

Impacto de la manufactura aditiva en el pensamiento divergente de estudiantes de bachillerato: un estudio cuasiexperimental

Impact of additive manufacturing on divergent thinking in upper-
secondary students: a quasi-experimental study

Alex Corral Verdugo

acorral@uts.edu.mx
<https://orcid.org/0009-0002-7645-9857>
Universidad Tecnológica del Sur de
Sonora
Cd. Obregón Sonora – México

Adrián Sepúlveda Romo

asepulveda@uts.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0002-7639-3512>
Universidad Tecnológica del Sur de Sonora
Cd. Obregón Sonora – México

Eusebio Jiménez López

ejimenezl@msn.com
<https://orcid.org/0000-0001-6893-3550>
Universidad Tecnológica del Sur de Sonora
Cd. Obregón Sonora – México

Alberto Luna Bracamontes

aluna@uts.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0002-9758-2865>
Universidad Tecnológica del Sur de Sonora
Cd. Obregón Sonora – México

María del Socorro Valdez Tribolet

stribolet@uts.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0002-3716-2199>
Universidad Tecnológica del Sur de Sonora
Cd. Obregón Sonora – México

Ernesto Amado Moreno

ernesto.amado.moreno@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0001-7823-8516>
Centro de Estudios tecnológico Industrial y
de Servicio No. 69
Cd. Obregón Sonora – México

DOI: <https://doi.org/10.56712/latam.v6i5.4599>

Artículo recibido: 13 de junio de 2025

Aceptado para publicación: 01 de octubre de
2025.

Conflictos de Interés: Ninguno que declarar.

DOI: <https://doi.org/10.56712/latam.v6i5.4599>

Impacto de la manufactura aditiva en el pensamiento divergente de estudiantes de bachillerato: un estudio cuasiexperimental

Impact of additive manufacturing on divergent thinking in upper-secondary students: a quasi-experimental study

Alex Corral Verdugo

acorral@uts.edu.mx

<https://orcid.org/0009-0002-7645-9857>

Universidad Tecnológica del Sur de Sonora
Cd. Obregón Sonora – México

Adrián Sepúlveda Romo

asepulveda@uts.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0002-7639-3512>

Universidad Tecnológica del Sur de Sonora
Cd. Obregón Sonora – México

Eusebio Jiménez López

ejimenezl@msn.com

<https://orcid.org/0000-0001-6893-3550>

Universidad Tecnológica del Sur de Sonora
Cd. Obregón Sonora – México

Alberto Luna Bracamontes

aluna@uts.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0002-9758-2865>

Universidad Tecnológica del Sur de Sonora
Cd. Obregón Sonora – México

María del Socorro Valdez Tribolet

stribolet@uts.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0002-3716-2199>

Universidad Tecnológica del Sur de Sonora
Cd. Obregón Sonora – México

Ernesto Amado Moreno

ernesto.amado.moreno@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0001-7823-8516>

Centro de Estudios tecnológico Industrial y de Servicio No. 69
Cd. Obregón Sonora – México

Artículo recibido: 13 de junio de 2025. Aceptado para publicación: 01 de octubre de 2025.
Conflictos de Interés: Ninguno que declarar.

Resumen

Se estimó el efecto de integrar manufactura aditiva con modelado CAD e impresión 3D en un proyecto STEAM sobre la creatividad figural en estudiantes de bachillerato. Además, Se realizó un estudio cuasiexperimental pre-post con grupo de comparación en un plantel público, con una muestra N = 120 alumnos, separándolos en dos grupos de 60. La creatividad se evaluó con el test TTCT Figural Forma A de Torrance. Dos evaluadores entrenados calificaron los protocolos utilizados y se verificó la fiabilidad entre ambos evaluadores. Como análisis principal se empleó ANCOVA, controlando la puntuación inicial, edad y género. La intervención se asoció con un incremento estadísticamente

significativo en el posttest, tras el ajuste por línea base, $F(1, 117) = 31.17$, $p < .001$; $\eta^2_p = .21$. Las ganancias fueron mayores en el grupo experimental obteniéndose 10.6 puntos, mientras que en el grupo de control fueron alrededor de 1.5. El pretest explicó una fracción sustantiva de la varianza del posttest cercano al 43 %. Los resultados sugieren que el prototipado y la materialización de ideas mediante manufactura aditiva favorecen la creatividad figural en educación media superior. Se recomienda replicar con aleatorización por conglomerados, extender a múltiples planteles y realizar seguimientos a 6–12 meses.

Palabras clave: STEAM, manufactura aditiva, impresión 3D, TTCC creatividad figural

Abstract

The effect of integrating additive manufacturing with CAD modeling and 3D printing in a STEAM project on figural creativity in high school students was estimated. In addition, a pre-post quasi-experimental study with a comparison group was conducted in a public school, with a sample of $N = 120$ students, separating them into two groups of 60. Creativity was assessed with the Torrance Figural TTCT Form A test. Two trained evaluators rated the protocols used and reliability between both evaluators was verified. The primary analysis was ANCOVA, controlling for initial score, age and gender. The intervention was associated with a statistically significant increase in the posttest, after adjusting for baseline, $F(1, 117) = 31.17$, $p < .001$; $\eta^2_p = .21$. The gains were greater in the experimental group, obtaining 10.6 points, while in the control group they were around 1.5. The pretest explained a substantial fraction of the posttest variance, close to 43%. The results suggest that prototyping and idea realization through additive manufacturing promote figural creativity in upper secondary education. Replication with cluster randomization, extension to multiple campuses, and follow-up at 6–12 months are recommended.

Keywords: STEAM, additive manufacturing, 3D printing, TTCC figural creativity

Todo el contenido de LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades, publicado en este sitio está disponibles bajo Licencia Creative Commons.



Cómo citar: Corral Verdugo, A., Sepúlveda Romo, A., Jiménez López, E., Luna Bracamontes, A., Valdez Tribolet, M. del S., & Amado Moreno, E. (2025). Impacto de la manufactura aditiva en el pensamiento divergente de estudiantes de bachillerato: un estudio cuasiexperimental. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades* 6 (5), 235 – 247.
<https://doi.org/10.56712/latam.v6i5.4599>

INTRODUCCIÓN

La creatividad hoy en día se entiende como una competencia estratégica dentro del aprendizaje y la innovación educativa. Diversos estudios han demostrado que existe una relación positiva, de tamaño moderada entre la creatividad y el rendimiento académico, con $r = 0.22$ de acuerdo a un metaanálisis de 120 investigaciones (Gajda, 2017).

La evidencia empírica confirma que el fomento y uso que hacemos de la creatividad en entornos escolares, se presenta como una necesidad a la que hay que abordar de manera seria debido a que, pruebas enfocadas a la creatividad, como lo es el Test de Pensamiento Creativo de Torrance (TTCT) (Torrance, 2008), indican que la creatividad medida por medio de este instrumento, señal que se ha ido disminuyendo desde finales del siglo XX. Esto no es más que una alerta sobre la necesidad que se tiene, de generar un rediseño en los entornos de aprendizaje con el fin de estimular ideas originales y el pensamiento profundo (Kim, 2011).

Aguilera y Ortiz-Revilla (2021) mencionan que la integración de ciencia, tecnología, ingeniería, arte y matemáticas bajo el enfoque STEAM al currículum escolar, ha mostrado mejoras en la creatividad de los estudiantes (Aguilera, 2021). Sin embargo, la variedad de instrumentos metodológicos, dificultan las comparaciones directas y la generación de conclusiones sólidas. Por ello una vía particularmente prometedora es la adición de la impresión 3D y la manufactura aditiva en espacios contemplados para la educación STEAM, a través de herramientas de diseño en 3D e impresión 3D. Estas tecnologías permiten que los estudiantes vivan ciclos iterativos de prototipado, ideación y evaluación, lo que estimula su pensamiento divergente.

La literatura actual indica, que este enfoque presenta mejoras notables tanto en creatividad como resolución de problemas (Novak, 2021). También, la evidencia empírica ha registrado el aumento en habilidades creativas y de innovación en contextos cuasiexperimental (Chang, 2016). Para evaluar con rigor científico estas propuestas en favor del aumento en creatividad, es necesario instrumentos los cuales sean capaces de estar estandarizados y tener sensibilidad al cambio, por ellos Test como el de Torrance (TTCT) en sus versiones verbal y figural, se presentan internacionalmente como una herramienta sólida y confiable para medir distintos aspectos tales como, creatividad, fluidez, originalidad y elaboración (Runco, 2012). Como nos indica (Alabbasi, 2022) diversos estudios meta analíticos nos confirman la veracidad y la consistencia del Test de Torrance en su forma figural, para la medición de creatividad y resolución de problemas (Acar, 2024).

Pese a estas evidencias, aún son muy pocos los estudios realizados en escuelas públicas de bachillerato y habla hispana que integren la manufactura aditiva al currículo escolar. Además, casi ninguno utiliza diseños que permitan evaluar el efecto con la solidez necesaria, es decir, con mediciones pre y post, grupos de comparación, controles estadísticos y reportes con tamaños de efecto e intervalos de confianza (D, 2013). Esta carencia limita la posibilidad de transferir resultados a contextos de recursos limitados, donde la toma de decisiones educativas debe ser muy cuidadosa.

Este estudio busca aportar evidencia empírica, que sirva para evidenciar la necesidad de una actualización curricular en los bachilleratos de escuelas públicas. Se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿en qué medida el integrar manufactura aditiva y diseño 3D en un contexto STEAM mejorará el pensamiento creativo y divergente de los estudiantes, medido mediante el Test de Torrance en su forma figural (TTCT-Figural A) (Torrance, 2008) en contraste con la enseñanza habitual?

Igualmente se plantea el objetivo de estimar el efecto de una intervención STEAM con manufactura aditiva sobre las puntuaciones del test de Torrance en su forma figural (Torrance, 1990). Para ello se propone un diseño cuasiexperimental con medición pre y post, grupo de comparación y análisis

ANCOVA que ajuste por el nivel inicial y otras covariables. Se reportan tamaños de efecto con intervalos de confianza, y se aplicará un control de multiplicidad mediante el procedimiento secuencial de Holm.

De acuerdo a la literatura consultada, se considera evaluar la hipótesis que, tras los ajustes estadísticos en el grupo estudiado conforme a la intervención planteada, mostrará valores mayores que el grupo de control, con tamaños de efecto moderados a altos. Con ello, se conducirá en estándares actuales para las prácticas de investigación educativa (D, 2013) (Holm, 1979) (Hedges, 2023).

METODOLOGÍA

La metodología que se empleó es del tipo cuantitativa explicativa para analizar el efecto de una intervención STEAM con manufactura aditiva sobre la creatividad figural de estudiantes de Mecatrónica.

Se aplicó un diseño cuasiexperimental pre-test / post-test con grupos intactos no equivalentes (control vs experimental), a lo largo de 16 semanas (un semestre académico). Aunque la asignación de grupos no fue aleatoria, se aplicaron controles estadísticos ANCOVA, verificando la equivalencia inicial en variables demográficas y académicas relevantes a fin de reducir las posibles amenazas de validez derivadas del sesgo de selección.

Tabla 1

Asignación de grupos y condición instruccional

Grupo	n	Grupo
Experimental	60	Proyecto STEAM de modelado CAD en SolidWorks + impresión 3D
Control	60	Instrucción técnica convencional como clase expositiva, sin modelado CAD ni impresión 3D

Nota: Las aulas se asignaron por calendario escolar (sin aleatorización). Condición experimental: proyecto STEAM con modelado CAD en SolidWorks e impresión 3D; condición de control: instrucción técnica convencional sin CAD ni impresión 3D.

Fuente: elaboración propia.

Participantes

La muestra del estudio estuvo conformada por 120 estudiantes de tercer semestre del CETis 69 en Ciudad Obregón, Sonora. La edad promedio fue de 17.4 años (± 0.8), con un intervalo de confianza del 95 % que osciló entre 17.3 y 17.6 años. En cuanto al género, el 40 % fueron mujeres y el 60 % hombres. En lo referente al contexto socioeconómico, se observó que 58 % de los estudiantes contaban con una beca estatal, mientras que el 42 % restante pertenecía a un nivel medio-bajo.

Para participar en el estudio se establecieron ciertos criterios. Como criterios de inclusión, se consideró que los estudiantes estuvieran inscritos en el tercer semestre del programa de Mecatrónica, que contarán con el consentimiento informado tanto de ellos mismos como de su tutor grupal, y que asistieron al menos al 80 % de las sesiones presenciales. Por otro lado, se definieron criterios de exclusión, descartando a quienes faltaran a la aplicación del pretest o del posttest, así como a quienes no entregaran los productos solicitados de manera completa (archivos en formato nativo, STEP u otro equivalente).

En el análisis de equivalencia inicial, se comprobó que ambos grupos eran comparables antes de la intervención: no hubo diferencias significativas en el promedio académico ($t(118) = 0.42, p = .67$) ni en el nivel socioeconómico ($\chi^2(1, N = 120) = 1.12, p = .29$).

Con respecto a la potencia muestral, se utilizó el software G*Power 3.1.9.7 (Faul, 2009). Bajo los parámetros $f = 0.25$, $\alpha = .05$ y prueba bilateral, el análisis indicó que se necesitaban 64 participantes por grupo para alcanzar una potencia de $(1 - \beta)$ cercana al .80. Sin embargo, la muestra real incluyó 60 estudiantes por grupo, lo que permitió mantener una potencia cercana a .78. Este valor es suficiente para detectar un efecto moderado, y en caso de que el tamaño del efecto sea mayor ($g \geq 0.80$), la potencia alcanzada sería de al menos .95. Además, el uso de ANCOVA con la puntuación del pretest como covariable ayudó a reducir la varianza de error y a mejorar la precisión de las estimaciones, por lo que el tamaño muestral se consideró adecuado y robusto para los fines del estudio.

Instrumento

Tabla 2

Instrumento TTCT-Figural (Forma A): dimensiones, confiabilidad y plan de confiabilidad

Instrumento	Dimensiones evaluadas	Confiabilidad reportada	Plan de Confiabilidad
TTCT-Figural, Forma A (Torrance, 2008) evidencia de validez en población mexicana: (Zacatelco Ramírez, 2013)	Fluidez, Flexibilidad, Originalidad, Elaboración (según [fuente de la adaptación en Figuras]).	α global alrededor de 0.88; subescalas 0.80–0.86 (valores de Zacatelco et al., 2013; muestra de primaria)	Se recalcularán α de Cronbach y ω de McDonald (total y subescalas) con IC 95 %; se estimará confiabilidad entre evaluadores (κ de Cohen e ICC [2,2]); dos evaluadores entrenados; calibración en ≥ 10 % de protocolos antes de puntuar; meta κ e ICC[2,2] $\geq .80$.

Nota: Instrumento: TTCT-Figural, Forma A (Torrance, 2008); guía de puntuación STS (Torrance, 2008) evidencia psicométrica en población mexicana (Zacatelco Ramírez, 2013). Abreviaturas: α = alfa de Cronbach; ω = omega de McDonald; κ = kappa de Cohen; ICC(2,2) = coeficiente de correlación intraclase de dos vías, efectos aleatorios; IC 95 % = intervalo de confianza del 95 %.

Detalle del Instrumento y Calificación del (TTCT)

El Instrumento utilizado TTCT Figural A, evalúa la creatividad de los participantes a través de cuatro categorías clave: Fluidez (número de ideas), flexibilidad (variedad de categorías de ideas), originalidad (novedad de las ideas) y elaboración (detalle de las ideas). Para la fase de calificación, dos evaluadores completaron un entrenamiento estructurado de 6 hr. Basado en el Manual TTCT-Figural y en pautas descritas por (Garaigordobil, 2004). Después de dos rondas piloto ($n = 30$) se obtuvo una concordancia inicial de $\kappa = 0.92$ ($n = 30$). Tras el puntaje de la ronda definitiva ($n = 120$) la concordancia obtenida de forma global fue de $K = 0.91$, ICC (2,2) = 0.89. Además, discrepancias que fueron superiores a ± 1 DE, se resolvieron por medio de un evaluador externo, donde un auditor independiente hizo la validación del 10% de las muestras sin ningún hallazgo evidente y sustantivo. Las puntuaciones se transcribieron a una hoja de cálculo verificada a doble captura y se exportaron posteriormente al software estadístico SPSS v27 para su procesamiento.

Procedimiento

Pretest (sem1): aplicación TTCT- Figural A (40 min)

Intervención (sem. 2-15) - Grupo experimental

Tabla 3

Plan de intervención STEAM con manufactura aditiva y carga horaria (semanas 2–15)

Fase	Actividad	Horas
Modelado CAD	Diseño en 3D en SolidWorks	6
Impresión 3D	Impresoras 3D Ender 3 S1 (PLA Ø 1.75 mm)	10
Proyecto STEAM	Propuesta, prototipado, iteración	36
Total	-	52

Nota: Las horas corresponden a las semanas 2–15 del semestre. Equipos: impresoras 3D Ender 3 S1; filamento PLA Ø 1.75 mm. Las marcas se citan con fines descriptivos, sin aval comercial.

Fuente: Elaboración propia.

Grupo de control

El grupo de control trabajo con Contenidos tradicionales con clase expositivas, videos, etc.

La Fidelidad de la implementación se aplicó mediante observaciones externas (semanas 3, 8, usando la rúbrica STEAM-3D la cual consta de 12 ítems. La concordancia inter evaluador (κ de cohen) fue de $k \geq 0.80$, teniendo una retroalimentación de manera formativa al docente tras cada visita. Durante la semana se aplicó una vez más el posttest TTCT – Figural A. Se proporcionó retroalimentación de resultados a los participantes

Análisis de datos

Los análisis se realizaron en SPSS v27. Previamente se evaluaron los supuestos sobre los residuales del modelo: normalidad (Shapiro–Wilk y gráficos Q–Q) y homogeneidad de varianzas (Levene). Los valores atípicos se definieron como ± 3 DE; no se excluyeron casos y, cuando fue pertinente, se efectuó un análisis de sensibilidad.

El análisis principal fue una ANCOVA con Post-TTCT como variable dependiente; Grupo (control vs. experimental) y Género como factores fijos; y Pre-TTCT y Edad como covariables. La homogeneidad de pendientes se verificó incluyendo la interacción Grupo $\times$ Pre; de no cumplirse, se contemplaba el método (Johnson, 1936) para interpretar diferencias condicionadas al valor de la covariable. Se emplearon sumas de cuadrados Tipo III, se estimaron medias marginales ajustadas con IC del 95 % y se reportaron gl, F, p, η^2_p y el ajuste global (R^2 y R^2_{aj}).

Como análisis descriptivos/complementarios se aplicaron pruebas t (pareadas e independientes), usando la corrección de Welch cuando se evidenció heterocedasticidad. En las subescalas del TTCT – Figural se controló la multiplicidad con Holm–Bonferroni (Holm, 1979). Los tamaños de efecto se informaron como g de Hedges (para t) y η^2 parcial (para ANCOVA). Todas las pruebas fueron bilaterales con $\alpha = .05$.

Para datos faltantes, cuando la proporción fue < 5 % se imputó la media por grupo; si fue ≥ 5 %, se utilizó imputación múltiple (Little, 1987) en SPSS combinando estimaciones conforme a las reglas de (Little, 1987).

RESULTADOS

El grupo experimental mostró una ganancia promedio de $\Delta M = 10.6$ (DE = 10.2; IC 95 %: 8.0, 13.2) puntos en creatividad figural, mientras que el grupo control presentó $\Delta M = 1.5$ (DE = 9.7; IC 95 %: –1.0, 4.0) puntos (véase

Tabla 4 y Figura 1). Este patrón preliminar sugiere un efecto positivo de la intervención STEAM con manufactura aditiva.

Tabla 4

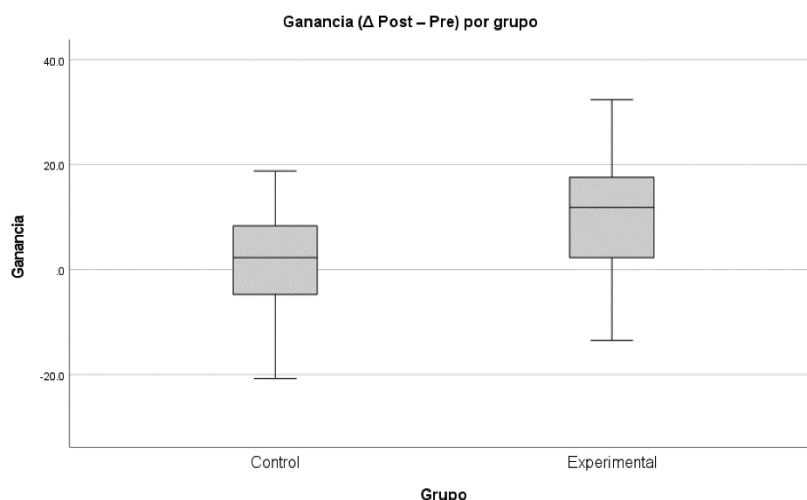
Estadísticos descriptivos y ganancias (Δ Post – Pre) por grupo

Grupo	n	Pre-TTCT, M $\pm$ DE	Post-TTCT, M $\pm$ DE	Δ (M $\pm$ DE)	IC 95 % de Δ
Experimental	60	70.0 $\pm$ 12.0	80.6 $\pm$ 12.0	10.6 $\pm$ 10.2	8.0 – 13.2
Control	60	69.5 $\pm$ 12.0	71.0 $\pm$ 12.0	1.5 $\pm$ 9.7	-1.0 – 4.0

Nota: M = media; DE = desviación estándar; Δ = Post – Pre; IC 95 % = intervalo de confianza del 95 %.

Gráfico 1

Diagrama de cajas de la ganancia (Δ Post–Pre) por grupo



Fuente: elaboración propia.

Pruebas inferenciales

La comparación de ganancias entre grupos (varianzas no asumidas; Welch) mostró una mejora mayor en el grupo experimental que en el control, $t(117.75) = 5.01$, $p < .001$, $g = 0.91$ (IC 95 %: [0.53, 1.28]). Dentro del grupo experimental, Post (M = 80.6, DE = 12.0) superó a Pre (M = 70.0, DE = 12.0), $t(59) = 8.06$, $p < .001$, $d^z = 1.04$ (IC 95 %: [0.73, 1.36]); en el grupo control no se observaron cambios significativos, $t(59) = 1.19$, $p = .24$, $d^z = 0.15$ (IC 95 %: [-0.10, 0.41]). Véase Tabla 5.

Tabla 5

Pruebas t y tamaños de efecto

Prueba	t	gl	p	Tamaño de efecto	IC 95 % del tamaño del efecto
Control vs Experimental (muestras independientes)	5.01	117.75	< .001	Hedges $g = 0.91$	[0.55, 1.26]
Experimental (Pre vs. Post)	8.06	59	< .001	$d^z = 1.04$	[0.73, 1.36]
Control (Pre vs. Post)	1.19	59	.24	$d^z = 0.15$	[-0.10, 0.41]

Nota: En la comparación entre grupos se utilizó la t de Welch; el tamaño del efecto se reporta como Hedges' g (en magnitud absoluta). En las pruebas pareadas se reporta d^z ($t/\sqrt{n}$). Los IC 95 % corresponden al tamaño del efecto. M = media; DE = desviación estándar; n = 60 por grupo.

Fuente: Elaboración propia.

Análisis de Covarianza (ANCOVA)

Tras controlar Pre-TTCT, edad y género, el efecto de grupo fue significativo: $F(1, 117) = 31.17, p < .001, \eta^2_p = .21$. El modelo explicó $R^2 = .51$ de la varianza total ($R^2_{aj} = .50$). Las medias ajustadas fueron: Experimental M = 80.44, EE = 1.18, IC 95 % [78.11, 82.77]; Control M = 71.16, EE = 1.18, IC 95 % [68.83, 73.49] (véase Tabla 6 y Figura 2).

Supuestos previos

La interacción Pre x Grupo no presentó significancia, $F(1, 117) = 1.17, p = .28$, lo que confirma una homogeneidad de pendientes. La prueba Levene aplicada a los residuales no resultó con significancia ($p = .34$). La normalidad de los residuos se consideró aceptable según los gráficos Q-Q y la prueba de Shapiro-Wilk ($p > .05$). El tamaño del efecto del factor grupo fue medio-alto (η^2 alrededor de .21), coherente con $g = 0.91$

Efecto de grupo

Después del control inicial en la puntuación, el efecto principal de grupo fue significativo, $F(1, 117) = 31.17, p < .001, \eta^2_p = .21$. El modelo explicó el 51 % de la varianza ($R^2 = .51; R^2_{aj} = .50$). Las medias ajustadas fueron mayores en el grupo experimental (M = 80.44, EE = 1.18, IC 95 % [78.11, 82.77]) que en el control (M = 71.16, EE = 1.18, IC 95 % [68.83, 73.49]); la diferencia ajustada de medias (experimental – control) fue 9.44 puntos (IC 95 % [6.08, 12.79], $p < .001$). Véase la Tabla 6 y la Figura 2.

Tabla 6

Resultados del análisis de covarianza (ANCOVA) sobre la Creatividad Figural (Post-TTCT) ajustada por Pre-TTCT, y medias marginales ajustadas ($\pm$ EE) con IC 95 %

Fuente	gl	F	p	η^2_p
Grupo	1	31.17	< .001	.21
Pre (covariable)	1	88.14	< .001	.43
Error	117			

Nota: Ajuste del modelo: $R^2 = .51; R^2_{aj} = .50$. η^2_p = eta cuadrado parcial; EE = error estándar; gl = grados de libertad.

Tabla 7

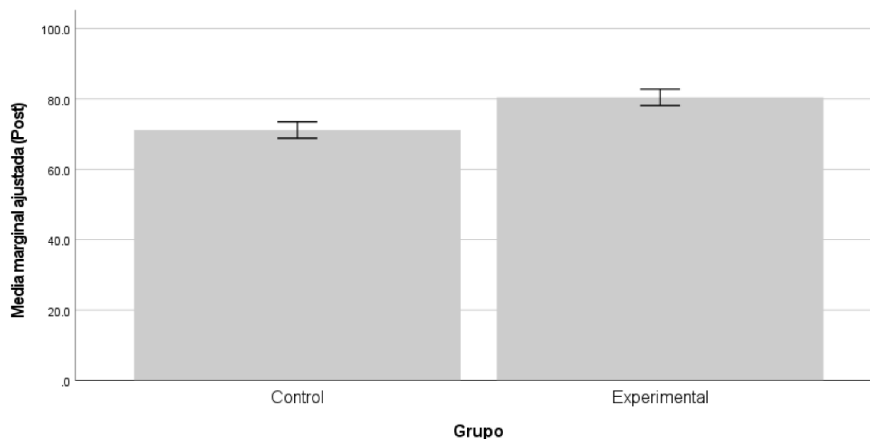
Medias ajustadas ($\pm$ EE) e IC 95 %

Grupo	Media ajustada	EE	IC 95 %
Experimental	80.44	1.18	78.11 – 82.77
Control	71.16	1.18	68.83 – 73.49

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 2

Medias marginales ajustadas ($\pm$ IC 95 %) de la creatividad figural en los grupos control y experimental, controlando el efecto de la puntuación inicial (Pre-TTCT)



Fuente: elaboración propia.

DISCUSIÓN

Comparación con la literatura

Los resultados indican, que una intervención STEAM centrada en manufactura aditiva produce un efecto principal positivo y significativo sobre la creatividad figural, incluso tras controlar el nivel inicial ($\eta^2_p = .21$). En términos metodológicos, esa magnitud se interpreta como grande cuando se reporta como proporción de varianza explicada en diseños con covariables, de acuerdo con guías de reporte y umbrales usados en investigación educativa (D, 2013) (Richardson, 2011). El binomio modelado 3D e impresión 3D, funciona como catalizador para pensar, transforma visible las ideas y pensamiento, además de permitir periodos cortos de prueba y ajuste, también hace una conexión profunda en el aprendizaje de proyectos concretos. Por lo tanto, no es sorprendente que varios estudios reporten mejoras en la creatividad y el rendimiento en diseño cuando estas herramientas se incorporan en el aula (Abu Khurma, 2023) (Huang, 2022). Estudios recientes, clasifica los entrenamientos en creatividad con efectos moderados y, al corregir sesgos, algo más reducidos pero constantes (Sio, 2024). De esta manera un efecto de $\eta^2_p = .21$ ajustado por pretest indica un impacto educativo significativo y muy favorable de acuerdo a resultados obtenidos.

Implicaciones teóricas

Desde una mirada socioconstruccionista, “aprender con objetos” y pensar con las manos convierte a los artefactos en andamios materiales que vuelven visibles las ideas, facilitan la colaboración y favorecen la co-construcción de significado (Papert, 1991). La cognición externa plantea que las representaciones y los artefactos disminuyen la carga cognitiva y potencian el razonamiento creativo (Scaife, 1996). En nuestros datos, la puntuación inicial del TTCT (pre) explica alrededor del 43 % de la varianza del post, lo que refuerza el carácter acumulativo del aprendizaje creativo y justifica el uso de ANCOVA para estimar el efecto pedagógico neto en diseños pre-post (Van Breukelen, 2006) (Vickers, 2001).

Implicaciones prácticas

Docentes: Es indispensable Iniciar con un diagnóstico TTCT el cual permita diferenciar apoyos (tutorías, sketching, micro-prototipado, etc) e impartir retroalimentación formativa específica sobre las dimensiones de originalidad, fluidez y elaboración (Hattie, 2007).

Currículo y evaluación: Integración de la manufactura aditiva con momentos reflexivos (bitácoras breves) y/o rúbricas analíticas para potenciar la metacognición y autorregulación, maximizando el efecto de la intervención.

Equidad: La implementación de talleres y/o laboratorios de manufactura aditiva, es viable en contextos medio-bajos, si se realiza con intención de equidad (acceso, mentoría, materiales y tiempos de máquina), como lo menciona (Vossoughi, 2016)

Limitaciones

El presente estudio contempla limitaciones que deben considerarse al interpretar los hallazgos:

Diseño cuasiexperimental: No hubo asignación aleatoria de participantes a los grupos, por lo que no puede descartarse confusión residual (p. ej., motivación, expectativas). El ajuste por línea base mediante ANCOVA mitiga, pero no elimina, este riesgo.

Sitio único y cohorte específica: La muestra contempla con un único plantel de bachillerato público, con un contexto socioeconómico considerado como medio-bajo; esto restringe la validez externa para otros planteles. Se requieren réplicas multicéntricas en otras regiones y tipos de plantel para validar la totalidad del análisis.

Posible efecto docente y contaminación: Las clases se impartieron dentro de la misma institución; no se modelaron efectos jerárquicos (estudiantes anidados en salón/docente) ni la contaminación entre grupos. Futuros estudios deberían aleatorizar por conglomerados (salón/plantel) y analizar con modelos multinivel.

Medición y evidencia psicométrica: Se utilizó TTCT-Figural A con puntuaciones crudas; la evidencia mexicana citada para la forma Figuras procede principalmente de muestras de primaria, por lo que no se emplearon baremos externos de edad. Aunque se reporta fiabilidad Inter evaluador elevada y consistencia interna adecuada en este estudio, es necesario contar con baremos y validaciones específicas para bachillerato.

Cobertura del constructo evaluado: Se evaluó solo creatividad figural (TTCT – Figural A); no se consideraron dimensiones verbales ni medidas de producto (p. ej., rúbricas sobre prototipos) o juicio consensuado. Esto limita la triangulación del constructo.

Seguimiento temporal. No se realizó seguimiento longitudinal; se desconoce la persistencia del efecto más allá del posttest inmediato.

Recursos y costo-efectividad. No se evaluaron de forma sistemática los costos de implementación, la carga docente ni la dosis (horas efectivas de modelado/impresión), factores relevantes para el escalamiento.

Líneas futuras

Ensayo controlado aleatorizado por conglomerados (salón/plantel), con potencia planificada y bloques por NSE/sexo, para reducir sesgos y contaminación.

Estudios multicéntricos en diferentes regiones y modalidades (público/privado; urbano/rural) con modelos multinivel (estudiante - salón - plantel).

Seguimiento ampliado, sugerido de 6 y 12 meses (como mínimo) para estimar durabilidad y trayectorias.

Psicometría específica para bachillerato: baremos locales por edad, invarianza por género/NSE y calibración de criterios.

Implementación y escalamiento: medir fidelidad, dosis-respuesta (tiempo de máquina, iteraciones), y costo-efectividad usando marcos de implementación (p. ej., RE-AIM).

CONCLUSIÓN

Cuando las y los estudiantes diseñan y fabrican sus ideas con modelado e impresión 3D dentro de un proyecto STEAM, su creatividad figural mejora de forma clara. Esa mejora se mantiene incluso considerando de dónde partían, su edad y su género; en términos técnicos, el efecto fue medio-alto ($\eta^2_p = .21$).

Un dato que conviene subrayar es que el punto de partida importa mucho. Aproximadamente el 43 % del desempeño final se explica por la puntuación inicial. ¿Qué implica esto en el aula? Diagnóstico al inicio, nivelación para quienes lo necesiten y ciclos de prototipado con retroalimentación y pequeños momentos de reflexión, es simple y realmente funciona.

En lo metodológico, el estudio fue transparente: controlamos covariables, revisamos supuestos y reportamos tamaños de efecto; además, el TTCT-Figural A se calificó con evaluadores entrenados. En práctica, la intervención funcionó en una escuela pública de nivel socioeconómico considerada medio-bajo, lo que demuestra la viabilidad si se realiza con enfoque de equidad.

Por supuesto, hay límites, es un diseño cuasiexperimental en un solo plantel, medimos solamente creatividad figural y no se realizó un seguimiento estructurado. El siguiente paso es aleatorizar por salones o planteles, replicar en más contextos, ampliar las medidas (verbales y de producto con rúbricas/juicio consensuado) y dar seguimiento a 6–12 meses. Con ello podremos confirmar, precisar y escalar el impacto de la manufactura aditiva en programas STEAM.

REFERENCIAS

- Abu Khurma, K. A.-T. (2023). Exploring the impact of 3D printing integration on STEM education: A mixed-methods study. *Contemporary Educational Technology*, 15(4), 458. <https://doi.org/https://doi.org/10.30935/cedtech/13568>
- Acar, S. L. (2024). . A reliability generalization of the Torrance Tests of Creative Thinking Figural. *European journal of Psychological* . <https://doi.org/https://doi.org/10.1027/1015-5759/a000819>
- Aguilera, D. &-R. (2021). STEM vs. STEAM education and student creativity: A systematic . *Education Sciences*, 11(7), 331. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/educsci11070331>
- Alabbasi, A. M. (2022). What do educators need to know about the Torrance Tests of Creative Thinking? A comprehensive review. *Frontiers in Psychology*, 13. <https://doi.org/https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.1000385>
- Chang, Y.-S. C.-H.-C.-Y.-H. (2016). Effects of 3D CAD applications on the design creativity of students with different representational abilities. *Computers in Human Behavior*, 65, 107-113. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.chb.2016.08.024>
- D, L. (2013). Calculating and reporting effect sizes to facilitate cumulative science: a practical primer for ttests and ANOVAs. *Front. Psychol*, 4, 863. <https://doi.org/doi:10.3389/fpsyg.2013.00863>
- Faul, F. E. (2009). Statistical power analyses using G*Power 3.1: Tests for correlation and regression analyses. *Behavior Research Methods*, 41, 1149-1160. <https://doi.org/https://doi.org/10.3758/BRM.41.4.114>
- Gajda, A. K. (2017). Creativity and academic achievement: A meta-analysis. *Journal of Educational Psychology*, 109(2), 269-299. <https://doi.org/https://doi.org/10.1037/edu0000133>
- Garaigordobil, M. (2004). Programa Juego: Juegos cooperativos y creativos para grupos de niños de 10 a 12 años. . Piramide.
- Hattie, J. &. (2007). The power of feedback. *Review of Educational Research*, 77(1), 81-115.
- Hedges, L. V. (2023). Effect sizes in ANCOVA and difference-indifferences designs. *British Journal of Mathematical and Statistical Psychology*, 76(2), 259-282. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/bmsp.12296>
- Holm, S. (1979). A simple sequentially rejective multiple test procedure. *Scandinavian Journal of Statistics*, 6(2), 65-70.
- Huang, C.-Y. &-C. (2022). Effectiveness of a three-dimensional-printing curriculum: Developing and evaluating an elementary school design-oriented model course. *Computers & Education*, 187. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compedu.2022.104553>
- Johnson, P. O. (1936). Tests of certain linear hypotheses and their application to some educational problems. *Statistical Research Memoirs*, 1, 57-93.
- Kim, K. H. (2011). The Creativity Crisis: The Decrease in Creative Thinking Scores on the Torrance Tests of . *Creativity Research Journal*, 23(4), 285-295. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/10400419.2011.627805>
- Little, R. &. (1987). Multiple imputation for nonresponse in surveys. Wiley, 10(9780470316696.).

Novak, E. B.-C. (2021). A systematic review of empirical research on learning with 3D printing technology. Journal of Computer Assisted Learning, 37(6), 1618-1636. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/jcal.12585>

Papert, S. &. (1991). Situating constructionism. constructionism, 36(2), 1-11.

Richardson, J. T. (2011). Eta squared and partial eta squared as measures of effect size in educational research. Educational research review, 6(2), 135-147.

Runco, M. A. (2012). Divergent thinking as an indicator of creative potential. Creativity Research, 24(1), 66-75. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/10400419.2012.652929>

Scaife, M. &. (1996). External cognition: How do graphical representations work? . International Journal of Human-Computer Studies,, 45(2), 185-213.

Sio, U. N.-F. (2024). The impact of creativity training on creative performance: A metanalytic review and critical evaluation of 5 decades of creativity training studies. Psychological bulletin, , 150(5), 554.

Torrance, E. P. (2008). Torrance Tests of Creative Thinking: Streamlined Scoring Guide forFigural Forms A and B. Scholastic Testing Service. .

Van Breukelen, G. J. (2006). ANCOVA versus change from baseline had more power in randomized studies and more bias in nonrandomized studies. Journal of clinical epidemiology, 59(9), 920-925. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2006.02.007>

Vickers, A. J. (2001). Analysing controlled trials with baseline and follow up measurements. Bmj,, 323(7321), 1123-1124.

Vossoughi, S. H. (2016). Making through the lens of culture and power: Toward transformative visions for educational equity. Harvard educational review, 86(2), 206-232. <https://doi.org/https://doi.org/10.17763/0017-8055.86.2.206>

Zacatelco Ramírez, F. C. (2013). Validez de una prueba de creatividad: Estudio en una muestra de estudiantes mexicanos de educación primaria. Intercontinental de Psicología y Educación, 15(1), 141-155.

Todo el contenido de **LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades**, publicados en este sitio está disponibles bajo Licencia Creative Commons .