
- Ertmer, P. A. y Newby, T. J. (2013). Behaviorism, Cognitivism, Constructivism: Comparing Critical Features From an Instructional Design Perspective. *Performance Improvement Quarterly*, 26(2), 43–71.
<https://doi.org/10.1002/piq.21143>
- Furtak, E. M., Seidel, T., Iverson, H. y Briggs, D. C. (2012). Experimental and Quasi-Experimental Studies of Inquiry-Based Science Teaching. *Review of Educational Research*, 82(3), 300–329.
<https://doi.org/10.3102/0034654312457206>
- García-Carmona, A. (2023). Integración de la ingeniería en la educación científico-tecnológica desde un prisma CTS. *Enseñanza de Las Ciencias. Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*, 41(1), 25–41.
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.5611>
- García-Carmona, A. y Toma, R. B. (2024). Integration of Engineering Practices into Secondary Science Education: Teacher Experiences, Emotions, and Appraisals. *Research in Science Education*, 54(4), 549–572.
<https://doi.org/10.1007/s11165-023-10152-3>
- Guerra García, J. (2020). El constructivismo en la educación y el aporte de la teoría sociocultural de Vygotsky para comprender la construcción del conocimiento en el ser humano. *Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores*.
<https://doi.org/10.46377/dilemas.v32i1.2033>
- Gülen, S. (2018). Determination the effect of STEM integrated argumentation based science learning approach in solving daily life problems. *World Journal on Educational Technology: Current Issues*, 10(4), 266–285.
<https://doi.org/10.18844/wjet.v10i4.4087>
- Hmelo-Silver, C. E., Duncan, R. G. y Chinn, C. A. (2007). Scaffolding and Achievement

- in Problem-Based and Inquiry Learning: A Response to Kirschner, Sweller, and Clark (2006). *Educational Psychologist*, 42(2), 99–107.
<https://doi.org/10.1080/00461520701263368>
- Hung, W., Dolmans, D. H. J. M. y van Merriënboer, J. J. G. (2019). A review to identify key perspectives in PBL meta-analyses and reviews: trends, gaps and future research directions. *Advances in Health Sciences Education*, 24(5), 943–957.
<https://doi.org/10.1007/s10459-019-09945-x>
- Johnson, C. C. (2013). Conceptualizing Integrated STEM Education. *School Science and Mathematics*, 113(8), 367–368.
<https://doi.org/10.1111/ssm.12043>
- Kirschner, P. A. y Hendrick, C. (2020). *How learning happens: Seminal works in educational psychology and what they mean in practice*. Routledge.
- Kirschner, P. A., Sweller, J. y Clark, R. E. (2006). Why Minimal Guidance During Instruction Does Not Work: An Analysis of the Failure of Constructivist, Discovery, Problem-Based, Experiential, and Inquiry-Based Teaching. *Educational Psychologist*, 41(2), 75–86.
https://doi.org/10.1207/s15326985ep4102_1
- Lazonder, A. W. y Harmsen, R. (2016). Meta-Analysis of Inquiry-Based Learning. *Review of Educational Research*, 86(3), 681–718.
<https://doi.org/10.3102/0034654315627366>
- Li, A. Y. (2020). Performance Funding Policy Impacts on STEM Degree Attainment. *Educational Policy*, 34(2), 312–349.
<https://doi.org/10.1177/0895904818755455>
- Li, Y., Froyd, J. E. y Wang, K. (2019). Learning about research and readership development in STEM education: a systematic analysis of the journal's publications from 2014 to 2018. *International Journal of STEM Education*, 6(1), 19.
<https://doi.org/10.1186/s40594-019-0176-1>
- Li, Y., Wang, K., Xiao, Y. y Froyd, J. E. (2020). Research and trends in STEM education: a systematic review of journal publications. *International Journal of STEM Education*, 7(1), 11.
<https://doi.org/10.1186/s40594-020-00207-6>
- Marín-Marín, J.-A., Moreno-Guerrero, A.-J., Dúo-Terrón, P. y López-Belmonte, J. (2021). STEAM in education: a bibliometric analysis of performance and co-words in Web of Science. *International Journal of STEM Education*, 8(1), 41.
<https://doi.org/10.1186/s40594-021-00296-x>
- Marle, P. D., Decker, L., Taylor, V., Fitzpatrick, K., Khaliqi, D., Owens, J. E. y Henry, R. M. (2014). CSI–Chocolate Science Investigation and the Case of the Recipe Rip-Off: Using an Extended Problem-Based Scenario To Enhance High School Students' Science Engagement. *Journal of Chemical Education*, 91(3), 345–350.
<https://doi.org/10.1021/ed3001123>
- Martín-Páez, T., Aguilera, D., Perales-Palacios, F. J. y Vílchez-González, J. M. (2019). What are we talking about when we talk about STEM education? A review of literature. *Science Education*, 103(4), 799–822.
<https://doi.org/10.1002/sce.21522>

- Milner-Bolotin, M. (2018). Evidence-Based Research in STEM Teacher Education: From Theory to Practice. *Frontiers in Education*, 3.
<https://doi.org/10.3389/educ.2018.00092>
- National Science Foundation y Department of Education. (1980). *Science y Engineering Education for the 1980's and Beyond*. (NSF Publication No.80-78). Government Printing Office.
- NGSS Lead States. (2013). *The next Generation Science Standards: For states, by states*. The National Academic Press.
- NSTA. (2024, November 20). *Stem Resources*. <https://www.nsta.org/topics/stem>
- OCDE (2022), *Education at a Glance 2022: OECD Indicators*, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/3197152b-en>
- Oficina de Prensa de la Casa Blanca. (23 de marzo de 2015). *Hoja informativa: El presidente Obama anuncia más de 240 millones de dólares en nuevos compromisos con STEM en la Feria de Ciencias de la Casa Blanca 2015 [FACT SHEET: President Obama announces over \$240 million in new STEM commitments at the 2015 White House Science Fair]*. Sala de prensa, Washington, DC.
<https://www.whitehouse.gov/the-press-office/2015/03/23/fact-sheet-president-obama-announces-over-240-million-new-stem-commitmen>
- Parno, P., Yulianti, L., Hermanto, F. M. y Ali, M. (2020). A Case Study on Comparison of High School Students' Scientific Literacy Competencies Domain in Physics with Different Methods: Pbl-Stem Education, Pbl, and Conventional Learning. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 9(2), 159–168.
<https://doi.org/10.15294/jpii.v9i2.23894>
- Real Decreto 217/2022, de 29 de marzo, por el que se establece la ordenación y las enseñanzas mínimas de la Educación Secundaria Obligatoria.
- Romero-Ariza, M. (2017). El aprendizaje por indagación: ¿existen suficientes evidencias sobre sus beneficios en la enseñanza de las ciencias? *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de Las Ciencias*, 14(2), 286–299.
https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2017.v14.i2.01
- Rosenshine, B. (2012). Principles of instruction: Research-based strategies that all teachers should know. *American Educator*, 36(1), 12–39.
- Sanders, M. (2009). *STEM, STEM Education, STEMmania*.
- Sanders, M. (2012). Integrative Stem Education As “Best Practice”. *Paper Presented at the 7th Biennial International Technology Education Research Conference*, 1–15.
- Shulman, L. S. (1986). Those Who Understand: Knowledge Growth in Teaching. *Educational Researcher*, 15(2), 4. <https://doi.org/10.2307/1175860>
- Sjoquist, D. L. y Winters, J. V. (2015). State Merit Aid Programs and College Major: A Focus on STEM. *Journal of Labor Economics*, 33(4), 973–1006.
<https://doi.org/10.1086/681108>
- Smith, E. (2010). Is there a crisis in school science education in the UK? *Educational Review*, 62(2), 189–202. <https://doi.org/10.1080/00131911003637014>

- Stockard, J., Wood, T. W., Coughlin, C. y Rasplika Khoury, C. (2018). The Effectiveness of Direct Instruction Curricula: A Meta-Analysis of a Half Century of Research. *Review of Educational Research*, 88(4), 479–507.
<https://doi.org/10.3102/0034654317751919>
- Thibaut, L., Ceuppens, S., De Loof, H., De Meester, J., Goovaerts, L., Struyf, A., Boeve-de Pauw, J., Dehaene, W., Deprez, J., De Cock, M., Hellinckx, L., Knipprath, H., Langie, G., Struyven, K., Van de Velde, D., Van Petegem, P. y Depaepe, F. (2018). Integrated STEM Education: A Systematic Review of Instructional Practices in Secondary Education. *European Journal of STEM Education*, 3(1).
<https://doi.org/10.20897/ejsteme/85525>
- Toma, R. B. y 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(1), 65–80.
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3093>
- van Driel, J. H., Berry, A. y Meirink, J. (2014). Research on Science Teacher Knowledge. En Lederman N. G. y Abell. S. (Eds.), *Handbook of Research on Science Education: Vol. II* (pp. 848–870). Routledge.
- Wells, J. G. (2013). Integrative STEM Education and Virginia Tech: Graduate preparation for tomorrow's leaders. *Technology and Engineering Teacher*, 72(5), 28–36.
- Xue, Y. y Larson, R. (2015). STEM crisis or STEM surplus? Yes and yes. *Monthly Labor Review*. <https://doi.org/10.21916/mlr.2015.14>
- Yu, X. y Yang, Z. (2022). STEM Education in China: A Five Years Review Report. *Asian Journal of Education and Social Studies*, 1–11.
<https://doi.org/10.9734/ajess/2022/v32i130758>
- Zhang, L., Kirschner, P. A., Cobern, W. W. y Sweller, J. (2022). There is an Evidence Crisis in Science Educational Policy. *Educational Psychology Review*, 34(2), 1157–1176. <https://doi.org/10.1007/s10648-021-09646-1>
- Zollman, A. (2012). Learning for STEM Literacy: STEM Literacy for Learning. *School Science and Mathematics*, 112(1), 12–19.
<https://doi.org/10.1111/j.1949-8594.2012.00101.x>

Anexo I. Relación de artículos de revisión sistemática incluidos en este artículo.

Estudio	Resumen
Thibaut et al. (2018)	El artículo busca definir el marco teórico de STEM integrado para educación secundaria, porque reconocen que falta consenso en cuanto a su definición y modo de implantación. Para ello, realizan una búsqueda en Web of Science y obtienen 23 artículos. Crean un marco teórico para la educación STEM cuyas claves son: a) integración de contenido, b) constructivismo social a través de metodologías ABP o API y c) aprendizaje cooperativo. Encuentran ciertas debilidades como: a) la falta de investigación que determine los efectos de STEM integrado en el aprendizaje de los estudiantes, b) problemas con la cohesión en la definición y base teórica de STEM y c) dificultad para integrar disciplinas debido a problemas con el currículo, con las capacidades y posibilidades de cooperación entre docentes.
Martín-Páez et al. (2019)	Su objetivo es examinar algunos conceptos relacionados con STEM, como las disciplinas que lo integran, los posibles beneficios de este enfoque y los aspectos clave para su implementación efectiva. Para ello realizan una búsqueda en Web of Science, que obtiene 27 artículos. Encuentran que: 1) no hay un consenso sobre la definición de STEM, apareciendo dos enfoques mayoritarios, uno integrado y otro no. 2) un 30% de los estudios encontrados, aunque se autodenominan STEM, no se ajustan a los parámetros de este enfoque. En este sentido, solo 19 de 27 artículos son integrados, 2 de esos 19 integran por contenido, 5/19 por contenido de apoyo y 12/19 por contexto. 3) solo 6 de 27 artículos describen correctamente las intervenciones para poder replicarse. 4) encuentran tres tipos de beneficios: a) cognitivos (en 7/19 artículos), b) procedimentales (en 4/19) y c) actitudinales (en 9/19). Sin embargo, en 6/19 artículos no encontraron beneficios estadísticamente significativos. Concluyen que STEM puede conseguir mejorar el aprendizaje y preparar mejor a los alumnos para resolver problemas reales e integrados. También aportan su propia definición de STEM.
Marín-Marín et al. (2021)	Realizan un análisis de la educación STEAM para establecer su importancia, conocer su progreso y determinar los enfoques y autores más relevantes. Para ello efectúan un análisis bibliométrico de 1116 artículos de Web of Science. Encuentran que las investigaciones empezaron en 2006 diferenciando tres grandes periodos relevantes en su historia. Los autores son partidarios de incluir la «A» de artes, con un enfoque constructivista, para trabajar la creatividad desde una filosofía post-humanista, conectando con el mundo real y haciendo la educación más holística y atractiva. Concluyen que la investigación sobre STEAM no ha tenido un desarrollo regular a lo largo del tiempo y que ha incluido temas como el género, la raza y la formación de los docentes.
Chu et al. (2022)	Analizan el desarrollo del enfoque STEM para educación secundaria. Para ello realizan una revisión de la literatura encontrando 38 artículos. De estos, 29 tienen una muestra pequeña y muchos no ofrecen datos cuantitativos. Solo 6 de 38 tienen grupo experimental y de control, 4 de los cuales integran todas las disciplinas; 16/38 miden conocimiento, 2 de los cuales no encuentran beneficios; 30/38 miden actitud, de los que 7 no reflejan mejoras y 11/38 miden prácticas y habilidades científicas (3 de ellos no identifican mejoras). Determinan que el enfoque STEM aporta beneficios sobre el aprendizaje, la actitud hacia las ciencias, las prácticas científicas y la adquisición de otras competencias sociales o habilidades de pensamiento. Concluyen que el enfoque STEM es muy beneficioso para los estudiantes de secundaria y proponen una definición de STEM dentro de un enfoque constructivista. Además, plantean ocho pasos que debería tener una intervención STEM. Para ellos STEM ayuda a la resolución de problemas, pensamiento crítico y capacidad de indagación.

Anexo II. Distribución de graduados universitarios por campo de educación y país. 2000- 2020 (%). Fuente OCDE (2022) (También disponible en su web).

	ESP 2000	ESP 10	ESP 15	ES 20	UK 2000	UK 10	UK 15	UK 20	EEUU 2000	EEUU 10	EEUU 15	EEUU 20	OCDE 15	OCDE 20
STEM	38	41	41	39	36	38	40	37	28	28	36	37	40	41
Programas genéricos	0	1	0	0	10	1	1	0	0	0	0	0	0	0
Educación	14	16	16	17	10	9	10	7	13	12	7	7	9	9
Arte y Humanidades	9	8	9	9	16	17	15	15	14	14	20	15	11	10
Ciencias Sociales, Periodismo e Información	9	9	7	8	11	13	12	16	17	16	12	16	10	10
Negocios, Administración y Derecho	27	19	19	19	18	21	22	24	25	24	20	24	24	24
Ciencias Naturales, Matemáticas y Estadística	10	4	5	5	16	14	13	9	9	9	7	9	6	6
Tecnologías de la Información y Comunicación (TICs)	n.d. ¹	5	4	4	n.d. ¹	n.d. ¹	4	4	n.d. ¹	n.d. ¹	4	4	5	6
Ingeniería, Manufactura y Construcción	13	15	16	12	10	10	9	9	6	6	7	9	16	15
Agricultura, Forestales, Pesca y Veterinaria	3	2	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	2	2
Salud y Bienestar	12	15	15	17	8	14	13	14	10	12	17	14	13	14
Servicios	3	5	7	8	0	1	0	0	2	6	7	0	5	5
Total²	100	99	99	100	100	101	100	99	98	100	102	99	101	101

¹: Los datos del año 2000 están obtenidos de otra base de datos de la OCDE en la que no tenían creada la categoría de TIC. Para este año, dicha categoría está incluida dentro de las ciencias naturales, matemáticas y estadísticas. Fuente: Eurostat (online dato code: educ_uoe_grad02)

²: En algunos años la suma de todas las categorías no alcanza el 100%. Al analizar los datos brutos ofrecidos por la OCDE hemos podido comprobar que esto es debido a los redondeos en cada categoría que ofrece la OCDE.