Pensamiento Computacional y Metodología STEAM Para el Fomento de la Educación Ambiental en la Ruralidad

Computational Thinking and STEAM Methodology for the Promotion of Environmental Education in Rurality

Aydi Viviana Sánchez M[1] https://orcid.org/0009-0006-0135-7230; Sergio Giovanny Bernal[1] https://orcid.org/0000-0002-4096-5849; Gloria Cecilia Oñate Flórez[2] https://orcid.org/0009-0006-7608-0520; Fabio Ernesto García R[2] https://orcid.org/0000-0003-1817-8168;

1. Grupo de Investigación en Pensamiento Computacional, Universidad de Santander, Bucaramanga, Colombia.
2. Proyecto Vuelos, Sonidos y Colores de mí Choachí, I.E.D. Ferralarada. Cundinamarca, Colombia

Recibido: Mayo 05 de 2026
Aceptado: Julio 20 de 2026
*Correspondencia del autor: Sergio Giovanny Bernal
E-mail: ser.giovanny@hotmail.com
https://doi.org/10.47499/revistaaccb.v1i38.353

Resumen

Introducción: Esta investigación analizó la asociación entre la metodología STEAM y el Pensamiento Computacional con el conocimiento ambiental de la avifauna local en una escuela rural colombiana. **Objetivo**: analizar cómo las competencias STEAM, de pensamiento computacional y de manejo de herramientas tecnológicas se asocian con el conocimiento de avifauna en estudiantes de bachillerato de una institución rural, mediante un diseño correlacional con medidas repetidas. **Métodos**: se aplicaron tres guías prácticas a 60 estudiantes de sexto y séptimo grado: 1) observación e identificación de aves con Naturalista, 2) diseño de modelos de aves en 3D con Tinkercad, y 3) animación de fotografías de aves con My Talking Pet y Xeno-canto. Se ajustaron tres modelos de regresión lineal independientes por guía y un modelo de efectos mixtos con intercepto aleatorio por estudiante para tratar las medidas repetidas. **Resultados**: en el modelo de efectos mixtos, las tres competencias mostraron asociación significativa con el conocimiento de avifauna: pensamiento computacional ($\beta = 0.388$; $p < 2e\text{-}16$), manejo de herramientas ($\beta = 0.262$; $p = 4.14e\text{-}12$) y competencias STEAM ($\beta = 0.187$; $p = 1.90e\text{-}12$), controlando por la dependencia entre observaciones del mismo estudiante (ICC $\approx$ 13.3 %). Los modelos independientes por guía confirmaron esta asociación. **Conclusión**: las competencias de pensamiento computacional, manejo de herramientas y STEAM están significativamente asociadas con el conocimiento de avifauna en estudiantes de bachillerato de un contexto rural, respaldando estrategias de enseñanza que integren estos enfoques, aunque el diseño no permite establecer causalidad.

Palabras clave: Educación STEAM, pensamiento computacional, educación ambiental, avifauna, educación rural, biodiversidad, didáctica de las ciencias.

Abstract

Introduction: This research analyzed the association between the STEAM methodology and Computational Thinking with environmental knowledge of local avifauna in a Colombian rural school. **Objective**: to analyze how STEAM competencies, computational thinking, and technological tool management are associated with avifauna knowledge among high school students at a rural institution, using a correlational design with repeated measures. **Methods**: three practical guides were applied to 60 sixth- and seventh-grade students: 1) bird observation and identification with Naturalist, 2) design of 3D bird models with Tinkercad, and 3) animation of bird photographs with My Talking Pet and Xeno-canto. Three independent linear regression models were fitted per guide, plus a mixed-effects model with a random intercept per student to handle repeated measures. **Results**: in the mixed-effects model, all three competencies showed a statistically significant association with avifauna knowledge: computational thinking ($\beta = 0.388$; $p < 2e\text{-}16$), tool management ($\beta = 0.262$; $p = 4.14e\text{-}12$), and STEAM competencies ($\beta = 0.187$; $p = 1.90e\text{-}12$), controlling for within-student dependence (ICC ≈ 13.3%). The independent per-guide models confirmed this association. **Conclusion**: computational thinking, tool management, and STEAM competencies are significantly associated with avifauna knowledge among high school students in a rural context, supporting the relevance of teaching strategies that integrate these approaches, although the design does not allow causal relationships to be established.

Keywords: STEAM education, computational thinking, environmental education, avifauna, rural education, biodiversity, science education.

Introducción.

La sociedad actual demanda una investigación e innovación con responsabilidad social y ambiental, que realice una reflexión profunda sobre los problemas sociales, económicos y éticos causados por el desarrollo humano (1). El cambio climático y la pérdida de biodiversidad se han vuelto un problema alarmante, por lo que resulta necesario pensar y generar tecnologías sostenibles y sustentables; en consecuencia, la alfabetización climática se hace imprescindible en las metodologías STEAM como un área particular dentro de la alfabetización científica y tecnológica, en donde se requieren contextos altamente complejos y diversos para promulgar y expandir la conciencia ambiental en el campo educativo (2). Algunas investigaciones desde el enfoque STEAM ya han logrado este salto, contribuyendo a que los estudiantes se familiaricen con la naturaleza y formen una cultura de comunicación, como lo demostró Yuldashovich (3), quien a través del proyecto de investigación Viaje Ecoturístico implementó herramientas STEAM en estudiantes de primaria y bachillerato, promoviendo conocimiento científico y alternativas sostenibles aplicables al mundo moderno (4).

Sin embargo, más allá de la pertinencia general de STEAM en la educación ambiental, persiste una necesidad concreta y poco resuelta en el aula: la de innovar en los procesos de enseñanza-aprendizaje de manera que respondan a las competencias del siglo XXI pensamiento crítico, resolución de problemas, alfabetización digital y colaboración y a las habilidades propias del enfoque STEAM, en contextos donde el acceso a la tecnología es limitado, esta es la brecha que motiva el presente estudio: no basta con reconocer que la biodiversidad local merece atención pedagógica, sino que es necesario determinar si estrategias que integran pensamiento computacional y STEAM se asocian efectivamente con el conocimiento ambiental que los estudiantes construyen en la práctica.

A lo largo de este artículo, el término STEAM se emplea de manera consistente para referirse a un enfoque pedagógico interdisciplinar que integra Ciencia, Tecnología, Ingeniería, Arte y Matemáticas mediante actividades prácticas orientadas a la resolución de problemas reales del entorno. El pensamiento computacional, por su parte, se aborda desde sus cuatro dimensiones conceptuales ampliamente reconocidas en la literatura: descomposición, reconocimiento de patrones, abstracción y diseño de algoritmos (5), dimensiones que se materializan en este estudio a través de las competencias tecnológicas trabajadas en cada guía las cuales se componen de: identificación asistida por aplicaciones, modelado 3D y animación digital. Este énfasis interdisciplinar es

estratégico para la comunidad de la I.E.D. Ferralarada, debido a que los pobladores campesinos de Cundinamarca habitan en los Andes Montanos, uno de los sistemas montañosos más diversos del mundo (6), y hacen parte de la zona de amortiguación del Parque Nacional Natural Chingaza, uno de los parques más protegidos y estratégicos a nivel nacional (1). Por consiguiente, esta propuesta STEAM define una ruta de trabajo para estas comunidades rurales, buscando ser innovadora frente a las dinámicas económicas y tecnológicas del mundo actual, así como consciente con los territorios y ecosistemas que habita, para garantizar la sustentabilidad.

El proyecto ambiental Vuelos, Cantos y Colores de Mi Choachí hace parte del proyecto ambiental escolar de la Institución Educativa Departamental Técnica Agropecuaria Ferralarada, allí se ha propuesto una metodología práctica y experimental en el área de ciencias naturales utilizando las aves como eje articulador (7). Este proyecto ha tenido logros significativos en la institución, entre los que se destacan la identificación de más de 238 especies de aves para el municipio (8,9), la puesta en marcha de 5 senderos para avistamiento de aves, la publicación de experiencias significativas como las presentadas por Bernal, Oñate, Ramírez y Sánchez (4), y otros reconocimientos nacionales por el cuidado y protección de la fauna silvestre. Sin embargo, para ampliar la articulación de saberes se identificó un vacío tecnológico y artístico en la implementación de las actividades desarrolladas, lo cual motivó la incorporación de la metodología STEAM. Esta investigación incorpora la disciplina artística impulsando la creatividad para fortalecer las habilidades científicas, e incluye el componente intuitivo y emocional (10,11), necesario dado que los proyectos que se manejan dentro del PRAE de la institución tienen un énfasis socioafectivo orientado a generar sentido de pertenencia de los habitantes hacia las aves, el territorio y la biodiversidad (4,7).

A través de la integración del pensamiento computacional y la metodología STEAM en la educación ambiental, este trabajo busca aportar a la conciencia ambiental y a la capacidad de los estudiantes para analizar problemas complejos y proponer soluciones. El objetivo de esta investigación es analizar la asociación entre una estrategia de aprendizaje basada en el Pensamiento Computacional y la metodología STEAM y el conocimiento ambiental de la avifauna local en estudiantes de bachillerato de una institución rural de Cundinamarca, Colombia. Para ello se desarrollaron modelos de regresión lineal, incluyendo un modelo de efectos mixtos que trata adecuadamente las medidas repetidas de los mismos estudiantes en las tres guías de aprendizaje, evaluando la significancia estadística mediante análisis de varianza (ANOVA).

La hipótesis de esta investigación plantea que las competencias asociadas a las actividades STEAM y al pensamiento computacional se asocian de manera estadísticamente significativa con el conocimiento ambiental de la avifauna local, evaluado a partir de los puntajes de desempeño obtenidos por los estudiantes tras cada guía de aprendizaje. Dado que el estudio no incluye una medición inicial (pretest) ni un grupo control, esta hipótesis se formula y se interpreta en términos de asociación estadística y no de una relación causal. Se espera que, al desarrollar estas actividades, los estudiantes construyan una comprensión más profunda de la relación entre los seres vivos y su entorno, lo que podría reflejarse en un mayor conocimiento ambiental local y una mayor conciencia sobre la importancia de preservar la biodiversidad.

Materiales y métodos.

Este estudio tiene un alcance correlacional o asociativo, con un componente de medidas repetidas. Su propósito es analizar la relación entre tres variables independientes competencias STEAM, competencias de pensamiento computacional y manejo de herramientas tecnológicas y una variable dependiente el conocimiento ambiental de la avifauna local, evaluadas mediante modelos estadísticos lineales (12,13,14). A diferencia de un diseño explicativo con manipulación experimental, en este estudio las cuatro variables corresponden a puntuaciones de desempeño obtenidas por los mismos estudiantes en un mismo momento evaluativo, posterior a cada guía; por ello, los resultados deben interpretarse como asociaciones estadísticamente significativas entre competencias y conocimiento y no como relaciones de causa-efecto. La hipótesis de investigación se formula en estos términos: existe una asociación estadísticamente significativa entre las competencias STEAM, de pensamiento computacional y de manejo de herramientas y el conocimiento ambiental de la avifauna local.

Población y muestra

La población de este estudio está conformada por estudiantes de bachillerato de la Institución Educativa Departamental Ferralarada, en Choachí, Cundinamarca, Colombia. La muestra corresponde a la totalidad de 60 estudiantes de los grados sexto y séptimo matriculados durante el año académico 2023, quienes participaron

en la implementación de tres guías de aprendizaje centradas en distintos aspectos del pensamiento computacional, las actividades STEAM y la avifauna silvestre local. La guía de aprendizaje 1 se enfoca en el uso de herramientas y aplicaciones tecnológicas para la identificación de aves por medio de la aplicación Naturalista. La guía de aprendizaje 2 se centra en la generación de modelos 3D de aves utilizando la plataforma Tinkercad. La guía de aprendizaje 3 trabaja en la creación de animaciones a partir de fotografías de aves por medio de My Talking Pet y sonidos de cada especie disponibles en Xeno-canto. Es importante señalar que, si bien las tres guías comparten el mismo grupo de estudiantes y las mismas cuatro variables, cada una aborda un contenido, una herramienta tecnológica y un nivel de dificultad distintos; por lo tanto, las comparaciones directas de magnitud entre guías deben interpretarse con cautela, y se recomienda no asumir que las tres evaluaciones midan el mismo constructo con la misma escala de dificultad.

Diseño estadístico cuantitativo

Para cada guía se consideraron tres variables independientes correspondientes a los datos cuantitativos de la evaluación posterior a su aplicación: 1) Competencias STEAM, 2) Competencias de Pensamiento Computacional y 3) Manejo de Herramientas. La variable dependiente representa el conocimiento local sobre avifauna, medido como el número de especies identificadas correctamente por cada estudiante al final de cada guía. Para cada guía se ajustó un modelo de regresión lineal múltiple de la forma $Y = \beta0 + \beta1X1 + \beta2X2 + \beta3X3 + \varepsilon$, donde Y es el conocimiento ambiental; X1, X2 y X3 son las competencias STEAM, de pensamiento computacional y de manejo de herramientas, respectivamente; β0 es el intercepto; β1, β2 y β3 son los coeficientes de regresión; y ε es el término de error (15,16). Dado que los mismos 60 estudiantes participaron en las tres guías, las observaciones entre guías no son independientes entre sí. Para tratar adecuadamente esta estructura de medidas repetidas, se ajustó adicionalmente un modelo de efectos mixtos con un intercepto aleatorio por estudiante, de la forma $Yij = \beta0 + \beta1X1ij + \beta2X2ij + \beta3X3ij + \gamma k + u0j + \varepsilon ij$, donde u0j representa el efecto aleatorio asociado a cada estudiante j y γk el efecto fijo de la guía k. Este modelo constituye el análisis principal de este estudio porque corrige la dependencia entre observaciones que los tres modelos independientes por guía, presentados de manera complementaria, no controlan.

Análisis de datos

Para cada uno de los tres modelos de regresión por guía se calculó el coeficiente de determinación (R^2 y R^2 ajustado), se evaluó la multicolinealidad mediante el factor de inflación de la varianza (VIF), y se verificaron los supuestos de normalidad de los residuos (prueba de Shapiro-Wilk) y homocedasticidad (prueba de Breusch-Pagan). La significancia de cada variable independiente se evaluó mediante análisis de varianza (ANOVA) de tipo I, para el modelo de efectos mixtos se estimaron los efectos fijos con errores estándar mediante la aproximación de Satterthwaite y se calculó la correlación intraclase (ICC) para cuantificar la proporción de varianza atribuible a diferencias entre estudiantes. Los análisis se realizaron con el software estadístico R (17), empleando los paquetes car, lmtest y lme4.

Consideraciones éticas.

Este proyecto siguió las normas de la Resolución 8430 de 1993, especialmente el Capítulo III sobre investigaciones en menores (18). Se respetó la ética en la investigación con seres humanos, garantizando los principios de beneficencia, no maleficencia, autonomía y justicia, incluyendo consentimiento informado. Se trabajó con estudiantes de bachillerato, obteniendo autorizaciones de sus acudientes para el uso de imágenes y videos. La investigación es relevante para la conservación ambiental y se aseguró la igualdad de participación sin grupo control, lo cual se describe en la carta de aval institucional. No se involucraron grupos vulnerables adicionales, y no se afectó el ecosistema ni la avifauna silvestre durante los avistamientos, generando el mínimo impacto posible. No se presentan conflictos de interés. Se usaron guías con protocolos y cuestionarios, y con el permiso de la I.E.D. Ferralarada se garantizó la confidencialidad y privacidad de los datos personales, siguiendo la regulación aplicable en Colombia.

Resultados.

De manera general, los puntajes de conocimiento de avifauna fueron más altos y menos dispersos en las Guías 1 y 3, mientras que las competencias STEAM, de pensamiento computacional y de manejo de herramientas mostraron mayor variabilidad entre estudiantes en las tres guías. La Figura 1 y la Tabla 1 presentan la distribución completa de estos resultados por variable y por guía. En la Guía 1, la variable ConoAvifauna presenta una mediana de 87.0 puntos, con un rango intercuartílico relativamente estrecho (IQR = 12.0), lo que indica un desempeño alto y poco disperso en esta evaluación. Las competencias STEAM (mediana = 44.5) y

de manejo de herramientas (mediana = 46.5) muestran mayor dispersión (IQR = 48.5 y 31.5, respectivamente), mientras que el pensamiento computacional presenta una dispersión intermedia (IQR = 16.5). En la Guía 2, el conocimiento de avifauna desciende a una mediana de 72.0, con mayor dispersión (IQR = 30.0) que en la Guía 1; las tres competencias independientes muestran medianas entre 45 y 46 puntos. En la Guía 3, el conocimiento de avifauna vuelve a una mediana de 87.0 puntos, similar a la Guía 1, mientras que las competencias STEAM, de pensamiento computacional y de manejo de herramientas presentan medianas de 46.0, 54.0 y 39.0, respectivamente. Estos patrones descriptivos se detallan en la Tabla 1.

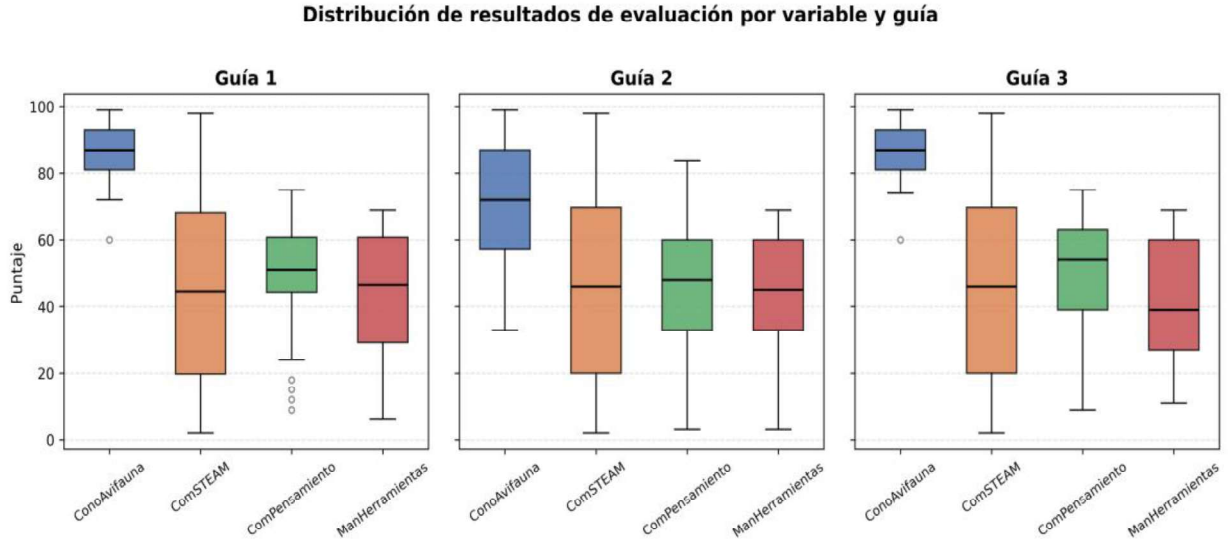


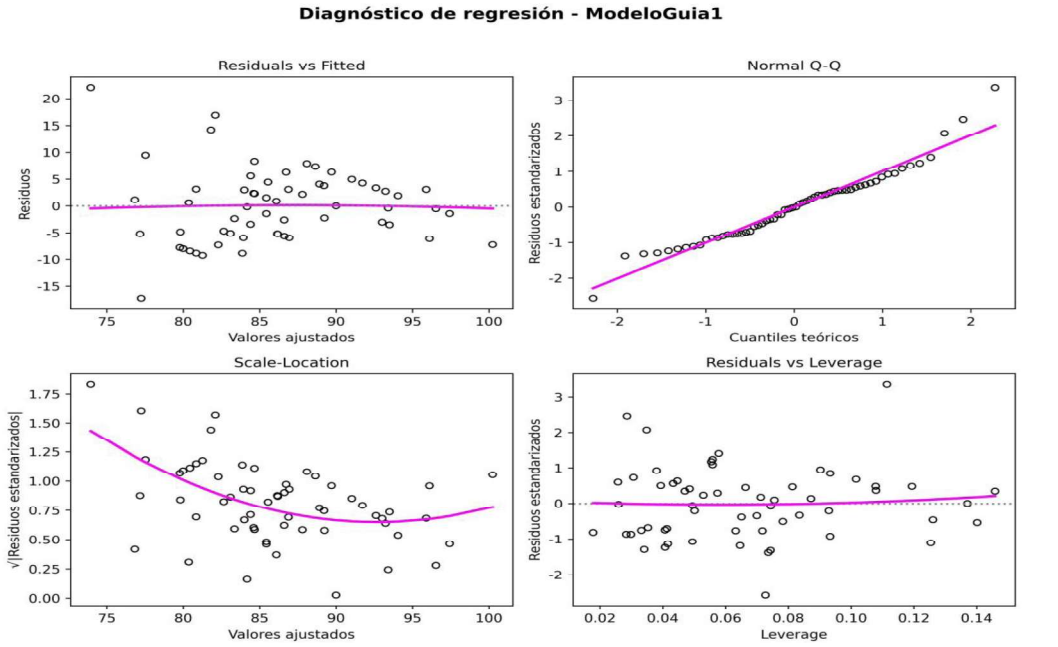
Figura 1. Distribución de resultados de evaluación para las variables en cada guía: ConoAvifauna = conocimiento sobre avifauna, en color azul; ComSTEAM = competencias STEAM, en color naranja; ComPensamiento = competencias de pensamiento computacional, en color verde; ManHerramientas = manejo de herramientas, en color rojo. Los diagramas de caja muestran la mediana, el rango intercuartílico y los valores atípicos para cada variable, por guía.

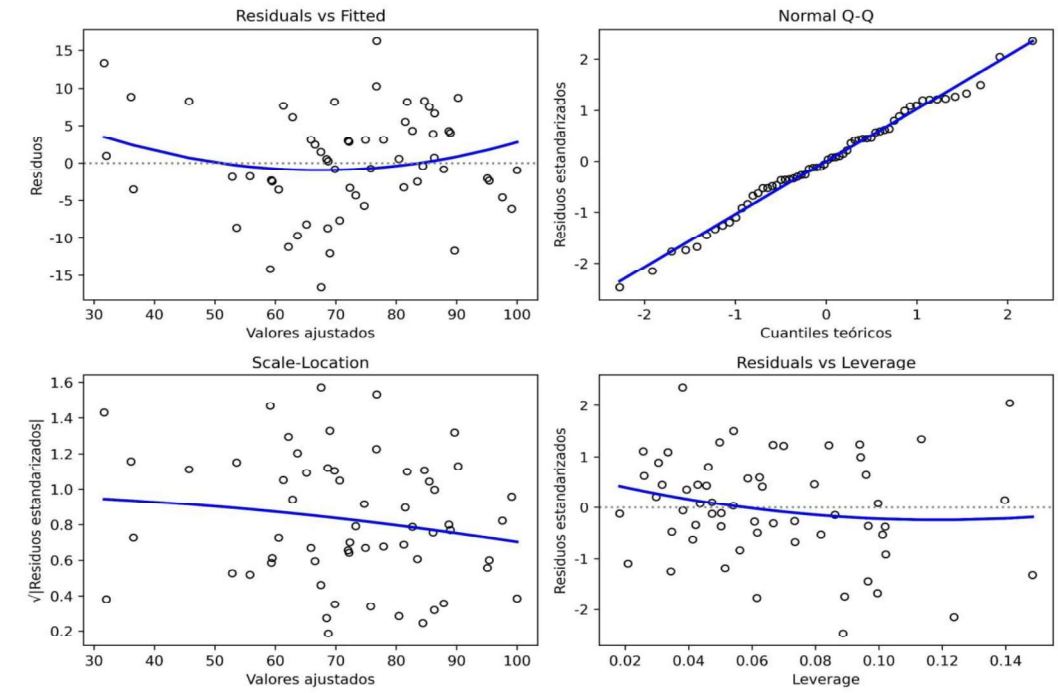
Tabla 1. Resultados de distribución de datos (boxplot) para las variables, por guía.

Variable	Mediana	Q1	Q3	IQR	Bigote Inf.	Bigote Sup.
Guía 1						
ConoAvifauna	87	81	93	12	72	99
ComSTEAM	44.5	19.75	68.25	48.5	2	98
ComPensamiento	51	44.25	60.75	16.5	24	75
ManHerramientas	46.5	29.25	60.75	31.5	6	69
Guía 2						
ConoAvifauna	72	57	87	30	33	99
ComSTEAM	46	20	69.75	49.75	2	98
ComPensamiento	48	33	60	27	3	84
ManHerramientas	45	33	60	27	3	69
Guía 3						
ConoAvifauna	87	81	93	12	74	99
ComSTEAM	46	20	69.75	49.75	2	98
ComPensamiento	54	39	63	24	9	75
ManHerramientas	39	27	60	33	11	69

Nota. La tabla presenta los estadísticos descriptivos de distribución (mediana, primer cuartil [Q1], tercer cuartil [Q3], rango intercuartílico [IQR] y bigotes inferior y superior) para cada variable, en cada una de las tres guías de aprendizaje aplicadas. Los bigotes corresponden a los valores mínimo y máximo de los datos observados dentro de 1.5 veces el IQR por debajo de Q1 y por encima de Q3, respectivamente.

A partir de los datos se ajustaron tres modelos de regresión lineal independientes, uno por cada guía, para analizar la relación entre ConoAvifauna y las tres competencias independientes. En los tres modelos, el factor de inflación de la varianza (VIF) se mantuvo por debajo de 1.24, lo que descarta problemas relevantes de multicolinealidad entre los predictores. La prueba de Shapiro-Wilk no evidenció desviaciones significativas de la normalidad en ninguno de los tres modelos (Guía 1: p = 0.074; Guía 2: p = 0.916; Guía 3: p = 0.054), aunque las Guías 1 y 3 se ubican cerca del límite convencional. La prueba de Breusch-Pagan indicó heterocedasticidad estadísticamente significativa en el modelo de la Guía 1 (p = 0.007), mientras que los modelos de las Guías 2 y 3 no mostraron evidencia significativa de heterocedasticidad (p = 0.419 y p = 0.069, respectivamente); esta limitación del modelo de la Guía 1 se retoma en la sección de limitaciones.





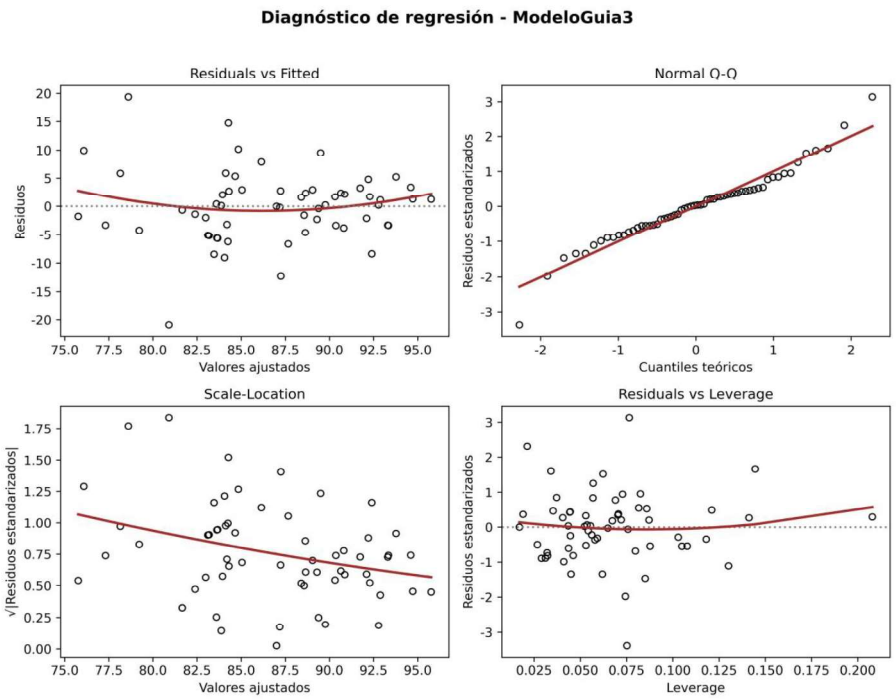


Figura 2. Diagnóstico de regresión para los modelos de regresión lineal múltiple por guía: cada panel presenta cuatro gráficos diagnósticos para evaluar los supuestos del modelo de regresión lineal múltiple correspondiente a ModeloGuia1, ModeloGuia2 y ModeloGuia3, respectivamente. Residuals vs Fitted muestra la dispersión de los residuos frente a los valores ajustados por el modelo, permitiendo evaluar la linealidad de la relación y la presencia de patrones no aleatorios. Normal Q-Q compara la distribución de los residuos estandarizados contra una distribución normal teórica, para evaluar el supuesto de normalidad. Scale-Location presenta la raíz cuadrada del valor absoluto de los residuos estandarizados frente a los valores ajustados, permitiendo identificar posibles violaciones del supuesto de homocedasticidad (varianza constante de los residuos). Residuals vs Leverage identifica observaciones con alto apalancamiento (leverage) que podrían ejercer una influencia desproporcionada sobre los coeficientes del modelo. En cada gráfico, la línea de tendencia (magenta para ModeloGuia1, azul para ModeloGuia2 y marrón para ModeloGuia3) facilita la identificación visual de patrones sistemáticos en los residuos.

Tabla 2. Resultados del análisis de varianza (ANOVA tipo I) para los modelos de regresión lineal múltiple, por guía.

Modelo	Variable	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
ModeloGuia1	ComSTEAM	1	1040.21	1040.21	21.3999	2.248e-05 ***
	ComPensamiento	1	469.03	469.03	9.6492	0.002972 **
	ManHerramientas	1	396.36	396.36	8.1541	0.006016 **
	Residuals	56	2722.06	48.61		
ModeloGuia2	ComSTEAM	1	741.48	741.48	14.9979	0.000284 ***
	ComPensamiento	1	10470.48	10470.48	211.7882	< 2.2e-16 ***
	ManHerramientas	1	3916.74	3916.74	79.2245	2.609e-12 ***
	Residuals	56	2768.55	49.44		
ModeloGuia3	ComSTEAM	1	212.68	212.68	5.1273	0.027443 *
	ComPensamiento	1	554.73	554.73	13.3737	0.000565 ***
	ManHerramientas	1	664.08	664.08	16.0100	0.000187 ***
	Residuals	56	2322.84	41.48		

Nota. Df = grados de libertad asociados a cada variable (1 para cada competencia evaluada; 56 para los residuales, correspondientes a los 60 estudiantes menos los 4 parámetros estimados en el modelo). Sum Sq = suma de cuadrados atribuible a cada variable, es decir, la cantidad de variabilidad en ConoAvifauna que explica esa variable. Mean Sq = cuadrado medio (Sum Sq dividido entre Df), usado para calcular el estadístico F. F value = estadístico F de la prueba de hipótesis, resultado de dividir el cuadrado medio de la variable entre el cuadrado medio residual; valores más altos indican una asociación más fuerte con la variable dependiente. Pr(>F) = valor p asociado al estadístico F, es decir, la probabilidad de observar un valor de F igual o más extremo si la variable no tuviera ninguna asociación real con ConoAvifauna. Los asteriscos indican el nivel de significancia estadística convencional, siguiendo la notación estándar de R: *** $p < 0.001$ (asociación altamente significativa); ** $p < 0.01$ (asociación muy significativa); * $p < 0.05$ (asociación significativa); sin asterisco, $p \geq 0.05$ (no se encontró evidencia suficiente de asociación estadística).

Los resultados del análisis de varianza (ANOVA tipo I) para los tres modelos independientes se presentan en la Tabla 2. En la Guía 1, las tres variables (ComSTEAM, ComPensamiento y ManHerramientas) resultaron estadísticamente significativas ($p < 0.01$ en los tres casos). En la Guía 2, las tres variables también fueron significativas, con la variable ComPensamiento mostrando el mayor estadístico F ($F = 211.79$; $p < 2.2e-16$). En la Guía 3, las tres variables resultaron significativas, con ComSTEAM mostrando el efecto de menor magnitud relativa ($F = 5.13$; $p = 0.027$).

Modelo de efectos mixtos (medidas repetidas)

Este modelo confirma que las tres competencias mantienen una asociación estadísticamente significativa con el conocimiento de avifauna, incluso después de controlar por la dependencia entre las observaciones repetidas de un mismo estudiante y por las diferencias sistemáticas entre guías (Tabla 3). La varianza asociada al efecto aleatorio de estudiante fue de 9.37 (DE = 3.06), frente a una varianza residual de 60.99 (DE = 7.81), lo que arroja una correlación intraclase (ICC) de aproximadamente 13.3 %; es decir, cerca de una octava parte de la variabilidad total en el conocimiento de avifauna se explica por diferencias sistemáticas y estables entre estudiantes, independientemente de la guía o de sus competencias evaluadas. El análisis de varianza tipo III confirma que las tres competencias, así como el factor guía, contribuyen de manera significativa a explicar la varianza del conocimiento de avifauna (ComSTEAM: $F = 57.85$, $p = 1.90e-12$; ComPensamiento: $F = 119.46$, $p < 2.2e-16$; ManHerramientas: $F = 55.54$, $p = 4.14e-12$; Guía: $F = 57.35$, $p < 2.2e-16$) (Tabla 3). Respecto al efecto de guía, la Guía 2 mostró puntajes de ConoAvifauna significativamente más bajos que la Guía 1 ($\beta = -13.02$; $p = 4.06e-15$), mientras que la Guía 3 no difirió de manera significativa de la Guía 1 ($\beta = 0.68$; $p = 0.633$), lo que es consistente con la observación descriptiva de que ambas guías presentaron medianas similares (87.0 puntos) en la Tabla 1. El diagnóstico de residuos de este modelo se presenta en la Figura 3.

Tabla 3. Resultados del modelo de efectos mixtos (intercepto aleatorio por estudiante) para el conocimiento de avifauna.

Efecto fijo	Estimado (β)	Error Est.	IC 95%	t / F	gl	Pr(>|t|) / Pr(>F)
Intercepto	47.192	2.892	[41.42, 52.97]	16.32	173.99	< 2e-16 ***
ComSTEAM	0.187	0.025	[0.139, 0.236]	7.61	168.48	1.90e-12 ***
ComPensamiento	0.388	0.036	[0.319, 0.458]	10.93	171.12	< 2e-16 ***
ManHerramientas	0.262	0.035	[0.193, 0.331]	7.45	173.86	4.14e-12 ***
Guía 2 (vs. Guía 1)	-13.018	1.434	[-15.83, -10.21]	-9.08	113.2	4.06e-15 ***
Guía 3 (vs. Guía 1)	0.684	1.428	[-2.12, 3.48]	0.48	112.67	0.633 (n.s.)

Nota. modelo ajustado por máxima verosimilitud restringida (REML), con intercepto aleatorio por estudiante para tratar la estructura de medidas repetidas entre las tres guías. Estimado (β) = coeficiente de regresión de cada efecto fijo, interpretado como el cambio esperado en ConoAvifauna por cada unidad de aumento en la variable correspondiente (para ComSTEAM, ComPensamiento y ManHerramientas), o como la diferencia promedio en ConoAvifauna respecto a la Guía 1 (para los efectos de Guía 2 y Guía 3). Error Est. = error estándar del coeficiente estimado. IC 95% = intervalo de confianza del 95 % para el coeficiente; cuando este intervalo no incluye el cero, el efecto se considera estadísticamente significativo. t / F = estadístico de prueba (t para los coeficientes individuales, F para el efecto conjunto de Guía). gl = grados de libertad, estimados mediante la aproximación de Satterthwaite debido a la estructura de efectos aleatorios del modelo. Pr(>|t|) / Pr(>F) = valor p asociado a cada estadístico de prueba. Los asteriscos indican el nivel de significancia estadística convencional: *** $p < 0.001$; ** $p < 0.01$; * $p < 0.05$; n.s. = no significativo ($p \geq 0.05$). El Intercepto representa el valor esperado de ConoAvifauna en la Guía 1 cuando todas las competencias (ComSTEAM, ComPensamiento, ManHerramientas) tienen un valor de cero. Los efectos de Guía 2 y Guía 3 se interpretan en comparación con la Guía 1, que funciona como categoría de referencia.

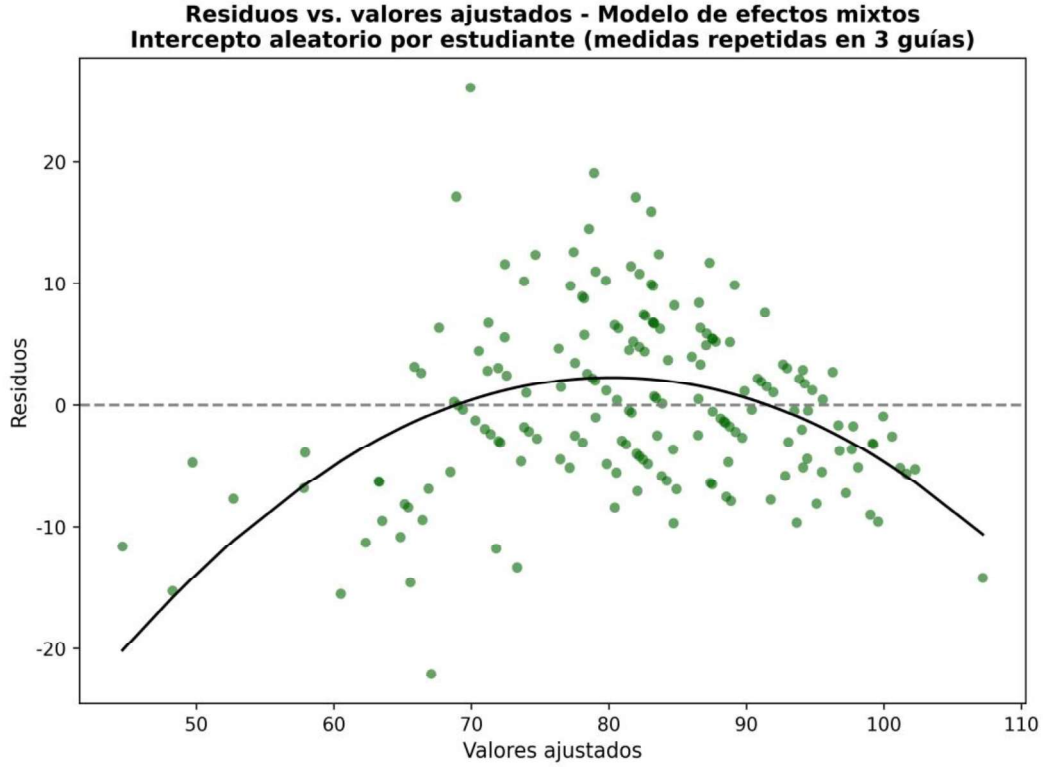


Figura 3. Diagnóstico de residuos del modelo de efectos mixtos. Se observa una leve curvatura sistemática en los residuos frente a los valores ajustados: negativos en los extremos (valores bajos y altos) y positivos en el rango medio. Este patrón es consistente con un efecto de techo (ceiling effect), dado que ConoAvifauna es una variable acotada (máximo observado ≈ 99 puntos) mientras que el modelo lineal no impone límite superior a sus predicciones. La curvatura es moderada y no compromete de manera severa las conclusiones del modelo, pero sugiere que una transformación de la variable dependiente o un modelo que respete sus límites naturales podría mejorar el ajuste en investigaciones futuras.

Discusión

Los hallazgos de este estudio muestran, de manera consistente entre los tres modelos independientes por guía y en el modelo de efectos mixtos, que las competencias de pensamiento computacional, de manejo de herramientas tecnológicas y STEAM se asocian significativamente con el conocimiento de avifauna en estudiantes de bachillerato de un contexto rural. En el modelo de efectos mixtos el análisis más robusto de este estudio, al controlar por la dependencia entre observaciones repetidas, la competencia de pensamiento computacional presentó el coeficiente estandarizado de mayor magnitud relativa entre las tres variables ($\beta = 0.388$), seguida por el manejo de herramientas ($\beta = 0.262$) y las competencias STEAM ($\beta = 0.187$). Este patrón sugiere que, en este contexto particular las habilidades de descomposición, reconocimiento de patrones y diseño de algoritmos dimensiones centrales del pensamiento computacional (5) podrían desempeñar un papel especialmente relevante en la manera en que los estudiantes construyen conocimiento sobre la biodiversidad local, sin que ello implique una relación causal dado el diseño correlacional del estudio.

Estos resultados son consistentes con estudios previos en el contexto educativo rural, como los de Sánchez y Rodelo (19), Cifuentes y Caplan (20) y Barrera et al. (21), quienes sugieren que la integración de STEAM puede ser una estrategia valiosa para mejorar la educación en áreas rurales y promover el aprendizaje significativo. Asimismo, coincide con los planteamientos de Cabrera y Sánchez (22) y Casado y Checa (23) sobre la incorporación de proyectos STEAM en el aula como generadora de impactos en la creatividad y la resolución de problemas. Una diferencia notable con estos antecedentes radica en los niveles educativos y contextos estudiados: mientras que Barrera et al. (21) se enfocaron en estudiantes universitarios de Yopal, Casanare, este estudio se centró en estudiantes de bachillerato de un contexto rural, lo que sugiere que el enfoque STEAM es aplicable en distintos niveles educativos, aunque la magnitud de su asociación con el aprendizaje pueda variar según el contexto. A diferencia de estos antecedentes, que se apoyan principalmente en análisis descriptivos, la principal contribución metodológica de este trabajo es el uso de modelos de regresión múltiple y de un modelo de efectos mixtos para el análisis inferencial de los datos, lo que permite cuantificar la magnitud y la

significancia de la asociación entre competencias específicas y el conocimiento ambiental.

Respecto a las competencias en educación, los resultados de este estudio aportan evidencia cuantitativa concreta a un debate más amplio: la enseñanza mediante herramientas tecnológicas y competencias computacionales no solo resulta pertinente en términos pedagógicos generales, sino que se asocia de manera medible con un aprendizaje de contenido específico en este caso, el conocimiento de la avifauna local. Esto respalda la idea de que las competencias del siglo XXI y en particular el pensamiento computacional, no deberían entenderse como un añadido periférico al currículo de ciencias naturales, sino como un componente que puede fortalecer directamente el aprendizaje de contenidos disciplinares, incluso en contextos rurales con acceso limitado a infraestructura tecnológica. Esta lectura es coherente con los planteamientos de Baek et al. (24) y Smith y Watson (25) sobre la relación entre STEAM, la alfabetización científica y la formación de una conciencia ambiental.

El hallazgo de que la Guía 2 presentó puntajes de conocimiento de avifauna significativamente más bajos que las Guías 1 y 3 mientras que estas dos últimas no difirieron entre sí, lo merece una lectura cuidadosa ya que las tres guías difieren en contenido, herramienta tecnológica y nivel de dificultad (identificación con Naturalista, modelado 3D con Tinkercad, y animación con My Talking Pet y Xeno-canto, respectivamente), esta diferencia no debe interpretarse como evidencia de que el aprendizaje empeoró entre la primera y la segunda guía; es más plausible que refleje diferencias en la dificultad relativa de cada actividad o en el tipo de conocimiento evaluado. Futuras investigaciones podrían beneficiarse de diseñar evaluaciones equiparables en dificultad y escala entre guías, para permitir comparaciones más directas del progreso del aprendizaje a lo largo de una secuencia didáctica.

Finalmente, este trabajo aporta a la investigación STEAM en educación en áreas rurales de Colombia y de Latinoamérica, en un campo donde se requiere ampliar líneas de trabajo poco exploradas. La transversalización de esta propuesta con el proyecto PRAE institucional y con el proyecto Vuelos, Cantos y Colores de Mi Choachí evidencia el valor de la colaboración entre ciencia participativa y educación formal, lo que puede servir como base para futuras colaboraciones y proyectos de investigación en este campo (26,27).

Limitaciones

Este estudio presenta varias limitaciones metodológicas que deben considerarse al interpretar sus resultados. En primer lugar, el diseño no incluyó una medición inicial (pretest) ni un grupo control, lo que impide establecer si el conocimiento de avifauna observado se debe a la estrategia de enseñanza aplicada o a otros factores no controlados; por esta razón, los resultados se interpretan como asociaciones estadísticamente significativas y no como relaciones causales. En segundo lugar, las tres guías de aprendizaje no son estrictamente comparables entre sí en cuanto a contenido, dificultad y escala de evaluación, por lo que las diferencias de puntaje entre guías deben interpretarse con cautela y no como evidencia directa de progreso o retroceso en el aprendizaje. En tercer lugar, el modelo correspondiente a la Guía 1 mostró evidencia de heterocedasticidad (prueba de Breusch-Pagan, $p = 0.007$), lo que sugiere que sus errores estándar podrían subestimarse; estudios futuros podrían emplear errores estándar robustos a heterocedasticidad para este modelo específico.

Adicionalmente, al igual que otras zonas rurales de Colombia, la comunidad estudiada enfrenta desafíos relacionados con la limitación de recursos tecnológicos y la calidad de la conexión a internet; a pesar de ello, estos impedimentos también representan una oportunidad para la innovación y la adaptación mediante recursos tecnológicos alternativos, actividades offline y soluciones locales para mejorar la infraestructura tecnológica. Por último, al tratarse de una muestra de 60 estudiantes de una sola institución educativa, la generalización de los hallazgos a otros contextos rurales aún sigue siendo un aspecto a mejorar. Finalmente, el modelo de efectos mixtos mostró una leve curvatura sistemática en sus residuos (Figura 3), compatible con un efecto de techo (ceiling effect): dado que ConoAvifauna es una variable acotada en su escala (máximo observado ≈ 99 puntos), el modelo lineal, al no imponer límite superior a sus predicciones, tiende a subestimar los valores observados en los extremos de la distribución. Si bien esta curvatura no compromete de manera severa las conclusiones del estudio, investigaciones futuras podrían abordarla mediante transformaciones de la variable dependiente o mediante modelos que respeten explícitamente sus límites naturales.

Conclusiones

El análisis de los datos, tanto mediante los tres modelos de regresión independientes como mediante el modelo de efectos mixtos, confirma que las competencias

STEAM, de pensamiento computacional y de manejo de herramientas se asocian de manera estadísticamente significativa con el conocimiento ambiental de la avifauna local ($p < 0.001$ en el modelo de efectos mixtos para las tres variables). El modelo de efectos mixtos, al controlar adecuadamente por la dependencia entre las observaciones repetidas de los mismos 60 estudiantes en las tres guías, ofrece la evidencia más sólida de este estudio, mostrando que la asociación se mantiene incluso después de ajustar por diferencias individuales entre estudiantes.

El principal aporte metodológico de este trabajo es el uso combinado de modelos de regresión lineal múltiple y de un modelo de efectos mixtos para analizar cómo las competencias STEAM y de pensamiento computacional se relacionan con el conocimiento sobre la avifauna local, reconociendo explícitamente la estructura de medidas repetidas de los datos. Este enfoque ofrece evidencia estadística sólida sobre la magnitud de estas asociaciones, información valiosa para el diseño de futuras intervenciones educativas en contextos similares. Los objetivos de la investigación se cumplieron de manera efectiva: se logró analizar y cuantificar la asociación entre una estrategia de aprendizaje basada en el pensamiento computacional y la metodología STEAM, y el fortalecimiento del conocimiento ambiental de estudiantes de sexto y séptimo grado en la institución rural I.E.D. Ferralarada. Estos hallazgos tienen implicaciones relevantes para el diseño de programas educativos en contextos de alto valor socioecológico, como las comunidades del oriente de Cundinamarca influenciadas por el Parque Nacional Natural Chingaza y sugieren que enfoques similares podrían ser explorados en otros municipios de la cordillera oriental de Colombia

Recomendaciones

Se recomienda capacitar a docentes y estudiantes en tecnología, e invertir en recursos tecnológicos que faciliten la implementación de actividades de aprendizaje similares, las guías deberían adaptarse a diferentes niveles educativos para ampliar el alcance de los proyectos STEAM y de pensamiento computacional, idealmente diseñando evaluaciones de dificultad y escala comparables entre guías para permitir un seguimiento más preciso del progreso de los estudiantes a lo largo del tiempo. Para investigaciones futuras se recomienda incorporar un diseño con medición inicial (pretest) y, en la medida de lo posible, un grupo de comparación, lo que permitiría avanzar de un análisis correlacional a inferencias con mayor respaldo causal sobre el efecto de las metodologías STEAM y de pensamiento computacional. Asimismo, se sugiere fomentar la colaboración interdisciplinaria entre docentes de diversas áreas para enriquecer la experiencia educativa y abordar los desafíos ambientales de manera integral desde los diferentes proyectos educativos institucionales.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad de Santander (UDES) por el respaldo institucional y académico brindado a través del Grupo de Investigación en Pensamiento Computacional; al Parque Nacional Natural Chingaza, por su labor de conservación del territorio que hace posible la biodiversidad de avifauna objeto de este estudio; a la Institución Educativa Departamental Técnica Agropecuaria Ferralarada y a su rectora, Rosa Edelmira Salazar Salamanca, por abrir los espacios institucionales y respaldar la implementación de esta investigación; y al proyecto ambiental escolar Vuelos, Cantos y Colores de Mi Choachí, por constituir el marco pedagógico y comunitario en el que se desarrolló este trabajo. Un agradecimiento especial a los niños y niñas de sexto y séptimo grado que participaron con entusiasmo en las tres guías de aprendizaje, así como a sus acudientes, por su disposición y confianza durante el desarrollo de esta investigación.

Conflicto de intereses y financiación

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés en relación con la realización, los resultados o la publicación de este artículo. Esta investigación fue financiada con recursos propios de los autores, sin contar con el apoyo de entidades de financiación externas, públicas o privadas.

Contribución de autores

A. Sánchez: contribuyó sustancialmente a la concepción y diseño del estudio, participó en la definición metodológica, en el análisis formal de los datos y en el trabajo de campo, redactó la sección de discusión, y realizó la revisión y validación transversal de todas las etapas del estudio.

S. Bernal: contribuyó a la definición metodológica y al análisis formal de los datos, y participó activamente en el trabajo de campo.

G. Oñate: participó en el trabajo de campo.

F. García: contribuyó sustancialmente a la concepción y diseño del estudio, participó en la redacción de la sección de discusión y supervisó el desarrollo general de la investigación.

Referencias

1. Etter A, Andrade A, Saavedra K, Cortés J. Lista roja de los ecosistemas terrestres de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt; 2017.
2. Su-Yeon C, A-Rang W, Hye-Eun C, Hyun-Jung C, Chan-Jong K. The impacts of a climate change SSI-STEAM program on junior high school students' climate literacy. Asia-Pac. Sci. Educ. 2021;7(1):96-133. doi: 10.1163/23641177-bja10019
3. Yuldashovich K. STEAM integrated educational technology in enhancing eco-learning effectiveness. Eur. Int. J. Multidiscip. Res. Manag. Stud. 2022;2(11):1-5.
4. Bernal S, Oñate G, Ramírez A, Sánchez A. Avistamientos de aves y análisis bioinformático en entornos rurales con estudiantes de la Institución educativa Ferralarada en Choachí (Colombia). Rev. Asoc. Col. Cienc. 2020;1(32):171-182. https://doi.org/10.47499/revistaaccb.v1i32.218
5. Wing J. Computational thinking. Commun. ACM. 2006;49(3):33-35. doi: 10.1145/1118178.1118215
6. Bax V, Francesconi W. Conservation gaps and priorities in the Tropical Andes biodiversity hotspot: implications for the expansion of protected areas. J. Environ. Manage. 2019;232:387-396. doi: 10.1016/j.jenvman.2018.11.086
7. Institución Educativa Departamental Técnica Agropecuaria Ferralarada. Proyecto educativo institucional. Choachí, Cundinamarca; 2022.
8. Bernal S, Sánchez A, Oñate G, García P, Rincón M, Camargo P, et al. Avifauna de Choachí. 1ª ed. Choachí: Gobernación de Cundinamarca; 2025.
9. Bernal S. NaturalistaCO [Internet]; 2023. Disponible en: https://colombia.inaturalist.org/projects/vuelos-cantos-y-colores-de-mi-choachi
10. Kurnia S, Sofyan M, Fathiah A, Henita R, Ilmi Z, Mehadi R. STEAM in environment and science education: analysis and bibliometric mapping of the research literature (2013-2020). J. Phys. Conf. Ser. 2020;1796:1-10. doi: 10.1088/1742-6596/1796/1/012097
11. Başaran M, Erol M. Recognizing aesthetics in nature with STEM and STEAM education. Res. Sci. Technol. Educ. 2021:1-18. doi: 10.1080/02635143.2021.1908248
12. Camacho E, Ponce M, López F, Mancilla J. Metodología aplicada a la psicología y las ciencias de la salud. Universidad Nacional Autónoma de México; 2023.
13. Hernández-Sampieri R, Mendoza C. Metodología de la investigación. 1ª ed. McGraw-Hill Interamericana; 2018.
14. Anderson D, Sweeney D, Williams T. Estadística para administración y economía. CENGAGE Learning; 2018.
15. Kutner M, Nachtsheim C, Neter J, Li W. Applied linear regression models. McGraw-Hill; 2005.
16. Montgomery D, Peck E, Vining G. Introduction to linear regression analysis. Wiley; 2012.
17. R Core Team. The R project for statistical computing [Internet]; 2020. Disponible en: https://www.r-project.org/
18. Ministerio de Salud. Resolución número 8430 de 1993: por la cual se establecen las normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud; 1993.
19. Sánchez J, Rodelo M. Enfoque STEAM, integración de las ciencias para el desarrollo de la educación rural. Acta Sci. Inform. 2021;5(5):1-5.
20. Cifuentes A, Caplan M. Educación STEM/STEAM. Apuestas hacia la formación, impacto. Experiencias de educación STEM en el ámbito formal y rural. Fondo Editorial Universitario Servando Garcés de la Universidad Politécnica Territorial de Falcón; 2019.
21. Barrera A, Vargas N, Moreno N, Barrera A. STEAM como enfoque para el aprendizaje interactivo del diseño asistido por computador. Ingenio Magno. 2022;13(1):1-16.
22. Cabrera J, Sánchez I. Videojuegos en la escuela primaria con STEAM: caso KODU, una estrategia didáctica; 2021.
23. Casado R, Checa M. Robótica y proyectos STEAM: desarrollo de la creatividad en las aulas de Educación Primaria. Pixel-Bit. 2020;(58):51-69.
24. Baek S, Shin H, Kim C. Development of a climate change SSIBL-STEAM program aligned to the national curriculum for SSI elementary school in Korea. Asia-Pac. Sci. Educ. 2022;8(1):109-148. doi: 10.1163/23641177-bja10047

25. Smith C, Watson J. Does the rise of STEM education mean the demise of sustainability education? Aust. J. Environ. Educ. 2019;35(1):1-11. doi: 10.1017/aee.2018.51
26. Gavari-Starkie E, Espinosa-Gutiérrez P, Lucini-Baquero C. Sustainability through STEM and STEAM education creating links with the land for the improvement of the rural world. Land. 2022;11(10):1869. doi: 10.3390/land11101869
27. Burnard P, Colucci-Gray L. Reframing STEAM by posthumanizing transdisciplinary education: towards an understanding of how sciences and arts meet and matter for sustainable futures. Converg. Educ. Rev. 2021;7(2):1-29.