



Martos-Martínez, C., Ballesta-Claver, J. y Rodríguez Fuentes, A. (2026). STEAM y modelización en Educación Primaria: el papel del arte en la implicación y el disfrute del aprendizaje desde una perspectiva neuroeducativa. *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 40(2), 1-14.

<https://doi.org/10.6018/rifop.712561>

STEAM y modelización en Educación Primaria: el papel del arte en la implicación y el disfrute del aprendizaje desde una perspectiva neuroeducativa

STEAM and modelling in Primary Education: The role of the arts in student engagement and enjoyment of learning from a neuroeducational perspective

Cristian Martos-Martínez

Departamento de Didáctica y organización escolar. Universidad de Granada. <https://orcid.org/0009-0001-4798-9624>

Julio Ballesta-Claver

Departamento de Didáctica de las Ciencias. Centro de Magisterio La Inmaculada (CMLI). Universidad de Granada. <https://orcid.org/0000-0001-8894-7714>

Antonio Rodríguez Fuentes

Departamento de Didáctica y organización escolar. Universidad de Granada. <https://orcid.org/0000-0002-8036-9902>

Resumen

Los centros educativos requieren propuestas que doten de significado a los contenidos, especialmente en áreas técnicas y abstractas como *ciencias*, *tecnología*, *ingeniería* y *matemáticas*. En este contexto, la transición de STEM a STEAM, mediante la incorporación del *arte*, podría favorecer la interdisciplinariedad y la implicación del alumnado gracias a la activación de procesos como la atención, la emoción y el compromiso activo, sobre todo si se incorporan orientaciones neuroeducativas. El presente estudio analiza una intervención Neuro-STEAM basada en la modelización indagatoria, contextualizada en la sostenibilidad energética. Participaron 49 estudiantes de Educación Primaria mediante un diseño cuasi-experimental pretest-posttest, complementado con análisis cualitativo. Los resultados mostraron incrementos significativos en *arte* e *ingeniería* y moderados en *ciencias*, sin cambios en *matemáticas* y *tecnología*. En los componentes neuroeducativos, solo el disfrute del aprendizaje y la implicación activa, junto con el índice global, mostraron incrementos significativos. Asimismo, se observaron cambios más consistentes en las chicas en algunas áreas. En conjunto, los hallazgos sugieren que la integración del *arte* en propuestas STEAM actúa como elemento dinamizador del aprendizaje y favorece la construcción de conocimiento significativo.

Palabras clave: Enfoque STEAM; indagación basada en modelos; metodologías activas; artes visuales; neuroeducación.

Abstract

In educational settings, approaches that give meaning to content are particularly important in technical and abstract domains such as *science*, *technology*, *engineering* and *mathematics*. In this context, the transition from STEM to STEAM by incorporating the *arts* may encourage interdisciplinarity and student engagement by activating processes such as attention, emotion and active involvement, particularly when rooted in neuroeducational principles. This study examines a Neuro-STEAM intervention based on model-based enquiry and contextualised within energy sustainability. A total of 49 primary school students took part in a quasi-experimental pretest-post-test study, which was complemented by a qualitative analysis. The results showed significant increases in *arts* and *engineering*, and moderate increases in *science*. No changes were observed in *mathematics* and *technology*. Regarding the neuroeducational components, only enjoyment of learning, active engagement and the overall index showed significant increases. Additionally, more pronounced effects were observed among girls in certain areas. Overall, the findings suggest that integrating the *arts* into STEAM approaches can act as a catalyst for learning, supporting the construction of meaningful knowledge.

Keywords: STEAM education; Model-Based Inquiry; Active Methodologies; Visual Arts, Neuroeducation.

Introducción

La Neuroeducación, transdisciplina que integra las aportaciones de la neurociencia, psicología cognitiva y la pedagogía, ofrece orientaciones para optimizar los procesos de enseñanza-aprendizaje (Mondéjar et al., 2023). Entre las metodologías que avala, las denominadas *activas*, destacan por situar al alumnado en el centro del aprendizaje, favoreciendo procesos como la atención, la motivación, la curiosidad y la consolidación de aprendizajes significativos (Ballesta-Claver et al., 2024). Entre ellas encontramos el enfoque STEM (Asunción, 2019).

Este modelo o enfoque STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics) permite desarrollar el pensamiento científico-tecnológico del alumnado mediante propuestas interdisciplinares, con el objetivo de resolver un problema (Palacios et al., 2025). Sin embargo, existe una variante que dota de más emotividad a la propuesta, lo que constituye el enfoque STEAM, el cual incorpora la “A” de *arte*, lo que permite implicar, además del contenido artístico, a la estética y a las disciplinas humanísticas (Aguilera y Vílchez-González, 2024). Este enfoque favorece el pensamiento divergente, la significación de contenido, la creatividad y una mayor implicación del alumnado en esa resolución de problemas (Caeiro et al., 2024), como así evidencian las propuestas didáctico-expositivas STEAM desarrolladas en medialabs europeos, como LABoral Centro de Arte y Creación Industrial de Gijón (Murillo y Ramos, 2023).

Desde una perspectiva neuroeducativa, el *arte* contribuye a activar procesos emocionales y atencionales que favorecen el aprendizaje, así como implicar funciones cognitivas superiores mediante la integración del conocimiento (Bueno, 2025; Sousa y Pilecki, 2018). No obstante, a pesar de ello, la incorporación explícita de la neuroeducación en propuestas STEAM sigue siendo limitada (Sanabria-Z et al., 2025; Townsley, 2017), lo que justifica la necesidad de investigaciones que profundicen en esta relación.

Para la implementación de STEAM, Quigley et al. (2017) proponen las siguientes etapas: 1) *presentación de un problema atractivo* basado en el mundo real, de forma abierta (múltiples soluciones), mediante un *Aprendizaje Basado en la Investigación* (ABI), un enfoque en el que el alumnado construye el conocimiento a través de procesos activos de indagación, formulación de preguntas y búsqueda de evidencias, en lugar de recibirlo de forma expositiva (Santana-Vega et al., 2020); 2) *la integración disciplinaria*, ya sea de forma multidisciplinar, interdisciplinar, o transdisciplinar (Boice et al., 2024) y 3) *Destrezas en la resolución de problemas*, como las de rendimiento (interpretación y presentación), cognitivas (cuestionar, analizar e interpretar), de interacción (comunicación y colaboración) y creativas (diseño, modelaje y conexión de ideas) que conduzcan a la solución al problema planteado.

En este contexto, el ABI ofrece un marco que engloba diferentes modalidades, como el aprendizaje basado en problemas (ABP) (Belbase et al., 2022; Perales y Aróstegui, 2024), el Inquiry-based Science Education (IBSE) (Strat et al., 2024) o la indagación basada en modelos (Jimenez-Liso et al., 2022). Entre ellos, la *indagación basada en modelos* (Model-Based Inquiry, MBI) destaca por su potencial neuroeducativo, al incentivar procesos como la atención, el compromiso activo (la implicación activa y voluntaria del alumnado en la construcción de su propio aprendizaje) y el aprendizaje a partir del error (la revisión de las propias predicciones a partir de la retroalimentación recibida), dos de los cuatro pilares del aprendizaje descritos por Dehaene (2023), junto con la propia atención y la consolidación. Esta modalidad implica la construcción y revisión de modelos explicativos por parte del alumnado (Oliva et al., 2019), favoreciendo con ello el desarrollo de las funciones ejecutivas, un conjunto de procesos cognitivos de control tales como la memoria de trabajo, la inhibición y la flexibilidad cognitiva, que permiten regular el pensamiento y la conducta para alcanzar posibles metas (Diamond, 2013; Peticarrari y Oliveira, 2022).

Existen varios ejemplos de aplicación del MBI con STEM/STEAM (El Bedewy et al., 2021; Pocalana et al., 2024; Wiegand y Borromeo Ferri, 2023), siendo el más completo el que presenta English (2017) con su *STEM-based Modelling* (English y Mousoulides, 2015), el cual establece un ciclo de modelización con base en el área de la *ingeniería*: 1) hacer preguntas (problema inicial); 2) imaginar (plantear varias soluciones al problema); 3) planear (resolver el problema); 4) crear (plasmar la solución a través de la modelización real) y 5) mejorar (revisiones del modelo).

A partir de estas orientaciones, el presente trabajo se planteó como objetivo implementar, en alumnado de Educación Primaria, una intervención Neuro-STEAM basada en la modelización (término no consolidado pero que en este trabajo se emplea para referenciar una intervención STEAM con orientaciones neuroeducativas), y analizar los cambios observados en las áreas STEAM (*ciencias, tecnología, ingeniería, arte y matemáticas*), así como las percepciones del alumnado sobre el arte y las ciencias. De forma complementaria, se examinaron los cambios en tres índices neuroeducativos contruidos a partir del instrumento (motivación intrínseca, curiosidad epistemológica y disfrute del aprendizaje e implicación activa), así como posibles diferencias según sexo y grupo-clase. Por tanto, se plantearon las siguientes preguntas de investigación:

- ¿Qué cambios se observan en las cinco dimensiones STEAM tras una intervención Neuro-STEAM basada en la modelización?

¿Qué percepciones expresa el alumnado sobre el arte y las ciencias tras participar en la intervención?

Método

El estudio adoptó un enfoque metodológico mixto de tipo convergente (Bagur et al., 2021). Para la parte cuantitativa, se empleó un diseño cuasi-experimental de medidas repetidas pretest-postest, sin grupo control (Bono, 2012), aplicado a alumnado de Educación Primaria mediante un instrumento con varios ítems tipo Likert distribuidos en las cinco dimensiones STEAM. Se complementó con un análisis de contenido de una pregunta abierta.

La intervención siguió las orientaciones de Quigley et al. (2017) y English y Mousoulides (2015), incorporando orientaciones neuroeducativas (Herrera-Quintero et al., 2024), lo que permitió configurar una propuesta Neuro-STEAM basada en la modelización. Esta intervención tuvo una duración de tres semanas mediante cuatro sesiones de 50 minutos de duración, las cuales fueron administradas por el equipo investigador, el cual aplicó también el instrumento pretest-postest en el aula. Estas sesiones se centraron en el concepto de “energía y su relación con la sostenibilidad”, estableciendo grupos de cinco estudiantes.

Las áreas STEAM se integraron de forma interdisciplinar de la siguiente forma: el *arte* se utilizó para representar y personalizar los modelos mediante materiales como cartón, bocetos, pintura o plastilina; las *ciencias* para contextualizar los contenidos; las *matemáticas* para aplicar medidas y proporciones; la *tecnología* para la búsqueda y uso de información digital; la *ingeniería* para el diseño y facilitación de soluciones.

Figura 1

Diferentes modelos realizados por el alumnado sobre energía sostenible



Participantes

Participaron 49 estudiantes del colegio C.E.I.P Santo Domingo Vistillas (Granada) distribuidos en dos grupos de sexto curso de Educación Primaria (grupo A: 49,0 %; grupo B: 51,0 %), de edades comprendidas entre 11-12 años (11.33 ± 0.47). Los grupos 6.º A y 6.º B eran grupos-clase intactos, ya constituidos por el centro educativo, sin asignación aleatoria. El 42,9 % fueron chicos y el 57,1 %, chicas. La participación fue voluntaria y se realizó bajo consentimiento de las familias.

Instrumento

El instrumento se diseñó con 25 ítems organizados en las cinco dimensiones STEAM: *ciencias, tecnología, ingeniería, arte y matemáticas*, a partir de subescalas ya validadas en dichas dimensiones (Alcalde-Padial et al., 2025; Chung et al., 2022; Mou, 2023; Ozkan y Topsakal, 2023; Sun et al., 2023). Por tanto, el análisis factorial exploratorio se forzó a estas cinco dimensiones, en lugar de dejar que el número de factores emergiera empíricamente, con el objetivo de comprobar la adecuación de esta estructura previa a los datos del presente estudio.

Dicho análisis se realizó empleando el criterio de máxima verosimilitud, con rotación ortogonal y método varimax, y dio como resultado un 63,83 % de la varianza acumulada con aceptables índices de adecuación (López-Aguado y Gutiérrez-Provecho, 2019) ($KMO = 0,72$; prueba de Bartlett significativa: $\chi^2 = 914,47$, $gl = 300$, $p < 0,001$) (véase tabla 1).

Tabla 1

Parámetros de las dimensiones del análisis factorial exploratorio

Dimensión	Criterio Kaiser-Guttman	% de varianza
1. Arte	4,56	18,26
2. Matemáticas	4,32	17,29
3. Ciencias	3,23	12,92
4. Tecnología	2,37	9,51
5. Ingeniería	1,46	5,84

Para comprobar dicha extracción, se realizó un *análisis factorial confirmatorio*. El parámetro del error cuadrático medio de aproximación (RMSEA) resultó de 0,085, un valor dentro del límite aceptable para muestras pequeñas (Hooper et al., 2008; Morata-Ramírez et al., 2015). Las medidas de ajuste incremental (CFI = 0,89 y TLI = 0,87) mostraron valores inferiores, pero dentro del rango acorde a muestras educativas y de pocos participantes (Escalera-Chávez et al., 2014), lo que permitió considerar aceptable la estructura factorial del instrumento. El cuestionario final puede consultarse en la Tabla 2.

Tabla 2

Cuestionario pre-post test diseñado para este trabajo, en donde se muestran las 5 dimensiones y los 25 ítems graduados a una escala Likert creciente de 5 puntos

Área STEAM	Ítems
1. Ciencias (S)	1.1 Lo que se realiza en clase es interesante; 1.2 Me gusta hacer experimentos; 1.3 Me gusta investigar; 1.4 Tengo curiosidad por descubrir; 1.5 La ciencia proporciona a la gente una vida cómoda; 1.6 Me gustaría seguir aprendiendo nuevos conocimientos científicos.
2. Tecnología (T)	2.1 Tengo interés por la tecnología; 2.2 Confío en la tecnología; 2.3 La tecnología facilita el acceso a la información; 2.4 Intento ser tecnológico diariamente; 2.5 Tengo buenos conocimientos sobre tecnología.
3. Ingeniería (E)	3.1 Me interesa la ingeniería; 3.2 Tengo buenos conocimientos de ingeniería.
4. Arte (A)	4.1 Disfruto diseñando en el aula; 4.2 La clase aumenta mi interés si incluimos el arte; 4.3 Tengo la habilidad de dibujar o modelar; 4.4 Me gusta la animación; 4.5 Tengo interés por el arte; 4.6 Disfruto con el arte; 4.7 Tengo buenos conocimientos de arte.
5. Matemáticas (M)	5.1 Me interesan las matemáticas; 5.2 Me gusta trabajar con números; 5.3 Me gusta resolver problemas; 5.4 Se me dan bien las matemáticas; 5.5 Tengo buenos conocimientos de matemáticas.
Pregunta abierta (solo posttest)	¿Qué destacarías del arte y de las ciencias tras las sesiones?

Se obtuvo una alta fiabilidad del instrumento para cada test, según el criterio de Alfa de Cronbach (α) (Tuapanta et al., 2017): 1) $\alpha_{\text{pretest}} = 0,887$; 2) $\alpha_{\text{posttest}} = 0,899$. Particularizando para cada dimensión, la consistencia interna también fue alta: *arte* ($\alpha_{\text{pretest}} = 0,905$; $\alpha_{\text{posttest}} = 0,907$); *matemáticas* ($\alpha_{\text{pretest}} = 0,942$; $\alpha_{\text{posttest}} = 0,954$); *ciencias* ($\alpha_{\text{pretest}} = 0,778$; $\alpha_{\text{posttest}} = 0,835$); *tecnología* ($\alpha_{\text{pretest}} = 0,710$; $\alpha_{\text{posttest}} = 0,766$); *ingeniería* ($\alpha_{\text{pretest}} = 0,716$; $\alpha_{\text{posttest}} = 0,787$).

A partir del instrumento validado, se definieron de forma exploratoria tres subdimensiones de carácter neuroeducativo en línea con la literatura previa (Alcalde-Padial et al., 2025; Immordino-Yang et al., 2019), agrupando los siguientes ítems: 1) *motivación intrínseca*: ítems 1.1, 1.2, 2.1, 3.1, 4.5, 5.1 ($\alpha_{\text{pretest}} = 0,778$; $\alpha_{\text{posttest}} = 0,886$); 2) *curiosidad epistemológica*: 1.3, 1.4 y 1.6 ($\alpha_{\text{pretest}} = 0,895$; $\alpha_{\text{posttest}} = 0,713$) y 3) *disfrute del aprendizaje e implicación activa*: 4.1, 4.2, 4.6, 5.2, 5.3 ($\alpha_{\text{pretest}} = 0,726$; $\alpha_{\text{posttest}} = 0,871$). En conjunto, los valores obtenidos respaldaron la coherencia interna de las agrupaciones. Estas dimensiones se emplearon como índices compuestos con fines analíticos.

Análisis estadístico

Dado que los datos no siguieron una distribución normal (Shapiro-Wilk, $p < 0,05$), se emplearon pruebas no paramétricas (Hernández-Sampieri y Mendoza, 2018).

Para comparar las medidas pretest-posttest, se utilizó la prueba de rangos de Wilcoxon, calculándose el tamaño del efecto mediante la correlación biserial de rangos (r_b) (López-Martín y Ardura, 2023), de valores: muy pequeño ($r_b < 0,10$), pequeño ($0,10 - 0,29$), moderado ($0,30 - 0,49$) o gran efecto ($r_b \geq 0,5$).

Las diferencias entre dimensiones se analizaron mediante la prueba de Friedman, utilizando el coeficiente W de Kendall como medida del tamaño del efecto (Tomczak y Tomczak, 2014): muy pequeño ($W < 0,10$), pequeño ($0,10-0,29$), moderado ($0,30-0,49$) y grande ($W \geq 0,50$). Las comparaciones post hoc se realizaron con el test de Conover y corrección de Bonferroni, adjuntando el tamaño de efecto (r_b) en las comparaciones significativas.

Se realizaron correlaciones de Spearman (ρ) entre dimensiones, con el criterio de López-Martín y Ardura (2023): muy pequeño ($\rho < 0,09$), pequeño ($0,10-0,19$), moderado ($0,20-0,29$) y grande ($\rho \geq 0,3$).

Para los datos cualitativos (ítem de pregunta abierta), se empleó un análisis de contenido y, cuando fue pertinente, la prueba χ^2 de independencia, estimando el tamaño del efecto mediante el coeficiente ϕ (López-Martín y Ardura, 2023): muy pequeño ($\phi < 0,10$), pequeño ($0,10-0,29$), moderado ($0,30-0,49$) y grande ($\phi \geq 0,50$).

El análisis cuantitativo se realizó con los programas SPSS (v.27), JASP (v.0.95) y AMOS (v.28), mientras que ATLAS.ti (v.24) se utilizó para el tratamiento cualitativo.

Resultados

Resultados de la intervención STEAM

El valor de cada dimensión, así como el valor total, se expresaron a partir de la mediana y el rango intercuartílico (RIC) (distribuciones no paramétricas). La prueba de Wilcoxon pretest-posttest evidenció que la intervención generó un cambio significativo de gran efecto ($z = 3,22$; $p = 0,001$; $r_b = 0,55$) (Véase Tabla 3). Atendiendo a las dimensiones por separado, solo se observaron diferencias significativas en las dimensiones *arte* ($z = 3,62$; $p < 0,001$), con un gran tamaño de efecto ($r_b = 0,67$), al igual que *ingeniería* ($z = 2,43$; $p = 0,012$; $r_b = 0,51$), mientras que *ciencias* obtuvo un moderado tamaño de efecto ($z = 2,25$; $p = 0,024$; $r_b = 0,44$).

Tabla 3

Resultados pretest-posttest de la intervención: dimensiones y valor total

Dimensión	Valor pretest	Valor posttest	Test de Wilcoxon
1. Ciencias	4,2 (3,5-4,5)	4,2 (3,7-4,2)	$z = 2,25$; $p = 0,024$; $r_b = 0,44$
2. Tecnología	3,6 (3,2-4,2)	3,6 (3,2-4,0)	$z = 0,27$; $p = 0,792$
3. Ingeniería	3,0 (2,5-3,5)	3,5 (2,5-4,0)	$z = 2,43$; $p = 0,012$; $r_b = 0,51$
4. Matemáticas	2,4 (1,8-3,8)	2,6 (1,4-3,8)	$z = 0,99$; $p = 0,326$
5. Arte	3,9 (2,9-4,7)	4,1 (3,4-4,7)	$z = 3,62$; $p < 0,001$; $r_b = 0,67$
Total de la intervención	3,5 (2,9-3,9)	3,6 (3,0-4,0)	$z = 3,22$; $p = 0,001$; $r_b = 0,55$

Nota. N = 49. Los valores pretest-posttest vienen dados por la mediana y el rango intercuartílico (RIC).

Con el objetivo de analizar las diferencias entre las distintas dimensiones para cada test, se aplicó la prueba de Friedman. En el pretest, los resultados mostraron diferencias estadísticamente significativas ($\chi^2(4) = 56,05$, $p < 0,001$), con un tamaño del efecto moderado ($W = 0,286$). Las comparaciones post hoc (Conover con corrección de Bonferroni) indicaron que la dimensión de *matemáticas* difirió significativamente del resto de dimensiones (*arte*, *ciencias* y *tecnología*; $p \leq 0,006$; $r_b = 0,62-0,84$), pero no la de *ingeniería* ($p = 1,000$). Asimismo, la dimensión de *ingeniería* difirió significativamente de la de *arte* y *ciencias* ($p < 0,001$; $r_b = 0,66-0,89$), mientras que no se observaron diferencias entre las dimensiones de *arte*, de *ciencias* y de *tecnología* ($p > 0,05$).

En el posttest, también se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($\chi^2(4) = 68,49$, $p < 0,001$), con un tamaño del efecto moderado ($W = 0,349$). Las comparaciones post hoc revelaron que la dimensión de *matemáticas* difirió de la de *arte* y la de *ciencias* ($p < 0,001$; $r_b = 0,79-0,86$), pero no de la de *tecnología* ni de la de *ingeniería* ($p > 0,05$). Por su parte, la dimensión de *arte* presentó diferencias significativas con las de *tecnología* e *ingeniería* ($p < 0,001$; $r_b = 0,54-0,78$), pero no con la de *ciencias* ($p = 1,000$). Asimismo, la dimensión de *ciencias* difirió significativamente de las de *tecnología* e *ingeniería* ($p < 0,001$; $r_b = 0,67-0,88$), sin encontrarse diferencias entre estas últimas ($p > 0,05$). En conjunto, se observó un incremento en el tamaño del efecto del pretest al posttest, lo que sugirió una mayor diferenciación entre dimensiones tras la intervención.

Haciendo un estudio de correlaciones, para el pretest se obtuvieron correlaciones significativas ($p < 0,05$) para las dimensiones de *arte* y de *tecnología* ($p = 0,332$), la de *matemáticas* con la de *ciencias* ($p = 0,339$) y con la de *tecnología* ($p = 0,327$), así como las de *ciencias* e *ingeniería* ($p = 0,312$), existiendo una asociación significativa (a nivel de $p < 0,001$) entre las dimensiones de *matemáticas* e *ingeniería* ($p = 0,511$). Para el posttest, las correlaciones ($p < 0,05$) fueron para las de *arte* con *ciencias* ($p = 0,323$) e *ingeniería* ($p = 0,348$), la de *ciencias* con la *tecnología* ($p = 0,293$), siendo (a nivel de $p < 0,01$) las correlaciones entre las dimensiones de *arte* y *tecnología* ($p = 0,371$) y *matemáticas* e *ingeniería* ($p = 0,444$).

Resultados de las subdimensiones neuroeducativas

Los resultados de las subdimensiones neuroeducativas, así como el índice global, pueden consultarse en la Tabla 4.

Tabla 4

Resultados pretest-posttest obtenidos de las subdimensiones neuroeducativas y del total

Dimensión	Valor pretest	Valor posttest	Test de Wilcoxon
1. Motivación intrínseca	3,8 (3,3-4,2)	4,0 (3,5-4,3)	$z = 1,83$; $p = 0,067$
2. Curiosidad epistemológica	4,0 (3,3-4,7)	4,0 (3,3-4,7)	$z = 1,36$; $p = 0,174$
3. Disfrute del aprendizaje e implicación activa	3,6 (2,8-4,0)	3,6 (3,0-4,2)	$z = 2,43$; $p = 0,015$; $r_b = 0,48$
Total de la intervención	3,8 (3,3-4,2)	3,7 (3,5-4,3)	$z = 2,35$; $p = 0,019$; $r_b = 0,41$

Nota. N = 49. Los valores pretest-posttest vienen dados por la mediana y el rango intercuartílico (RIC).

El índice global neuroeducativo mostró diferencias significativas de moderado efecto ($z = 2,36$; $p = 0,019$; $r_b = 0,41$). La prueba de Wilcoxon sólo evidenció en la dimensión de *disfrute del aprendizaje e implicación activa* diferencias estadísticamente significativas entre pretest y posttest ($z = 2,43$; $p = 0,015$; $r_b = 0,48$).

Para el pretest, la prueba de Friedman mostró diferencias estadísticamente significativas ($\chi^2 (2) = 15,06$, $p < 0,001$) entre las tres subdimensiones, con un pequeño tamaño del efecto ($W = 0,154$). Las comparaciones post hoc indicaron que el factor *disfrute del aprendizaje e implicación activa* difería significativamente tanto de la *motivación intrínseca* ($p = 0,013$; $r_b = 0,55$) como de la *curiosidad epistemológica* ($p < 0,001$; $r_b = 0,54$), sin observarse diferencias entre estas dos últimas ($p = 0,814$). En el posttest, también se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($\chi^2 (2) = 6,53$, $p = 0,038$) pero con menor tamaño del efecto ($W = 0,067$). Las comparaciones post hoc revelaron que únicamente se observaron diferencias entre los factores *curiosidad epistemológica* y *disfrute del aprendizaje e implicación activa* ($p = 0,048$; $r_b = 0,46$). En conjunto, se apreció una reducción del tamaño del efecto del pretest al posttest.

Diferencias por sexo

De forma global, los chicos no presentaron cambios significativos, no siendo así para las chicas, que sí obtuvieron un gran tamaño de efecto ($z = 2,61$; $p = 0,009$; $r_b = 0,57$).

Un análisis por dimensiones mostró que sólo en las chicas ocurrían mejoras tras la intervención en *arte* ($p < 0,001$, $r_b = 0,81$) y *ciencias* ($p = 0,044$, $r_b = 0,47$). Haciendo una comparativa entre estas dos áreas, se observó que no existían diferencias significativas entre chicos y chicas ni en el pretest (*arte*: $U = 342,50$; $p = 0,326$; *ciencias*: $U = 319,00$; $p = 0,612$) ni en el posttest (*arte*: $U = 366,50$; $p = 0,142$; *ciencias*: $U = 351,50$; $p = 0,243$).

En relación con las subdimensiones neuroeducativas, no se encontró una diferenciación por sexo (chicos: $z = 1,63$; $p = 0,107$; chicas: $z = 1,75$; $p = 0,082$).

Diferencias por grupo

El test de Wilcoxon mostró que el Grupo 6ºA dio un resultado significativo con gran tamaño de efecto ($z = 2,90$; $p = 0,004$; $r_b = 0,72$), al contrario de lo que sucedía con el grupo 6ºB, en donde no había cambio significativo ($z = 1,66$; $p = 0,097$).

Al diferenciar cada grupo por sexo, se observó que el cambio provenía del grupo 6ºA, en concreto, de las chicas ($z = 2,35$; $p = 0,017$; $r_b = 0,71$), más concretamente en el área de *arte* ($z = 2,55$; $p = 0,012$; $r_b = 0,83$).

Teniendo en cuante las subdimensiones neuroeducativas, se encontró el mismo patrón habiendo diferenciación solo en el grupo 6ºA ($z = 2,10$; $p = 0,037$; $r_b = 0,54$), en concreto en la dimensión *disfrute del aprendizaje e implicación activa* ($z = 2,12$; $p = 0,036$; $r_b = 0,60$). Al diferenciar por sexo, no se obtuvieron diferencias significativas (chicos: $z = 1,86$; $p = 0,076$; chicas: $z = 1,19$; $p = 0,279$). En cambio, no se mostraron diferencias en el grupo de 6ºB ($z = 1,26$; $p = 0,212$) ni al diferenciar por sexo.

Análisis cualitativo (ítem de formato abierto)

Se realizó una pregunta abierta al terminar la intervención sobre las dimensiones centrales: “¿qué destacarías del arte y de las ciencias tras las sesiones?”. Para su análisis, se basó en el modelo propuesto por Tesch (2013) a través de la codificación y categorización de las respuestas, en donde se identificaron once categorías, mostrando una alta diversidad de respuestas, como “Es muy divertido ciencias”; “Me gusta mucho hacer experimentos”; “Tener que explicar lo que has hecho o haces” o “Que son interesantes y que antes pensaba que no se podían juntar las asignaturas y ahora ya sé que sí”. Para la interpretación de la información, se realizó un análisis frecuencial de categorías por grupos, así como del total (véase Tabla 5).

Tabla 5

Análisis vertical de las categorías obtenidas, diferenciando por grupos (6.º A y 6.º B)

Categoría	Grupo 6.ºA (n = 22)	Grupo 6.ºB (n = 22)	Totales
Contento	9	12	22
Cooperar	2		2
Creatividad	2	10	12
Entretenimiento	1		1
Escribir	1		1
Evolución	2		2
Explicación	1		1
Interés	7	11	18
Precioso	2		2
Unión	3	10	13
Utilidad	5	8	13

Con el objetivo de facilitar la interpretación de los resultados, las categorías fueron agrupadas en tres metacategorías (véase Tabla 6): 1) *motivación-emoción*; 2) *procesamiento activo* y 3) *integración STEAM*. Esta agrupación responde a enfoques que destacan la estrecha relación entre emoción, cognición y aprendizaje.

Los resultados mostraron que la metacategoría *motivación-emoción* presentó una alta frecuencia en ambos grupos (6.º A = 20; 6.º B = 22), lo que indica una elevada implicación afectiva del alumnado durante la intervención. De forma similar, la metacategoría *procesamiento activo* presentó valores comparables entre grupos (6.º A = 9; 6.º B = 8), lo que sugirió dinámicas de participación y construcción del conocimiento similares. El análisis mediante la prueba χ^2 no mostró diferencias significativas en estas dos metacategorías ($\chi^2 = 2,095$; $p = 0,148$ y $\chi^2 = 0,096$; $p = 0,757$), lo que indicó niveles similares de implicación emocional y participación en ambos grupos. Sin embargo, se observaron diferencias relevantes en la metacategoría *integración STEAM*, con una mayor frecuencia en el grupo 6.º B (20) en comparación con el grupo 6.º A (7) ($\chi^2 = 16,200$; $p <$

0,001; $\phi = 0,607$). Considerando el conjunto de la muestra, la metacategoría más frecuente fue *motivación-emoción* (49 %), seguida de *integración STEAM* (31 %) y *procesamiento activo* (20 %).

Tabla 6

Metacategorías, junto a sus frecuencias, diferenciando por grupos (6.º A y 6.º B)

Metacategoría	Categorías	Grupo 6.ºA (n = 22)	Grupo 6.ºB (n = 22)	χ^2	p
Motivación-emoción	Contento, interés,	20	22	2,095	0,148
	entretenimiento, precioso				
Procesamiento activo	Cooperar, explicación,	9	8	0,096	0,757
	escribir, utilidad				
Integración STEAM	Creatividad, unión, evolución	7	20	16,200	0,001

Discusión y conclusiones

Con relación a la primera pregunta de investigación, los resultados evidenciaron que la intervención Neuro-STEAM produjo mejoras significativas en las dimensiones *arte*, *ciencias e ingeniería*, mientras que en *matemáticas y tecnología* no mostraron cambios relevantes. La propuesta presenta fortalezas en aquellas áreas vinculadas con la creatividad, la modelización y la resolución de problemas, pero limitaciones en la integración equilibrada del conjunto de disciplinas STEAM. En relación con la segunda pregunta, las respuestas abiertas destacaron sobre todo aspectos de *motivación-emoción e integración STEAM*. De forma complementaria, no se observaron cambios significativos en la *motivación intrínseca* ni en la *curiosidad epistemológica*, concentrándose el cambio neuroeducativo en el disfrute del aprendizaje e implicación activa.

Profundizando en los resultados, el mayor efecto se observó en la dimensión *arte*. Este resultado es coherente con estudios que destacan el potencial del *arte* para favorecer la creatividad, la motivación y la construcción de significado en contextos STEAM (López-Banet et al., 2021). Desde una perspectiva neuroeducativa, los ítems que destacan en esta área están relacionados con el disfrute, el interés y la producción artística, lo que muestra una mayor implicación emocional, favoreciendo la atención y la consolidación de la memoria (Immordino-Yang et al., 2019; Mora, 2022). La alta frecuencia obtenida en las categorías *contento, interés y creatividad* sugirió que el *arte* pudo actuar como elemento dinamizador del aprendizaje. En futuras intervenciones, podría plantearse el diseño de actividades que ofrezcan mayores oportunidades para el desarrollo de procesos de creación artística, favoreciendo con ello no solo la adquisición de contenidos conceptuales y procedimentales, sino también la expresión creativa del alumnado.

Con respecto a la dimensión *ciencias*, la mejora fue moderada, debido a que el alumnado ya partía de una base conceptual e interés elevados. La contextualización en problemas reales asociados a los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) puede haber contribuido a aumentar la aplicabilidad de los contenidos gracias a la realización de modelizaciones junto con el *arte* que facilita su representación, comunicación y compromiso activo (Connor et al., 2015).

La dimensión *ingeniería* obtuvo una mejora clara gracias a ser visibilizada a través del proceso de diseño, planificación y construcción de modelos mediante la indagación, lo que la dotó de utilidad, siendo un área que generalmente es inexistente o se suele confundir con la *tecnología* (English, 2017; Kim y Bolger, 2017).

En contraste, las *matemáticas y la tecnología* no mostraron cambios relevantes. Este resultado pone de manifiesto la necesidad de integrarlas de forma más explícita en propuestas STEAM (Núñez

et al., 2022), sobre todo ofrecer actividades más contextualizadas, junto con un uso más pedagógico de la *tecnología*.

El análisis intratest mostró que las diferencias entre dimensiones ya estaban presentes antes de la intervención, pero se intensificaron tras la misma, reforzando aquellas más alineadas con el diseño metodológico. Este patrón se vio respaldado por el análisis de correlaciones, donde se observó una mayor conexión del *arte* con *ciencias* e *ingeniería*, lo que refuerza al *arte* su papel como eje de modelización e integración del conocimiento.

La intervención se asoció a un incremento en el índice neuroeducativo, concentrándose principalmente en el *disfrute del aprendizaje* y la *implicación activa del alumnado*. Este hallazgo resulta especialmente relevante, ya que ambos constituyen elementos clave para sostener la atención y favorecer la consolidación del aprendizaje (Townsend, 2017).

En cuanto a las diferencias por *sexo*, los cambios se produjeron principalmente en las chicas, especialmente en las dimensiones de *arte* y *ciencias*. Dado que ambos sexos partían de valores similares en el pretest, este patrón resulta coherente con estudios que señalan que las metodologías activas, si están contextualizadas, pueden favorecer la implicación del alumnado femenino en enfoques STEAM (Rossi y Barajas, 2015). No obstante, en los componentes neuroeducativos, no se observaron diferencias por *sexo*, lo que sugiere un patrón más homogéneo.

Respecto a los grupos, uno de ellos mostró mejoras más evidentes tanto en las áreas STEAM como en el aspecto neuroeducativo. Este efecto podría estar relacionado con las diferencias en los valores iniciales, los cuales eran diferentes, efectuándose la mejora en el grupo que partía de puntuaciones más bajas, un comportamiento recurrente en estudios pretest-posttest (Hair et al., 2016).

La predominancia de la metacategoría *motivación-emoción* evidenció una elevada implicación afectiva del alumnado, seguida de la metacategoría *integración STEAM*. Sin embargo, la menor frecuencia de la metacategoría *procesamiento activo* sugiere que, aunque el alumnado participó activamente en las tareas, como mostró el cambio significativo en la subdimensión *disfrute del aprendizaje e implicación activa*, la profundización en procesos de construcción del conocimiento fue más limitada (Freeman et al., 2014).

Entre las limitaciones del estudio, cabe señalar el reducido tamaño muestral ($N = 49$), procedente de un único centro educativo, lo que limita la generalización de los resultados. El diseño cuasi-experimental sin grupo control no permite descartar por completo la influencia de otras variables (p. ej., el efecto de la novedad o la maduración del alumnado) sobre los cambios observados. Asimismo, la breve duración de la intervención (tres semanas) y la ausencia de una medida de seguimiento posterior impiden valorar la persistencia de las mejoras a medio o largo plazo. Por último, dado que un mismo estudiante podía mencionar varias categorías en la pregunta abierta, las frecuencias del análisis cualitativo representan apariciones y no casos independientes. Asimismo, los análisis por *sexo* y grupo-clase tienen carácter exploratorio. En consecuencia, estos resultados deben entenderse como una aproximación a las tendencias observadas.

A diferencia de estudios previos que han abordado STEAM y neuroeducación de forma independiente (Sanabria-Z et al., 2025; Townsend, 2017), este trabajo aporta evidencia empírica de su integración explícita en una intervención real de aula. En conjunto, estos resultados apuntan que el impacto de la intervención no se limita solo a cambios actitudinales, sino que también afecta a procesos cognitivos complejos como la creatividad, la modelización y la integración de saberes. Por tanto, el enfoque Neuro-STEAM basado en la modelización se presenta como una propuesta viable para favorecer la implicación, la interdisciplinariedad y el aprendizaje significativo en Educación Primaria.

Consideraciones éticas de la investigación y uso de inteligencia artificial

Para la realización de este trabajo, se requirió un consentimiento firmado por los padres del alumnado para poder realizar la investigación. Se comunicó que los datos personales no serían difundidos, en consonancia con lo estima la ley de protección de datos.

Se utilizó asistencia de la inteligencia artificial (ChatGPT, OpenAI) exclusivamente para apoyar la revisión lingüística y mejorar la coherencia de algunos pasajes del manuscrito, sin afectar con ello a la autoría ni al contenido intelectual del trabajo.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Contribuciones de los autores

Los tres autores participaron en la redacción del borrador original, así como en las revisiones y ediciones posteriores del manuscrito. De forma particular: Conceptualización, C.M.-M., J.B.-C. y A.R.F.; metodología, J.B.-C. y A.R.F.; software, C.M.-M., J.B.-C.; validación, C.M.-M., J.B.-C.; análisis formal, C.M.-M., J.B.-C. y A.R.F.; investigación, C.M.-M., J.B.-C. y A.R.F.; recursos, C.M.-M. y A.R.F.; análisis de datos, C.M.-M., J.B.-C.; redacción del borrador original, C.M.-M., J.B.-C. y A.R.F.; redacción, revisión y edición, C.M.-M., J.B.-C. y A.R.F.; supervisión, A.R.F.

Referencias

- Aguilera, D. & Vílchez-González, J. M. (2024). ¿De qué hablamos cuando hablamos de educación STEAM? Una revisión de experiencias educativas. *Revista Fuentes*, 26(2), 211-224. <https://doi.org/10.12795/revistafuentes.2024.15412>
- Alcalde-Padial, M. J., Ballesta-Claver, J., Rodríguez-Fuentes, A. & Trujillo Torres, J. M. (2025). Competencia docente universitaria en Neuroeducación y Diseño Universal de Aprendizaje, mediante una escala adaptada. *Revista Electrónica Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 28(2), 43-61. <https://doi.org/10.6018/reifop.661681>
- Asunción, S. (2019). Metodologías Activas: Herramientas para el empoderamiento docente. *Revista Tecnológica-Educativa Docentes 2.0*, 7(1), 65-80. <https://doi.org/10.37843/rted.v7i1.27>
- Bagur Pons, S., Rosselló Ramon, M. R., Paz Lourido, B. & Verger, S. (2021). El Enfoque integrador de la metodología mixta en la investigación educativa. *RELIEVE - Revista Electrónica de Investigación y Evaluación Educativa*, 27(1), 1-21. <https://doi.org/10.30827/relieve.v27i1.21053>
- Ballesta-Claver, J., Gómez Pérez, I. A. & Ayllón Blanco, M. F. (2024). El paradigma innovador de la neuroeducación. En A. Rodríguez Fuentes (Ed.), *¿Ciencia o ficción en la Neuroeducación? Estudio sobre neuromitos docentes* (pp. 21-39). Ediciones Pirámide.
- Belbase, S., Mainali, B. R., Kasemsukpipat, W., Tairab, H., Gochoo, M. & Jarrah, A. (2022). At the dawn of science, technology, engineering, arts, and mathematics (STEAM) education: prospects, priorities, processes, and problems. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 53(11), 2919-2955. <https://doi.org/10.1080/0020739X.2021.1922943>
- Boice, K. L., Alemdar, M., Jackson, J. R., Kessler, T. C., Choi, J., Grossman, S. & Usselman, M. (2024). Exploring teachers' understanding and implementation of STEAM: one size does not fit all. *Frontiers in Education*, 9, 1401191. <https://doi.org/10.3389/feduc.2024.1401191>
- Bono Cabré, R. (2012). Diseños cuasi-experimentales y longitudinales. En *OMADO (Objectes i MAterials DOcents)*. Universidad de Barcelona. <https://diposit.ub.edu/dspace/handle/2445/30783>
- Bueno Torrent, D. (2025). *El arte de ser humanos*. Ediciones Destino.
- Caeiro Rodríguez, M., Fuentes Cid, S. & Alonso-Sanz, A. (2024). Buscando el Arte en la A de proyectos STEAM: una revisión crítica desde la Educación Artística. *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 99(38.1), 13-36. <https://doi.org/10.47553/rifop.v99i38.1.102900>

- Chung, C.-C., Huang, S.-L., Cheng, Y.-M. & Lou, S.-J. (2022). Using an iSTEAM project-based learning model for technology senior high school students: Design, development, and evaluation. *International Journal of Technology and Design Education*, 32(2), 905-941. <https://doi.org/10.1007/s10798-020-09643-5>
- Connor, A. M., Karmokar, S. & Whittington, C. (2015). From STEM to STEAM: Strategies for Enhancing Engineering & Technology Education. *International Journal of Engineering Pedagogy (IJEP)*, 5(2), 37. <https://doi.org/10.3991/ijep.v5i2.4458>
- Dehaene, S. (2023). *¿Cómo aprendemos?* Siglo Veintiuno Editores Argentina S.A.
- Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annual Review of Psychology*, 64, 135-168. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143750>
- El Bedewy, S., Lavicza, Z., Haas, B. & 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. (2017). Advancing Elementary and Middle School STEM Education. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 15(S1), 5-24. <https://doi.org/10.1007/s10763-017-9802-x>
- English, L. D. & Mousoulides, N. G. (2015). Bridging STEM in a Real-World Problem. *Mathematics Teaching in the Middle School*, 20(9), 532-539. <https://doi.org/10.5951/mathteacmiddscho.20.9.0532>
- Escalera-Chávez, M. E., García-Santillán, A. & Venegas-Martínez, F. (2014). Confirmatory Factorial Analysis to Validity a Theoretical Model to Measure Attitude toward Statistic. *Mediterranean Journal of Social Sciences*, 5(1), 569-577. <https://doi.org/10.5901/mjss.2014.v5n1p569>
- Freeman, S., Eddy, S. L., McDonough, M., Smith, M. K., Okoroafor, N., Jordt, H. & Wenderoth, M. P. (2014). Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(23), 8410-8415. <https://doi.org/10.1073/pnas.1319030111>
- Hair, J., Anderson, R., Black, B. & Babin, B. (2016). *Multivariate Data Analysis*. Pearson Education.
- Hernández-Sampieri, R. & Mendoza Torres, C. P. (2018). *Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill interamericana editores, S.A.
- Herrera-Quintero, L. K., Villegas-Tamayo, J. D. & Lara-Díaz, M. F. (2024). STEAM Classrooms: A Neuroscience-Based Educational Transformation Experience within UNAL's Digital Framework. *International Symposium on Project Approaches in Engineering Education*, 14, 290-299. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14062544>
- Hooper, D., Coughlan, J. & Mullen, M. R. (2008). Structural equation modelling: Guidelines for determining model fit. *Electronic Journal of Business Research Methods*, 6(1), 53-60. <https://doi.org/10.21427/D7CF7R>
- Immordino-Yang, M. H., Darling-Hammond, L. & Krone, C. R. (2019). Nurturing Nature: How Brain Development Is Inherently Social and Emotional, and What This Means for Education. *Educational Psychologist*, 54(3), 185-204. <https://doi.org/10.1080/00461520.2019.1633924>
- Jimenez-Liso, M. R., Bellocchi, A., Martinez-Chico, M. & Lopez-Gay, R. (2022). A Model-Based Inquiry Sequence as a Heuristic to Evaluate Students' Emotional, Behavioural, and Cognitive Engagement. *Research in Science Education*, 52(4), 1313-1334. <https://doi.org/10.1007/s11165-021-10010-0>
- Kim, D. & Bolger, M. (2017). Analysis of Korean Elementary Pre-Service Teachers' Changing Attitudes About Integrated STEAM Pedagogy Through Developing Lesson Plans. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 15(4), 587-605. <https://doi.org/10.1007/s10763-015-9709-3>

- López-Aguado, M. & Gutiérrez-Provecho, L. (2019). Cómo realizar e interpretar un análisis factorial exploratorio utilizando SPSS. *REIRE Revista d Innovació i Recerca en Educació*, 12(2), 1-14. <https://doi.org/10.1344/reire2019.12.227057>
- López-Banet, L., Perales, F.-J. & Jimenez-Liso, M. R. (2021). STEAM views from a need: the case of the chewing gum and pH sensopill. *Journal for the Study of Education and Development*, 44(4), 909-941. <https://doi.org/10.1080/02103702.2021.1927505>
- López-Martín, E. & Ardura, D. (2023). The effect size in scientific publication. *Educación XX1*, 26(1), 9-17. <https://doi.org/10.5944/educxx1.36276>
- Mondéjar Rodríguez, J.J., Rodríguez Fuentes, A. & Fierro Chong, B.M. (2023). El paradigma de apoyos al aprendizaje desde la neurodidáctica: una necesidad en la formación universitaria. *Entretextos*, 17(33), 90-108. <https://doi.org/10.5281/zenodo.8218195>
- Mora, F. (2022). *Neuroeducador: una nueva profesión*. Alianza editorial.
- Morata-Ramírez, M. Á., Holgado-Tello, F. P., Barbero-García, M. I. & Mendez, G. (2015). Análisis factorial confirmatorio. Recomendaciones sobre mínimos cuadrados no ponderados en función del error Tipo I de Ji-Cuadrado y RMSEA. *Acción Psicológica*, 12(1), 79-90. <https://doi.org/10.5944/ap.12.1.14362>
- Mou, T.-Y. (2023). University students' attitudes towards steam via a thematic 3D design project. *Journal of Baltic Science Education*, 22(2), 294-308. <https://doi.org/10.33225/jbse/23.22.294>
- Murillo Ligorred, V. & Ramos Vallecillo, N. (2023). Transdisciplinariedad entre arte, ciencia y tecnología: superación de fronteras en las propuestas didáctico-expositivas de Karin Ohlenschläger en su etapa como directora de LABoral Gijón. *Artnodes*, (32), 1-11. <https://doi.org/10.7238/artnodes.v0i32.411828>
- Núñez Valdés, J., Vázquez Ruiz, A. E. & Vázquez Ruiz, R. A. (2022). ¿Cómo explicarían los autores la Educación STEM / STEAM a alumnos de Secundaria y Bachillerato? *Unión. Revista Iberoamericana de Educación Matemática*, 66, 1-20. <https://union.fespm.es/index.php/UNION/article/view/1173>
- Oliva, J. M., Aragón Méndez, M. del M., Jiménez-Tenorio, N. & Aragón Núñez, L. (2019). La modelización como enfoque didáctico y de investigación en torno a la educación científica. *International Journal for 21st Century Education*, 5(1), 3-18. <https://doi.org/10.21071/ij21ce.v5i1.4156>
- Ozkan, G. & Topsakal, U. U. (2023). Identifying Middle School Students' Perceptions of STEAM Careers. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*, 19(1), 1-15. <https://doi.org/10.15294/jpfi.v19i1.35912>
- Palacios Iturralde, E. D., Iturralde Guanocho, F. E., Gutiérrez Jácome, S. del P., León Alba, C. J. & Corrales Chiluisa, E. P. (2025). Implementación de la metodología STEAM para el fortalecimiento de los procesos cognitivos en la educación. *Revista Multidisciplinar Epistemología de las Ciencias*, 2(3), 2210-2230. <https://doi.org/10.71112/krxwv329>
- Perales, F. J. & Aróstegui, J. L. (2024). The STEAM approach: Implementation and educational, social and economic consequences. *Arts Education Policy Review*, 125(2), 59-67. <https://doi.org/10.1080/10632913.2021.1974997>
- Perticarrari, A. & Oliveira Figueiredo, A. (2022). El aprendizaje basado en modelos mantiene a los alumnos activos y con atención sostenida. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 19(3), 3102. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2022.v19.i3.3102
- Pocalana, G., Robutti, O. & Ciartano, E. (2024). Resources and Praxeologies Involved in Teachers' Design of an Interdisciplinary STEAM Activity. *Education Sciences*, 14(3), 333. <https://doi.org/10.3390/educsci14030333>

- Quigley, C. F., Herro, D. & Jamil, F. M. (2017). Developing a Conceptual Model of STEAM Teaching Practices. *School Science and Mathematics*, 117(1-2), 1-12. <https://doi.org/10.1111/ssm.12201>
- Rodríguez, A. y Lluch, L. (2026). Editorial: Alfabetización y mitificación en Neuroeducación. *JONED, Journal of Neuroeducation*, 6(2), 1-11. <https://doi.org/10.1344/joned.v6i2.53273>
- Rodríguez, A., Sosa, D.I. y Hernández, T.B. (2026). Una cita pedagógica con la Neurociencia: surgimiento de la Neuroeducación y superación de neuromitos. *Utopía y praxis latinoamericana*. 31(113), 1-19, e781280. <https://produccioncientificaluz.org/index.php/utopia/article/view/e781280>
- Rossi Cordero, A. E. & Barajas Frutos, M. (2015). Elección de estudios CTIM y desequilibrios de género. *Enseñanza de las Ciencias. Revista de investigación y experiencias didácticas*, 33(3), 59-76. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1481>
- Sanabria-Z, J., Cebal-Loureda, M., Antelis, J. M. & Lee, S. (2025). Advances in complex thinking and neurotechnologies in education: a bibliometric analysis of research trends. *Cognitive Processing*, 26(3), 611-624. <https://doi.org/10.1007/s10339-025-01273-w>
- Santana-Vega, L. E., Suárez-Perdomo, A. & Feliciano-García, L. (2020). El aprendizaje basado en la investigación en el contexto universitario: una revisión sistemática. *Revista Española de Pedagogía*, 78(277), 519-537. <https://doi.org/10.22550/REP78-3-2020-08>
- Sousa, D. A. & Pilecki, T. (2018). *From STEM to STEAM: Brain-Compatible Strategies and Lessons That Integrate the Arts* (2nd ed.). Corwin. <https://doi.org/10.4135/9781544357393>
- Strat, T. T. S., Henriksen, E. K. & Jegstad, K. M. (2024). Inquiry-based science education in science teacher education: a systematic review. *Studies in Science Education*, 60(2), 191-249. <https://doi.org/10.1080/03057267.2023.2207148>
- Sun, Y., Ni, C.-C. & Lin, R. (2023). From stereotype to reality: A pilot study on the use of science, technology, engineering, and mathematics and STEAM in design education in Taiwan. *Frontiers in Education*, 8, 1098584. <https://doi.org/10.3389/feduc.2023.1098584>
- Tesch, R. (2013). Qualitative Research: Analysis Types and Software. En *Qualitative Research: Analysis Types and Software Tools*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315067339>
- Tomczak, M. & Tomczak, E. (2014). The need to report effect size estimates revisited. An overview of some recommended measures of effect size. *Trends in Sport Sciences*, 1(21), 19-25. <https://tss.awf.poznan.pl/The-need-to-report-effect-size-estimates-revisited-An-overview-of-some-recommended,188960,0,2.html>
- Townsley, K. (2017). From STEM to STEAM: The Neuroscience Behind the Movement Towards Arts Integration in K-12 Curricula [Portland State University]. En *University Honors Theses*. <https://doi.org/10.15760/honors.443>
- Tuapanta, J., Duque, M. & Mena, Á. (2017). Alfa de Cronbach para validar un instrumento de uso de TIC en docentes universitarios. *mktDescubre*, 10, 37-48.
- Wiegand, S. & Borromeo Ferri, R. (2023). Promoting pre-service teachers' professionalism in steam education and education for sustainable development through mathematical modelling activities. *ZDM - Mathematics Education*, 55(7), 1269-1282. <https://doi.org/10.1007/s11858-023-01500-8>