

REFLEXIONES DEL OPEN STEAM GROUP SOBRE EL IMPACTO DEL ENFOQUE INTEGRADO DEL CONTENIDO EN EL APRENDIZAJE DE LAS MATEMÁTICAS

Open STEAM Group reflections on the impact of the content integrated approach for learning mathematics

Diego-Mantecón, J. M.^a, Ortiz-Laso, Z.^a y Blanco, T. F.^b

^aUniversidad de Cantabria y ^bUniversidad de Santiago de Compostela

Resumen

Este artículo se escribe como respuesta a las directrices de la nueva reforma educativa y presenta reflexiones específicas sobre el enfoque integrado del contenido y su impacto en el aprendizaje de las matemáticas. Estas reflexiones son producto de años de estudio en la implementación del aprendizaje basado en proyectos (ABP) de las disciplinas de Ciencia, Tecnología, Ingeniería, Artes y Matemáticas (STEAM) con formato KIKS. Como oportunidades principales de esta metodología se destacan los beneficios de los proyectos interdisciplinarios para fomentar la retención de conocimientos matemáticos de forma más prolongada, y el desarrollo de actitudes positivas hacia la utilidad de esta disciplina. Como retos a superar se describen la necesidad de un marco formativo para el profesor especializado de secundaria, la identificación de pautas de evaluación en el trabajo colaborativo y el proceso creativo, y la popularización del ABP entre las familias.

Palabras clave: aprendizaje basado en proyectos, educación integrada, formato KIKS, matemáticas, STEAM.

Abstract

This article is written in response to the new Spanish educational reform and presents specific reflections on the content integrated approach and its impact on learning mathematics. Such reflections are the result of years of research in the project-based learning (PBL) implementation of the Science, Technology, Engineering, Arts, and Mathematics (STEAM) disciplines with KIKS format. The main potentialities of this methodology are the utility of interdisciplinary projects to promote the retention of mathematical knowledge over a longer time, and the development of positive attitudes towards the usefulness of this discipline. As challenges to overcome, we point out the need for a training framework for the specialized secondary teacher, the identification of evaluation guidelines in collaborative work and the creative process, and the popularization of the PBL approach among families.

Keywords: project-based learning, integrated education, KIKS format, mathematics, STEAM.

INTRODUCCIÓN

En este artículo se presentan algunas reflexiones del grupo Open STEAM sobre el enfoque integrado del contenido en las disciplinas de Ciencias, Tecnología, Ingeniería, Artes y Matemáticas, y de su implementación en el aula a través del Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) con Formato KIKS

Diego-Mantecón, J. M., Ortiz-Laso, Z., y Blanco, T. F. (2022). Reflexiones del Open STEAM Group sobre el impacto del enfoque integrado del contenido en el aprendizaje de las matemáticas. En T. F. Blanco, C. Núñez-García, M. C. Cañadas y J. A. González-Calero (Eds.), *Investigación en Educación Matemática XXV* (pp. 81-94). Santiago de Compostela: SEIEM.

(Diego-Mantecón, 2020). El Open STEAM, establecido en la Universidad de Cantabria desde el 2014, está constituido por investigadores, formadores, profesores y familias que buscan impulsar el aprendizaje de las matemáticas a través del enfoque integrado del contenido. En su sitio web aloja un repositorio en el que el profesorado puede nutrirse de actividades o proyectos STEAM para su implementación en el aula. Así mismo, imparte a lo largo del año varios cursos de formación para integrar de manera eficaz proyectos STEAM en el aula (<https://www.opensteamgroup.unican.es/>).

El artículo se escribe en respuesta a la petición de Antonio Moreno coordinador del seminario ‘El desarrollo del nuevo marco curricular en Matemáticas’ dentro del XXV Simposio de la SEIEM en Santiago de Compostela, 2022. El seminario se organizó como respuesta a la reciente ley educativa española (LOMLOE), que sugiere cambios docentes significativos para potenciar de forma efectiva la denominada ‘Competencia Matemática y Competencia en Ciencia, Tecnología e Ingeniería (STEM)’. Las reflexiones que se proporcionan en las siguientes páginas son producto de los estudios de investigación que el grupo Open STEAM ha realizado desde el 2014 en el contexto de la Educación STEAM, y más concretamente en el de las matemáticas. Estas reflexiones tienen como objetivo proporcionar a la comunidad española de educación matemática nociones sobre cómo abordar el enfoque integrado en el aula desde una perspectiva matemática. Este grupo de investigación ya anticipó, en el XXIII Simposio de la SEIEM 2019, la contribución del aprendizaje basado en proyectos STEAM al desarrollo de las competencias LOMCE (Blanco et al., 2019).

¿POR QUÉ UN ENFOQUE INTEGRADO STE(A)M?

Como casi todos los enfoques educativos, el enfoque integrado de las disciplinas STEAM (acrónimo inglés de Science, Technology, Engineering, Arts y Mathematics) nace como consecuencia de cambios significativos en la sociedad. En las últimas dos décadas, se han dado numerosos cambios, tanto en España como a nivel mundial, que están teniendo un impacto notorio en nuestra forma de relacionarnos, de trabajar, y por lo tanto de aprender (Consejo de la Unión Europea, 2018). Uno de estos cambios está relacionado con el intenso avance tecnológico y científico que ha tenido lugar; otro con el intento de abogar por una sociedad más igualitaria que permita un bienestar y una educación al alcance de todos. En este sentido, la Unión Europea, así como países de gran potencial como Estados Unidos y Corea del Sur, fomentan la formación de ciudadanos competentes para hacer frente a las exigencias de un mundo altamente tecnológico (Chu et al., 2019; Kelley y Knowles, 2016). En concreto se promueve, prácticamente a nivel mundial, una formación competencial de nuestros jóvenes en las disciplinas STEM que permita hacer frente a las necesidades actuales y futuras de la sociedad (Niss et al., 2017), eliminando brechas sociales como la infrarrepresentación de la mujer en determinados sectores profesionales. Ahora en España, con la nueva reforma educativa (LOMLOE), se describe y articula de forma más concreta la denominada ‘Competencia Matemática y Competencia en Ciencia, Tecnología e Ingeniería’ adelantada en la LOMCE. Dicha competencia se identifica con el acrónimo STEM y se detalla de acuerdo con cinco ‘descriptorios operativos’ del Perfil de salida, que orientan sobre el nivel de desempeño esperado al término de la enseñanza básica. Por ejemplo, el número tres (STEM3) señala que al completar la enseñanza básica, el alumno ha de ser capaz de “Plantear y desarrollar proyectos diseñando, fabricando y evaluando diferentes prototipos o modelos para generar o utilizar productos que den solución a una necesidad o problema de forma creativa y en equipo, procurando la participación de todo el grupo, resolviendo pacíficamente los conflictos que puedan surgir, adaptándose ante la incertidumbre y valorando la importancia de la sostenibilidad.” (Ministerio de Educación y Formación Profesional [MEFP], 2022, p. 29).

¿A QUÉ NOS REFERIMOS CON ENFOQUE INTEGRADO STE(A)M?

La educación STEM se ha definido frecuentemente como la elaboración de actividades o prácticas educativas que integran contenidos y destrezas de las disciplinas de Ciencias, Tecnología, Ingeniería, y/o Matemáticas. Dichas actividades suelen enmarcarse en contextos del mundo real que promueven la resolución de problemas, basados en la indagación y el aprendizaje colaborativo (Martín-Páez et al., 2019; Thibaut et al., 2018). En los últimos años se ha abogado por incorporar la A de Artes, en el denominado enfoque STEAM, para facilitar contextos reales más amplios en los que sustentar la resolución de problemas y en los que se incorporen las artes plásticas, las ciencias sociales y las humanidades (Diego-Mantecón et al., 2021a). Con este enfoque se busca potenciar la creatividad, la ética, la estética, la innovación (Colucci-Gray et al., 2019; Quigley et al., 2020) y el conocimiento intercultural (Chu et al., 2019). No hay consenso sobre si una práctica STEAM o STEM (en adelante STE(A)M) debe combinar dos (o más) disciplinas (Carmona et al., 2019; El Bedewy et al., 2021) o integrarlas todas (Toma y García-Carmona, 2021). Ciertamente, esto depende de los objetivos propios de la actividad, del contexto educativo y curricular en la que se va a implementar, así como de la formación académica de los docentes y las características de los estudiantes que la van a desarrollar.

EL APRENDIZAJE BASADO EN PROYECTOS STE(A)M CON FORMATO KIKS

Aunque la educación STEAM es un enfoque emergente, ya se ha vinculado a varias metodologías de enseñanza incluidas la Gamificación y el Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP), resultando esta última una de las más eficaces para potenciar la integración de contenidos. El ABP se caracteriza por ser una metodología en la que el estudiante adopta un papel activo, como agente central del proceso de aprendizaje, y el profesor actúa como facilitador de dicho aprendizaje. Apoyándose en el marco de Thibaut et al. (2018), Diego-Mantecón et al. (2021c) describen cinco dimensiones fundamentales de esta metodología: (1) la integración de contenido, (2) el contexto de resolución de problemas, (3) el aprendizaje basado en la indagación, (4) el diseño y (5) el trabajo cooperativo. Con el fin de trabajar el enfoque integrado STEAM, los investigadores y profesores del grupo Open STEAM complementan el ABP con un formato de difusión denominado: formato KIKS (Diego-Mantecón et al., 2021a). Este formato pretende incorporar una motivación adicional en el proceso de aprendizaje además de fomentar competencias clave (MEFP, 2022) mediante la difusión de los proyectos en eventos educativos como ferias de la ciencia o conferencias (Istúriz et al., 2017; Ortiz-Laso, 2020). KIKS proviene de los términos en inglés: *Kids Inspiring Kids in STEAM*; en español, Chicos que Motivan a Chicos en las STEAM (Fenyvesi et al., 2017; Houghton et al., 2020).

Los proyectos STEAM con formato KIKS se introducen en el aula a partir del siguiente reto: ¡Elaboremos un proyecto que dé respuesta a una necesidad y que pueda ayudar o motivar a otros! El proyecto puede surgir de una idea de los propios participantes, de una necesidad del centro educativo o de la región en la que viven, así como de un problema de actualidad que está teniendo lugar en alguna parte del mundo y necesita respuesta. El Open STEAM proporciona un repositorio de proyectos para distintas etapas educativas del que los profesores pueden nutrirse (Diego-Mantecón et al., 2021c).

EJEMPLOS DE PROYECTOS STE(A)M CON FORMATO KIKS Y EJECUCIÓN

Los proyectos varían en complejidad y tiempo de ejecución, de acuerdo con la disponibilidad de los participantes. Distinguimos principalmente dos tipos de proyectos: los interdisciplinarios y los transdisciplinarios. Los primeros son aquellos en los que se yuxtaponen contenidos de al menos dos disciplinas estableciéndose conexiones explícitas (Gao et al., 2020; Gresnigt et al., 2014), pero sin necesidad de ser problemas de la vida diaria en los que la aplicación de conocimientos y destrezas trascienden los

contenidos de las disciplinas curriculares, como es el caso de los proyectos transdisciplinarios (English, 2016; Gresnigt et al., 2014). Cuando hablamos de proyectos interdisciplinarios en donde la disciplina dominante son las matemáticas, nos referimos a aquellos en los que los conceptos y procedimientos matemáticos son el punto de partida sobre el que se desarrolla el proceso de resolución; véanse por ejemplo las guías de los proyectos ‘Arcos en nuestra ciudad’ o ‘Cómo determinar el norte geográfico’ alojados en el repositorio del Open STEAM (Figura 1). Los proyectos transdisciplinarios se corresponden con situaciones reales en las que la problemática que emerge no tiene, necesariamente, como punto de partida las matemáticas, y la consecución de un producto (o prototipo) suele tener un peso importante en todo el proceso de elaboración; véanse por ejemplo los proyectos “Jardines verticales” o “Nidos flotantes”.



Figura 1. Proyectos del Repositorio Open STEAM

Una vez elegido un proyecto para su implementación en el aula se ha de proceder a la secuenciación y distribución de tareas. Todos los estudiantes han de colaborar en las distintas tareas del proyecto incluyendo el planteamiento del problema inicial y su fragmentación, los procesos de indagación y diseño, la puesta en común de soluciones para la elaboración del producto final, y la redacción de las conclusiones. Los estudiantes han de participar por igual en el proceso de difusión, realizando exposiciones de sus trabajos a través de videoconferencias y encuentros presenciales, en eventos nacionales e internacionales. Durante el tour de exposiciones, los equipos introducen cambios y mejoras y adaptan las presentaciones a los diferentes públicos: profesores, investigadores, padres, y estudiantes (Ortiz-Laso, 2020). Para cada proyecto se requiere entregar un documento de texto y un vídeo: el documento incluye la parte analítica del proyecto, su desarrollo y resultado final, mientras que el vídeo ha de mostrar la parte práctica: ensamblado del material, construcción de los artefactos, y funcionamiento o aplicabilidad de los mismos (Blanco et al., 2019). Normalmente los proyectos son elaborados por equipos de 5-6 estudiantes y dos profesores de alguna de las disciplinas STEAM. Los proyectos realizados dentro del Open STEAM se ejecutan en lengua no materna, normalmente en inglés, con

el objetivo de motivar a los homólogos extranjeros en el aprendizaje, potenciando además la competencia lingüística, la personal y social, así como la competencia en conciencia y expresiones culturales (Consejo de la Unión Europea, 2018).

ESTUDIOS REALIZADOS POR EL OPEN STEAM GROUP DESDE 2014

Como resultado de la participación en varios proyectos internacionales y nacionales que promueven la educación STEAM (p. ej., KIKS, STEMforYouth, Mathematics EduLarp, STEAMTeach, EAMARE-STEAM o AuthOMath), el Open STEAM ha realizado varios estudios con el objetivo de evaluar el aprendizaje de las matemáticas desde un enfoque integrado del contenido. La mayoría de estos estudios se han llevado a cabo en las aulas de educación secundaria, aunque también se realizaron implementaciones en primaria e infantil. Desde el 2014 hasta la actualidad han participado en el desarrollo de proyectos STEAM con formato KIKS más de 2500 estudiantes y alrededor de 140 profesores de países europeos. La muestra ha sido variada integrando a estudiantes de rendimiento académico alto, medio y bajo, participando también sujetos con dificultades de aprendizaje, con problemas de conducta, y en riesgo de abandono escolar. El profesorado participante ha sido también diverso contando con profesores de secundaria de las distintas disciplinas STEAM, así como con maestros de las etapas de primaria e infantil. Dada la extensión limitada del artículo, a continuación, se reportan únicamente los resultados de los estudios realizados con profesores y estudiantes de educación secundaria.

ALGUNOS RESULTADOS RELEVANTES PARA LA COMUNIDAD EN EDUCACIÓN MATEMÁTICA

En este apartado se sintetizan los tres resultados que pueden suscitar mayor interés, en estos momentos, para la comunidad en educación matemática: proyectos STEAM que potencian el aprendizaje de las matemáticas, conocimientos, competencias y actitudes que fomenta el enfoque integrado, y perfil del alumnado que más se puede beneficiar de dicho enfoque.

Proyectos STEAM que potencian el aprendizaje de las matemáticas

Nuestros estudios sugieren que el tipo de proyecto, así como la disciplina que desempeña el rol dominante en el contexto del mismo, determina los contenidos, procedimientos y destrezas matemáticas que se van a trabajar. Se observó que, en contra de lo que se puede interpretar de los documentos oficiales, los proyectos interdisciplinarios potencian más el aprendizaje de las matemáticas que los transdisciplinarios, aunque estos últimos aborden problemas reales en los que la aplicación de conocimientos y destrezas trascienden los contenidos de las disciplinas curriculares. Se detectó, por ejemplo, que en proyectos transdisciplinarios donde la ingeniería es la disciplina dominante los profesores se centran con frecuencia en el producto final en lugar de en el proceso de aprendizaje. Tienden a potenciar principalmente la investigación y el diseño para construir un prototipo, y rara vez tratan de implicar a sus alumnos en tareas de razonamiento matemático mediante el planteamiento y la comprobación de hipótesis o conjeturas, que potencien el desarrollo del pensamiento matemático, como recoge de forma explícita la nueva ley (MEFP, 2022). De hecho, en este tipo de proyectos es difícil hacer surgir las matemáticas, bien porque son complejas o porque se simplifican en exceso, lo que provoca que el profesor de secundaria con especialidad en matemáticas trate de evitar su implementación (más información en Diego-Mantecón et al., 2022a). Lasa et al. (2020), Macías et al. (2020) y Ubuz (2020) corroboran estos resultados y manifiestan la dificultad de dichos proyectos para explotar de manera natural las matemáticas escolares, más allá de realizar cálculos aritméticos básicos o trabajar la identificación de figuras geométricas. Igualmente, estudios previos en otros países como Corea del Sur

(Kang, 2019) y Turquía (Sevimli y Ünal, 2022) muestran los obstáculos del profesorado de matemáticas para identificar e involucrar contenidos de dicha disciplina en contextos reales. En este sentido, los profesores coreanos reclaman la necesidad de programas de desarrollo profesional que potencien las matemáticas en un enfoque STEAM (Kang, 2019).

A diferencia de los transdisciplinares, los proyectos interdisciplinares en los que las matemáticas tomaban un rol dominante permitieron abordar más en profundidad aspectos de esta disciplina como la interpretación y la modelización de un problema, el análisis de soluciones, la comprobación de conjeturas o la interrelación de conceptos y procedimientos dentro de la misma disciplina y entre disciplinas. Así ocurrió en proyectos como ‘Arcos en nuestra ciudad’ o ‘Cómo determinar el norte geográfico’, mencionados anteriormente, en los que los conceptos y procedimientos matemáticos fueron el punto de partida sobre el que elaborar la resolución. En este tipo de proyectos, los profesores encuentran más oportunidades para abordar los contenidos matemáticos curriculares y desarrollar competencias específicas de las matemáticas descritas en MEFP (2022). Los proyectos interdisciplinares promueven, además de la aplicación de conceptos y cálculos matemáticos básicos, el empleo del pensamiento flexible mediante la búsqueda de estrategias de resolución acordes con las restricciones del problema. Los procesos de resolución anteriores requieren demandas cognitivas altas por parte del estudiante. En las experiencias realizadas dentro del Open STEAM Group, los proyectos interdisciplinares en los que las matemáticas fueron el foco central fueron llevados al aula únicamente por profesores especializados en esta disciplina.

Conocimientos, destrezas, y actitudes adquiridas en relación con las matemáticas

Nuestros estudios no pueden confirmar que los alumnos participantes en la elaboración de proyectos STEAM mostrasen cambios significativos en las calificaciones con respecto a los exámenes ordinarios (para más información ver Diego-Mantecón et al., 2019a), en contraposición a los resultados obtenidos por Han et al. (2015, 2016). Sí pudimos observar que el conocimiento adquirido a través de la metodología ABP-STEAM con formato KIKS se mantiene de forma más prolongada en el tiempo, ya que los procesos de aprendizaje fueron centrales para los estudiantes (información más detallada en Diego-Mantecón et al., 2019a). Muchos de nuestros estudiantes trabajaron durante al menos dos cursos académicos en proyectos y prepararon presentaciones para diferentes públicos, lo que dio lugar a una mayor retención de los conocimientos y habilidades involucradas. Pudieron además establecer conexiones entre diferentes elementos, conceptos y procedimientos matemáticos, desarrollando así una visión de las matemáticas como un todo. En este sentido, creemos que el ABP-STEAM con formato KIKS contribuyó a desarrollar varias de las competencias específicas reflejadas en MEFP (2022).

Esta forma de aprender también modificó las percepciones de los estudiantes en relación con las matemáticas. Tras la participación en proyectos interdisciplinares con un enfoque matemático, los estudiantes tomaron conciencia de la aplicabilidad de esta disciplina no solo en diferentes contextos, sino también sobre su utilidad en otras disciplinas. Esto generó en ellos una actitud más positiva hacia las matemáticas, a la vez que propició una mayor confianza a la hora de aprenderlas y trabajarlas. Nuestros resultados no concuerdan con los de Kwon et al. (2021) y Tseng et al. (2013) quienes no encontraron diferencias significativas en cuanto a la relación entre el desarrollo de proyectos STEM y el incremento de una actitud positiva hacia las matemáticas. Creemos sin embargo que sus resultados están influenciados por el corto periodo de trabajo STEM al que sus estudiantes fueron expuestos. Los cambios en las creencias y actitudes del alumnado hacia las matemáticas son lentos y requieren largos procesos para obtener resultados positivos (Diego-Mantecón et al., 2019c). En este sentido, cabe destacar que todos los estudiantes evaluados durante nuestros estudios trabajaron de forma continua y prolongada, algunos participando hasta dos y tres años académicos en el Open STEAM.

Además de facilitar el desarrollo de actitudes positivas hacia las matemáticas, el ABP-STEAM con formato KIKS promueve el desarrollo de competencias clave recogidas en el perfil de salida del alumnado al término de la enseñanza básica del sistema educativo español (MEFP, 2022) y establecidas en la Recomendación del Consejo de la Unión Europea de 22 de mayo de 2018 relativa a las competencias clave para el aprendizaje permanente. Algunas de estas competencias identificadas son la multilingüe, la lingüística, la digital, la emprendedora, la social y la cultural. El desarrollo de estas competencias se genera tras largos procesos de aprendizaje donde los estudiantes tienen que trabajar en lengua no materna, realizar presentaciones para diferentes públicos, así como difundir sus trabajos tanto a través de la producción de vídeos como en eventos presenciales. Además, han de comparar y discutir su trabajo con profesores y estudiantes de otros países comprendiendo que los contextos en los que se desarrollan los problemas, así como los factores sociales y culturales de los mismos, pueden influir en los resultados.

Una educación inclusiva a través de entornos de aprendizaje significativos y personalizados

A pesar de que en todas nuestras intervenciones en el aula hemos buscado, como propone la LOMLOE (MEFP, 2022), promover un enfoque abierto y flexible que facilite la integración y el aprendizaje de todos los alumnos, hemos identificado que alcanzar tal equidad en el aprendizaje es una quimera. Bajo los mismos contextos de aprendizaje y con los mismos profesores, hemos detectado que las características de cada individuo influyen fuertemente en su proceso de aprendizaje y como consecuencia en sus logros académicos. El enfoque integrado STEAM con formato KIKS ha mostrado ser útil con alumnos en riesgo de abandono escolar que no se adaptan al ritmo de la clase regular. A estos alumnos les beneficia la parte práctica y creativa de los proyectos en la que tienen que construir. Este tipo de actividades manipulativas les permite moverse por el aula de forma libre e investigar en aspectos de interés para ellos. Se trata de estudiantes que rehúsan la instrucción tradicional que implica escuchar al profesor durante la mayor parte de la jornada y realizar tareas guiadas sin romper el ritmo de trabajo en el aula. Los estudiantes con buenas calificaciones en la clase regular, sin diagnóstico en altas capacidades, y constantes en su forma de trabajar han rechazado por lo general esta metodología. Su impresión era que los proyectos requieren mucha elaboración y esto les hacía sentir que desaprovechaban tiempo de estudio. Estos alumnos se sentían más cómodos bajo una enseñanza estructurada de contenidos, en la que podían observar de manera más periódica sus avances. En cuanto a alumnos de rendimiento académico medio, la decisión de participar en los proyectos estaba vinculada a sus intereses y motivaciones personales. Para algunos resultó muy motivador resolver problemas contextualizados donde se podía vivenciar la aplicación de las matemáticas y otras disciplinas. Estos resultados confirman que incluso cuando la instrucción se ejecuta bien, independientemente del método, el aprendizaje requiere esfuerzo y compromiso del estudiante. En este sentido, Chaaban et al. (2021) y Nguyen et al. (2021) afirmaron que numerosos profesores abandonan las prácticas innovadoras en el aula debido a la resistencia de los estudiantes y su poca disposición hacia otros métodos de enseñanza.

RETOS A SUPERAR EN EL ENFOQUE INTEGRADO STE(A)M

A continuación, se resumen los tres principales obstáculos identificados durante la implementación del enfoque integrado de las disciplinas STE(A)M: la formación del profesorado, la evaluación y las familias.

La formación del profesorado

Durante estos años hemos observado que el diseño e implementación de proyectos STEAM se ve afectado por la especialización de los docentes y de esta forma por su conocimiento de la disciplina.

Normalmente, el docente de secundaria español se forma específicamente en una de las disciplinas STEAM para luego realizar un máster de capacitación y adaptación pedagógica. Esta formación es contraria al enfoque integrado STEAM que sugieren los últimos documentos oficiales a nivel educativo; observación realizada también por Toma y García-Carmona (2021) desde el ámbito de la didáctica de las ciencias. El enfoque integrado requiere conocimientos conceptuales, procedimentales y epistemológicos sólidos en diversas disciplinas. Nuestros docentes de hecho se sienten inseguros a la hora de implementar proyectos STEAM en el aula y manifiestan una falta de conocimiento del contenido de estas disciplinas, así como de su conocimiento didáctico. Este hándicap ha sido ampliamente reportado en la literatura (Domènech-Casal et al., 2019; Frykholm y Glasson, 2005; Toma y García-Carmona, 2021) y las sugerencias para superarlo son variadas. Algunos, como Davis et al. (2019), reivindican la necesidad de instruir a los docentes en el abordaje de conceptos STEM desde diversas orientaciones epistemológicas (o formas de conocer); otros sugieren la adquisición de contenido de las distintas disciplinas (Stinson et al., 2009) derivando en una formación similar a la de educación primaria; mientras que otros recomiendan el trabajo colaborativo entre profesores para llegar a una contextualización e integración del contenido más profunda (Potari et al., 2016). Los miembros del Open STEAM nos decantamos por la última de las estrategias (ver Diego-Mantecón et al., 2022a, 2022b). De hecho, unas de las razones que nos ha llevado a crear la comunidad Open STEAM es la dificultad del profesorado para establecer vínculos de colaboración en su entorno más inmediato— su centro educativo. Con el grupo Open STEAM pretendemos poner en contacto a profesores de distintos centros para que se apoyen durante el proceso de diseño e implementación de los proyectos.

El aprendizaje por competencias, promovido en España en leyes como la LOMCE, y enfatizado en la actualidad por la LOMLOE, tiene como objetivo “ofrecer al alumnado la oportunidad de conectar y aplicar lo aprendido en contextos cercanos a la vida real” (MEFP, 2022, p. 41767). Para promover procesos de resolución realistas a un problema, el profesor necesita un conocimiento sólido del contexto en el que se enmarca el proyecto. El estudio de Diego-Mantecón et al. (2021b), en el que se evalúa la competencia matemática de adultos en un establecimiento de venta de productos de carpintería para el hogar, puso de manifiesto las dificultades que tienen los individuos españoles con estudios medios (o superiores) a la hora de resolver problemas reales que involucran las matemáticas. En concreto, se detectó una falta de conocimiento contextual al comprar los materiales necesarios para construir distintos muebles, sugiriendo que el conocimiento del contexto es prácticamente exclusivo de los profesionales, en ese caso, ebanistas. Como consecuencia de estos resultados y los de nuestras observaciones a profesores que desarrollan proyectos del Open STEAM, consideramos que uno de los grandes retos educativos a los que nos enfrentamos en los próximos años es el de formar a profesores especializados para que sean capaces de resolver problemas de la vida real que involucran las matemáticas. En este sentido, el conocimiento del contenido y el pedagógico no son suficientes, requiriéndose además un conocimiento relacionado con el contexto del problema y en particular con las matemáticas que se utilizan en los diferentes contextos reales. Cabe destacar que tradicionalmente la noción de competencia ha estado asociada con la formación profesional (Halász y Michel, 2011), que busca cualificar en un determinado campo profesional durante varios años.

La evaluación

Como se ha mostrado anteriormente, el ABP-STEAM no parece tener los mismos efectos en todos los estudiantes. De acuerdo con la LOMLOE (MEFP, 2022), al terminar la etapa de formación obligatoria se han de alcanzar entre otros los dos objetivos siguientes: trabajar de forma colaborativa, y dar soluciones creativas a través del diseño, la resolución de problemas y la experimentación. Como consecuencia, los profesores deberían ser capaces de evaluar estos dos objetivos que ya han generado cierto desconcierto entre el profesorado participante en las iniciativas del Open STEAM. Por un lado, todos

nuestros profesores estuvieron de acuerdo sobre la dificultad de evaluar el trabajo en grupo, señalando que es complejo tener una visión individualizada del aprendizaje; un hallazgo ya destacado por Domènech-Casal et al. (2019), Kang (2019), y Margot y Kettler (2019). Por otro lado, los profesores también sintieron inseguridad al evaluar tareas que no tienen una solución única ya que están acostumbrados a calificar tareas rutinarias de uno o dos pasos. Estas tareas son las que se promueven generalmente en los libros de texto incluso cuando se integran disciplinas tan complementarias como las artes y las matemáticas, que propician de manera casi natural el análisis de obras de arte o creaciones artísticas mediante el empleo de las matemáticas (Blanco et al., 2021; Diego-Mantecón et al., 2019b). Como señalan Lu y Kaiser (2022), evaluar el proceso creativo es una tarea compleja, y no existe un consenso sobre los aspectos a evaluar. Es importante resaltar que además de la evaluación sumativa el profesor ha de considerar también la evolución formativa. Los estudiantes bajo la metodología del ABP-STEAM con formato KIKS desarrollan un proyecto durante varias semanas e incluso meses que requiere una retroalimentación continua, y adaptada al perfil de cada estudiante, para dar lugar a un aprendizaje significativo de las distintas disciplinas (Li y Schoenfeld, 2019).

El apoyo de las familias

El ABP-STEAM supone un cambio radical en la metodología de enseñanza actual. Muchas familias cuestionan la validez de esta nueva metodología por rechazo a lo desconocido. Nuestros profesores reconocen que algunos padres muestran escepticismo hacia este enfoque porque es radicalmente distinto al que están acostumbrados. Por ello, al inicio del curso se les informa sobre esta manera de trabajar y sus objetivos. A pesar de esto, a lo largo del proceso de ejecución nos encontramos que algunas familias continúan cuestionando la metodología. Esto se debe, por ejemplo, a que algunos padres no saben cómo ayudar a sus hijos en sus tareas, generando nerviosismo y descontento. En ocasiones, el cuestionamiento se agrava al recibir calificaciones negativas cuando el alumno presenta un producto funcional, obtenido con la ayuda de su entorno, en el que no es capaz de verbalizar los conceptos, hechos o procedimientos que subyacen de ese modelo o prototipo. Esto origina un conflicto con las familias al no entender por qué se puede recibir una calificación baja cuando el prototipo es válido. Como consecuencia, algunos profesores han dejado de proponer a sus alumnos tareas, relacionadas con los proyectos, fuera del aula. La percepción de aquellas familias con una actitud negativa suele cambiar cuando los estudiantes presentan su proyecto ante un público, y los padres experimentan un sentimiento de orgullo. También hay familias que desde el inicio se muestran receptivas a ser involucradas en el proceso de diseño del proyecto, pudiendo enriquecerlo significativamente. Durante estos años de experimentación, hemos documentado casos donde los padres aportaron un conocimiento contextual relacionado con su profesión, resultando en un beneficio para todos. Una interacción estrecha y positiva entre familias y centro educativo fue también percibida por Balsobre-Aguilar y Herraída-Valverde (2018), durante la implementación de la metodología aprendizaje basado en proyectos.

CONCLUSIÓN E IMPLICACIONES FUTURAS

Las investigaciones del Open STEAM sugieren que la implementación del enfoque integrado como medio para fomentar el aprendizaje de las matemáticas presenta oportunidades y retos. Este enfoque puede fomentar el desarrollo de creencias positivas hacia la utilidad de las matemáticas tanto en contextos reales como en relación con otras disciplinas (Diego-Mantecón et al., 2019a). Este aspecto ha sido destacado también por Kwon et al. (2021) quienes identifican, además, una relación entre creencias positivas hacia la resolución de problemas y el propósito de continuar la formación académica en el ámbito STEM. El formato KIKS aplicado como complemento al ABP-STEAM parece potenciar la retención del conocimiento de forma más prolongada que la enseñanza regular. Hemos de señalar que

los resultados reportados en este artículo surgen de las implementaciones en el aula con profesores con cierta formación en este enfoque y que dichos profesores contaron siempre con el apoyo y supervisión de formadores e investigadores del Open STEAM. En consecuencia, los resultados expuestos anteriormente podrían no replicarse bajo condiciones distintas a las aquí descritas.

Los principales obstáculos que se han identificado son la formación del profesorado, la evaluación de los proyectos y la reticencia de las familias a las nuevas metodologías. Nos preocupa especialmente el primero de ellos y como consecuencia estamos trabajando en un marco de desarrollo profesional que permita potenciar el aprendizaje de las matemáticas a través del enfoque integrado del contenido (Diego-Mantecón et al., 2022b). Este marco, todavía en desarrollo, aboga por formar en aspectos pedagógicos que permitan al profesorado articular de forma combinada el enfoque integrado del contenido y el ABP, y proveer con recursos que posibiliten su implementación en el aula de la manera menos disruptiva posible. Se pretende además fomentar la colaboración entre profesores y profesionales de distintas especialidades, conservando la idea de que el conocimiento que se requiere para instruir una disciplina es especializado (Diego-Mantecón et al., 2021b; 2022a), pero requiere diferentes apoyos para que este sea implementado de forma efectiva en diferentes contextos.

Importante, los cambios metodológicos en educación deben ser tomados con precaución y han de llevarse a cabo de forma paulatina, en paralelo con la enseñanza tradicional, y tratando de mejorar de forma iterativa su integración en el aula, para evitar cualquier impacto negativo en el individuo, bien sea el alumno, el profesor o el padre.

Agradecimientos

El trabajo presentado en este artículo se llevó a cabo con el apoyo del programa Erasmus+ de la Unión Europea y en concreto gracias a las subvenciones recibidas de los siguientes proyectos competitivos: [2020-1-ES01-KA201-082102; STEAM Education for Teaching Professionalism]; [2021-1-DE01-KA220HED-000032031; AUTHOMATH]; [2019-1-CZ01-KA201-061377; Mathematics EduLarp]; y [2015-1-HU01-KA201-013611; KIKS- Kids Inspire Kids for STEAM]. También se recibió ayuda del Programa Horizon 2020 de la Unión Europea [SEAC-2015- 1-710577; STEM4YOUTH], del Fondo Europeo de Desarrollo Regional (Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades – Agencia Estatal de Investigación) [EDU2017-84979-R; EAMARE-STEAM], y de varios proyectos puente financiados por la Universidad de Cantabria y la Consejería de Universidades, Igualdad, Cultura y Deporte del gobierno Cantabria.

Referencias

- Balsalobre-Aguilar, L. y Herrada-Valverde, R. I. (2018). Aprendizaje basado en proyectos en educación secundaria: el orientador como agente de cambio. *Revista Española de Orientación y Psicopedagogía*, 29(3), 45-60. <https://doi.org/10.5944/reop.vol.29.num.3.2018.23320>
- Blanco, T. F., González-Roel, V., Diego-Mantecón, J. M. y Ortiz-Laso, Z. (2021). Análisis de la conexión arte-matemáticas en los libros de texto de Educación Primaria. *Educación Matemática*, 33(3), 67-93. <https://doi.org/10.24844/em3303.03>
- Blanco, T. F., Ortiz-Laso, Z. y Diego-Mantecón, J. M. (2019). Proyectos STEAM con formato KIKS para la adquisición de competencias LOMCE. En J. M. Marbán, M. Arce, A. Maroto, J. M. Muñoz-Escolano y A. Alsina (Eds.), *Investigación en Educación Matemática XXIII* (p. 614). SEIEM.
- Carmona, J. A., Arias, J. y Villa, J. A. (2019). Formación inicial de profesores basada en proyectos para el diseño de lecciones STEAM. En E. Serna (Ed.), *Revolución en la formación y la capacitación para el siglo XXI* (pp. 483-492). Instituto Antioqueño de Investigación.

- Chaaban, Y., Qadhi, S. y Du, X. (2021). Student teachers' perceptions of factors influencing learner agency working in teams in a STEAM-based course. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 17(7), em1980. <https://doi.org/10.29333/ejmste/10978>
- Chu, H. E., Martin, S. N. y Park, J. (2019). A theoretical framework for developing an intercultural STEAM program for Australian and Korean students to enhance science teaching and learning. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 17(7), 1251-1266. <https://doi.org/10.1007/s10763-018-9922-y>
- Colucci-Gray, L., Burnard, P., Gray, D. y Cooke, C. (2019). A critical review of STEAM (science, technology, engineering, arts, and mathematics). En P. Thomson (Ed.), *Oxford research encyclopedia of education* (pp. 1–26). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780190264093.013.39>
- Consejo de la Unión Europea (Ed.) (2018). *Recomendación del consejo de 22 de mayo de 2018 relativa a las competencias clave para el aprendizaje permanente*.
- Davis, J. P., Chandra, V. y Bellocchi, A. (2019). Integrated STEM in initial teacher education: Tackling diverse epistemologies. En P. Sengupta, M. C. Shanahan y B. Kim (Eds.), *Critical, transdisciplinary and embodied approaches in STEM education* (pp. 23-40). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-29489-2_2
- Diego-Mantecón, J. M. (2020). Classroom implementation of STEM Education through technology: advantages and handicaps. En P. R. Richard, S. Van Vaerenbergh y M. P. Vélez (Eds.), *First Symposium on Artificial Intelligence for Mathematics Education. Book of Abstracts (AI4ME 2020)* (pp. 9-10). Universidad de Cantabria.
- Diego-Mantecón, J. M., Arcera, Ó., Blanco, T. F. y Lavicza, Z. (2019a). An engineering technology problem-solving approach for modifying student mathematics-related beliefs: Building a robot to solve a Rubik's cube. *International Journal for Technology in Mathematics Education*, 26(2), 55-64.
- Diego-Mantecón, J. M., Blanco, T. F., Búa-Ares, J. B. y González-Sequeiros, P. (2019b). Is the relationship between art and mathematics addressed thoroughly in Spanish secondary school textbooks? *Journal of Mathematics and the Arts*, 13(1-2), 25-47. <https://doi.org/10.1080/17513472.2018.1552068>
- Diego-Mantecón, J. M., Blanco, T. F., Chamoso, J. M. y Cáceres, M. J. (2019c). An attempt to identify the issues underlying the lack of consistent conceptualisations in the field of student mathematics-related beliefs. *Plos one*, 14(11), e0224696. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0224696>
- Diego-Mantecón, J., Blanco, T., Ortiz-Laso, Z. y Lavicza, Z. (2021a). STEAM projects with KIKS format for developing key competences. [Proyectos STEAM con formato KIKS para el desarrollo de competencias clave]. *Comunicar*, 66, 33-43. <https://doi.org/10.3916/C66-2021-03>
- Diego-Mantecón, J. M., Haro, E., Blanco, T. F. y Romo-Vázquez, A. (2021b). The chimera of the competency-based approach to teaching mathematics: a study of carpentry purchases for home projects. *Educational Studies in Mathematics*, 107(2), 339-357. <https://doi.org/10.1007/s10649-021-10032-5>
- Diego-Mantecón, J. M., Prodromou, T., Lavicza, Z., Blanco, T. F. y Ortiz-Laso, Z. (2021c). An attempt to evaluate STEAM project-based instruction from a school mathematics perspective. *ZDM—Mathematics Education*, 53(5), 1137-1148. <https://doi.org/10.1007/s11858-021-01303-9>
- Diego-Mantecón, J. M., Ortiz-Laso, Z. y Blanco, T. F. (2022a). Implementing STEM projects through the EDP to learn mathematics: the importance of teachers' specialization. En P. R. Richard, M. P. Vélez y S. Van Vaerenbergh (Eds.), *Mathematics education in the age of artificial intelligence: How artificial intelligence can serve mathematical human learning* (pp. 1137-1148). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-86909-0_17

- Diego-Mantecón, J. M., Ortiz-Laso, Z., Diamantidis, D. y Kynigos, C. (2022b). Toward a STEAM professional development program to exploit school mathematics. En *Proceedings of the Twelfth Congress of the European Society for Research in Mathematics Education (CERME12)*. ERME.
- Domènech-Casal, J., Lope, S. y Mora, L. (2019). Qué proyectos STEM diseña y qué dificultades expresa el profesorado de secundaria sobre Aprendizaje Basado en Proyectos. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 16(2), 2203. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2019.v16.i2.2203
- El Bedewy, S., Lavicza, Z., Haas, B. y Lieban, D. (2021). A STEAM practice approach to integrate architecture, culture and history to facilitate mathematical problem-solving. *Education Sciences*, 12(1), 9. <https://doi.org/10.3390/educsci12010009>
- English, L. D. (2016). STEM education K-12: perspectives on integration. *International Journal of STEM Education*, 7(9), 502-507. <https://doi.org/10.1186/s40594-016-0036-1>
- Fenyvesi, K., Houghton, T., Diego-Mantecón, J. M., Crilly, E., Oldknow, A., Lavicza, Z. y Blanco, T. F. (2017). Kids Inspire Kids for STEAM. *The STEAM Journal*, 3(1). <https://doi.org/10.5642/steam.20170301.21>
- Frykholm, J. y Glasson, G. (2005). Connecting science and mathematics instruction: Pedagogical context knowledge for teachers. *School Science and Mathematics*, 105(3), 127-141. <https://doi.org/10.1111/j.1949-8594.2005.tb18047.x>
- Gao, X., Li, P., Shen, J. y Sun, H. (2020). Reviewing assessment of student learning in interdisciplinary STEM education. *International Journal of STEM Education*, 7(24). <https://doi.org/10.1186/s40594-020-00225-4>
- Gresnigt, R., Taconis, R., van Keulen, H., Gravemeijer, K. y Baartman, L. (2014). Promoting science and technology in primary education: a review of integrated curricula. *Studies in Science Education*, 50(1), 47-84. <https://doi.org/10.1080/03057267.2013.877694>
- Halász, G. y Michel, A. (2011). Key Competences in Europe: interpretation, policy formulation and implementation. *European Journal of Education*, 46(3), 289-306. <http://doi.org/10.1111/j.1465-3435.2011.01491.x>
- Han, S., Capraro, R. y Capraro, M. M. (2015). How science, technology, engineering, and mathematics (STEM) project-based learning (PBL) affects high, middle, and low achievers differently: The impact of student factors on achievement. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 13(5), 1089-1113. <https://doi.org/10.1007/s10763-014-9526-0>
- Han, S., Rosli, R., Capraro, M. M. y Capraro, R. M. (2016). The Effect of Science, Technology, Engineering and Mathematics (STEM) Project Based Learning (PBL) on students' achievement in four Mathematics topics. *Journal of Turkish Science Education*, 13, 3-29.
- Houghton, A., Oldknow, A., Diego-Mantecón, J. M., Fenyvesi, K., Crilly, E. y Lavicza, Z. (2019). KIKS Creativity and Technology for All. *Open Education Studies*, 1(1), 198-208. <https://doi.org/10.1515/edu-2019-0014>
- Istúriz, M. P., González-Ruiz, I., Diego-Mantecón, J. M., Recio, T., Búa, J. B., Blanco, T. F., González, M. J., y Polo, I. (2017). Kids Inspiring Kids for STEAM (KIKS). En T. Dooley y G. Gueudet (Eds.), *Proceedings of the Tenth Congress of the European Society for Research in Mathematics Education (CERME10)* (pp. 1676-1677). DCU Institute of Education & ERME.
- Kang, N. H. (2019). A review of the effect of integrated STEM or STEAM (science, technology, engineering, arts, and mathematics) education in South Korea. *Asia-Pacific Science Education*, 5(1), 1-22. <https://doi.org/10.1186/s41029-019-0034-y>

- Kelley, T. R. y Knowles, J. G. (2016). A conceptual framework for integrated STEM Education. *International Journal of STEM education*, 3(1), 1-11. <https://doi.org/10.1186/s40594-016-0046-z>
- Kwon, H., Capraro, R. M. y Capraro, M. M. (2021). When I believe, I can: Success STEMs from my perceptions. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 21(1), 67-85. <https://doi.org/10.1007/s42330-020-00132-4>
- Lasa, A., Abaurrea, J. y Iribas, H. (2020). Mathematical content on STEM activities. *Journal on Mathematics Education*, 11(3), 333-346. <https://doi.org/10.22342/jme.11.3.11327.333-346>
- Li, Y. y Schoenfeld, A. H. (2019). Problematizing teaching and learning mathematics as “given” in STEM education. *International Journal of STEM Education*, 6(1), 1-13. <https://doi.org/10.1186/s40594-019-0197-9>
- Lu, X. y Kaiser, G. (2022). Creativity in students’ modelling competencies: Conceptualisation and measurement. *Educational Studies in Mathematics*, 109(2), 287-311. <https://doi.org/10.1007/s10649-021-10055-y>
- Macías, C. F. M., Meneses-Villagrà, J. À. y Caballero-Sahelices, M. C. (2020). Aprendizaje basado en proyectos como estrategia para aprender sobre electricidad: estudio de caso en una escuela rural colombiana. *Investigações Em Ensino De Ciências*, 25(3), 145-161. <https://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2020v25n3p145>
- Margot, K. C. y Kettler, T. (2019). Teachers’ perception of STEM integration and education: A systematic literature review. *International Journal of STEM Education*, 6, 2. <https://doi.org/10.1186/s40594-018-0151-2>
- 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/sc.21522>
- Ministerio de Educación y Formación Profesional [MEFP]. (2022). Real Decreto 217/2022, de 29 de marzo, por el que se establece la ordenación y las enseñanzas mínimas de la Educación Secundaria Obligatoria. *Boletín Oficial del Estado*, (76), 41571-41789.
- Nguyen, K. A., Borrego, M., Finelli, C. J., DeMonbrun, M., Crockett, C., Tharayil, S., Shekhar, P, Waters, C. y Rosenberg, R. (2021). Instructor strategies to aid implementation of active learning: a systematic literature review. *International Journal of STEM Education*, 8. <https://doi.org/10.1186/s40594-021-00270-7>
- Niss, M., Bruder, R., Planas, N., Turner, R. y Villa-Ochoa, J. A. (2017). Conceptualisation of the role of competencies, knowing and knowledge in mathematics education research. En G. Kaiser (Ed.), *Proceedings of the 13th International Congress on Mathematics Education* (pp. 235-248). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-62597-3_15
- Ortiz-Laso, Z. (2020). STEAM activities with KIKS format. En P. R. Richard, S. Van Vaerenbergh y M. P. Vélez (Eds.), *First Symposium on Artificial Intelligence for Mathematics Education. Book of Abstracts (AI4ME 2020)* (pp. 6-7). Universidad de Cantabria.
- Potari, D., Psycharis, G., Spiliotopoulou, V., Triantafyllou, C., Zachariades, T. y Zoupa, A. (2016). Mathematics and science teachers’ collaboration: searching for common grounds. En C. Csíkos, A. Rausch, y I. Sztányi (Eds.), *Proceedings of the 40th conference of the international group for the psychology of mathematics education* (pp. 91-98). PME.
- Quigley, C. F., Herro, D., Shekell, C., Cian, H. y Jacques, L. (2020). Connected learning in STEAM classrooms: Opportunities for engaging youth in science and math classrooms. *International*

Journal of Science and Mathematics Education, 18(8), 1441-1463. <https://doi.org/10.1007/s10763-019-10034-z>

- Sevimli, E. y Ünal, E. (2022). Is the STEM approach useful in teaching mathematics? Evaluating the Views of Mathematics Teachers. *European Journal of STEM Education*, 7(1), 01. <https://doi.org/10.20897/ejsteme/11775>
- Stinson, K., Harkness, S. S., Meyer, H. y Stallworth, J. (2009). Mathematics and science integration: Models and characterizations. *School Science and Mathematics*, 109(3), 153-161. <https://doi.org/10.1111/j.1949-8594.2009.tb17951.x>
- Tseng, K. H., Chang, C. C., Lou, S. J. y Chen, W. P. (2013). Attitudes towards science, technology, engineering and mathematics (STEM) in a project-based learning (PjBL) environment. *International Journal of Technology and Design Education*, 23(1), 87-102. <https://doi.org/10.1007/s10798-011-9160-x>
- Toma, R. B. y García-Carmona, A. (2021). «DeSTEMnos gusta todo menos STEM». Análisis crítico de una tendencia educativa de moda. *Enseñanza de las Ciencias*, 39(1), 65-80. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3093>
- 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), 02. <https://doi.org/10.20897/ejsteme/85525>
- Ubuz, B. (2020). Examining a technology and design course in middle school in Turkey: Its potential to contribute to STEM Education. En J. Anderson y Y. Li (Eds.), *Integrated approaches to STEM Education: An international approach* (pp. 295-312). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-52229-2_16