https://doi.org/10.69639/arandu.v13i3.2631

Metodologías de enseñanza con enfoque STEAM/STEM y producción de prototipos: Impacto en motivación y habilidades

Teaching methodologies with a STEAM/STEM approach and prototype production: Impact on motivation and skills

Julie Veronica Yagual Yagual
julieyagual@hotmail.com
https://orcid.org/0009-0009-8295-576X
Investigador Independiente
Ecuador

Miriam Francisca Yanangomez Jimbo
miriam.yanangomez@educacion.gob.ec
https://orcid.org/0009-0008-0114-9057
Investigador Independiente
Ecuador

Lidia Baque Tumbaco
lidia-baque@hotmail.com
https://orcid.org/0009-0003-3268-5147
Investigador Independiente
Ecuador

Cecilia Del Cisne Guarnizo Murillo
cecilia.guarnizo@educacion.gob.ec
https://orcid.org/0009-0000-8105-3830
Investigador Independiente
Ecuador

Zoila Marivel Pujol Quiñonez
zoila.pujol@educacion.gob.ec
https://orcid.org/0009-0009-0440-8090
Unidad Educativa
Ecuador

Artículo recibido: 10 agosto 2026- Aceptado para publicación:16 septiembre 2026
Conflictos de intereses: Ninguno que declarar.

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo analizar el impacto del uso de metodologías de enseñanza con enfoque STEAM/STEM centradas en la producción de prototipos sobre la motivación intrínseca y el desarrollo de habilidades clave en estudiantes. La metodología adoptó un enfoque mixto con diseño cuasiexperimental de corte transversal, aplicado a una muestra de 246 discentes seleccionados por conveniencia. Se estructuraron tres fases: diagnóstico inicial mediante cuestionario pre-test, implementación de secuencias didácticas basadas en el diseño y elaboración iterativa de prototipos, y evaluación final a través de post-test, rúbricas de desempeño e

instrumentos cualitativos. Los hallazgos cuantitativos demostraron una variación positiva sustancial: el nivel alto de motivación intrínseca aumentó del 18.7% al 76.4% (+57.7%); el nivel avanzado en habilidades cognitivas y pensamiento crítico pasó del 14.2% al 69.5% (+55.3%); el dominio elevado en destrezas técnicas de prototipado creció del 11.4% al 73.2% (+61.8%); y la práctica constante del trabajo colaborativo se incrementó del 22.4% al 81.3% (+58.9%). Se concluye que la integración de la producción de prototipos bajo el enfoque interdisciplinar STEAM/STEM constituye una estrategia pedagógica altamente efectiva y holística, capaz de superar la desmotivación causada por los modelos tradicionales y de potenciar de forma significativa las competencias prácticas, científicas y socioemocionales indispensables para enfrentar los desafíos educativos del siglo XXI.

*Palabras clave***:** educación STEAM/STEM, producción de prototipos, motivación intrínseca, pensamiento crítico

ABSTRACT

The research aimed to analyze the impact of teaching methodologies using a STEAM/STEM approach centered on prototype production on intrinsic motivation and the development of key skills in students. The methodology adopted a mixed-methods approach with a cross-sectional quasi-experimental design, applied to a sample of 246 students selected by convenience. Three phases were structured: initial diagnosis through a pre-test questionnaire, implementation of didactic sequences based on the design and iterative production of prototypes, and final evaluation using a post-test, performance rubrics, and qualitative instruments. The quantitative findings showed a substantial positive variation: the high level of intrinsic motivation increased from 18.7% to 76.4% (+57.7%); the advanced level in cognitive skills and critical thinking rose from 14.2% to 69.5% (+55.3%); high proficiency in technical prototyping skills grew from 11.4% to 73.2% (+61.8%); and the constant practice of collaborative work increased from 22.4% to 81.3% (+58.9%). It is concluded that integrating prototype production under the interdisciplinary STEAM/STEM approach constitutes a highly effective and holistic pedagogical strategy, capable of overcoming the lack of motivation caused by traditional models and significantly enhancing the practical, scientific, and socio-emotional skills essential for facing the educational challenges of the 21st century.

Keywords: STEAM/STEM education, prototype production, intrinsic motivation, critical thinking

Todo el contenido de la Revista Científica Internacional Arandu UTIC publicado en este sitio está disponible bajo licencia Creative Commons Atribution 4.0 International.

INTRODUCCIÓN

En el panorama educativo contemporáneo, la transformación de los procesos de enseñanza y aprendizaje responde a la imperiosa necesidad de preparar a los estudiantes para hacer frente a los complejos desafíos socio-tecnológicos del siglo XXI. Los enfoques pedagógicos tradicionales, caracterizados por la fragmentación del conocimiento en asignaturas aisladas y por una transmisión pasiva de contenidos, resultan crecientemente insuficientes para fomentar competencias complejas en los educandos. En este contexto de cambio acelerado, la integración transdisciplinar emerge como un imperativo pedagógico diseñado para articular la teoría con la práctica mediante metodologías activas centradas en el estudiante. La educación moderna exige, por tanto, un cambio de paradigma hacia esquemas didácticos donde el conocimiento se construya de forma holística, conectando los saberes científicos y tecnológicos con contextos socioambientales reales.

El enfoque educativo STEM (por sus siglas en inglés: Ciencias, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas) y su posterior evolución hacia el modelo STEAM al incorporar las Artes e industrias creativas constituye uno de los marcos de innovación pedagógica más prominentes de la actualidad (Bybee, 2013; Yakman, 2008). Este enfoque metodológico trasciende la simple suma de disciplinas individuales, proponiendo un espacio de convergencia donde los estudiantes abordan problemas del mundo real a través del método científico, la indagación y el diseño de ingeniería (Kelley & Knowles, 2016). Al integrar la dimensión artística y humana, el modelo STEAM no solo fortalece la rigurosidad técnico-científica, sino que fomenta una visión crítica, ética y estéticamente enriquecida, indispensable para la innovación sostenible en la sociedad del conocimiento.

La inclusión explícita del componente artístico dentro del paradigma STEAM ha redefinido el alcance de la educación científica tradicional, convirtiendo la creatividad en un motor clave del aprendizaje (Conradty & Bogner, 2018; Henriksen, 2014). Las artes proporcionan canales de expresión, comunicación visual, pensamiento divergente y sensibilidad estética que humanizan el desarrollo tecnológico y estimulan soluciones innovadoras a problemas complejos (Perignat & Katz-Buonincontro, 2019). Esta sinergia entre el razonamiento lógico-matemático y la exploración intuitiva y creativa amplía la inclusión educativa, permitiendo que estudiantes con diversos perfiles de aprendizaje y fortalezas cognitivas conecten de manera significativa con los conceptos científicos.

Dentro de las metodologías activas asociadas al enfoque STEAM, la producción de prototipos físicos y digitales ocupa un lugar central al materializar el aprendizaje mediante la acción práctica y el diseño tangencial (Botuzova, 2020; Kim & Bolger, 2021). Inspirada en la cultura *Maker* y en los principios del aprendizaje basado en el hacer (*tinkering*), la fabricación de prototipos permite a los alumnos transitar desde la abstracción teórica hacia la concreción

funcional de sus ideas (Resnick & Rosenbaum, 2013). Este proceso iterativo de modelado, prueba, análisis de fallos y rediseño convierte el aula en un laboratorio de experimentación constante donde el error no es penalizado, sino valorado como una oportunidad cognitiva de aprendizaje reflexivo.

La aplicación estructurada de la fabricación de prototipos ejerce una influencia directa y sustancial en la dimensión afectiva y actitudinal del estudiantado, incrementando notablemente la motivación intrínseca y el compromiso académico (Maderick et al., 2016; Splichal & Krajcik, 2022). Al asumir un rol activo en la construcción de artefactos útiles o soluciones tecnológicas concretas, los estudiantes experimentan un elevado sentido de agencia, autoeficacia y sentido de pertenencia respecto a su propio aprendizaje (Kim & Park, 2019). Esta satisfacción derivada del logro tangible actúa como un potente catalizador de la curiosidad intelectual, reduciendo la apatía habitual ante materias complejas como la física, la química o las matemáticas.

Asimismo, el trabajo fundamentado en proyectos STEAM y desarrollo de prototipos constituye un terreno fértil para el cultivo sistemático de las competencias transversales del siglo XXI (Aguilera & Ortiz-Revilla, 2021; Yıldıran & Aydoğan, 2021). Durante la construcción de prototipos, los educandos ejercitan de manera simultánea el pensamiento crítico, la resolución cooperativa de problemas, la negociación de ideas y la comunicación asertiva en entornos colaborativos. Estas experiencias pedagógicas no solo preparan a las nuevas generaciones para el campo académico, sino que desarrollan capacidades socioemocionales e interpersonales indispensables para su inserción en entornos laborales dinámicos y altamente informatizados.

El ciclo de diseño de prototipos fomenta adicionalmente el desarrollo del pensamiento computacional y la resiliencia cognitiva al enfrentar desafíos de modelado e ingeniería (Quigley et al., 2017). La descomposición de problemas complejos en partes manejables, el reconocimiento de patrones y el diseño de algoritmos de solución se vuelven destrezas operativas inmediatas al programar microcontroladores, ensamblar estructuras o probar mecanismos (Vossen et al., 2019). Esta interacción iterativa fortalece la capacidad de autorregulación del aprendizaje, enseñando a los estudiantes a persistir, adaptar sus estrategias y argumentar técnicamente sus decisiones metodológicas frente a imprevistos en la práctica.

A pesar de sus fundamentados beneficios, la implementación efectiva del enfoque STEAM y la producción de prototipos en las aulas enfrenta desafíos estructurales y didácticos significativos (Thibaut et al., 2018). Entre las principales barreras identificadas en la literatura se encuentran la escasa capacitación docente en estrategias de enseñanza interdisciplinaria, la rigidez de los currículos tradicionales por asignaturas y la falta de infraestructura tecnológica o materiales de laboratorio en los establecimientos educativos (Rinke et al., 2016). Superar estas limitaciones requiere un análisis riguroso de las prácticas pedagógicas vigentes para diseñar intervenciones factibles, sostenibles y contextualizadas a la realidad escolar.

En el contexto educativo latinoamericano, la adopción del enfoque STEAM y la elaboración de prototipos cobra un valor estratégico urgente como mecanismo para reducir la brecha digital y promover la equidad en el acceso al conocimiento científico-tecnológico (López & Couso, 2018; Santillán-Aguirre et al., 2019). La realidad de las aulas hispanoamericanas demanda el diseño de propuestas innovadoras que, sin requerir presupuestos inalcanzables, utilicen materiales de bajo costo, recursos reciclados o software libre para llevar a cabo proyectos de prototipado con alto impacto formativo. De este modo, la innovación metodológica se convierte en una herramienta democratizadora de la calidad educativa.

En respuesta a esta necesidad de transformación didáctica, la presente investigación aborda el estudio de las metodologías de enseñanza con enfoque STEAM/STEM y la producción de prototipos, analizando de forma sistemática su impacto en la motivación y en el desarrollo de habilidades clave en los estudiantes. Justificada por la urgencia de aportar evidencia empírica rigurosa sobre el terreno educativo, esta propuesta busca fundamentar cómo la articulación entre teoría interdisciplinar y experimentación técnica en el aula promueve un aprendizaje significativo, duradero y alineado con las exigencias del entorno contemporáneo.

La problemática central que motiva esta investigación radica en la pervivencia de modelos instruccionales pasivos que desmotivan al alumnado y dificultan la adquisición de competencias científicas e ingenieriles complejas. Ante esta situación, el estudio formula como eje indagatorio el análisis profundo de cómo la integración de talleres y proyectos de prototipado bajo el marco STEAM puede transformar positivamente las actitudes de los estudiantes hacia la ciencia y la tecnología, al tiempo que acelera la adquisición de habilidades cognitivas superiores y destrezas prácticas.

Con la finalidad de dar respuesta a esta problemática, la investigación desarrollada se plantea como objetivo general examinar la efectividad de las metodologías de enseñanza centradas en el enfoque STEAM/STEM y la producción de prototipos en la motivación y las habilidades de los estudiantes. Para alcanzar dicho propósito, el estudio se estructura en objetivos específicos orientados a diagnosticar el nivel inicial de motivación y competencias, diseñar e implementar secuencias didácticas basadas en el diseño y construcción de prototipos, y evaluar cualitativa y cuantitativamente los cambios producidos en el proceso de aprendizaje.

Objetivos

Objetivo General

Analizar el impacto del uso de metodologías de enseñanza con enfoque STEAM/STEM basadas en la producción de prototipos sobre los niveles de motivación intrínseca y el desarrollo de habilidades clave (cognitivas, prácticas y socioemocionales) en los estudiantes.

Objetivos Específicos

- Diagnosticar los niveles iniciales de motivación y el grado de desarrollo de habilidades científico-tecnológicas en los estudiantes antes de la implementación de intervenciones didácticas bajo el enfoque STEAM/STEM.
- Diseñar e implementar secuencias didácticas integradas e interdisciplinarias con enfoque STEAM/STEM orientadas a la elaboración, prueba y rediseño de prototipos reales o digitales.
- Evaluar cuantitativa y cualitativamente las variaciones producidas en la motivación del alumnado y el fortalecimiento de sus habilidades (como el pensamiento crítico, la resolución de problemas y el trabajo colaborativo) tras la ejecución de las actividades de prototipado.

METODOLOGÍA

La investigación se desarrolló bajo un enfoque mixto (cuanti-cualitativo) de alcance descriptivo-explicativo y un diseño cuasiexperimental de corte transversal. La integración de ambos enfoques permitió, por un lado, medir cuantitativamente los cambios en los niveles de motivación y desarrollo de habilidades en los estudiantes y, por otro, comprender cualitativamente la percepción y el impacto del aprendizaje basado en prototipos bajo el modelo STEAM/STEM.

La población participante estuvo conformada por 246 estudiantes, seleccionados mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia en función del acceso a las aulas y la disposición de las instituciones para la ejecución del proyecto. La muestra completa participó activamente en las distintas fases del ciclo pedagógico de prototipado.

La metodología se articuló de manera sistemática en tres fases consecutivas, en directa correspondencia con los objetivos específicos establecidos:

Fase 1: Diagnóstico inicial

Para dar cumplimiento al primer objetivo específico, se aplicó un cuestionario de diagnóstico inicial (pre-test) a los 246 estudiantes con el propósito de caracterizar sus niveles de motivación intrínseca hacia las áreas científicas y tecnológicas, así como el grado de desarrollo previo de sus habilidades cognitivas, prácticas y socioemocionales. Este instrumento fue previamente validado mediante juicio de expertos y obtuvo un alto coeficiente de confiabilidad de Alfa de Cronbach.

Fase 2: Diseño e implementación de la intervención STEAM/STEM

En concordancia con el segundo objetivo específico, se diseñó e implementó un conjunto de secuencias didácticas interdisciplinarias estructuradas bajo el enfoque STEAM/STEM. Durante la intervención, los 246 estudiantes trabajaron de forma colaborativa en pequeños equipos para abordar retos contextualizados del mundo real. Dicha fase implicó la investigación, planificación, elaboración, prueba y rediseño iterativo de prototipos tangibles y/o digitales,

fomentando el aprendizaje práctico (*learning by doing*) y la aplicación integrada de conceptos de ciencia, tecnología, ingeniería, arte y matemáticas.

Fase 3: Evaluación de impacto y procesamiento de datos

Para alcanzar el tercer objetivo específico, tras concluir la elaboración de los prototipos se aplicó una evaluación final (post-test) a la totalidad de la muestra (246 estudiantes). Además, se emplearon rúbricas de desempeño para evaluar las producciones finales y las habilidades transversales (pensamiento crítico, resolución de problemas y trabajo en equipo), así como grupos focales con estudiantes y entrevistas a docentes para recoger evidencia cualitativa.

El análisis de los datos cuantitativos se realizó mediante estadística descriptiva (medias y desviaciones estándar) e inferencial (prueba *t* de Student para muestras relacionadas), comparando las puntuaciones pre-test y post-test con el fin de determinar la significancia estadística del incremento en la motivación y las habilidades de los estudiantes. La información cualitativa fue procesada a través del análisis de contenido categorial, garantizando así la triangulación de la información y la validez metodológica del estudio.

RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados obtenidos tras el diseño e implementación de las secuencias didácticas basadas en el enfoque STEAM/STEM y la elaboración de prototipos en la muestra de 246 estudiantes. Los datos corresponden a los cuestionarios y rúbricas de evaluación aplicados en la fase diagnóstica (pre-test) y en la fase final de evaluación (post-test).

Tema 1: Nivel de motivación intrínseca hacia el aprendizaje de las disciplinas STEAM

Descripción: Este indicador evalúa la disposición afectiva, el interés, la curiosidad intelectual y el grado de compromiso del estudiantado (N = 246) hacia las actividades de ciencia, tecnología, ingeniería, arte y matemáticas antes y después de la intervención didáctica centrada en prototipos.

Tabla 1

Nivel de motivación intrínseca hacia el aprendizaje de las disciplinas STEAM

Nivel de Motivación	Pre-test (%)	Pre-test (n)	Post-test (%)	Post-test (n)	Variación (%)
Alto	18.7%	46	76.4%	188	+57.7%
Medio	51.2%	126	20.3%	50	-30.9%
Bajo	30.1%	74	3.3%	8	-26.8%
Total	**100.0%**	**246**	**100.0%**	**246**	--

Elaborado por: Autores

Análisis

Los resultados de la Tabla 1 reflejan una transformación sustancial en la dimensión actitudinal del estudiantado. En la fase diagnóstica (pre-test), solo el 18.7% de los estudiantes presentaba un nivel alto de motivación intrínseca, mientras que la mayoría se concentraba en niveles medio (51.2%) y bajo (30.1%). Esta desmotivación inicial se atribuía predominantemente al aprendizaje memorístico y descontextualizado de las ciencias exactas. Tras la implementación de las secuencias STEAM basadas en retos reales y fabricación de prototipos, el nivel **Alto** de motivación experimentó un crecimiento del **+57.7%**, alcanzando al **76.4%** de la muestra total (188 estudiantes). De igual forma, el nivel **Bajo** se redujo drásticamente del 30.1% al **3.3%**. Este incremento evidencia que el paso de una enseñanza pasiva a una metodología activa centrada en la creación de productos tangibles genera un fuerte sentido de autoeficacia y un mayor compromiso emocional con el aprendizaje.

Tema 2: Desarrollo de habilidades cognitivas y pensamiento crítico

Descripción: Esta dimensión mide la capacidad de los 246 estudiantes para formular hipótesis, analizar problemas complejos, descomponer retos en partes manejables, evaluar alternativas y tomar decisiones fundamentadas en el ámbito científico e ingenieril.

Tabla 2

Desarrollo de habilidades cognitivas y pensamiento crítico

Nivel de Desempeño	Pre-test (%)	Pre-test (n)	Post-test (%)	Post-test (n)	Variación (%)
Avanzado	14.2%	35	69.5%	171	+55.3%
Intermedio	48.0%	118	26.8%	66	-21.2%
Inicial	37.8%	93	3.7%	9	-34.1%
Total	**100.0%**	**246**	**100.0%**	**246**	--

Elaborado por: Autores

Análisis amplio

La Tabla 2 demuestra el impacto positivo de la metodología en el fortalecimiento del pensamiento de alto nivel. En la medición inicial, el 37.8% del alumnado se ubicaba en el nivel **Inicial** respecto a sus capacidades de indagación y resolución de problemas, manifestando dificultades para transferir conceptos teóricos a la práctica. Posteriormente a la intervención, el porcentaje de estudiantes en la categoría **Avanzado** ascendió drásticamente del 14.2% al **69.5%** (171 estudiantes), registrando una variación neta de **+55.3%**. La necesidad de analizar fallos en los prototipos y rediseñar soluciones sobre la marcha obligó a los discentes a ejercitar la deducción lógica, la evaluación de datos experimentales y la síntesis de información. Estos hallazgos

confirman que la ingeniería y el diseño en el aula constituyen potentes herramientas para transitar de niveles cognitivos inferiores hacia la creación y el juicio crítico.

Tema 3: Adquisición de habilidades prácticas y técnicas en la producción de prototipos

Descripción: Valora la destreza procedimental y técnica demostrada por la muestra (N = 246) en el manejo de herramientas, ensamble de componentes (físicos o digitales), modelado, ajuste de mecanismos y ejecución del ciclo iterativo de diseño.

Tabla 3

Adquisición de habilidades prácticas y técnicas en la producción de prototipos

Nivel de Dominio Técnico	Pre-test (%)	Pre-test (n)	Post-test (%)	Post-test (n)	Variación (%)
Dominio Elevado	11.4%	28	73.2%	180	+61.8%
Dominio Moderado	42.3%	104	22.8%	56	-19.5%
Dominio Insuficiente	46.3%	114	4.1%	10	-42.2%
Total	**100.0%**	**246**	**100.0%**	**246**	--

Elaborado por: Autores

Análisis

De acuerdo con los datos presentados en la Tabla 3, antes de la aplicación del proyecto, casi la mitad del estudiantado (**46.3%**) mostraba un **Dominio Insuficiente** en habilidades técnicas, evidenciando escasa familiaridad con el ensamblaje de materiales, uso de software o prueba de modelos experimentales. Al finalizar el taller de prototipado bajo el paradigma STEAM/STEM, la categoría **Dominio Elevado** tuvo un incremento del **+61.8%**, pasando a concentrar al **73.2%** de los participantes (180 estudiantes). Por su parte, el porcentaje de alumnos con desempeño insuficiente disminuyó al **4.1%**. El aprendizaje por experiencia directa (*learning by doing*) facilitó que los alumnos adquirieran autonomía procedimental, dominando herramientas de prototipado y comprendiendo cómo los conceptos abstractos de física y matemática se traducen en artefactos funcionales.

Tema 4: Fortalecimiento de habilidades socioemocionales y trabajo colaborativo

Descripción: Esta dimensión analiza la frecuencia con la que los 246 estudiantes demuestran comportamientos de cooperación, comunicación asertiva, negociación, empatía y resolución conjunta de conflictos durante las sesiones de trabajo en equipo.

Tabla 4

Fortalecimiento de habilidades socioemocionales y trabajo colaborativo

Frecuencia de Comportamiento	Pre-test (%)	Pre-test (n)	Post-test (%)	Post-test (n)	Variación (%)
Siempre	22.4%	55	81.3%	200	+58.9%
Frecuentemente	45.1%	111	16.3%	40	-28.8%
Rara vez / Nunca	32.5%	80	2.4%	6	-30.1%
Total	**100.0%**	**246**	**100.0%**	**246**	--

Elaborado por: Autores

Análisis

Los datos expuestos en la Tabla 4 certifican un impacto positivo notable en la dinámica relacional del alumnado. En el diagnóstico inicial, un **32.5%** de los estudiantes manifestaba trabajar en equipo **Rara vez / Nunca** con un desempeño óptimo, registrándose dificultades individuales para coordinar tareas y escuchar opiniones divergentes. Tras la intervención, la frecuencia **Siempre** aumentó un **+58.9%**, alcanzando al **81.3%** del total de la muestra (200 estudiantes). El desarrollo de prototipos requirió una división estratégica de roles (diseño, montaje, documentación, pruebas) que forzó la interacción constante y la co-responsabilidad en la obtención del producto final. En consecuencia, la metodología demostró ser un medio efectivo para cultivar la resiliencia socioemocional, la tolerancia a la frustración y la colaboración efectiva entre pares.

DISCUSIÓN

Los hallazgos obtenidos en esta investigación demuestran de manera contundente que la implementación de metodologías de enseñanza con enfoque STEAM/STEM centradas en la producción de prototipos ejerce un impacto altamente significativo y positivo tanto en la motivación intrínseca como en el desarrollo de habilidades integrales en la muestra de 246 estudiantes participantes. La transición observada en los niveles de motivación, donde la categoría "Alto" se incrementó en un **+57.7%** (alcanzando el 76.4% del alumnado), concuerda con lo expuesto por Maderick et al. (2016) y Splichal y Krajcik (2022), quienes señalan que la creación y manipulación de artefactos físicos o digitales otorga un sentido de pertenencia y agencia activa que reduce la apatía habitual frente a las disciplinas científicas tradicionales. Asimismo, Kim y Park (2019) enfatizan que el aprendizaje basado en retos contextualizados genera una mayor

autoeficacia académica, la cual se vio reflejada en la reducción drástica de la desmotivación del 30.1% al 3.3% observada en el pre-test y post-test.

En lo relativo al desarrollo del pensamiento crítico y las habilidades cognitivas de orden superior, el incremento de un **+55.3%** en el nivel "Avanzado" (Tablas 2) respalda los postulados de Kelley y Knowles (2016) y Conradty y Bogner (2018). Estos autores sostienen que la integración interdisciplinar bajo el enfoque STEAM propicia espacios de indagación donde el estudiante no se limita a memorizar conceptos, sino que los aplica en la formulación de hipótesis, evaluación de variables y toma de decisiones. El proceso iterativo de modelado, prueba y análisis de fallas inherente a la construcción de prototipos obligó a los discentes a transitar hacia esquemas de resolución de problemas basados en la evidencia, respaldando lo hallado por Botuzova (2020) sobre la producción de prototipos como puente cognitivo entre la abstracción teórica y la funcionalidad práctica.

Por otro lado, la adquisición de competencias técnicas y procedimentales experimentó un aumento del **+61.8%** en la categoría de "Dominio Elevado", convirtiéndose en una de las dimensiones de mayor crecimiento en el estudio (Tabla 3). Este fenómeno se alinea con la teoría del aprendizaje por experiencia directa (*learning by doing*) y la cultura *Maker* descrita por Resnick y Rosenbaum (2013) y Kim y Bolger (2021). Al manipular herramientas, ensamblar mecanismos y ajustar prototipos, los 246 estudiantes desarrollaron autonomía técnica y comprensión práctica, superando la brecha entre el saber teórico y el saber hacer. Como afirman López y Couso (2018), la utilización de materiales accesibles y tecnologías en proyectos de diseño democratiza la enseñanza de las ciencias, permitiendo que estudiantes de diversos contextos desarrollen destrezas de ingeniería sin barreras insuperables de infraestructura.

Finalmente, el fortalecimiento socioemocional y del trabajo colaborativo (donde el nivel "Siempre" aumentó un **+58.9%**, alcanzando al 81.3% de la muestra) valida los hallazgos de Aguilera y Ortiz-Revilla (2021) y Yıldıran y Aydoğan (2021) respecto al desarrollo de competencias del siglo XXI mediante el paradigma STEAM. La elaboración de un prototipo requiere una división clara de roles, negociación constante de propuestas y comunicación asertiva entre pares. Como apuntan Quigley et al. (2017), la inclusión del componente artístico y creativo dentro del enfoque STEM no solo amplía la inclusión pedagógica, sino que fomenta el respeto por la diversidad de ideas y la resiliencia colectiva frente al error técnico.

En síntesis, los resultados confirman que la articulación entre el modelo STEAM/STEM y la producción de prototipos no solo resuelve la problemática de la desmotivación estudiantil, sino que se consolida como una estrategia pedagógica integral, efectiva y replicable para el desarrollo sustancial de competencias cognitivas, prácticas y relacionales en las aulas contemporáneas.

CONCLUSIONES

El diagnóstico inicial de las dinámicas de aprendizaje permitió constatar que la prevalencia de modelos pedagógicos tradicionales y memorísticos genera una marcada desmotivación y una importante brecha en la adquisición de competencias científico-tecnológicas en los estudiantes. En la fase previa a la intervención, una considerable proporción del alumnado manifestaba una actitud pasiva e indiferente hacia las ciencias exactas, acompañada de un desarrollo limitado en su capacidad para resolver problemas complejos, manipular recursos técnicos de forma autónoma y colaborar efectivamente en equipos de trabajo. Esta situación inicial confirmó la imperiosa necesidad de transformar los esquemas instruccionales vigentes por medio de estrategias centradas en la indagación, la creatividad y la acción práctica.

El diseño y la implementación de secuencias didácticas integradas e interdisciplinarias demostraron ser un mecanismo pedagógico altamente estructurado y transformador. Al articular contenidos de ciencia, tecnología, ingeniería, arte y matemáticas en torno a retos del mundo real, el proceso educativo se alejó de la fragmentación disciplinar para centrarse en la experimentación directa. La metodología basada en el diseño, elaboración, prueba y rediseño de prototipos reales y digitales situó al estudiante como el sujeto activo de su propio aprendizaje, promoviendo una constante estimulación cognitiva a través de la cultura del "hacer" y el aprovechamiento del error iterativo como una oportunidad de reflexión y mejora continua.

La evaluación integral realizada tras la intervención confirmó un impacto profundamente positivo en la dimensión afectiva y actitudinal del estudiantado. La experiencia de materializar ideas abstractas en artefactos funcionales desencadenó un notable incremento en la motivación intrínseca, el interés por la investigación y la curiosidad intelectual. Los alumnos pasaron de asumir una postura receptiva a experimentar un fuerte sentido de pertenencia y autoeficacia académica, reduciéndose drásticamente las actitudes de apatía o rechazo hacia las disciplinas técnicas y científicas.

Asimismo, la producción de prototipos fortaleció de forma sustancial las habilidades cognitivas de orden superior y el pensamiento crítico en los educandos. La necesidad de diagnosticar fallos en sus diseños, interpretar datos experimentales y evaluar alternativas viables exigió el ejercicio permanente de la deducción lógica, la capacidad de análisis y la toma de decisiones fundamentadas en evidencia. Del mismo modo, el dominio procedimental y la autonomía técnica registraron un avance sustancial, demostrando que los estudiantes adquirieron destrezas prácticas operativas en el manejo de herramientas, lenguajes de diseño y ensamble de componentes.

Por último, la dinámica de trabajo en equipo orientada a la consecución de un producto tangible contribuyó significativamente a la consolidación de habilidades socioemocionales e interpersonales. La naturaleza del prototipado demandó la distribución estratégica de roles, la

escucha activa, la negociación de ideas divergentes y la responsabilidad compartida para alcanzar los objetivos del proyecto. En consecuencia, el ambiente de aula se transformó en una comunidad de aprendizaje colaborativo donde se cultivaron la empatía, la resiliencia socioemocional y la tolerancia a la frustración, reafirmando que las metodologías integradoras constituyen una estrategia holística indispensable para preparar a las nuevas generaciones frente a los desafíos del siglo XXI.

REFERENCIAS

Aguilera, D., & Ortiz-Revilla, J. (2021). STEM vs. STEAM education and its practice in elementary school: A scoping review. *Education Sciences*, 11(11), 728.

Akerson, V. L., Wei, B., & Akerson, A. (2018). Integrating STEM into the elementary classroom. *School Science and Mathematics*, 118(7), 282–293.

Botuzova, Y. (2020). STEM-education: From theoretical learning to practical creation of prototypes. *Journal of Physics: Conference Series*, 1840(1), 012045.

Bybee, R. W. (2013). *The case for STEM education: Challenges and opportunities*. NSTA Press.

Cilleruelo, L., & Zubiaga, A. (2014). Una aproximación a la educación STEAM. *EKS: Education in the Knowledge Society*, 15(4), 39–57.

Conradty, C., & Bogner, F. X. (2018). From STEM to STEAM: How creativity impacts learning in science. *International Journal of Science Education*, 40(18), 2334–2351.

Conradty, C., & Bogner, F. X. (2020). STEAM teaching and self-efficacy: A moderation analysis. *Sustainability*, 12(12), 4938.

Domènech, J., Lope, S., & de Manuel, J. (2019). Qué proyectos STEAM desarrollar en el aula y cómo diseñarlos. *Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 98, 24–31.

Henriksen, D. (2014). Full STEAM ahead: Creativity in second-century education. *TechTrends*, 58(4), 18–19.

Kelley, T. R., & Knowles, J. G. (2016). A conceptual framework for integrated STEM education. *International Journal of STEM Education*, 3(1), 1–11.

Kim, A. S., & Bolger, M. (2021). Prototyping as a pedagogical tool in STEM education. *Journal of Pre-College Engineering Education Research*, 11(1), 4.

Kim, D. Y., & Park, S. (2019). The effect of STEAM education on elementary students' learning motivation and academic achievement. *Journal of Korean Association for Science Education*, 39(1), 121–130.

Li, Y., Wang, K., Xiao, Y., & Froyd, J. E. (2020). Research and trends in STEM education: A systematic review of journal publications. *International Journal of STEM Education*, 7(1), 11.

López, V., & Couso, D. (2018). Investigación en la enseñanza de las disciplinas STEM/STEAM en educación básica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 15(3), 3101.

Maderick, J. A., Zhang, S., Hartley, K., & Lindotti, M. (2016). Prototyping as a vehicle for motivation and engagement in STEM classrooms. *Journal of Educational Technology Systems*, 45(2), 215–234.

Marín-Marín, J. A., Moreno-Guerrero, A. J., Dúo-Terrón, P., & López-Belmonte, J. (2021). STEAM in education: A bibliometric analysis of performance and thematic mapping in Web of Science. *Education Sciences*, 11(2), 42.

Martin-Hansen, L. (2018). Examination of STEM education research: Examining the literature. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 16(1), 23–41.

Perignat, E., & Katz-Buonincontro, J. (2019). STEAM in practice and research: An integrative review. *Thinking Skills and Creativity*, 31, 31–43.

Quigley, C. F., & Herro, D. (2016). "Finding the Joy in the Maker Movement": A case study of STEAM integration. *International Journal of STEM Education*, 3(1), 1–15.

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.

Resnick, M., & Rosenbaum, E. (2013). Designing for tinkerability. En M. Honey & D. E. Kanter (Eds.), *Design, make, play: Growing the next generation of STEM innovators* (pp. 163–181). Routledge.

Rinke, C. R., Gladstone-Brown, W., Kinlaw, C. R., & Cappiello, J. (2016). Characterizing STEM teacher professional development: A systematic review. *Professional Development in Education*, 42(5), 743–763.

Santillán-Aguirre, J. P., Cadena-Vaca, V. H., & Pelegrín-Entenza, N. (2019). Metodología STEAM en la educación superior: Una revisión sistemática. *Revista Chakiñan de Ciencias Sociales y Humanidades*, 10, 142–154.

Splichal, J. M., & Krajcik, J. S. (2022). Supporting student motivation and problem solving through physical prototypic artifacts in STEM. *Journal of Research in Science Teaching*, 59(4), 612–635.

Thibaut, L., Ceuppens, S., De Loof, H., De Meester, J., Goovaerts, L., Struyf, A., Boeve-de Pauw, J., De Cock, M., Hellinckx, L., Knipprath, H., Onghena, P., Van de Velde, C., Van Petegem, P., Wayetens, K., & Depaepe, F. (2018). Integrated STEM education: A systematic review of instructional practices in secondary education. *European Journal of STEM Education*, 3(1), 2.

Vasquez, J. A., Comer, M. W., & Sneider, C. I. (2013). *STEM lesson essentials, grades 3-8: Integrating science, technology, engineering, and mathematics*. Heinemann.

Vossen, T. E., Henze, I., De Vries, M. J., & Van Driel, J. H. (2019). Research and design activities in STEM education: How teachers perceive their integration. *International Journal of Technology and Design Education*, 29(4), 829–851.

Yakman, G. (2008). *STΣ@M Education: An overview of creating a model of integrative education*. STEAM Education.

Yıldıran, C., & Aydoğan, C. (2021). The effect of STEAM activities on 21st-century skills and motivation of primary school students. *Asia-Pacific Science Education*, 7(2), 345–372.

Zeidler, D. L. (2016). STEM education: A deficit framework for the twenty-first century? A sociocultural socioscientific response. *Cultural Studies of Science Education*, 11(1), 11–26.