

Poniedo la ingeniería sobre la mesa: una actividad STEAM de ingeniería inversa y matemáticas

Putting engineering on the table: a STEAM activity of reverse engineering and mathematics

Colocando a engenharia sobre a mesa: uma atividade STEAM de engenharia reversa e matemática

Jefferson Rodrigues-Silva

Instituto Federal de Minas Gerais, Departamento de Ingeniería Mecánica, Arcos, Minas Gerais, Brasil; Universidad de Girona, Girona, España.

jeffe.rodri@gmail.com.br | <https://orcid.org/0000-0002-8334-2107>

Marcela Silva-Hormazábal

Universidad Austral de Chile, Puerto Montt, Los Lagos, Chile; Universidad de Girona, Girona, España.

marcela.silva@uach.cl | <https://orcid.org/0000-0002-1955-1633>

Ángel Alsina

Universidad de Girona, Departamento de Didácticas Específicas, Girona, Cataluña, España.

angel.alsina@udg.edu | <https://orcid.org/0000-0001-8506-1838>

Resumen

Se explora la ingeniería inversa como una estrategia didáctica para la interdisciplinariedad entre la ingeniería y las matemáticas en educación primaria. En la primera parte, se fundamenta teóricamente la educación STEAM y el Aprendizaje Basado en el Diseño (ABD) en el sentido de la ingeniería inversa. En la segunda parte, se presenta el diseño de una actividad STEAM en la que los estudiantes hacen ingeniería inversa de una mesa y seleccionan materiales de un catálogo a partir de condiciones restrictivas de medida, precio y sostenibilidad. Además, se exponen los resultados de su implementación a 23 estudiantes de una escuela de Girona, España. Se ha evidenciado que la actividad es pedagógicamente potente en cuanto al aprendizaje de las matemáticas y de la ingeniería. Su simplicidad y factibilidad de reproducción (se proporciona una guía en formato editable) ayuda al profesorado a entender que la ingeniería no está limitada a planteamientos complejos y costosos.

Palabras clave: Ingeniería inversa. Resolución de problemas. Sostenibilidad. Educación STEAM. Educación primaria.

Abstract

Reverse engineering is explored as a didactic strategy for interdisciplinary between engineering and mathematics in primary education. In the first part, we theoretically scaffold STEAM education and Design-Based Learning (DBL) in the sense of reverse engineering. In the second part, we present a STEAM activity plan in which students do reverse engineering of a table and then select materials from a catalogue with restrictive demands of dimensions, price and sustainability. The description of this activity is accompanied by the results of its implementation with 23 students from a Spanish school in Girona. The activity is shown to be pedagogically powerful in learning mathematics and engineering. Its simplicity and reproducibility (we provide a worksheet in an editable format) help teachers to understand that engineering is not limited to complex and costly approaches.

Keywords: Reverse engineering. Problem solving. Sustainability. STEAM education. Primary education.

Resumo

Explora-se a engenharia reversa como estratégia didática para a interdisciplinaridade entre engenharia e matemática no ensino fundamental. Numa primeira parte, fundamenta-se teoricamente a educação STEAM e a Aprendizagem

Artigo recebido em: 15/09/2022 | Aprovado em: 22/06/2023 | Publicado em: 21/12/2023

Como citar:

SILVA, Jefferson Rodrigues; HORMAZÁBAL, Marcela Silva; ALSINA, Ángel. Poniedo la ingeniería sobre la mesa: una actividad STEAM de ingeniería inversa y matemáticas. *Pesquisa e Debate em Educação*, Juiz de Fora: UFJF, v. 13, p. 1-19, e38877, 2023. ISSN 2237-9444. DOI: <https://doi.org/10.34019/2237-9444.2023.v13.38877>.

Baseada em Design (ABD) no sentido de engenharia reversa. Numa segunda parte, apresenta-se o planejamento didático de uma atividade STEAM em que os alunos fazem engenharia reversa de uma mesa e selecionam materiais de um catálogo com demandas restritivas de medidas, preço e sustentabilidade. A descrição dessa atividade é acompanhada dos resultados da sua execução a 23 alunos de uma escola de Girona na Espanha. Demonstrou-se que essa atividade é pedagogicamente potente em termos de aprendizagem de matemática e engenharia. Sua simplicidade e reprodutibilidade (fornece-se a guia de aprendizagem em formato editável) ajudam os professores a entenderem que a engenharia não se restringe a abordagens complexas e caras.

Palavras-chave: Engenharia reversa. Solução de problemas. Sustentabilidade. Educação STEAM. Ensino fundamental.

1 Introdução

A medida que el mundo se desarrolla tecnológicamente, la sociedad se integra a la ingeniería y sus tecnologías. Este fenómeno genera una necesidad de comprensión del individuo sobre la ingeniería en conexión con otras áreas de conocimiento (MOORE *et al.*, 2014) para que pueda entender, vivir y actuar (transformar) sobre este mundo. Desde esta perspectiva, cobran relevancia pedagogías de enfoque interdisciplinar como la educación STEM (interdisciplinariedad entre Ciencias, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas) y la educación STEAM, que considera también las Artes y Humanidades dentro del acrónimo (PERIGNAT; KATZ-BUONINCONTRO, 2019).

Estos abordajes interdisciplinares van conquistando espacio en la investigación educativa y en los currículos de países como Estados Unidos (NGSS, 2013) y Corea (JEONG; KIM; TIPPINS, 2019). Siguiendo esta línea, España ha explicitado recientemente competencias interdisciplinares STEM en su currículo de educación primaria (MEFP, 2022). Las propuestas curriculares que establecen competencias STEM/STEAM han introducido una disciplina tradicionalmente no considerada en los currículos de las primeras edades, la ingeniería, promoviendo así el acercamiento a la ingeniería temprana en el contexto escolar (MOORE *et al.*, 2014; RODRIGUES-SILVA; ALSINA, 2023).

En consecuencia, esta innovación curricular requiere un planteamiento metodológico acorde al desarrollo del pensamiento de diseño de ingeniería. En este contexto, se ha difundido el Aprendizaje Basado en el Diseño (ABD) como una metodología apropiada para la enseñanza-aprendizaje del diseño de ingeniería (LADACHART *et al.*, 2022). No obstante, esta metodología tiene dos abordajes o líneas diferentes dependiendo del objetivo que persiga:

- a) Ingeniería directa: se explora un problema con el objetivo de desarrollar una solución de ingeniería, como es el diseño y construcción de un producto (YOUNIS; TUTUNJI, 2012).
- b) Ingeniería inversa: se analiza de forma retrospectiva un producto existente para entender su proceso de diseño, función y el problema al que responde (LADACHART *et al.*, 2021, 2022; YOUNIS; TUTUNJI, 2012; ZHONG; KANG; ZHAN, 2021),

Si bien la *ingeniería directa* parece ser el sentido más natural de la ingeniería, algunos investigadores han apostado por el ABD en el sentido de la *ingeniería inversa* como primer acercamiento al pensamiento de diseño (LADACHART *et al.*, 2022; YOUNIS; TUTUNJI, 2012). Esto debido a que el sentido

de *ingeniería inversa* (del concreto al abstracto) posibilita construir la base de la competencia de diseño con la cual, posteriormente, desarrollar actividades de *ingeniería directa* (LADACHART *et al.*, 2022).

No obstante, la ingeniería en el contexto escolar ha sido poco investigada e implementada debido a que, tal como se ha mencionado anteriormente, su incorporación en el currículo ha sido reciente y focalizada en algunos países. Por ende, lo mismo sucede con la ingeniería inversa, la cual a pesar de las evidencias de su potencialidad (LADACHART *et al.*, 2022), aún no ha sido suficientemente explorada a nivel escolar. Consecuentemente, se puede afirmar que faltan experiencias de ingeniería temprana general y de ingeniería inversa en particular en conexión con las matemáticas. Tampoco hay muchos estudios que expliquen cómo adecuarla a los niveles educativos iniciales (ATA-AKTÜRK; DEMIRCAN, 2021). Además, generalmente los profesores desconocen y tienen preconcepciones sobre ingeniería que les desmotiva a considerarla en sus clases (HAMMACK; VO, 2019).

Considerando estos antecedentes, el objetivo de este artículo es explorar la ingeniería inversa como una estrategia didáctica para la interdisciplinariedad entre la ingeniería y las matemáticas en educación primaria. Para ello, se presenta el planteamiento e implementación de una actividad STEAM de ingeniería inversa de una mesa y posterior selección de materiales de un catálogo con condiciones restrictivas de medida, precio y sostenibilidad.

2 Marco teórico

En este apartado, se presentan brevemente los marcos teóricos sobre la educación STEAM y las conexiones entre ingeniería y matemática a través de la resolución de problemas e ingeniería inversa.

2.1 La educación STEAM

El enfoque STEAM es un abordaje educativo que se fundamenta en la premisa de una educación basada en la interdisciplinariedad de las Ciencias, Tecnología, Ingeniería, Artes y Matemáticas (PERIGNAT; KATZ-BUONINCONTRO, 2019). En su desarrollo, se ha observado como este abordaje tiene la intención de incorporar áreas del conocimiento que tienen un papel central en la sociedad actual – ingeniería y tecnología – pero que generalmente no eran consideradas en los currículos de educación primaria (MOORE *et al.*, 2014).

Acorde a la contemporaneidad, STEAM ha sido empapada de una serie de direccionamientos, generalmente desde un prisma socioconstruivista, como lo son el aprendizaje activo, colaborativo, auténtico, significativo y lúdico (SCHLESINGER *et al.*, 2020; ZOSH *et al.*, 2018). Así también, se ha situado bajo metodologías de enseñanza activas como el Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) y el Aprendizaje Basado en Diseño (ABD) (LADACHART *et al.*, 2022), para la implementación de STEAM.

Diversas investigaciones defienden la aproximación interdisciplinar como una necesidad para abordar la comprensión y solución de problemas de manera creativa, que permitan avanzar hacia una transformación de la sociedad (FLORENTINO; RODRIGUES, 2015; POLITI, 2019). Al respecto, una revisión bibliográfica realizada por Marín-Marín *et al.* (2021) indican que STEAM sigue en

proceso de consolidación como línea de investigación. Sin embargo, este mismo estudio evidenció la estabilidad del constructo creatividad en las investigaciones de STEAM desde su creación en 2007.

2.2 Conexión entre ingeniería y matemáticas en la competencia de diseño de ingeniería

Se aboga que, en la educación STEAM, todas las áreas del acrónimo deben ser consideradas como un todo, pero que en el ámbito de una actividad singular STEAM la interdisciplinariedad puede ocurrir a partir de al menos dos disciplinas (PERIGNAT; KATZ-BUONINCONTRO, 2019; RODRIGUES-SILVA; ALSINA, 2023). Esta configuración permite establecer vínculos más genuinos entre las disciplinas. En este marco, un primer argumento a favor de la interdisciplinariedad entre ingeniería y matemática es que esta conexión surge de manera auténtica desde la infancia (PARK; PARK; BATES, 2018). En esta línea, se ha documentado que los niños presentan una curiosidad y creatividad innata que les permiten explorar el mundo de manera holística: para investigar su naturaleza (esencia científica); para razonarlo (esencia matemática) y para transformarlo de alguna forma (esencia ingenieril) (ATA-AKTÜRK; DEMIRCAN, 2021). De acuerdo con esta idea, Bagiati y Evangelou (2016) observaron que, durante el juego libre de construcción con bloques, niños de tres a cinco años muestran comportamientos precursores del pensamiento de ingeniería: identifican necesidades y problemas, establecen metas, prueban soluciones y colaboran entre sí. Además, muestran comportamientos precursores del álgebra temprana a través del reconocimiento de patrones repetitivos y la construcción de estos con un núcleo de repetición sencillo (INCHAUSTEGUI; ALSINA, 2020).

En este escenario, es posible observar cómo estos contextos integradores posibilitan el desarrollo de habilidades como la resolución de problemas. Al respecto, el Consejo Nacional de Profesores de Matemáticas (*National Council of Teachers of Mathematics*, NCTM) sitúa esta habilidad como un eje transversal en el aprendizaje de las matemáticas, a partir del que los estudiantes deberían “construir nuevos conocimientos a través de la resolución de problemas; resolver problemas que surjan de las matemáticas y de otros contextos” (NCTM; 2000, p. 55). En particular, la resolución de problemas de ingeniería fomenta el pensamiento creativo ya que, durante el diseño de ingeniería, el alumnado debe ejercitar su creatividad al considerar una larga lista de restricciones para solucionar un problema (WULF, 2001). Asimismo, este tipo de actividad se vincula con la Educación para el Desarrollo Sostenible (EDS) (UNESCO, 2017), por ejemplo, al observar, reflexionar y tomar decisiones sobre los desperdicios asociados a la producción ingenieril.

2.3 Ingeniería inversa

El Aprendizaje Basado en el Diseño (ABD) es defendido como una metodología de enseñanza activa que permite el desarrollo de la competencia de resolución de problemas, en específico el diseño de ingeniería. Esta competencia reúne características importantes, tales como pensamiento crítico y creatividad para proponer, experimentar, evaluar soluciones bajo restricciones y controlar riesgos considerando la relación compleja de problema-solución. Adicionalmente, promueve actitudes como la empatía para entender los problemas de los demás y

la tolerancia frente a la ambigüedad (LADACHART *et al.*, 2022; YOUNIS; TUTUNJI, 2012).

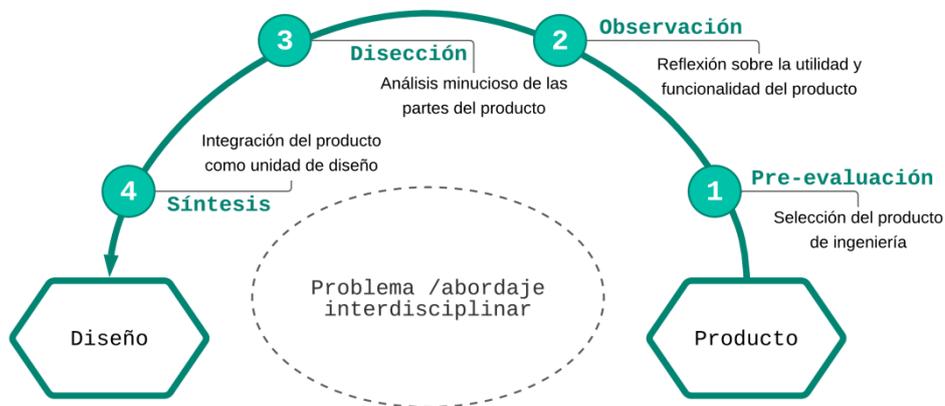
La implementación de metodologías de ABD usualmente se da en el sentido de ingeniería directa, es decir, el alumnado parte de un problema para luego desarrollar el diseño de un producto o sistema (solución de ingeniería) (LADACHART *et al.*, 2022). Sin embargo, el alumnado suele tener dificultades para llevar a cabo este tipo de actividad, debido a que las tareas de diseño propuestas requieren aplicar la competencia de diseño, que no ha sido desarrollada previamente (ZHONG; KANG; ZHAN, 2021). Las dificultades detectadas han puesto de manifiesto la necesidad de que el alumnado comprenda previamente el diseño de productos ya existentes, particularmente respecto a la ingeniería temprana, para luego estar en condiciones de hacer sus propios diseños. Este proceso se denomina ingeniería inversa, que permite observar y analizar un producto en concreto para, de manera retroactiva, llegar a un diseño que responde a un problema de ingeniería (LADACHART *et al.*, 2022; ZHONG; KANG; ZHAN, 2021).

De esta forma, como punto de partida de la ingeniería inversa, se establece la manipulación de objetos concretos avanzando hacia la abstracción en forma de diseño de ingeniería (SCHELLINGER; JABER; SOUTHERLAND, 2022). Este panorama permite establecer conexiones entre la ingeniería inversa y la modelación matemática, pues parte de una situación del mundo real, el objeto de ingeniería, y luego se convierte en un modelo matemático, el diseño de ingeniería. Al respecto, Alsina y Salgado (2021) argumentan que la modelización matemática puede ser introducida en el aula desde la educación infantil. A su vez, Ladachart *et al.* (2021) exponen ventajas de la ingeniería inversa relacionadas con su capacidad de transformar la visión del alumnado respecto al origen de los productos: se parte de la idea previa de generación espontánea de los objetos, hacia una consciencia de los procesos intelectuales que conllevan los productos de diseños de ingeniería (LADACHART *et al.*, 2021).

Respecto a los modelos de ingeniería inversa, algunos autores consideran diversas etapas que van desde una pre-evaluación del producto existente hasta su diseño, rediseño y construcción de un nuevo producto (YOUNIS; TUTUNJI, 2012). Sin embargo, la ingeniería inversa sumada a la actividad de rediseñar ya podría ser interpretada como una extensión de ingeniería directa. Además, otras investigaciones han apuntado que el diseño de un nuevo producto puede no ser factible o pertinente cuando se trabaja con niños más pequeños (LADACHART *et al.*, 2021, 2022).

Por lo tanto, en esta investigación se propone un modelo de ingeniería inversa para ABD adecuado a la ingeniería temprana. Este modelo propone cuatro fases de la ingeniería inversa: a) *pre-evaluación*, se selecciona el producto de ingeniería (objeto concreto); b) *observación*, se visualiza el producto en su unidad, reflexionando sobre su utilidad y funcionalidad; c) *dissección*, se analiza minuciosamente las partes del producto: función, dimensión, material, etc.; y d) *síntesis*, donde se concibe el producto como una unidad integrada, pero de forma abstracta como un diseño del producto (Figura 1).

Figura 1: Modelo de ingeniería inversa



Fuente: elaboración propia.

En el desarrollo de las fases se potencia la conciencia sobre la existencia, función y cómo cada componente trabaja en conjunto para garantizar que el producto cumpla su funcionalidad respecto al problema. Además, es importante que todas las fases de ingeniería inversa se desarrollen en torno a un problema y un abordaje interdisciplinar. Por último, es necesario aclarar que estas fases tienden a ocurrir en el orden presentado, pero son dinámicas e iterativas.

3 Propuesta de actividad STEAM: ingeniería inversa de una mesa

En esta sección se presenta la fundamentación, el planteamiento y la descripción de la una actividad STEAM, explicitando las etapas necesarias para llevarla a cabo. Además, se complementa esta descripción con resultados de implementación en un grupo de 23 estudiantes de quinto curso de primaria (10-11 años), de una escuela de primaria de Girona (España). Finalmente, se hace una evaluación de la actividad con base en criterios de calidad para la enseñanza de ingeniería en esta etapa.

En relación con las características del grupo participante, según los datos aportados por la escuela, estos estudiantes poseen un nivel medio de comprensión lectora y un nivel medio de comprensión matemática. Para esta investigación, se han considerado datos de sólo 18 estudiantes, quienes aceptaron de forma voluntaria participar en esta investigación y sus padres o tutores firmaron el consentimiento de registro de audio e imágenes y el uso de sus producciones.

3.1 Fundamentación de la actividad

La actividad *Ingeniería inversa de una mesa* comparte elementos de la propuesta Zapato y Metro de Reggio Emilia, donde estudiantes de educación infantil aplican conocimientos sobre unidades de medida no convencionales para diseñar una mesa bajo la consigna: *construcción de una mesa idéntica a la mostrada en la clase* (NOVO, 2019). Con respecto a la gestión del aula, se propone la utilización del modelo de interacción maestro-estudiantes ofrecido por el programa

Activando la Resolución de Problemas en las Aulas (ARPA) que incluye cuatro momentos: entrega, activación, consolidación y discusión (PERDOMO-DÍAZ; FELMER, 2017). Estos momentos son mencionados a lo largo de la descripción de la actividad.

3.2 Planteamiento de la actividad

A continuación, en la Tabla 1 se presenta el planeamiento de la actividad. Para ello, se han considerado las preguntas de diseño didáctico para actividades STEM de Aguilera *et al.* (2022), así como también, el currículo español (MEFP, 2022) y el modelo de enseñanza de ingeniería en la educación primaria propuesto por Moore *et al.* (2014).

Tabla 1: Preguntas y diseño didáctico para sesión STEAM.

Pregunta	Diseño didáctico
¿Para qué?	Objetivo: Resolver problemas no rutinarios por medio de la ingeniería inversa de un objeto concreto
¿Qué?	<p>Contenidos de matemáticas (grandes ideas-ejes): Medición: unidades de medida de longitud, conversión. Números: naturales y decimales – sistema monetario. Operaciones: adición, división, multiplicación.</p> <p>Contenidos de ingeniería: Dibujo técnico: cotas. Mecanismos de unión: tornillos y soldadura. Selección de materia prima. Cálculo de presupuesto de un proyecto de ingeniería.</p> <p>Competencias Específicas Matemáticas (CEM) (MEFP, 2022): Interpretar situaciones de la vida cotidiana, proporcionando una representación matemática de las mismas (CEM1). Resolver situaciones problematizadas, aplicando diferentes técnicas, estrategias y formas de razonamiento (CEM2). Reconocer y utilizar conexiones entre las diferentes ideas matemáticas, así como identificar las matemáticas implicadas en otras áreas o en la vida cotidiana (CEM5). Comunicar y representar, procedimientos y resultados matemáticos (CEM6). Desarrollar destrezas sociales, participando activamente en equipos de trabajo heterogéneos con roles asignados (CEM8).</p> <p>Competencias específicas de ingeniería (MOORE <i>et al.</i>, 2014): Diseño de ingeniería. Entender un objeto como un producto de ingeniería, observando sus diferentes partes y elementos de unión. Representar gráficamente las partes de un objeto con cotas. Tomar de decisiones de ingeniería ponderando sobre situaciones restrictivas y o contradictorias.</p> <p>Competencias interdisciplinarias (MEFP, 2022): Competencia STEM3. Realiza, de forma guiada, proyectos, diseñando, fabricando y evaluando diferentes prototipos o modelos, adaptándose ante la incertidumbre, para generar en equipo un producto creativo con un objetivo concreto, procurando la participación de todo el grupo y resolviendo pacíficamente los conflictos que puedan surgir.</p>

	Competencia ciudadana CC4. Comprende las relaciones sistémicas entre las acciones humanas y el entorno, y se inicia en la adopción de estilos de vida sostenibles, para contribuir a la conservación de la biodiversidad desde una perspectiva tanto local como global.
	Producto: Propuesta de una mesa según condiciones requeridas en un reto de ingeniería.
	Prácticas STEAM: Conexiones de ingeniería y matemáticas.
¿Cómo?	Contexto: Problema ficticio (reto) pero asociado a elementos cotidianos (una mesa).
	Evaluación: Colaborar en el reparto de tareas, asumiendo y respetando las responsabilidades individuales asignadas y empleando estrategias de trabajo en equipo sencillas dirigidas a la consecución de objetivos compartidos. Comunicar en diferentes formatos las conjeturas y procesos matemáticos, utilizando lenguaje matemático adecuado. Desarrollar estrategias de solución de un reto de ingeniería, seleccionando entre varias posibilidades de respuesta.
	Cooperación: Los estudiantes trabajan en equipos y a partir de juego de roles.
	Co-enseñanza de equipo: Profesor de matemáticas y de ingeniería (FRIEND; COOK, 2017).

Fuente: elaboración propia.

3.3 Descripción y análisis de la actividad

A continuación, en la Tabla 2 se presenta el panorama general de la sesión.

Tabla 2: Panorama general de la sesión

Actividad: Ingeniería inversa de una mesa		Nivel: Quinto curso de educación primaria (10 a 11 años)
Metodología: Aprendizaje Basado en el Diseño – sentido de Ingeniería inversa	Enfoque: Educación STEAM centrada en las áreas de matemáticas e ingeniería	Finalidad: Resolver problemas no rutinarios (reto de ingeniería).
Tiempo de ejecución: 90 minutos	Materiales: Objeto de observación (mesa), cinta métrica, identificadores de roles, fichas de trabajo (material complementario).	Producto final: Diseño a partir de la ingeniería inversa de un objeto del entorno.

Fuente: elaboración propia.

3.3.1 Actividad previa

En una sesión anterior, se invita a los estudiantes a descubrir la ingeniería presente en su hogar y a hablar sobre ella con sus familiares.

3.3.2 Fase de inicio: discusión sobre la ingeniería (10 minutos)

Se empieza la actividad con una discusión en torno a la pregunta ¿qué productos de ingeniería han observado en su hogar? Luego, se les plantea la pregunta ¿qué elementos u objetos de esta clase creen que tienen ingeniería? Posteriormente, mostrando una mesa, se les pregunta qué hay de ingeniería en ella y se exploran las diversas ideas.

Durante la implementación de esta actividad, se ha observado que los estudiantes son conscientes de la existencia de objetos que son producto de ingeniería en sus hogares como mesas, sillas y ordenadores. Un estudiante, por ejemplo, menciona “es que toda mi casa es ingeniería... es que todo el edificio tiene ingeniería” (Est.01).

Siguiendo las reflexiones anteriores, se les pregunta ¿qué es la ingeniería? Considerando sus respuestas, se sugiere que la ingeniería se dedica a la transformación de recursos de la naturaleza para el bienestar humano. Seguidamente, se enfatiza que las personas ingenieras necesitan conocimientos y habilidades de diversas áreas del conocimiento, como las matemáticas y las ciencias, para el diseño productos de ingeniería que solucionen problemas de la sociedad. Para ello, se necesita la creatividad ya que estos problemas suelen involucrar múltiples restricciones como peso, tamaño y precio (WULF, 2001).

Esta aclaración previa es importante porque diversas investigaciones apuntan que los niños pueden presentar ideas equivocadas o estereotipadas en torno a la ingeniería (CHOU; CHEN, 2017; SILVA-HORMAZÁBAL; RODRIGUES-SILVA; ALSINA, 2022).

3.3.3 Fase de desarrollo: desafío de ingeniería (60 minutos)

En esta fase, se les motiva a convertirse en ingenieros e ingenieras y se presenta el reto:

Figura 2: Reto propuesto en la actividad

“La escuela quiere comprar 10 nuevas mesas para los estudiantes, para ello ha pedido a empresas de ingeniería que le entreguen un presupuesto. Estas mesas deben cumplir 3 criterios para ser aprobadas:

- *Medidas iguales a las mesas actuales*
- *precio conveniente*
- *sostenibilidad (evitar desperdicio de materia prima)”*

Fuente: elaboración propia

Los estudiantes son organizados en equipos de cuatro a seis integrantes que representan empresas de ingeniería. Cada uno elige libremente un rol (metrología, diseño, finanzas-cálculo, organización, portavoz y registro de procedimientos) y se identifica con una credencial, tal como se ve en la figura 3. El maestro enfatiza que todos los integrantes deben aportar ideas y apoyar las diferentes funciones.

Figura 3: Niña con credencial rol de metrología



Fuente: elaboración propia.

Se inicia la ingeniería inversa con la fase de *pre-evaluación*. En un primer momento, el maestro selecciona el objeto de estudio y en actividades posteriores existe la posibilidad de que el alumnado mismo pre-evalúe un objeto de su interés. En específico, en esta actividad se estudia la mesa por ser un objeto simple y del contexto cercano de los estudiantes. En cuanto a la gestión del aula, se realiza la *activación*, donde “la interacción del docente con los grupos es solo a través de preguntas” (PERDOMO-DÍAZ; FELMER, 2017, p. 434).

Luego, durante la segunda fase de *observación*, se explora el objeto. Como se presenta en la Figura 4, los estudiantes examinan la mesa como un todo y discuten su funcionalidad.

Figura 4: Estudiantes examinan el objeto de estudio (fase de observación)

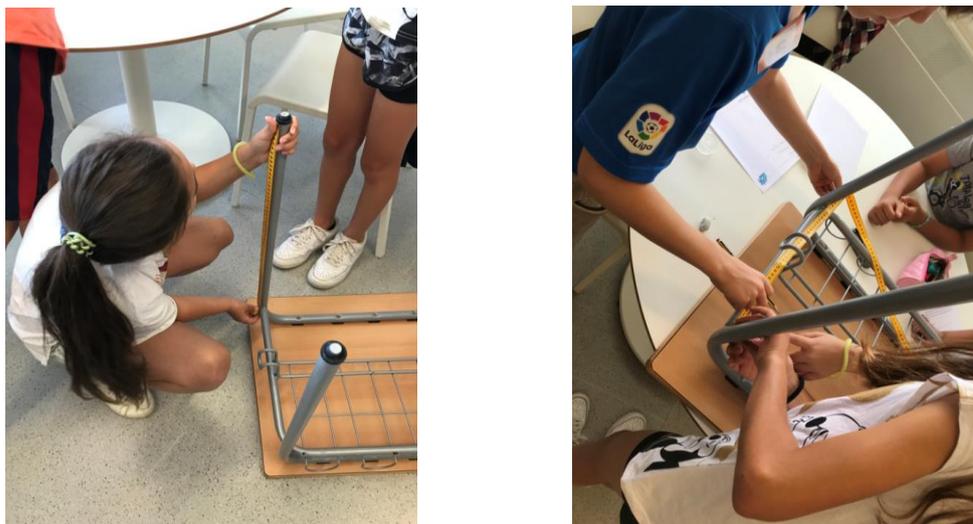


Fuente: elaboración propia.

En la tercera fase de ingeniería inversa, la *dissección*, los estudiantes analizan las partes que constituyen la mesa, incluyendo los materiales con los que

se ha elaborado y cómo estas partes están unidas. Tal como se observa en la Figura 5, los estudiantes toman medidas para luego discutirlos. Se destaca que, en la parte izquierda, una niña mide la pata en dirección vertical, mientras que en la derecha de la figura un alumno mide la curvatura del componente.

Figura 5: Medición de los componentes de la mesa. Izquierda: una niña midiendo el largo de una pata de la mesa. Derecha: un niño midiendo el soporte entre las patas.



Fuente: elaboración propia.

Algunos diálogos del alumnado evidencian la disección de la mesa y la consciencia de sus componentes. Por ejemplo, una estudiante menciona “las patas, los tubos laterales y la tabla de madera... el perímetro de la mesa” (Est.02). Respecto a la ingeniería, un alumno hace alusión a elementos de unión cuando dice “los clavos aguantan las patas de la mesa, juntan las patas con la mesa” (Est.03). Además, un alumno logra identificar la función mecánica de una parte de la mesa que, en un primer momento, no sabía nombrar, “...esa cosa rara, su función es aguantar la mesa...” (Est.04).

Posteriormente, en la fase *síntesis*, identifican como las partes trabajan juntas para constituir la unidad del objeto mesa. Una vez realizado el diseño de la mesa (conciencia de los elementos que la constituyen), movilizan conocimientos y habilidades de ingeniería y matemáticas para evaluar un catálogo de materia prima, incorporado a la ficha de trabajo, verificando qué materiales cumplen con los criterios preestablecidos en el reto. Este catálogo tiene opciones de compra de materiales que presentan restricciones contradictorias, que permiten múltiples respuestas según qué atributos se prioricen. Por ejemplo, una mesa que saldría más barata podría estar asociada a mucho desperdicio de material. Por lo tanto, la calidad de la respuesta dependerá de los argumentos utilizados por ellos.

En este proceso, los estudiantes realizan cálculos matemáticos diversos, aplican estrategias propias y habilidades matemáticas, como la representación, para solucionar el problema. En este sentido, es posible agregar algunas observaciones de los estudiantes, que tienen relación con conceptos como identificación del perímetro, comparación de precios, cálculos y estimación. Por ejemplo, “[para] la tabla de madera necesitamos calcular el perímetro de la mesa”

(Est.06); “A ver, tampoco es la más barata...” (Est.07); “Tenemos que multiplicar 322 por 10” (Est.08); “Lo que nos sobre lo vendemos. Entonces podemos hacer los cálculos de cuánto cuesta ese trozo y lo vendemos. ¿Puedo hacer los cálculos?” (Est.09). Se ejemplifica el uso de estrategias en la Figura 6, donde el estudiante utiliza la representación para la resolución de problemas.

Figura 6: Niño representado las mesas por medio de rectángulos



Fuente: elaboración propia.

Luego, considerando los criterios pre-establecidos en el reto (medidas idénticas a las mesas, precio conveniente y sostenibilidad), los estudiantes eligen las opciones de madera y tubos, para entonces calcular el presupuesto.

Una vez que el equipo considere haber resuelto el reto, el maestro se acerca y verifica que todos los miembros están de acuerdo y que han comprendido la consigna del reto. Esta fase de gestión del reto se denomina *consolidación* y se “considera resuelto cuando todos los miembros del grupo están de acuerdo con la(s) solución(es) obtenida(s)” (PERDOMO-DÍAZ; FELMER, 2017, p. 432).

3.3.4 Fase de cierre: argumentación sobre el diseño de ingeniería (20 minutos)

Una vez que los estudiantes concluyen su propuesta de diseño, cada integrante del equipo aporta un argumento de las decisiones tomadas. De esta forma, se elabora una argumentación consensuada que explica su diseño según la premisa: dimensión, precio y sostenibilidad. Finalmente, se implementa el último momento de la gestión del reto, la *discusión*, en ella el alumno cuyo rol es portavoz o coordinador, presenta el diseño y argumento para toda la clase.

Entre los argumentos aportados por los estudiantes, podemos destacar algunos en los cuales manifiestan estrategias de uso de los residuos, por ejemplo: “elegimos la [opción de madera] D, porque cada cinco tablas de D, con los restos podemos hacer otra. En tubos, tomaremos siete de la [opción de tubo] A y como nos queda tubo, los trozos los usamos para otra mesa” (Est.10). En esta respuesta, se evidencia el manejo de unidades cuadradas como precursor del concepto de

área, que aún no había sido formalizada. Por otro lado, si bien la respuesta es correcta matemáticamente y cumple con los criterios, la estrategia implicaría múltiples soldaduras para unir cada segmento de tubo. Esto es económicamente inviable; además, la estructura de la mesa tendría baja resistencia mecánica y sería poco estética.

En cambio, otro grupo toma la decisión de unir los sobrantes de madera para la construcción de la décima mesa para, de esta forma, ser más sostenibles y rentables, pero sin olvidar la estética. Ellos argumentan: “[elegimos la opción de madera] D, porque compramos 9 y nos sobran 9 partes. Nos da una mesa y nos sobran tres partes. Hacemos una mesa con esas partes y ya tenemos las 10 [mesas]. Le vamos a poner una capa fina para que no se vean las uniones” (Est.04). Esto evidencia que los alumnos relacionan el cálculo matemático con su significado físico. Ellos son conscientes de que la suma de las partes de madera genera una mesa con discontinuidad de la superficie.

En lugar de usar los restos para la fabricación de una mesa, también se ha observado la estrategia de venderlos para recuperar el dinero: “hemos elegido la [opción de madera] B porque entra en la medida [requerida] y nos sobra diez [unidades cuadradas] y lo vamos a recortar y nos saldría más barato. Lo que sobra lo vendemos en dos euros. El metal es [la opción] A y como nos sobran 110 cm, lo venderemos por 29 euros. Es sostenible porque no gastamos mucho y lo que nos sobra lo vendemos” (Est.11). En esta respuesta, es posible observar que han calculado el precio proporcional por cumplimiento y por unidades cuadradas. Durante la presentación de argumentos, también surgen elementos éticos en la discusión sobre precio – sostenibilidad. Ante ello, un grupo declara: “hemos decidido que es mejor ser sostenible que económico” (Est.05).

3.4 Evaluación de la actividad

El diseño e implementación de la actividad *Ingeniería inversa de una mesa* ha sido evaluada de acuerdo a los criterios del modelo de calidad de enseñanza de ingeniería en la educación básica propuesto por Moore *et al.* (2014). En este sentido, se describen algunos resultados respecto a cada criterio.

Proceso de diseño: este aspecto es central en la actividad que se desarrolla en torno a la ingeniería inversa, en el que el alumnado visualiza el proceso de diseño de manera retrospectiva, de lo concreto a lo abstracto, del producto hasta su diseño.

Concepciones sobre el área y la profesión de ingeniería: al inicio de la actividad se aclara brevemente que es la ingeniería. Sin embargo, idealmente, los estudiantes deben participar en actividades dedicadas a profundizar esta conceptualización y desarrollar ideas no estereotipadas sobre la ingeniería (SILVA-HORMAZÁBAL; RODRIGUES-SILVA; ALSINA, 2022).

Herramientas: la actividad permite que los estudiantes manipulen herramientas de medición (metrología), tales como la cinta métrica. El contexto auténtico provoca la necesidad de utilizar estas herramientas, por lo que cobra sentido para el estudiante.

Aplicación de conocimientos de otras disciplinas: la actividad gestiona la identificación autónoma y la utilización de conocimientos matemáticos previos

implicados en el contexto del problema. Si bien la propuesta no introduce conocimientos matemáticos nuevos, permite el desarrollo de competencias matemáticas en conexión con la ingeniería y la vida real.

Ética: se verifica este indicador principalmente en el momento en que los estudiantes deben tomar decisiones de sostenibilidad en el diseño de su propuesta. En este caso, suceden diversas situaciones, algunos olvidan este requisito y se centran inicialmente en que el precio sea el más conveniente. Mientras, otros deciden priorizar la preocupación ambiental en relación al precio.

Trabajo en equipo: la organización de los integrantes de los equipos por roles ha permitido definir responsabilidades, pero también desarrollar el sentido que el trabajo individual favorece el bien común del grupo. Además, el hecho de que todos los integrantes debían estar de acuerdo con los resultados o propuestas, permite velar que colaboren y estén involucrados en las decisiones.

Comunicación: si bien este indicador se potenció durante el transcurso de la actividad, toma mayor realce en el momento de cierre, ya que es cuando deben dar a conocer sus propuestas y argumentar sus decisiones. La comunicación es un factor clave, ya que el desafío permite múltiples respuestas y la calidad de la respuesta se mide a través de la argumentación de las ideas, en función del cumplimiento de los tres requerimientos de la actividad.

4 Consideraciones finales

En este artículo se ha presentado el diseño, implementación y evaluación de una actividad STEAM en educación primaria, a partir de la interdisciplinariedad entre la ingeniería y las matemáticas. Este objetivo responde a la necesidad de apoyar al profesorado en un área que está siendo recientemente incorporada a la educación primaria, lo cual supone un desafío para el docente (KIM; BOLGER, 2017).

En específico, se ha identificado que la actividad descrita permite el aprendizaje de conocimientos matemáticos, tales como nociones geométricas (unidades cuadradas y perímetro), medición y operaciones. Los participantes han mostrado conciencia de la relación entre operaciones y sus significados físicos. Por ejemplo, cuando suman unidades cuadradas de madera, pero sabiendo que esto se traduciría en discontinuidad de la superficie de la mesa. Además, se ha observado el desarrollo de habilidades de representación y resolución de problemas.

Respecto a la ingeniería inversa, los estudiantes han explorado la mesa en detalle y han logrado identificar sus componentes, la función de cada uno y los elementos de unión. Además, han desarrollado estrategias de diseño, sobre todo en la selección de materiales en un catálogo con condiciones restrictivas de medidas, precio y sostenibilidad. Este proceso pone en juego habilidades de resolución de problemas, creatividad y pensamiento crítico y ética. La argumentación final moviliza competencias de sostenibilidad y de ciudadanía para la adopción de estilos de vida sostenibles, lo cual va en directa relación con el actual marco regulatorio de la educación en España (MEFP, 2022) y la EDS (UNESCO, 2017).

Por último, las características descritas y el análisis de los criterios de calidad (MOORE *et al.*, 2014) nos permite recomendar la replicación y adaptación de la experiencia a otros contextos, así como también, la ampliación a otras conexiones intra e interdisciplinarias. La simplicidad y riqueza de la actividad posibilita al profesorado contrastar la percepción de que la enseñanza de la ingeniería no está limitada a actividades complejas y costosas (HAMMACK; VO, 2019). Por último, se sugiere al profesorado, ampliar la actividad didáctica realizando reflexiones que retomen los episodios centrales de la experiencia presentada. Así como también, profundizar en los contenidos disciplinares emergentes, haciendo énfasis en las conexiones interdisciplinarias y los aportes de cada área del acrónimo STEAM (RODRIGUES-SILVA; ALSINA, 2023).

Agradecimientos

Agradecemos a la Escuela Luis Pericot, al alumnado participante y al maestro Daniel González Guerrero por todo el apoyo en la ejecución de la actividad.

Referencias

AGUILERA, David; GARCÍA-YEGUAS, Araceli; PALACIOS, Francisco Javier Perales; VÍLCHEZ-GONZÁLEZ, José Miguel. Diseño y validación de una rúbrica para la evaluación de propuestas didácticas STEM (RUBESTEM). *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, v. 97, n. 36.1, p. 11–34, 18 Apr. 2022. Disponible en: <https://doi.org/10.47553/rifop.v97i36.1.92409>. Acceso en: 21 jun. 2023.

ALSINA, Angel; SALGADO, María. Introduciendo la modelización matemática temprana en educación infantil: un marco para resolver problemas reales. *Modelling in Science Education and Learning*, v. 14, n. 1, p. 33, 27 Jan. 2021. Disponible en: <https://doi.org/10.4995/msel.2021.14024>. Acceso en: 21 jun. 2023.

ATA-AKTÜRK, Aysun; DEMIRCAN, H. Özlen. Supporting Preschool Children's STEM Learning with Parent-Involved Early Engineering Education. *Early Childhood Education Journal*, v. 49, n. 4, p. 607–621, 3 July 2021. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10643-020-01100-1>. Acceso en: 21 jun. 2023.

BAGIATI, Aikaterini; EVANGELOU, Demetra. Practicing engineering while building with blocks: identifying engineering thinking. *European Early Childhood Education Research Journal*, v. 24, n. 1, p. 67–85, 2 Jan. 2016. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/1350293X.2015.1120521>. Acceso en: 21 jun. 2023.

CHOU, Pao Nan; CHEN, Wei Fan. Elementary school students' conceptions of engineers: A drawing analysis study in Taiwan. *International Journal of Engineering Education*, v. 33, n. 1, p. 476–488, 2017. Disponible en: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85015149744&origin=inward&txGid=75354b550ecb2ddf7ad18ad514d6cf07>. Acceso en: 21 jun. 2023.

FLORENTINO, José Augusto; RODRIGUES, Léo Peixoto. Disciplinaridade, interdisciplinaridade e complexidade na educação: desafios à formação docente. *Educação Por Escrito*, v. 6, n. 1, p. 54, 23 Apr. 2015. Disponible en: <https://doi.org/10.15448/2179-8435.2015.1.17410>. Acceso en: 21 jun. 2023.

FRIEND, Marilyn Penovich; COOK, Lynne. *Interactions: collaboration skills for school professionals*. 8th ed. Harlow: Pearson, 2017.

HAMMACK, Rebekah J.; VO, Tina. Development of the draw-an-engineering-teacher test (DAETT) (work in progress). In: ASEE ANNUAL CONFERENCE AND EXPOSITION, *Anais [...]*,

Tampa, Florida 2019. Disponible en: <https://doi.org/10.18260/1-2--32198>. Acceso en: 21 jun. 2023.

INCHAUSTEGUI, Yeni Acosta; ALSINA, Ángel. Learning patterns at three years old: Contributions of a learning trajectory and teaching itinerary. **Australasian Journal of Early Childhood**, v. 45, n. 1, p. 14–29, 2 Mar. 2020. Disponible en: <https://doi.org/10.1177/1836939119885310>. Acceso en: 21 jun. 2023.

JEONG, Sophia; KIM, Hyoungbum; TIPPINS, Deborah J. **From Conceptualization to Implementation**: STEAM Education in Korea. [S. l.: s. n.], 2019. p. 241–257. Disponible en: https://doi.org/10.1007/978-3-030-25101-7_16. Acceso en: 21 jun. 2023.

KIM, Dongryeul; BOLGER, Molly. Analysis of Korean Elementary Pre-Service Teachers' Changing Attitudes About Integrated STEAM Pedagogy Through Developing Lesson Plans. **International Journal of Science and Mathematics Education**, v. 15, n. 4, p. 587–605, 6 Apr. 2017. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10763-015-9709-3>. Acceso en: 21 jun. 2023.

LADACHART, Luecha; CHOLSIN, Jaroopong; KWANPET, Sawanya; TEERAPANPONG, Ratre; DESSI, Alisza; PHUANGSUWAN, Laksanawan; PHOTHONG, Wilawan. Ninth-grade students' perceptions on the design-thinking mindset in the context of reverse engineering. **International Journal of Technology and Design Education**, n. 0123456789, 2 Sep. 2021. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10798-021-09701-6>. Acceso en: 21 jun. 2023.

LADACHART, Luecha; CHOLSIN, Jaroopong; KWANPET, Sawanya; TEERAPANPONG, Ratre; DESSI, Alisza; PHUANGSUWAN, Laksanawan; PHOTHONG, Wilawan. Using Reverse Engineering to Enhance Ninth-Grade Students' Understanding of Thermal Expansion. **Journal of Science Education and Technology**, v. 31, n. 2, p. 177–190, 2022. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10956-021-09940-1>. Acceso en: 21 jun. 2023.

MARÍN-MARÍN, José-Antonio; MORENO-GUERRERO, Antonio-José; DÚO-TERRÓN, Pablo; LÓPEZ-BELMONTE, Jesús. STEAM in education: a bibliometric analysis of performance and co-words in Web of Science. **International Journal of STEM Education**, v. 8, n. 1, p. 41, 25 Dec. 2021. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s40594-021-00296-x>. Acceso en: 21 jun. 2023.

Ministerio de Educación y Formación Profesional (MEFP). **Real Decreto 157/2022, de 1 de marzo, por el que se establecen la ordenación y las enseñanzas mínimas de la Educación Primaria**. Madrid, España, 1 mar. 2022.

MOORE, Tamara J.; GLANCY, Aran W.; TANK, Kristina M.; KERSTEN, Jennifer A.; SMITH, Karl A.; STOHLMANN, Micah S. A Framework for Quality K-12 Engineering Education: Research and Development. **Journal of Pre-College Engineering Education Research (J-PEER)**, v. 4, n. 1, 2 May 2014. Disponible en: <https://doi.org/10.7771/2157-9288.1069>. Acceso en: 21 jun. 2023.

National Council of Teachers of Mathematics (NCTM). **Principios y estándares para la educación matemática**. Sevilla: Sociedad Andaluza de Educación Matemática Thales. 2000.

Next Generation Science Standards (NGSS). **Next Generation Science Standards: For states by states**. Washington, DC: The National Academies Press, 2013. Disponible en: <https://nap.nationalacademies.org/catalog/18290/next-generation-science-standards-for-states-by-states>. Acceso en: 21 jun. 2023.

NOVO, María Luiza Martín. Zapato y metro. Los niños y la medida. **Edma 0-6: Educación Matemática en la Infancia**, v. 8, no 2, p. 134-137, 2019.

PARK, Do-Yong; PARK, Mi-Hwa; BATES, Alan B. Exploring Young Children's Understanding About the Concept of Volume Through Engineering Design in a STEM Activity: A Case Study. **International Journal of Science and Mathematics Education**, v. 16, n. 2, p. 275–294, 5 Feb. 2018. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10763-016-9776-0>. Acceso en: 21 jun. 2023.

PERDOMO-DÍAZ, Josefa; FELMER, Patricio. El Taller RPAula: activando la resolución de problemas en las aulas. **Profesorado, Revista de Currículum y Formación del Profesorado**, v. 21, n. 2, p. 425–444, 1 jul. 2017. Disponible en: <https://doi.org/10.30827/profesorado.v21i2.10343>. Acceso en: 21 jun. 2023.

PERIGNAT, Elaine; KATZ-BUONINCONTRO, Jen. STEAM in practice and research: An integrative literature review. **Thinking Skills and Creativity**, v. 31, n. out. 2018, p. 31–43, 2019. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2018.10.002>. Acceso en: 21 jun. 2023.

POLITI, Vincenzo. The interdisciplinarity revolution. **THEORIA. An International Journal for Theory, History and Foundations of Science**, v. 34, n. 2, p. 237, 25 sep. 2019. Disponible en: <https://doi.org/10.1387/theoria.18864>. Acceso en: 21 jun. 2023.

RODRIGUES-SILVA, Jefferson; ALSINA, Ángel. Conceptualising and framing STEAM education: What is (and what is not) this educational approach? **Texto Livre**, 2023 (no prelo).

SHELLINGER, Jennifer; JABER, Lama Z.; SOUTHERLAND, Sherry A. Harmonious or disjointed?: Epistemological framing and its role in an integrated science and engineering activity. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 59, n. 1, p. 30–57, 28 jan. 2022. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/tea.21720>. Acceso en: 21 jun. 2023.

SCHLESINGER, Molly A.; HASSINGER-DAS, Brenna; ZOSH, Jennifer M.; SAWYER, Jeremy; EVANS, Natalie; HIRSH-PASEK, Kathy. Cognitive Behavioral Science behind the Value of Play: Leveraging Everyday Experiences to Promote Play, Learning, and Positive Interactions. **Journal of Infant, Child, and Adolescent Psychotherapy**, v. 19, n. 2, p. 202–216, 2 abr. 2020. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/15289168.2020.1755084>. Acceso en: 21 jun. 2023.

SILVA-HORMAZÁBAL, Marcela; RODRIGUES-SILVA, Jefferson; ALSINA. Conectando matemáticas e ingeniería a través de la estadística: una actividad STEAM en educación primaria. **Revista Electrónica de Conocimientos, Saberes y Prácticas**, v. 5, n. 1, p. 9–31, 2022. Disponible en: <https://doi.org/https://doi.org/10.5377/recsp.v5i1.15118>. Acceso en: 21 jun. 2023.

UNESCO. **Educación para los objetivos de desarrollo sostenible: objetivos de aprendizaje**. Paris, Francia: Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, 2017. Disponible en: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000252423>. Acceso en 21 jun. 2023.

WULF, William W. Diversity in engineering. **Leadership and Management in Engineering**, v. 1, n. 4, p. 31–35, 2001. Disponible en: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1532-6748\(2001\)1:4\(31\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1532-6748(2001)1:4(31)). Acceso en: 21 jun. 2023.

YOUNIS, M. Bani; TUTUNJI, T. Reverse engineering course at Philadelphia University in Jordan. **European Journal of Engineering Education**, v. 37, n. 1, p. 83–95, mar. 2012. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/03043797.2012.658508>. Acceso en: 21 jun. 2023.

ZHONG, Baichang; KANG, Siya; ZHAN, Zehui. Investigating the effect of reverse engineering pedagogy in K-12 robotics education. **Computer Applications in Engineering Education**, v. 29, n. 5, p. 1097–1111, 2021. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/cae.22363>. Acceso en: 21 jun. 2023.

ZOSH, Jennifer M.; HIRSH-PASEK, Kathy; HOPKINS, Emily J.; JENSEN, Hanne; LIU, Claire; NEALE, Dave; SOLIS, S. Lynneth; WHITEBREAD, David. Accessing the Inaccessible: Redefining Play as a Spectrum. **Frontiers in Psychology**, v. 9, n. AUG, p. 1–12, 2 ago. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.01124>. Acesso em: 21 jun. 2023.

Informações complementares

Financiamento

Não se aplica.

Contribuição de autoria

Concepção e elaboração do manuscrito: Ángel Alsina; Jefferson Rodrigues-Silva; Marcela Silva-Hormazábal.

Coleta de dados: Jefferson Rodrigues-Silva; Marcela Silva-Hormazábal.

Análise de dados: Jefferson Rodrigues-Silva; Marcela Silva-Hormazábal.

Discussão dos resultados: Ángel Alsina; Jefferson Rodrigues-Silva; Marcela Silva-Hormazábal.

Revisão e aprovação: Ángel Alsina.

Preprint, originalidade e ineditismo

O artigo é original, inédito e não foi depositado como *preprint*.

Verificação de similaridades

O artigo foi submetido ao iThenticate, em 12 de dezembro de 2023, e obteve um índice de similaridade compatível com a política antiplágio da revista Pesquisa e Debate em Educação.

Consentimento de uso de imagem

Não se aplica.

Aprovação de Comitê de Ética em Pesquisa

Não se aplica.

Conflito de interesse

Não há conflitos de interesse.

Conjunto de dados de pesquisa

Não há dados disponibilizados.

Licença de uso

Os autores cedem à Revista Pesquisa e Debate em Educação os direitos exclusivos de primeira publicação, com o trabalho simultaneamente licenciado sob a [Licença Creative Commons Attribution \(CC BY\) 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/). Esta licença permite que terceiros remixem, adaptem e criem a partir do trabalho publicado, atribuindo o devido crédito de autoria e publicação inicial neste periódico. Os autores têm autorização para assumir contratos adicionais separadamente, para distribuição não exclusiva da versão do trabalho publicada neste periódico (ex.: publicar em repositório institucional, em site pessoal, publicar uma tradução, ou como capítulo de livro), com reconhecimento de autoria e publicação inicial neste periódico.

Publisher

Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), Faculdade de Educação (FACED), Centro de Políticas Públicas e Avaliação da Educação (CAEd), Programa de Pós-Graduação Profissional em Gestão e Avaliação da Educação Pública (PPGP). Publicação no Portal de Periódicos da UFJF. As ideias expressadas neste artigo são de responsabilidade de seus autores, não representando, necessariamente, a opinião dos editores ou da universidade.

Editores

Frederico Braida; Liamara Scortegagna; Wagner Silveira Rezende.

Formato de avaliação por pares

Revisão duplamente cega (Double blind peer review).

Sobre os autores

Jefferson Rodrigues-Silva

Graduado e Mestre em Engenharia Mecânica (UFSJ). Especialista em Segurança do Trabalho (FAVENI). Doutorando em Educação pela Universidade de Girona (UdG). Professor efetivo do Departamento de Engenharia Mecânica do Instituto Federal de Minas Gerais, *Campus Arcos* (IFMG). Membro do Grupo de Pesquisa em Educação Científica e Ambiental (GRECA). Linhas de pesquisa centradas na educação STEAM, na engenharia em idade escolar e na formação de professores.

Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0246316357702468>

Marcela Silva-Hormazábal

Graduada em Educação (ULA), mestra em Educação (UDEC). Doutoranda em Educação (UdG). Professora efetiva do Departamento de Especialidades Pedagógicas (UACH). Membro do Grupo de Pesquisa em Educação Científica e Ambiental (GRECA). Pesquisa centradas na educação matemática nas primeiras idades e na formação de professores de matemática do Ensino Fundamental.

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-1955-1633>

Ángel Alsina

Doutor em Psicologia pela Universidade Autônoma de Barcelona (UAB). Professor titular do Departamento de Didática das Matemáticas da Universidade de Girona (UdG). Investigador Principal do Grupo de Pesquisa em Educação Científica e Ambiental (GRECA). Linhas de pesquisa centradas no ensino e aprendizagem da matemática desde a infância e na formação de professores.

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-8506-1838>