

¿De qué hablamos cuando hablamos de educación STEAM? Una revisión de experiencias educativas

What are we talking about when we talk about STEAM education? A review of educational experiences

 David Aguilera¹, Universidad de Granada (España)

 José Miguel Vílchez-González, Universidad de Granada (España)

Resumen

Desde el origen del emergente enfoque educativo STEAM hasta la actualidad han surgido diversas perspectivas que conllevan la adopción de distintas vías para implementar una intervención educativa. Este hecho parece estar conduciendo a una peligrosa polisemia que no facilita la labor docente e incluso podría restar potencial a su intención inicial: mostrar los vínculos entre las disciplinas y favorecer el gusto por su aprendizaje. Este estudio persigue dos objetivos: (1) dilucidar la conceptualización que realizan los autores sobre la educación STEAM; y (2) analizar aquellas intervenciones educativas que integran las cinco disciplinas del acrónimo. Para arrojar luz al asunto se ha realizado una revisión sistemática de la literatura publicada durante el periodo 2015-2020 e indexada en Web of Science. Tras aplicar los criterios de inclusión, fueron seleccionados 20 artículos. Los principales resultados apuntan que: (1) la calidad de la fundamentación teórica de los trabajos determina la calidad de la "intervención STEAM" desarrollada; (2) no existe consenso en cuanto a los significados otorgados a la "A" de STEAM; y (3) el modo de integración disciplinar preferente es a partir de un contexto concreto, siendo los de carácter histórico o cultural los más utilizados. Se finaliza apuntando la conveniencia de continuar esta línea de trabajo hasta consensuar un marco teórico para la educación STEAM que dirija el diseño de propuestas educativas, así como la necesidad de evaluar su eficacia en las aulas.

Abstract

From the origin of emerging STEAM educational approach to present, various perspectives have emerged that entail the adoption of different ways to implement an educational intervention. This fact seems to be leading to a dangerous polysemy that does not facilitate the teaching task and could even reduce the potential of its initial intention: to show the links between disciplines and favor a taste for learning. This study pursues two objectives: (1) to elucidate the authors' conceptualization of STEAM education; and (2) analyze those educational interventions that integrate five disciplines of the acronym. To shed light on the matter, a systematic review of the literature published during the 2015-2020 period and indexed in Web of Science has been carried out. After applying the inclusion criteria, 20 articles were selected. The main results point out that: (1) the quality of theoretical foundation determines the quality of the "STEAM intervention" developed; (2) there is no consensus regarding the meanings given to the "A" of STEAM; and (3) the preferred mode of disciplinary integration is based on a specific context, with those of a historical or cultural nature being the most used. It ends by pointing out the convenience of continuing this line of work until a consensus is reached on a theoretical framework for STEAM education that guides the design of educational proposals, as well as the need to evaluate their effectiveness in the classroom.

Palabras clave / Keywords

Revisión sistemática, educación STEAM, educación STEM, enseñanza de las ciencias, enseñanza de las matemáticas, enseñanza de la tecnología, enseñanza de la ingeniería, enseñanza de las artes.

Systematic review, STEAM education, STEM education, science education, mathematics education, technology education, engineering education, arts education.

¹ Autor de correspondencia: davidaguilera@ugr.es

1. Introducción

El término STEM (acrónimo en inglés de Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas) surge en EEUU a principios de la década de los 90 del siglo pasado como un movimiento político, con escaso éxito hasta su transposición social y, seguidamente, educativa (Friedman, 2005). Así, la educación STEM emerge para proveer a las futuras generaciones de una formación actualizada a las demandas sociales del siglo XXI (Caprile et al., 2015) e incentivar el estudio de carreras universitarias STEM (Chiu & Duit, 2011).

Sin embargo, a pesar de reconocer el valor de la educación STEM, algunos autores remarcan que la ciudadanía necesita algo más que una notable capacitación científico-tecnológica. En este sentido, Land (2013) afirma que los recién graduados en disciplinas STEM no tienen espíritu innovador ni, por tanto, el impulso necesario para el progreso. En un intento de paliar esta aparente deficiencia, y como una evolución de la educación STEM, Land (2013) y Maeda (2013) destacan que integrar las artes (A) permitiría: (1) aunar el pensamiento convergente (característico de las disciplinas STEM) y divergente (habitual en las disciplinas artísticas y humanísticas) en la resolución de problemas reales; (2) la creación de significado personal; y (3) la automotivación.

En este momento conviven, pues, dos perspectivas diferentes. Por una parte, aquella que ha apostado por la educación STEM y la ha llevado a la vanguardia en Estados Unidos y Europa (Kuenzi, 2008); y por otra, aquella que defiende la inclusión de las artes, siendo referencia en este enfoque el sistema educativo de Corea del Sur (Yakman & Lee, 2012). No obstante, la investigación educativa en ambas líneas ha manifestado deficiencias en la conceptualización de estos modelos educativos, difusa en el caso de la educación STEM (Martín-Páez et al., 2019) y escasa para la educación STEAM (Miller & Knezek, 2013).

Respecto a la educación STEAM, autores como Park et al. (2012) han indicado que las bases legislativas no son suficientes para ponerla en práctica de forma eficaz, a pesar de su rápida difusión en Corea del Sur. Algunas investigaciones han resaltado la escasa formación en educación STEAM de los maestros y sus dificultades para implementarla en el aula (Shin & Han, 2011). A la luz de esta problemática, Zamorano et al. (2018) han realizado una revisión sistemática del periodo 2011-2017 con la intención de proporcionar unas directrices básicas para diseñar e implementar actividades basadas en la educación STEAM. Su estudio se centró en el objetivo de la educación STEAM, en las nociones de enseñanza y aprendizaje, en el rol ocupado por los estudiantes y los docentes, y en los métodos y recursos didácticos empleados.

Ante el estado de la cuestión consideramos oportuna una revisión con el objetivo de dilucidar la conceptualización de la educación STEAM, centrada en las siguientes preguntas de investigación:

- ¿Qué significado otorgan los autores a la educación STEAM?
- ¿A qué alude la "A" de STEAM en las intervenciones analizadas?

Complementariamente, nos planteamos un segundo objetivo con el que pretendemos analizar aquellas intervenciones que integran las cinco disciplinas, incidiendo en cómo son integradas y los beneficios para el alumnado. Las cuestiones a responder son:

- ¿Cómo se integran las disciplinas STEAM?
- ¿Qué disciplina predomina en cada intervención educativa?
- ¿Qué beneficios de la educación STEAM se destacan?

1.1. Educación STEAM: definición y características

Atendiendo a revisiones precedentes, como la realizada por Zamorano et al. (2018), podemos definir tres objetivos para la educación STEAM: (1) dotar de creatividad al sector científico-tecnológico; (2) desarrollar habilidades requeridas en el siglo XXI; y (3) aumentar el interés por las disciplinas STEM (KOFAC, 2017). Este último podría concretarse centrandolo la educación STEAM en la mejora de la autoeficacia del alumnado, su confianza y su motivación hacia el aprendizaje de las disciplinas STEM, en lugar de centrarla en la adquisición de conceptos científicos, tecnológicos o matemáticos (Baek et al., 2011). Además de los anteriores, el objetivo final de la educación STEAM debería ser facilitar la conexión entre aquello estudiado en la escuela con la vida cotidiana (KOFAC, 2017; Park et al., 2012).

Estos objetivos han sido interpretados desde perspectivas diferentes, dando lugar a distintos modelos de educación STEAM:

- Uno de ellos, propuesto por Yakman (2008) y desarrollado en Yakman & Lee (2012), entiende este modelo educativo como la interpretación de la ciencia y la tecnología a través de la ingeniería y las artes (en general, las humanidades), todo basado en elementos matemáticos. Asimismo, enfatiza la dimensión afectiva del alumnado y la necesidad de no centrar la enseñanza en el conocimiento disciplinar, sino en enseñar a los estudiantes a interpretar los problemas que encontrarán en su vida cotidiana (Yakman & Lee, 2012).
- Desde otra perspectiva, menos jerárquica que la anterior, Zamorano et al. (2018) entienden el modelo STEAM como aquel que: (1) integra las ciencias, la tecnología, la ingeniería, las artes y las matemáticas de manera interdisciplinar; y (2) vincula los contenidos abordados con las experiencias vitales del alumnado.
- El tercer modelo es el formulado por Quigley et al. (2017). Este enfoque, al igual que el descrito por Yakman & Lee (2012) entiende por "A" tanto a las artes como el resto de humanidades; sin embargo, el proceso de enseñanza-aprendizaje se concibe como transdisciplinar. Por tanto, en este enfoque el primer plano lo ocupa el problema (real o ficticio pero posible, ambientado en contextos reales), de forma que los estudiantes exploren las áreas de conocimiento implicadas en el mismo y puedan conectarlas a través de su resolución (Herro & Quigley, 2017).

En definitiva, la educación STEAM se caracteriza por: (1) usar el aprendizaje basado en problemas; (2) emplear elementos tecnológicos; (3) permitir múltiples soluciones a un problema; (4) integrar ciencia, tecnología, ingeniería, artes/humanidades y matemáticas; (5) emplear el trabajo colaborativo (Herro & Quigley, 2017); (6) otorgar al alumnado un rol activo, crítico y reflexivo; y (7) recomendar al docente un rol de orientador, que conoce las necesidades intelectuales y afectivas de sus estudiantes (Zamorano et al., 2018).

2. Metodología

Se ha realizado una revisión de la literatura de carácter cualitativo e intencional (Randolph, 2009). La base de datos en la que se efectuó la búsqueda fue Web of Science (WOS) de Clarivate Analytics. Se asume esta condición como la limitación de este estudio, al no contemplar otras bases de datos. El proceso se estructuró en cuatro fases (Bennett et al., 2005): (1) Clarificación y planteamiento del problema; (2) Búsqueda, cribado y selección; (3) Análisis e interpretación; y (4) Redacción y síntesis.

La clave de búsqueda utilizada fue: TS=(STEAM) AND SU=(Education & Educational Research), restringida al periodo 2015-2020. Los criterios de inclusión para seleccionar los trabajos fueron: (a) que fuera artículo de revista; (b) publicado en revista con índice de impacto Journal Citation Reports (JCR); (c) que especificara palabras clave; (d) que presentara una intervención educativa STEAM; y (e) que evidenciara implicaciones educativas. En cuanto al protocolo de revisión, se diseñó a partir de las preguntas de investigación planteadas, que permiten definir las unidades de análisis y los procedimientos a seguir para recoger los datos de los trabajos seleccionados.

La búsqueda se realizó en diciembre de 2020. La aplicación de la clave de búsqueda en la colección principal de WOS arrojó un total de 441 trabajos. El cribado de estos resultados consistió en la aplicación, de forma consecutiva, de los criterios de inclusión "a", "b", "c" y "d" a partir de la lectura del título, resumen y palabras clave. Tras esta labor la cantidad de trabajos a analizar se redujo a 30. Posteriormente, la valoración de su idoneidad para su inclusión definitiva se realizó mediante la lectura completa y la aplicación del criterio de inclusión "e". La muestra final se redujo, de este modo, a 20 artículos (Tabla 1).

2.1. Codificación y análisis de datos

La codificación de los datos, desarrollada conjuntamente por los autores, se centró en los siguientes aspectos: (1) características del estudio (año de publicación, país y etapa educativa); (2) definición de educación STEAM; (3) disciplinas y contenidos STEAM abordados; (4) modo en el que se integran las disciplinas; y (5) beneficios de la educación STEAM. Solo se codificó la información mostrada de forma explícita en los artículos, de modo que en los casos en los que no aparecían los datos objeto de análisis se codificó como «no especifica». No obstante, para el caso de las disciplinas STEAM sí se realizaron algunas inferencias por nuestra parte. Así, cuando no se identificaban las disciplinas se atendió a sus ramas de conocimientos o, en su defecto, a la descripción de contenidos, procedimientos y habilidades propios de cada disciplina. Asimismo, en aquellos casos en los que no se pudo identificar información suficiente para

determinar la aparición de una disciplina, entendimos que solo se trabajaron aquellas disciplinas STEAM explicitadas.

La información recogida fue exportada a Microsoft Excel 2013, donde se codificó según las pautas del protocolo establecido; posteriormente se aplicó un análisis descriptivo (frecuencias y porcentajes).

Tabla 1
Principales características de los artículos seleccionados

Primer autor	Año	País	Etapa educativa
Ruiz-Vicente, F.	2020	España	Educación Primaria
Chung, C.C.	2020	Taiwan	Educación Secundaria
Lin, C.L.	2020	Taiwan	Educación Secundaria
Salmi, H.S.	2020	Finlandia	Educación Primaria
Ozkan, G.	2020	Turquía	Educación Secundaria
Chen, C.C.	2020	Taiwan	Educación Primaria
Ozkan, G.	2019	Turquía	Educación Secundaria
Acan, S.	2019	Turquía	Universidad
Serrano-Pérez, E.	2019	México	Educación Secundaria
Karppinen, S.	2019	Finlandia	Universidad
Thuneberg, A.	2018	Finlandia	Educación Secundaria
Chien, Y.H.	2018	Taiwán	Educación Secundaria y Universidad
Sullivan, A.	2018	Singapur	Educación Infantil
Wu, R.	2018	Estados Unidos	Educación Secundaria
Saorín, J.L.	2017	España	Universidad
Magerko, B.	2016	Estados Unidos	Educación Secundaria
Kim, P.W.	2016	Corea del Sur	Educación Secundaria
Kim, H.	2016	Corea del Sur	Educación Secundaria
Gaquere-Parker, A.C.	2016	Estados Unidos	Educación Secundaria
Jeong, S.	2015	Corea del Sur	Educación Secundaria

2.2. Control del sesgo

En esta revisión se han controlado los sesgos de selección y codificación. El sesgo de selección, al realizar la búsqueda y el cribado de estudios de forma independiente; los autores obtuvieron un porcentaje de acuerdo ligeramente superior al 90%. Una vez consensuadas las discrepancias, se preseleccionaron 30 artículos de entre los 441 iniciales. Así, la segunda ronda de revisión consistió en la lectura completa de los preseleccionados. En esta ocasión, se desestimaron 10 artículos al no cumplir los criterios de inclusión “d” y/o “e” (Figura 1), siendo el grado de acuerdo entre los autores del 100%. El sesgo de codificación se controló a partir del protocolo diseñado, pues en este se describen las pautas a seguir en la recolección de datos y los códigos para cada una de las unidades de análisis establecidas.

3. Resultados y discusión

3.1. ¿Qué significado se otorga a la educación STEAM?

La educación STEAM está emergiendo como un modelo educativo en el que se pretenden difuminar los límites entre las materias de naturaleza científica, tecnológica (ingeniería), artística y matemática, de forma que el objetivo final es diseñar un plan de estudios integrado (Yakman, 2008). Ha de considerarse como un proceso (Zamorano et al., 2018), que lógicamente se desarrollará a lo largo de diferentes sesiones. Por tanto, implementar una propuesta didáctica basada en la educación STEAM debería ocupar un lapso temporal suficiente para que el alumnado: (1) asimile los vínculos entre los contenidos STEAM abordados; (2) adquiera las habilidades necesarias; y (3) experimente emociones y sensaciones que contribuyan al desarrollo de actitudes positivas hacia las disciplinas STEAM. No obstante, a la luz del debate establecido en torno a la educación STEM (Martín-Páez et al., 2019), y entendiendo la educación STEAM como una evolución de esta, es oportuno analizar el significado de educación STEAM que adoptan los autores de las intervenciones educativas seleccionadas (Tabla 2). Se trata de un modelo educativo compatible con otras tendencias actuales como el aprendizaje-servicio o el socioeducativo (Aguilar-Esteve et al., 2019) que, al igual que el enfoque STEAM, abordan en el ámbito escolar los retos de la sociedad del conocimiento (Aguilera-Esteve et al., 2021).

La Tabla 2 muestra cómo 12 de los 20 trabajos (60%) analizados entienden la educación STEAM como un modelo educativo integrador. En este sentido, el propuesto por Yakman (2008) y desarrollado por Yakman & Lee (2012) son los trabajos más referenciados para definir la educación STEAM (ej.: Jeong & Kim, 2015; Kim & Chae, 2016; Thuneberg et al., 2018; Sullivan & Bers, 2018). Además, una característica común de aquellas intervenciones que entienden la educación STEAM como un modelo educativo es su larga duración, a excepción de la implementada por Thuneberg et al. (2018) que ocupó tres sesiones.

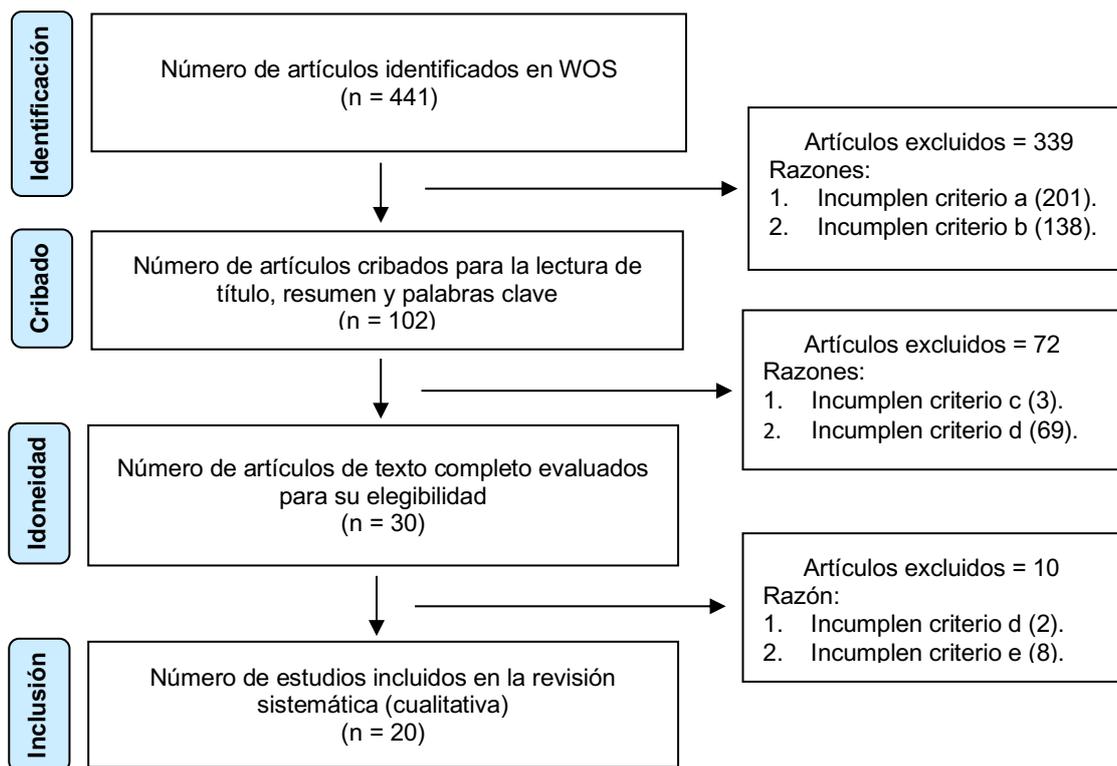


Figura 1. Diagrama de flujo según PRISMA

Bajo una concepción alternativa identificamos las intervenciones desarrolladas por Gaquere-Parker et al., (2016), Saorín et al. (2017) y Wu et al., (2018), quienes describen la educación STEAM como una actividad de carácter interdisciplinar. Generalmente, estas incorporan el arte a la enseñanza de las ciencias y se desarrollan en una única sesión. Otra de las concepciones alternativas identificadas se manifiesta en Chung et al. (2020), que conciben la educación STEAM como una estrategia didáctica.

Finalmente, los trabajos de Karppinen et al. (2019), Margerko et al. (2016), Serrano-Pérez & Juárez-López (2019) y Ruiz-Vicente et al. (2020) no pudieron ser clasificados, pues ninguno de ellos definió el concepto de educación STEAM a pesar de referirse a él.

Tabla 2
Significados otorgados a la educación STEAM

Significado	Frecuencia (%)	Casos (citado primer autor)
Enfoque (o modelo) educativo	12 (60%)	Acan (2019); Chen (2020); Chien (2018); Jeong (2015); Kim (P.W.) (2016); Kim (H.) (2016); Lin (2020); Ozkan (2020); Ozkan (2019); Salmi (2020); Sullivan (2018); Thuneberg (2018)
Actividad interdisciplinar	3 (15%)	Gaquere-Parker (2016); Saorín (2017); Wu (2018)
Estrategia didáctica	1 (5%)	Chung (2020)
No específica	4 (20%)	Karppinen (2019); Magerko (2016); Ruiz-Vicente (2020); Serrano-Pérez (2019)

3.2. ¿A qué alude la “A” de STEAM?

A la “A” incorporada al acrónimo STEM se le han atribuido distintos significados. En ocasiones se entiende como la integración de cualquier disciplina artística, la expresión de la creatividad o la búsqueda de la estética (Clapp & Jimenez, 2016; Kim, 2016); pero autores como Yakman & Lee (2012), y Quigley et al. (2017), añaden a esto el resto de las Humanidades. Debido a la polisemia que presenta la “A” de STEAM, se ha realizado el análisis de los significados otorgados a esta a partir de una versión adaptada de las categorías propuestas por Clapp & Jimenez (2016):

- Arte: integración de una o más disciplinas artísticas o referencia a cualesquiera de los conceptos clave dentro de las mismas (abstracción, composición, improvisación, etc.).
- Creatividad: referencia a prácticas STEAM que pretenden promover o desarrollar la capacidad creativa, generando productos novedosos a través de la integración de disciplinas artísticas.
- Estética: referencia a prácticas STEAM destinadas a estimular los sentidos y a la promoción de la belleza a través de las artes.

A las tres anteriores hemos añadido una cuarta categoría, denominada “Humanidades”, que engloba todos aquellos trabajos que se refieren a la “A” como la integración de disciplinas humanísticas o de elementos culturales y tradicionales de un país, una localidad o un grupo social concreto. De este modo, alineamos el sistema de categorías presentado en la Tabla 3 con los modelos STEAM de Yakman & Lee (2012) y Quigley et al. (2017), evitando la clasificación de Clapp & Jimenez (2016) quienes agrupan bajo la “S” a las ciencias experimentales, sociales y humanidades.

La Tabla 3 muestra cómo la amplia mayoría de las intervenciones educativas STEAM analizadas integran disciplinas artísticas en el proceso de enseñanza-aprendizaje (N = 15; 75%). Así, a la luz de los trabajos revisados, las artes plásticas y visuales son las más empleadas (ej.: Chien & Chu, 2018; Gaquere-Parker et al., 2016; Jeong & Kim, 2015; Kim, 2016; Sullivan & Bers, 2018; Wu et al., 2018), aunque se han encontrado intervenciones que incorporaron las artes escénicas (ej.: Karppinen et al, 2019; Sullivan & Bers, 2018) y la música (ej.: Kim & Chae, 2016).

Los trabajos que aluden a la “A” de STEAM como la integración de las Humanidades (N = 6; 30%), la búsqueda de la estética (N = 1; 5%) o la consideración de la capacidad creativa (N = 8; 40%) tienen una representación notablemente más baja. Ello podría deberse a:

- La escasa argumentación existente para justificar la inclusión de las Humanidades en la “A” de STEAM. En este sentido, encontramos que los modelos propuestos por Quigley et al. (2017) y Yakman & Lee (2012) definen su inclusión, pero no aportan argumentos a su favor.
- La alineación de la “A” con estética eleva el nivel de concreción de la educación artística a uno de los principios por los que se rigen estas disciplinas (Clapp & Jimenez, 2016). Por tanto, el nivel de conocimiento del alumnado debería ser más especializado, y de ahí que solamente Chien & Chu (2018) evidencien esta perspectiva, pues en su estudio participaron estudiantes universitarios de diseño.
- Asociar la “A” de STEAM con la creatividad en alusión al desarrollo de esta capacidad o a la exclusividad de las artes para contribuir a ella podría obviar, por ejemplo, la Naturaleza de la Ciencia. En este sentido, siguiendo a Garrett (1987), las ciencias se han vinculado tradicionalmente a la resolución de problemas en los que la creatividad es indiscutible, e imprescindible.

Tabla 3
Significados de la “A” de STEAM

Significado	Frecuencia (%)	Casos (citado primer autor)
Arte	15 (75%)	Acan (2019); Chen (2020); Chien (2018); Chung (2020); Gaquere-Parker (2016); Jeong (2015); Karppinen (2019); Kim (P.W.) (2016); Kim (H.) (2016); Ozkan (2020); Ozkan (2019); Ruiz-Vicente (2020); Salmi (2020); Sullivan (2018); Wu (2018)
Humanidades	6 (30%)	Chien (2018); Kim (H.) (2016); Lin (2020); Ozkan (2020); Ruiz-Vicente (2020); Salmi (2020); Sullivan (2018)
Estética	1 (5%)	Chien (2018)
Creatividad	8 (40%)	Chen (2020); Chien (2018); Kim (H.) (2016); Ozkan (2019); Salmi (2020); Saorín (2017); Serrano-Pérez (2019); Thuneberg (2018)

3.3. Adecuación de las intervenciones educativas al modelo STEAM

Hasta el momento se han analizado conceptualmente las intervenciones seleccionadas, todas ellas autodenominadas como educación STEAM. Para continuar con el análisis didáctico hemos de diferenciar aquellas que verdaderamente se ajustan a la educación STEAM de las que no, lo que se ha realizado a partir de la información proporcionada por los autores en los artículos analizados y en base a la siguiente premisa: *La educación STEAM debe conducir a intervenciones didácticas que integran ciencia, tecnología, arte (y/o humanidades), ingeniería y matemáticas, independientemente del grado de integración o nivel de protagonismo de cada una de ellas durante el proceso de enseñanza-aprendizaje.*

Esta definición de educación STEAM describe la característica esencial de este modelo educativo, según el consenso identificado en los modelos revisados en la fundamentación teórica de este estudio (apartado 1.1). Asimismo, hemos de destacar que en el trabajo de Kim (2016) se presentan dos intervenciones bien diferenciadas, de modo que serán 21 las analizadas en esta sección.

Tras la lectura de los procedimientos y detalles de cada intervención pudimos identificar que el 52.4% (N = 11) de las intervenciones no se ajustan a la educación STEAM, en el sentido descrito. Estos casos presentaron dos características con cierta frecuencia: (1) deficiente o inexistente definición de educación STEAM; y (2) corta duración de las intervenciones.

Thuneberg et al. (2018), a pesar de definir la educación STEAM a partir del modelo propuesto por Yakman & Lee (2012), describen un taller de matemáticas en el que los estudiantes deben construir/crear sus propias estructuras a partir de figuras geométricas. Estos autores declaran en su trabajo que "The 'math & art' workshop as STEAM-approach involved art, creative mathematics, engineering, and technology (p. 155)", aunque no concretan los contenidos y/o habilidades trabajadas en cada una de ellas, exceptuando menciones superficiales a aquellos referentes a las matemáticas. Se observa, pues, la ausencia de las ciencias en esta intervención "TEAM".

Chen & Huang (2020) describen pormenorizadamente los conceptos de las disciplinas STEAM integrados en su App. Sin embargo, justifican la inclusión de la Tecnología al incluir tabletas en su experiencia didáctica, de modo que equiparan la alfabetización tecnológica con la utilización de las TIC (Tecnologías de la Información y la Comunicación) durante el proceso de enseñanza-aprendizaje. Ozcan & Topsakal (2019) realizan una justificación similar en su intervención (que podríamos calificar como "SEAM"). Esta concepción de la tecnología significa uno de los principales obstáculos a los que se enfrenta la educación tecnológica (García-Carmona, 2020). En pleno siglo XXI y con un uso afianzado de las "nuevas" tecnologías en el ámbito educativo, la incorporación de las TIC en el proceso de enseñanza-aprendizaje (E-A) no debiera concebirse como una contribución a la alfabetización tecnológica del alumnado. Tal vez en el siglo XX, cuando prácticamente nadie disponía de un ordenador, un móvil inteligente o una tableta (estos últimos ni siquiera existían), sí tendría sentido hablar de alfabetizar tecnológicamente cuando comenzaron a incluirse estas tecnologías en el proceso de E-A y el alumnado no estaba familiarizado con ellas. Quizás, el hecho de pertenecer a una generación de «inmigrantes digitales» nos dificulte identificar los nuevos límites de la alfabetización tecnológica en las nuevas generaciones de «nativos digitales» (Piscitelli, 2008); de estos se espera que, además de consumir tecnología, sean capaces de producirla.

Karppinen et al. (2019) implementan una secuencia didáctica que tiene por objetivo diseñar y crear ropa inteligente (smart-textil), de forma que este proceso relacionado con la tecnología y la ingeniería (tal y como ellos mismos reconocen) fue enriquecido con actividades de dramatización. Sin embargo, en ningún momento aluden a las matemáticas o a las ciencias en su intervención ("TEA").

Wu et al. (2018) describen una actividad en la que los participantes pudieron aprender sobre microbiología y expresión genética. Después de la formación y la experimentación científica, los participantes pudieron utilizar bacterias E. Coli para realizar "pinturas vivas". Gaquere-Parker et al. (2016) describen una experiencia educativa en la que muestran aplicaciones artísticas de diferentes pigmentos y proceso de fabricación de los mismos (química). De igual modo, Acan & Acan (2019) desarrollaron una experiencia educativa en la que pretendían transcribir notas musicales a aminoácidos (Todas estas intervenciones se pueden considerar "SA").

Las dos últimas intervenciones que no se ajustan a la educación STEAM son aquellas descritas por Margerko et al. (2016) y Saorín et al. (2017). En la primera se presenta EarSketch, una intervención en la que combinan programación y creación musical, a través de la cual los participantes trabajaron conceptos relativos a la tecnología (lenguajes de programación) y a la música (armonía, melodía, acordes...), no existiendo alusión alguna a las ciencias, la ingeniería o las matemáticas; en la segunda se describe un taller en el que se emplean las tecnologías de escáner, edición digital e impresión 3D para promover la creatividad del

alumnado durante el ensamblaje de muñecos articulados (en ambos casos podríamos hablar de intervenciones “TA”).

Ozkan & Topsakal (2020) diseñan nueve actividades enmarcadas en el área de ciencias (física). A pesar de que los autores afirman que todas ellas están basadas en el enfoque STEAM, únicamente formulan objetivos de aprendizaje relacionados con las ciencias, de modo que resulta difícil comprender qué avances podrían haber conseguido en la alfabetización tecnológica, ingeniera, artística y matemática. De manera similar, Salmi et al. (2020) alinea el enfoque STEAM con un programa de educación no formal desarrollado en el contexto de un planetario, en el cual se visualizan proyecciones que abordan diferentes conceptos científicos (por tanto, estas experiencias didácticas podrían categorizarse como “S”).

3.4. ¿Cómo se integran las disciplinas STEAM y cuál predomina?

Una vez hemos determinado qué intervenciones no se ajustan a la educación STEAM, según nuestro posicionamiento teórico, podemos profundizar en el análisis de la integración de las disciplinas STEAM y la disciplina predominante en cada intervención.

Respecto a la integración de las disciplinas, en el caso de la educación STEM, Roehrig et al. (2012) identifican dos formas de hacerlo: (1) integración de contenido; y (2) integración por contexto. Así, siguiendo a estos autores, la integración de contenido se refiere a la fusión de las disciplinas en una sola unidad a fin de resaltar “grandes ideas” tangenciales a múltiples áreas de conocimiento, mientras que la integración por contexto podría realizarse a partir de un “contexto disciplinar” marcado por el contenido de una disciplina STEM o utilizando contextos reales para favorecer la integración de los contenidos. Desde esta perspectiva, Bryan et al. (2015) establecen tres categorías para la forma en la que se integran las disciplinas STEM: (1) integración de contenidos (*content integration*); (2) integración apoyada en contenido (*supporting content integration*); y (3) integración mediante contexto (*context integration*). Por tanto, transponer este sistema de categorías a la educación STEAM es plausible, dado que la característica esencial de ambos modelos es la integración de las disciplinas (Tabla 4).

Tabla 4
Modos en los que se integran las disciplinas STEAM

Tipo de integración	Frecuencia (%)	Casos (citado primer autor)
Integración de contenido	1 (10%)	Lin (2020)
Integración apoyada en contenido	3 (30%)	Jeong (2015); Serrano-Pérez (2019); Sullivan (2018)
Integración a partir de contexto	6 (60%)	Chien (2018); Chung (2020); Kim (P.W.)* (2016); Kim (H.) (2016); Ruiz-Vicente (2020)

*Se contabiliza como dos al presentar dos intervenciones en su artículo.

De acuerdo con los datos mostrados en la Tabla 4, el modo más frecuente de integrar las disciplinas STEAM es el uso de un contexto concreto (N = 6; 60%). Este hallazgo es similar, en términos de frecuencia relativa, al obtenido en la revisión de Martín-Páez et al. (2019) para educación STEM. Consecuentemente, podríamos afirmar que contextualizar el proceso de enseñanza-aprendizaje es el medio más utilizado y, por tanto, el mejor testado para implementar un programa basado en los modelos educativos STEM o STEAM. En el caso de la educación STEAM, el contexto empleado con mayor frecuencia es el histórico y cultural. Concretamente, Kim (2016) describe dos intervenciones didácticas que integran las disciplinas STEAM a partir de dos contextos históricos. Con un enfoque similar, Kim & Chae (2016) implementan un programa STEAM ambientado en un instrumento musical tradicional de la cultura coreana.

La integración de las distintas disciplinas STEAM a partir de los contenidos de una de ellas ha sido empleada en las intervenciones desarrolladas por Jeong & Kim (2015), Serrano-Pérez & Juárez-López (2019) y Sullivan & Bers (2018). Los primeros utilizaron contenidos de naturaleza científica (cambio climático y calentamiento global), mientras que en las dos intervenciones restantes se utilizó a la tecnología (programación de robots) como núcleo de contenidos principal a partir del cual se fueron incorporando el resto de disciplinas. Por tanto, parece evidente que aquella disciplina que vertebra la inclusión del resto adquiere un rol de mayor importancia en la intervención educativa. Por ejemplo, en la intervención de Jeong & Kim

(2015) predominan las ciencias, mientras que en las de Serrano-Pérez & Juárez-López (2019), y Sullivan & Bers (2018), la tecnología (Tabla 5).

Tabla 5
Disciplinas dominantes en las intervenciones STEAM

Disciplinas	Frecuencia (%)	Casos (citado primer autor)
Ciencia	2 (20%)	Jeong (2015); Ruiz-Vicente (2020)
Tecnología	4 (40%)	Kim (P.W.) (2016)*; Serrano-Pérez (2019); Sullivan (2018)
Ingeniería	1 (10%)	Chien (2018)
Arte/Humanidades	1 (10%)	Kim (H.) (2016)
Matemáticas	0	-
Sin disciplina dominante	2 (20%)	Chung (2020); Lin (2020)

*Se contabiliza como dos al presentar dos intervenciones en su artículo.

Por el contrario, cuando la integración de las disciplinas STEAM se realiza a partir de un contexto, la disciplina que adquiere un rol dominante no es necesariamente aquella vinculada a dicho entorno o trama. Ejemplo de ello son las intervenciones descritas por Kim (2016), cuyo objetivo principal atendía al análisis de los avances tecnológicos que significaron dos inventos coreanos (una máquina de guerra y otra de construcción).

En cuanto a la frecuencia con la que cada disciplina suele predominar en las intervenciones STEAM, la tecnología se muestra como aquella más versátil y consistente (N = 4; 40%). Ello podría responder a la capacidad de la tecnología para catalizar la integración de las disciplinas STEM y mejorar el aprendizaje del alumnado (Clark & Ernst, 2006), algo que podría ser extrapolado a la educación STEAM. En este sentido, Land (2013) expresa que la tecnología aporta herramientas para solucionar problemas, considerándola clave para ofrecer formas innovadoras y colaborativas para alcanzar posibles soluciones. Asimismo, al igual que manifestaron Martín-Páez et al. (2019), las matemáticas no aparecen como disciplina dominante en ninguna de las intervenciones STEAM. Este hallazgo parece contradecir las razones expuestas por Jolly (2014) en un intento de diferenciar la educación STEAM de la educación STEM, de modo que la educación STEAM no suele enfatizar el diseño y las artes, sino que parece hacerlo en la tecnología; tampoco la educación STEM se basa principalmente en las matemáticas y las ciencias, tal y como remarca Jolly (2014), sino que suele hacerlo en la ingeniería (Martín-Páez et al., 2019).

3.5. ¿Qué beneficios aporta la educación STEAM?

En esta última sección de resultados se recogen los beneficios de la educación STEAM para el alumnado (Tabla 6). Estos han sido extraídos de las conclusiones emitidas en los nueve trabajos cuyas intervenciones didácticas se ajustaron, según nuestro criterio, a la educación STEAM.

Tabla 6
Frecuencia de aparición de categorías en los documentos

Dimensiones	Beneficios (citado primer autor)
Cognitiva	<ul style="list-style-type: none"> Potencia el pensamiento convergente (Kim, 2016; Chung, 2020). Mejora la capacidad para resolver problemas (Kim, H., 2016; Lin, 2020; Ruiz-Vicente, 2020; Serrano-López, 2019; Sullivan; 2018). Enriquece los conocimientos disciplinares STEAM (Chien, 2018; Chung, 2020; Jeong, 2015; Ruiz-Vicente, 2020; Sullivan; 2018). Facilita la comprensión de la conexión entre disciplinas STEAM (Chien, 2018; Lin, 2020). Mejora el rendimiento académico (Kim, 2016; Ruiz-Vicente, 2020)
	<ul style="list-style-type: none"> Perfecciona aquellas habilidades relacionadas con la búsqueda, gestión y selección de la información (Kim, 2016).
	<ul style="list-style-type: none"> Desarrolla la creatividad (Kim, H., 2016; Chung, 2020; Ruiz-Vicente, 2020). Permite la iniciativa y la autonomía (Kim, H., 2016). Desarrolla aquellas habilidades relacionadas con el diseño (Chien, 2018)
	<ul style="list-style-type: none"> Permite explorar sentimientos hacia las carreras STEAM (Kim, 2016).
Afectiva	<ul style="list-style-type: none"> Permite explorar sentimientos hacia las carreras STEAM (Kim, 2016).

-
- Genera emociones positivas gracias a la integración del arte (Kim, H., 2016)
 - Eleva la satisfacción del alumnado hacia el proceso de enseñanza-aprendizaje (Kim, 2016; Chung, 2020)
 - Incrementa el interés y la motivación hacia temáticas STEAM (Jeong, 2015; Kim, H., 2016; Lin, 2020; Ruiz-Vicente, 2020).
 - Reduce la brecha entre la comunidad científico-académica y la sociedad (Jeong, 2015).
-

La educación STEAM parece tener potencial para incidir positivamente en las dimensiones cognitiva, afectiva y procedimental del alumnado, si bien las intervenciones STEAM suelen centrarse en la dimensión cognitiva (los nueve trabajos analizados emiten conclusiones relativas a esta); las dimensiones procedimental y afectiva reciben una atención considerablemente menor. Este hecho podría estar alejando a la educación STEAM de los propósitos con los que emergió, los cuales eran principalmente: (1) elevar el interés por carreras STEM (KOFAC, 2017); y (2) desarrollar habilidades requeridas por la sociedad actual (Zamorano et al., 2018).

Por otra parte, si comparamos los beneficios expuestos en la Tabla 6 con aquellos mostrados por Martín-Páez et al. (2019) para la educación STEM, encontramos que la tasa de coincidencia es elevada tanto en número como en contenido. Esta similitud de resultados reafirma otras coincidencias descritas anteriormente entre la educación STEM y la educación STEAM, como ocurre con el modo en el que se integran las disciplinas (pregunta de investigación 2). A la luz de estos hallazgos, basados en las intervenciones STEAM analizadas, resulta complicado encontrar diferencias entre la educación STEM y la educación STEAM, a pesar de que desde la intuición o la teoría estas podrían resultar más claras (Jolly, 2014).

Una de las peculiaridades halladas en los beneficios de la educación STEAM es la atribución de la capacidad de generar emociones positivas hacia las artes y las humanidades (Kim & Chae, 2016). Esto podría responder al hecho de que la creatividad es considerada una capacidad inherente al proceso de creación artística (Boy, 2013). Además, desde la perspectiva didáctica, algunos trabajos han manifestado que agregar tareas creativas a las clases de ciencias parece facilitar su aprendizaje (Henriksen, 2014) y que la inclusión de elementos creativos relacionados con la ciencia, la tecnología o la ingeniería podría incrementar el interés de los estudiantes hacia estas (Cooper & Heaverlo, 2013). Sin embargo, ¿cómo podría garantizarse que esta capacidad es exclusiva de la “A” de STEAM? Máxime si se trata de un enfoque educativo en el que se incorporan la tecnología y el trabajo colaborativo, elementos que parecen generar el mismo efecto (Evans et al., 2015). En este sentido, Aguilera & Ortiz-Revilla (2021) identificaron que tanto el enfoque STEM como el STEAM promueven el desarrollo de las habilidades creativas de los estudiantes. En su análisis resaltaron como razones principales de ello: (1) la integración disciplinar; (2) la resolución de problemas; y (3) el trabajo colaborativo. Si tenemos en cuenta que estas tres características son definitorias de los enfoques STEM y STEAM, podríamos afirmar que parecen “el mismo perro con distinto collar”. De ello emergen dos cuestiones que todo docente ha de plantearse:

- ¿Estaremos sobrecargando, cognitivamente y afectivamente, al alumnado con situaciones de aprendizaje que engloban cinco disciplinas diferentes? Si bien las disciplinas STEM comparten ciertos elementos epistemológicos (Quinn et al., 2020), lo que facilita su aprendizaje integrado, las Artes implican una epistemología radicalmente diferente. Esta cuestión ha llevado a interpretar la educación STEAM como la aplicación de los dominios STEM a las Artes (Carter et al., 2021), reduciéndose las disciplinas artísticas y humanísticas, habitualmente, a un contexto a partir del cual aprender ciencias, tecnología, ingeniería y matemáticas. Por tanto, estaremos implementando una educación STEM y no STEAM.
- ¿Resulta coherente caracterizar una situación de aprendizaje como STEAM si no se ven implicadas las cinco disciplinas? En un intento de rebajar la sobrecarga disciplinar, se opta por diseñar situaciones de aprendizaje interdisciplinares que abordan conceptos, procedimientos y/o actitudes científicas (o matemáticas, o tecnológicas o ingenieriles) y artísticas (o humanísticas). En este caso, estaremos adoptando un enfoque de enseñanza-aprendizaje interdisciplinar, pero no STEAM.

En definitiva, “la ‘A’ no debería significar ‘todo vale’ sino que STEAM adopte completamente los procedimientos y la base del proceso crítico de las Artes [Naturaleza de las Artes] que puede ser criticado tanto como los datos, la información y los procesos derivados de las disciplinas STEM [traducción propia]” (Carter et al., 2021, p. 10). Ello nos conduce a reflexionar sobre: (a) si el profesorado está suficientemente capacitado para diseñar e implementar con cierta garantía de éxito situaciones de aprendizaje STEAM; y (b) si el alumnado será capaz de asimilar los contenidos STEAM de forma integrada. Ambas cuestiones ya han

sido debatidas –aunque escasamente investigadas– en el caso de la educación STEM (Pearson, 2017) y aún existen serias dudas, principalmente en relación con la formación del profesorado.

4. Conclusiones

Este estudio pretende analizar intervenciones didácticas autoproclamadas STEAM por sus autores, desde el punto de vista teórico y práctico. Así, a nivel teórico podemos concluir que:

- Los trabajos que presentan una revisión profunda de la literatura STEAM y apoyan su intervención didáctica en un modelo educativo STEAM suelen realizar una buena transposición didáctica de su programa educativo. Por el contrario, aquellos autores que entienden la educación STEAM como una actividad interdisciplinar, eventual y de corta duración no consiguen integrar las cinco disciplinas en su experiencia educativa.
- Generalmente, los autores se refieren a la “A” de STEAM en alusión a las disciplinas artísticas, siendo la más frecuente las artes plásticas y visuales. También existen concepciones de la “A” que parecen alinearla con las Humanidades, la estética y la creatividad, todas ellas con una representación notablemente menor. Además, podríamos afirmar que todavía estamos lejos de alcanzar un consenso en cuanto a las disciplinas que aúna la “A”. En este sentido, hemos encontrado modelos educativos STEAM en los que la “A” engloba a los cuatro descriptores mencionados (Quigley et al., 2017; Yakman y Lee, 2012), mientras que otros autores ciñen esta vocal exclusivamente a las disciplinas artísticas, añadiendo las Humanidades en un “modelo de rueda” (Kim, 2016).

Desde la perspectiva práctica concluimos que:

- La forma más testada en la que se integran las disciplinas STEAM es aquella realizada a partir de un contexto concreto, siendo los de carácter histórico o cultural los más utilizados. Por el contrario, la vía transdisciplinar parece ser la menos utilizada para integrar las disciplinas STEAM.
- Durante el proceso de E-A basado en el modelo STEAM los contenidos y habilidades tecnológicas suelen predominar sobre los del resto de disciplinas. En el lado opuesto, las matemáticas parecen evidenciar dificultades para actuar como disciplina dominante, pues siempre se identifican como una disciplina secundaria o subsidiaria del resto.
- Los beneficios de la educación STEAM apuntan principalmente a la dimensión cognitiva del alumnado, aunque también se han identificado beneficios de carácter afectivo y conductual. Así pues, la atención de las intervenciones STEAM parece dirigirse a la adquisición de conocimientos y la mejora del rendimiento académico. Este hecho contradice las razones de índole afectiva y procedimental con las que suele justificarse el movimiento educativo STEAM.

Si comparamos este trabajo con el desarrollado por Martín-Páez et al. (2019), vemos cómo la educación STEAM plantea las mismas problemáticas que la educación STEM. Habría que preguntarse, en consecuencia, si los cambios introducidos por el enfoque STEAM respecto a STEM, muy ligeros, tal y como se ha discutido en la sección 3.5, derivan en una mejora para el aprendizaje de las disciplinas implicadas. En este sentido, la principal perspectiva de futuro debería centrarse en las implicaciones educativas del enfoque STEAM, comparándolas con las de la educación STEM. Asimismo, sería conveniente probar diferentes estrategias didácticas que guíen la integración efectiva de la “A” con el resto de disciplinas STEM. La mayoría de las propuestas STEM y STEAM, hasta el momento, se han diseñado sin la existencia de un marco teórico sólido que oriente el diseño. También son escasos los trabajos que se centran en evaluar la eficacia de estas propuestas en el aula. Todo ello son cuestiones en las que debemos seguir trabajando para comprobar si realmente se consigue lo que se pretende con ellas.

Contribución de los autores

David Aguilera: Conceptualización; Metodología; Recopilación y gestión de datos (data curation); Análisis de datos; Escritura del borrador original; Escritura (revisión y edición). **José Miguel Vilchez-Gonzalez:** Recopilación y gestión de datos (data curation); Análisis de datos; Escritura (revisión y edición).

Apoyos

Agradecimientos a la Universidad de Granada por la financiación de la beca-contrato puente concedida a David Aguilera

para completar su formación postdoctoral, al grupo de investigación HUM-613 y al proyecto PGC2018-095765-B-I00 (PROFESTEM) subvencionado por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades.

Referencias

- Acan, S.C., & Acan, N.L. (2019). Music notes to amino acid sequence: A STEAM approach to study protein structure. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 47(6), 669-671.
- Aguilar-Esteva, V., Tobón, S., & Juárez-Hernández, L. G. (2019). Construcción y validación de instrumento para evaluar el avance del enfoque socioformativo y adopción de nuevos modelos educativos en el nivel superior en México. *Revista Espacios*, 40(31), 5.
- Aguilar-Esteva, V., Juárez-Hernández, L. G., & Acosta-Banda, A. (2021). Validez de Constructo y Confiabilidad de un Instrumento para Evaluar la Integración del Enfoque Socioformativo en las Prácticas Docentes en Instituciones de Educación Superior en México. *Revista Fuentes*, 23(2). <https://doi.org/10.12795/revistafuentes.2021.12905>
- Aguilera, D., & Ortiz-Revilla, J. (2021). STEM vs. STEAM Education and Student Creativity: A Systematic Literature Review. *Education Sciences*, 11, 331. <https://doi.org/10.3390/educsci11070331>
- Baek, Y., Park, H., Kim, Y., No, S., Park, J., Lee, J., Jung, J., Choi, Y., & Han, H. (2011). STEAM Education in Korea. *Journal of Learner-centered Curriculum Instruction*, 11(4), 149-171.
- Boy, G.A. (2013). *From STEM to STEAM: Toward a human-centred education, creativity & learning thinking*. Proceedings of the 31st European Conference on Cognitive Ergonomics. Université Toulouse le Mirail: France. <http://go.nasa.gov/3aWLjJJ>
- Bryan, L.A., Moore, T.J., Johnson, C.C. & Roehrig, G.H. (2015). Integrated STEM education. In C.C. Johnson, E.E. Peters-Burton & T.J. Moore (Eds.), *STEM Road Map: A framework for integrated STEM education* (pp. 23-37). New York: Routledge.
- Caprile, M., Palmén, R., Sanz, P., & Dente, G. (2015). *Encouraging STEM studies: Labour market situation and comparison of practices targeted at young people in different member states*. Brussels: European Union. Retrieved from <https://bit.ly/3bNi2AG>
- Carter, C.E., Barnett, H., Burns, K., Cohen, N., Durall, E., Lordick, D., Nack, F., Newman, A., & Ussher, S. (2021). Defining STEAM Approaches for Higher Education. *European Journal of STEM Education*, 6(1), 13. <https://doi.org/10.20897/ejsteme/11354>
- Chen, C.C., & Huang, P.H. (2020). The effects of STEAM-based mobile learning on learning achievement and cognitive load. *Interactive Learning Environments*, 1-17. <https://doi.org/10.1080/10494820.2020.1761838>
- Chien, Y.H., & Chu, P.Y. (2018). The Different Learning Outcomes of High School and College Students on a 3D-Printing STEAM Engineering Design Curriculum. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 16(6), 1047-1064. <https://doi.org/10.1007/s10763-017-9832-4>
- Chiu, M., & Duit, R. (2011). Globalization : Science Education from an International Perspective. *Journal of Reseach in Science Teaching*, 48(6), 553-566. <https://doi.org/10.1002/tea.20427>
- Chung, C. C., Huang, S. L., Cheng, Y. M., & Lou, S. J. (2020). Using an iSTEAM project-based learning model for technology senior high school students: Design, development, and evaluation. *International Journal of Technology and Design Education*, 1-37. <https://doi.org/10.1007/s10798-020-09643-5>
- Clapp, E.P., & Jimenez, R.L. (2016). Implementing STEAM in maker-centered learning. *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts*, 10(4), 481-491. <https://doi.org/10.1037/aca0000066>
- Clark, A.C., & Ernst, J.V. (2006). A model for the integration of science, technology, engineering, and mathematics. *The Technology Teacher*, 66, 24-26.
- Cooper, R., & Heaverlo, C. (2013). Problem solving and creativity and design: What influence do they have on girls' interest in STEM subject areas? *American Journal of Engineering Education*, 4(1), 27-38.
- Evans, M.A., Lopez, M., Maddox, D., Drape, T., & Duke, R. (2015). Interest-driven learning among middle school youth in an out-of-school STEM studio. *Journal of Science Education and Technology*, 23(5), 624-640. <https://doi.org/10.1007/s10956-014-9490-z>
- Friedman, T.L. (2005). *The World is Flat. A brief history of the twenty-first century*. New York: Farrar, Straus and Giroux.
- Gaquere-Parker, A.C., Doles, N.A., & Parker, C.D. (2016). Chemistry and art in a bag: An easy-to-implement outreach activity making and painting with a copper-based pigment. *Journal of Chemical Education*, 93(1), 152-153. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.5b00364>
- García-Carmona, A. (2020). STEAM, ¿una nueva distracción para la enseñanza de la ciencia? *Ápice. Revista de Educación Científica*, 4(2), 35-50. <https://doi.org/10.17979/arec.2020.4.2.6533>
- Garrett, R.M. (1987). Issues in science education: problem-solving, creativity and originality. *International Journal of Science Education*, 9(2), 125-137. <https://doi.org/10.1080/0950069870090201>
- Henriksen, D. (2014). Full STEAM ahead: Creativity in excellent STEM teaching practices. *The STEAM Journal*, 1(2), 15.
- Herro, D., & Quigley, C. (2017). Exploring teachers' perceptions of STEAM teaching through professional development: implications for teacher educators. *Professional Development in Education*, 43(3), 416-438. <https://doi.org/10.1080/19415257.2016.1205507>

- Jeong, S., & Kim, H. (2015). The Effect of a Climate Change Monitoring Program on Students' Knowledge and Perceptions of STEAM Education in Korea. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 11(6), 1321-1338. <https://doi.org/10.12973/eurasia.2015.1390a>
- Jolly, A. (2014). *STEM vs. STEAM: Do the arts belong?* *Education week: Teacher*. Retrieved from <http://bit.ly/37MsA1y>
- Karppinen, S., Kallunki, V., & Komulainen, K. (2019). Interdisciplinary craft designing and invention pedagogy in teacher education: student teachers creating smart textiles. *International Journal of Technology and Design Education*, 29(1), 57-74. <https://doi.org/10.1007/s10798-017-9436-x>
- Kim, H., & Chae, D.H. (2016). The Development and Application of a STEAM Program Based on Traditional Korean Culture. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 12(7), 1925-1936. <https://doi.org/10.12973/eurasia.2016.1539a>
- Kim, P. W. (2016). The Wheel Model of STEAM Education Based on Traditional Korean Scientific Contents. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 12(9), 2353-2371. DOI: 10.12973/eurasia.2016.1263a
- KOFAC (2017). *Concept and definition of STEAM*. Seoul: The Korea Foundation for the Advancement of Science and Creativity. Retrieved from <https://bit.ly/3dNRNfM>
- Kuenzi, J. J. (2008). *Science, technology, engineering, and mathematics (STEM) education: background, federal policy, and legislative action*. Congressional Research Service Reports. Paper 35. Retrieved from <http://bit.ly/2NygO49>
- Land, M.H. (2013). Full STEAM ahead: The benefits of integrating the arts into STEM. *Procedia Computer Science*, 20, 547-552. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2013.09.317>
- Lin, C.L., & Tsai, C.Y. (2020). The Effect of a Pedagogical STEAM Model on Students' Project Competence and Learning Motivation. *Journal of Science Education and Technology*, 1-13. <https://doi.org/10.1007/s10956-020-09885-x>
- Maeda, J. (2013). STEM + Art = STEAM. *The STEAM Journal*, 1(1), Article 34. DOI: 10.5642/steam.201301.34
- Margerko, B., Freeman, J., Mcklin, T., Reilly, M., Livingston, E., Mccoid, S., & Crews-Brown, A. (2016). Earsketch: A steam-based approach for underrepresented populations in high school computer science education. *ACM Transactions on Computing Education*, 16(4), 14. <https://doi.org/10.1145/2886418>
- Martín-Páez, T., Aguilera, D., Perales-Palacios, F.J., Vilchez-González, J.M. (2019). What are we talking about when we talk about STEM education? A review of literature. *Science Education*, 103, 799-822. <https://doi.org/10.1002/sce.21522>
- Miller, J., & Knezek, G. (2013). STEAM for student engagement. In R. McBride & M. Searson (Eds.), *Proceedings of Society for Information Technology & Teacher Education International Conference 2013* (pp. 3288–3298). Chesapeake, VA: Association for the Advancement of Computing in Education. <http://bit.ly/2Msm45>
- Ozkan, G., & Topsakal, U.U. (2019). Exploring the effectiveness of STEAM design processes on middle school students' creativity. *International Journal of Technology and Design Education*, 1-22. <https://doi.org/10.1007/s10798-019-09547-z>
- Ozkan, G., & Topsakal, U.U. (2020). Investigating the effectiveness of STEAM education on students' conceptual understanding of force and energy topics. *Research in Science & Technological Education*, 1-20. <https://doi.org/10.1080/02635143.2020.1769586>
- Park, H., Kim, Y., Nho, S., Lee, J., Jung, J., Choi, Y., Han, H. & Baek, Y. (2012). Components of 4C-STEAM Education and a Checklist for the Instructional Design. *Journal of learner-centered Curriculum Instruction*, 12(4), 533-557.
- Pearson, G. (2017). National academies piece on integrated STEM. *The Journal of Educational Research*, 110(3), 224-226. <https://doi.org/10.1080/00220671.2017.1289781>
- Piscitelli, A. (2008). Nativos digitales. *Contratexto*, 16, 43-56.
- Quigley, C.F., & Herro, D. (2016). Finding the joy in the unknown: Implementation of STEAM teaching practices in middle school science and math classrooms. *Journal of Science Education and Technology*, 25(3), 410–426. <https://doi.org/10.1007/s10956-016-9602-z>
- Quigley, C.F., Herro, D., & Jamil, F.M. (2017). Developing a conceptual model of STEAM teaching practices. *School Science and Mathematics*, 117(1-2), 1-12. <https://doi.org/10.1111/ssm.12201>
- Quinn, C. M., Reid, J. W., & Gardner, G. E. (2020). S+ T+ M= E as a convergent model for the nature of STEM. *Science & Education*, 29(4), 881-898. <https://doi.org/10.1007/s11191-020-00130-w>
- Roehrig, G.H., Moore, T.J., Wang, H.H., & Park, M.S. (2012). Is adding the E enough? Investigating the impact of K-12 engineering standards on the implementation of STEM integration. *School Science and Mathematics*, 112(1), 31-44. <https://doi.org/10.1111/j.1949-8594.2011.00112.x>
- Ruiz-Vicente, F., Zapatera-Llinares, A., & Montes-Sánchez, N. (2020). Curriculum analysis and design, implementation, and validation of a STEAM project through educational robotics in primary education. *Computer Applications in Engineering Education*, Special Issue, 1-15. <https://doi.org/10.1002/cae.22373>
- Salmi, H.S., Thuneberg, H., & Bogner, F.X. (2020). Is there deep learning on Mars? STEAM education in an inquiry-based out-of-school setting. *Interactive Learning Environments*, 1-13. <https://doi.org/10.1080/10494820.2020.1823856>
- Saorin, J.L., Melian-Díaz, D., Bonnet, A., Carbonell, C., Meier, C., & De La Torre-Cantero, J. (2017). Makerspace teaching-learning environment to enhance creative competence in engineering students. *Thinking Skills and Creativity*, 23, 188-198. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2017.01.004>

- Serrano-Pérez, E., & Juárez-López, F. (2019). An ultra-low cost line follower robot as educational tool for teaching programming and circuit's foundations. *Computer Applications in Engineering Education*, 27(2), 288-302. <https://doi.org/10.1002/cae.22074>
- Shin, Y. & Han, S. (2011). A Study of the Elementary School Teachers' Perception in STEAM Science, Technology, Engineering, Arts, Mathematics) Education. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 33(4), 514-523.
- Sullivan, A., & Bers, M.U. (2018). Dancing robots: integrating art, music, and robotics in Singapore's early childhood centers. *International Journal of Technology and Design Education*, 28(2), 325-346. <https://doi.org/10.1007/s10798-017-9397-0>
- Thuneberg, H.M., Salmi, H.S., & Bogner, F.X. (2018). How creativity, autonomy and visual reasoning contribute to cognitive learning in a STEAM hands-on inquiry-based math module. *Thinking Skills and Creativity*, 29, 153-160. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2018.07.003>
- Wu, R., Brinkema, C., Peterson, M., Waltzer, A., & Chowning, J. (2018). STEAM Connections: Painting with Bacteria. *The American Biology Teacher*, 80(4), 305-307.
- Yakman, G. (2008). *STEAM education: An overview of creating a model of integrative education*, presented at the Pupils' Attitudes Towards Technology (PATT-19) Conference: Research on Technology, Innovation, Design & Engineering Teaching, Salt Lake City, Utah: USA.
- Yakman, G., & Lee, H. (2012). Exploring the exemplary STEAM education in the US as a practical educational framework for Korea. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 32(6), 1072-1086.
- Zamorano, T., García, Y., & Reyes, D. (2018). The education for the 21st century subject: Main features of the STEAM approach from the educational point of view [Educación para el sujeto del siglo XXI: principales características del enfoque STEAM desde la mirada educacional]. *Contextos: Estudios de Humanidades y Ciencias Sociales*, 41. Retrieved from <http://bit.ly/2O1GnKP>