Investigación

VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS COMO RECURSO DIDÁCTICO PARA LA ENSEÑANZA DE LA GEOGRAFÍA

UNMANNED AERIAL VEHICLES AS A TEACHING RESOURCE FOR GEOGRAPHY EDUCATION

Jorge Joo-Nagata[1], ORCID 0000-0001-8023-0858
Anastasia Araya Muñoz[2], ORCID 0009-0000-5657-0588
Astrid Suazo Yáñez[3], ORCID 0009-0008-6753-5006

[1]Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación, Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica y Pensamiento Espacial, Santiago de Chile, email: jorge.joo@umce.cl
[2]Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación, Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica y Pensamiento Espacial, Santiago de Chile, email: anastasia.araya2022@umce.cl
[3]Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación, Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica y Pensamiento Espacial, Santiago de Chile, email: astrid.suazo2021@umce.cl

RESUMEN

La incorporación de vehículos aéreos no tripulados (VANT) en contextos educativos ha mostrado potencial para vincular el conocimiento teórico con la observación directa del territorio; sin embargo, las experiencias de su uso en la formación inicial docente en Geografía a nivel regional son escasas. El presente trabajo analiza el efecto del uso de drones como recurso didáctico en el aprendizaje de contenidos de Geografía en estudiantes de Pedagogía en Historia y Geografía y grados afines. Se aplicó un diseño preexperimental de un solo grupo con pretest y postest a una muestra por oportunidad de 15 estudiantes de dos universidades de las regiones Metropolitana y del Biobío (Chile), mediante una prueba de diagnóstico de aprendizaje de Geografía adaptada al contexto nacional. La confiabilidad del instrumento se evaluó con alfa de Cronbach y su estructura con un análisis de componentes principales, y la comparación entre mediciones, con la prueba de Wilcoxon de rangos con signo. Los resultados evidencian una mejora estadísticamente significativa en el rendimiento de las y los estudiantes tras la intervención ($V = 109$, $p = 0{,}032$), lo que respalda el valor de los drones como recurso didáctico para la enseñanza de la Geografía.

PALABRAS CLAVE: Tecnología educacional, enseñanza de la geografía, formación de docentes, material didáctico, vehículos aéreos no tripulados

ABSTRACT

The incorporation of unmanned aerial vehicles (UAVs) in educational settings has shown potential for linking theoretical knowledge with direct observation of the territory; however, experiences of their use in initial teacher education in Geography at the regional level are scarce. This paper analyzes the effect of using drones as a teaching resource on the learning of Geography content among university students of History and Geography Teacher Education and related programs. A pre-experimental single-group pretest-posttest design was applied to a convenience sample of 15 students from two universities in the Metropolitan and Biobío regions (Chile), using a Physical Geography learning diagnostic test adapted to the national context. The reliability of the instrument was assessed with Cronbach's alpha coefficient and its structure through principal component analysis, while the comparison between both measurements was performed with the Wilcoxon signed-rank test. The results show a statistically significant improvement in student

performance after the intervention (V = 109, p = 0.032), which supports the value of drones as a teaching resource for Geography education.
KEYWORDS: *Educational technology, geography education, teacher education, teaching materials, unmanned aerial vehicles*

Recibido: 19/10/2026
Aceptado: 09/11/2026

INTRODUCCIÓN

Los vehículos aéreos no tripulados (VANT) o drones se han convertido en herramientas innovadoras para la dimensión educativa, ofreciendo oportunidades únicas para mejorar las experiencias de aprendizaje en diversas ciencias y disciplinas (Yeung *et al*., 2024). La evidencia científica ha establecido que la integración de estas herramientas en los entornos educativos mejora los procesos de aprendizaje y fomenta el pensamiento crítico, así como las habilidades de resolución de problemas entre los estudiantes, preparándolos para los futuros avances tecnológicos (Sze *et al*., 2025). Con su versatilidad, los VANT han permitido a las y los educadores crear lecciones interactivas que involucran a los estudiantes en actividades prácticas, uniendo el conocimiento teórico con aplicaciones prácticas en materias como las Ciencias Exactas, la Geografía, la Ingeniería e incluso el Arte (Yeung et al., 2025).

El uso de los VANT en proyectos como la fotografía aérea, el monitoreo ambiental y las competencias en robótica mejora aún más la participación de los estudiantes y fomenta la colaboración, lo que en última instancia fomenta una comprensión más profunda de conceptos complejos. El impacto de estas herramientas en el aula no solo transforma la manera en que se enseña, sino que también prepara a los estudiantes para enfrentar desafíos del mundo real con confianza y creatividad. Este enfoque educativo integral no solo promueve el aprendizaje activo, sino que también desarrolla habilidades importantes como el pensamiento crítico, la resolución de problemas y el trabajo en equipo, esenciales para el éxito en el siglo XXI.

Otro punto relevante es la integración de la tecnología de Drones en el aprendizaje también permite a las y los educadores personalizar la experiencia educativa, adaptándose a las necesidades y estilos de aprendizaje individuales de cada estudiante (Mathews et al., 2023). La capacidad de adaptar los métodos de enseñanza a las preferencias únicas de cada estudiante no solo mejora la comprensión del contenido, sino que también fomenta un ambiente de aprendizaje inclusivo y motivador. Este enfoque no solo beneficia a los estudiantes, sino que también empodera a los docentes al proporcionarles herramientas innovadoras para facilitar la enseñanza y evaluar el progreso de manera más efectiva.

Así, aprender estas disciplinas con herramientas como los Drones, ofrecería numerosos beneficios que mejorarían la experiencia educativa de los estudiantes. Estas son algunas de las principales razones por las que integrar este recurso en los procesos educativos (Abichandani et al., 2024; Ahmed, 2021; Williams et al., 2017; Yeung et al., 2025):

1. Aprendizaje práctico: Los drones brindan a los estudiantes experiencias prácticas que les permiten aplicar conceptos teóricos en escenarios del mundo real. Esta participación activa fomenta una comprensión más profunda de los principios científicos.
2. Recopilación y análisis de datos: Los drones se pueden utilizar para recopilar datos en varios campos científicos, como las Ciencias Ambientales, la Geografía y la Biología. Los estudiantes pueden analizar estos datos, mejorando sus habilidades en la interpretación de datos y el pensamiento crítico, además de ofrecer un escenario único para el aprendizaje interdisciplinar.
3. Aprendizaje interdisciplinario: El uso de Drones fomenta los enfoques interdisciplinarios, combinando la ciencia con la tecnología, la ingeniería y las matemáticas (STEM por sus siglas en inglés). Esta perspectiva holística ayuda a los estudiantes a ver las conexiones entre las diferentes materias, no sólo en las ciencias exactas, sino también en ayuda a las ciencias sociales y las humanidades.
4. Participación y motivación: La naturaleza innovadora de los Drones cautiva el interés de los estudiantes, haciendo que las clases de ciencias sean más atractivas y motivadoras. Este mayor entusiasmo puede conducir a un mejor rendimiento académico y a un mayor deseo de explorar temas científicos.
5. Aplicaciones en el mundo real: Los Drones se utilizan cada vez más en diversas industrias, desde la agricultura hasta la monitorización ambiental. Aprender a operar y aplicar la tecnología de drones prepara a los estudiantes para futuros desempeños en estos campos emergentes.
6. Colaboración y trabajo en equipo: Los Drones suelen requerir proyectos grupales, lo que fomenta la colaboración entre los estudiantes. Trabajar juntos en tareas relacionadas con los drones ayuda a desarrollar las habilidades de trabajo en equipo y comunicación, que son esenciales tanto en el ámbito académico como profesional.
7. Habilidades para resolver problemas: Operar Drones y realizar experimentos científicos con ellos, implica la resolución de problemas y el pensamiento crítico. Los estudiantes aprenden a abordar los desafíos desde múltiples perspectivas, lo que mejora su adaptabilidad y creatividad.
8. Conciencia ambiental: El uso de Drones en proyectos de ciencias ambientales permite a los estudiantes presenciar de primera mano el impacto de las actividades humanas en los ecosistemas. Esta experiencia fomenta el sentido de responsabilidad y alienta a los estudiantes a pensar críticamente sobre la sostenibilidad y la conservación.
9. Alfabetismo tecnológico: La incorporación de drones en la educación científica mejora la fluidez tecnológica de los estudiantes y los prepara para un futuro en el que la tecnología desempeñe un papel crucial en varias profesiones.
10. Experiencia didáctica: Por último, los VANT son intrínsecamente en el campo de la educación, un recurso didáctico invaluable. Existe emoción en volar estos aparatos y realizar experimentos puede hacer que la ciencia sea más accesible, comprensible y agradable para los estudiantes.

En resumen, aprender las diversas disciplinas que se dedican al estudio del Territorio con Drones no solo enriquece la experiencia educativa, sino que también dota a los estudiantes de habilidades

y conocimientos esenciales para sus futuros proyectos. Sin embargo, las experiencias de estudios con Drones a nivel regional y su aplicación en el ámbito educativo de sus diferentes niveles (universitario y escolar específicamente) no existen, por lo que el desarrollo innovativo, su adecuada implementación en los procesos de enseñanza y aprendizaje implican un área nueva e importante de abordar. Así, se hace necesario determinar la eficacia que tendría esta herramienta en los procesos de aprendizaje (Basado en Problemas, Basado en Experiencia y Basado en Proyectos) en los escenarios educativos.

METODOLOGÍA

La investigación adoptó un enfoque preexperimental mediante el cual se estableció un diseño de prueba previa y posterior de un solo grupo (pretest - postest) con un solo tratamiento (uso educativo del dron): así, se aplicó una medición previa al grupo, luego se introduce el tratamiento y finalmente se realiza una segunda medición (postest) al mismo grupo. Aunque este tipo de intervenciones permite ver cambios internos, no descarta que factores externos o la propia maduración de los sujetos expliquen el resultado (al no tener grupo de control). Así, se buscó evaluar los efectos de la utilización de drones como recurso didáctico en un contexto educativo para el estudio de fenómenos de paisaje. Este enfoque metodológico resultó pertinente, dado que las investigaciones en entornos educativos reales presentan restricciones éticas, organizativas y prácticas que dificultan la implementación de experimentos puros o diseños completamente aleatorizados (Creswell, 2008; Hernández *Sampieri et al*., 2014). Este diseño preexperimental permite comparar el desempeño, las actitudes y las habilidades desarrolladas por las y los estudiantes que participan en estas experiencias de aprendizaje mediadas por drones. De esta manera, se posibilita establecer relaciones de causalidad moderadas y aproximadas, observando diferencias en variables específicas (motivación, trabajo colaborativo, pensamiento crítico, habilidades disciplinares, entre otras). Además, la elección de esta metodología se justifica por el carácter innovador de la tecnología a implementar, lo que requiere no solo documentar sus efectos pedagógicos, sino también explorar las condiciones contextuales que facilitan o dificultan su integración en la práctica docente.

Así, esta estrategia metodológica aporta a la investigación educativa aplicada, ofreciendo evidencias empíricas que pueden orientar futuras políticas de integración de tecnologías emergentes, como los drones, en los sistemas Educativos a través de:

- Orientaciones pedagógicas del uso de herramientas Dron en el aula.
- Desarrollo de material didáctico digital y concreto para el uso de esta tecnología en procesos educativos.

DEFINICIÓN DE LA MUESTRA

Se realizó un proceso de muestreo por oportunidad que permitió realizar las inferencias con suficiente consistencia. Para tal efecto, la definición poblacional se encuentra establecido a nivel de las Regiones Metropolitana de Santiago y del Biobío (Chile), y el muestreo se realiza por

oportunidad (Cohen *et al*., 2018), permitiendo realizar valoraciones globales y estudios diferenciales a partir de las variables consideradas. La población, en un comienzo, se definió a partir de los datos estadísticos para el año 2024 de los estudiantes de Pedagogía en Historia y Geografía de las universidades seleccionadas. Por ello, se contó con una muestra de centros participantes (tabla 1):

Tabla 1: Muestreo de los centros participantes

Comuna	Centro	Carrera	Nº de Estudiantes
Santiago	Universidad 1	Pedagogía en Historia y Geografía	8
Biobío	Universidad 2	Pedagogía en Historia y Geografía, Licenciatura en Geografía y Arquitectura	7
		TOTAL	**15**

APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN

Para el desarrollo del levantamiento de información se consideró la recogida de datos cuantitativos por medio de un cuestionario que se utilizó en calidad de pretest usando como base el instrumento denominado "Prueba de diagnóstico de aprendizaje de Geografía Física" (Hernández Ramos *et al*., 2016; Sánchez-Cruzado *et al*., 2021). Este mismo test se utilizó en la etapa postest y con sus ajustes al contexto local nacional, permitió medir las dimensiones de comprensión de la información, evaluación de contenidos de Geografía, procesamiento de la información Geográfica y comunicación de la información Geográfica, las cuales componen las competencias en Geografía. En relación a lo anterior es relevante indicar que, pesar de los debates establecidos sobre la pertinencia del empleo de escalas de autoeficacia como los presentes en el instrumento ya señalado (Bandura & Locke, 2003; Bargsted *et al*., 2019; Campos-Carreño *et al*., 2021; Vancouver & Kendall, 2006), los datos empíricos aportan un sólido soporte al valor predictivo de la autoeficacia en el campo de las ciencias sociales y particularmente de la educación (Alamri, 2022; Valentine *et al*., 2004; Warshawski, 2022; Zysberg & Schwabsky, 2021).

La calibración métrica del cuestionario (ajuste al contexto nacional) se desarrolló con procedimientos estadísticos multivariantes que permitieron analizar las propiedades psicométricas del instrumento de medida de la autoeficacia percibida en competencias digitales y de competencia objetivas, a través de un análisis factorial, la aplicación del índice de dificultad y el índice de discriminación al test. Se incluyó además pruebas de validez y fiabilidad del cuestionario. Para el análisis de fiabilidad o consistencia interna aplicaremos el modelo de covariación entre ítems, a partir inicialmente del coeficiente de *alfa de Cronbach*, que valora el grado de armonización entre los ítems, tanto de la escala global como de las subescalas que la componen. Posteriormente, se aplicó técnicas de análisis factorial exploratorio (componentes principales) y confirmatorio (máxima verosimilitud), con el objeto de indagar y comprobar la validez de constructo. Lo anterior se llevó a cabo usando como soporte los paquetes estadísticos SPSS 29, AMOS-IBM y R 4.4.1.

APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO ANALÍTICO

Luego de sistematizar los datos cuantitativos levantados por medio de la prueba objetiva específica o cuestionario, se procedió al procesamiento analítico de los datos. Para ello se utilizaron dos tipos de técnicas:

1. Aplicación de estadígrafos descriptivos (medidas de tendencia central, desviación, de posición y de forma).
2. Aplicación de estadígrafos multivariantes (correlación, regresión, análisis discriminante, agrupamientos clúster, entre otros).

Lo anterior se llevó a cabo también usando como soporte los paquetes estadísticos SPSS 29 y R 4.4.1.

Las variables seleccionadas en esta fase del estudio se definieron de modo previo a la adaptación del cuestionario tras el análisis de las dimensiones que componen el constructo de interés: comprensión de la información Geográfica, evaluación de contenidos de Geografía, procesamiento de la información Geográfica y comunicación de la información Geográfica. Con relación a ello, se identificaron dos tipos de variables: por un lado, de carácter predictivo (independiente) como, por ejemplo, el perfil de los estudiantes, en cada caso, (especialidad, nivel educativo, edad, sexo, intereses hacia las TIC, entre otros); y por otro, de carácter criterio (dependiente) como por ejemplo grado autonomía e independencia académica, nivel de innovación y creatividad, entre otros.

Dado que esta etapa contempló el levantamiento/procesamiento de información sobre aspectos sensibles relacionados con la autopercepción sobre las competencias en Geografía mediante el uso de Drones, se cauteló que toda la información recogida en el marco de esta investigación se utilice de acuerdo con lo señalado en la Ley 20.120 sobre Investigación Científica en el Ser Humano, Ley 20.584 sobre los Derechos de los Pacientes en Salud y en la Ley 19.628 sobre la Protección de la Vida Privada de Chile. En ese marco, todos los receptores del dispositivo conocieron, firmaron y entregaron los consentimientos informados. Posteriormente se destruirán o borrarán adecuadamente según los protocolos existentes. En todos los casos, las y los sujetos afectos a esta etapa de levantamiento/procesamiento, según solicitud, pudieron solicitar los resultados de la investigación, tanto de manera parcial como total.

ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD DEL INSTRUMENTO

La confiabilidad del test de conocimientos fue evaluada mediante el coeficiente *alfa de Cronbach*, calculado de forma independiente para cada aplicación. En el pretest, el coeficiente obtenido fue $\alpha = 0{,}62$, valor considerado cuestionable según los criterios de George y Mallery (2003). En el postest, la confiabilidad mejoró notablemente, alcanzando $\alpha = 0{,}82$, lo que corresponde a una consistencia interna buena. Cabe señalar que cuatro ítems (16, 18, 21 y 23) fueron eliminados del análisis del postest por no presentar varianza, lo que sugiere que dichas preguntas no discriminaron entre las y los estudiantes en esa aplicación. Adicionalmente, se

identificaron ítems con correlaciones negativas o cercanas a cero en el pretest (8, 15, 24 y 26), lo que indica que estos reactivos no contribuyeron a la medición del constructo evaluado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

VERIFICACIÓN DEL SUPUESTO DE NORMALIDAD

Con el fin de determinar la distribución de los datos y seleccionar las pruebas estadísticas apropiadas, se aplicó el test de Shapiro-Wilk a las puntuaciones del pretest (n = 15). Los resultados indicaron que los datos no siguen una distribución normal (W = 0,897, p = 0,005), por lo que se procedió a utilizar estadística no paramétrica para los análisis posteriores.

ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES

La varianza explicada genera dos componentes que explican en conjunto el 62% de la varianza total, lo cual es aceptable para ciencias sociales y educación (tabla 2):

Tabla 2: Varianza explicada y sus componentes

Componente	Varianza Explicada
RC1	38%
RC2	24%
Total	**62%**

El ajuste del modelo es bueno — Fit = 0,95 (George & Mallery, 2003), lo que indica que los dos componentes reproducen bien las correlaciones entre ítems. De manera particular los resultados por cada componente son los siguientes (tablas 3 y 4):

Tabla 3: Resultados componente 1 (RC1)

Ítems	Carga	h2
3, 10, 13	0,92	0,88
6, 12	0,83	0,91
9	0,70	0,65
14, 7	0,62	0,45–0,54
2	0,53	0,31

Son 9 ítems con cargas entre 0,53 y 0,92 — un componente sólido y bien definido.

Tabla 4: Resultados componente 2 (RC2)

Ítems	Carga	h2
19, 17	0,80	0,64–0,67
27	0,65	0,51
20	0,58	0,37
11	-0,60	0,58
22	-0,53	0,29

Hay ítems de carga negativa (11 y 22) que están inversamente relacionados con este componente, lo que indica que miden un aspecto opuesto o que están redactados en sentido contrario al resto. También es importante mencionar que los ítems 2 (h2 = 0,31) y 22 (h2 = 0,29) tienen comunalidades bajas, lo que se traduce que el modelo explica poco de su varianza individual, por lo que son los más débiles del instrumento.

Desde el punto de vista interpretativo, la solución obtenida sugiere que el desempeño de las y los estudiantes se organiza en torno a un componente dominante (RC1), que concentra la mayor proporción de la varianza explicada (38%) y agrupa la mayoría de los ítems con cargas positivas, por lo que puede entenderse como el núcleo del constructo evaluado. El segundo componente (RC2), en cambio, combina ítems con cargas de signo opuesto, lo que dificulta asignarle una interpretación sustantiva unívoca.

Asimismo, la estructura empírica de dos componentes es más parsimoniosa que las cuatro dimensiones teóricas del instrumento (comprensión de la información geográfica, evaluación de contenidos de Geografía, procesamiento y comunicación de la información geográfica). Ello podría indicar que, en esta muestra, dichas dimensiones operan de manera integrada más que como competencias diferenciadas, aunque, como se analiza en la discusión, esta interpretación debe considerarse preliminar.

COMPARACIÓN ENTRE PRETEST Y POSTEST

Para determinar si existían diferencias estadísticamente significativas en el aprendizaje de las y los estudiantes antes y después de la intervención, se aplicó la prueba de Wilcoxon de rangos con signo para muestras pareadas, utilizando los puntajes definitivos totales calculados a partir de los ítems con adecuada consistencia interna. Dado el tamaño reducido de la muestra (n = 15), se empleó la versión exacta del estadístico, lo que garantiza un *p-value* preciso sin recurrir a aproximaciones asintóticas.

Los resultados evidenciaron diferencias estadísticamente significativas entre el pretest y el postest (V = 109, p = 0,032). El valor V = 109 refleja que la suma de rangos positivos —

correspondiente a los estudiantes que mejoraron su puntaje— supera a la de los rangos negativos, lo que indica una mejora generalizada del grupo tras la intervención. En consecuencia, se rechaza la hipótesis nula de igualdad de ubicación, concluyendo que la intervención educativa tuvo un efecto positivo y estadísticamente significativo en el rendimiento de los estudiantes.

La Figura 1 permite precisar el alcance de este resultado. Entre ambas mediciones, la mediana del grupo se desplazó de 16 a 17 puntos y desaparecieron los puntajes extremadamente bajos registrados en el pretest (cercanos a 6 y 11 puntos), de modo que en el postest ningún participante obtuvo menos de 13 puntos. La mejora se expresa, por tanto, principalmente en la elevación del desempeño de quienes partían con menores logros, más que en un aumento de los puntajes superiores, que en el pretest ya se ubicaban en el tramo alto de la escala (entre 17 y 19 puntos) y no fueron superados en el postest.

Por otra parte, la distribución del postest presenta dos agrupamientos: uno mayoritario, entre 16 y 18 puntos, y otro en torno a 13 puntos. Este patrón sugiere que el beneficio de la intervención no fue homogéneo y que un subgrupo de participantes alcanzó un nivel de logro intermedio, aspecto que convendrá examinar en función del perfil de las y los estudiantes y de la universidad de procedencia.

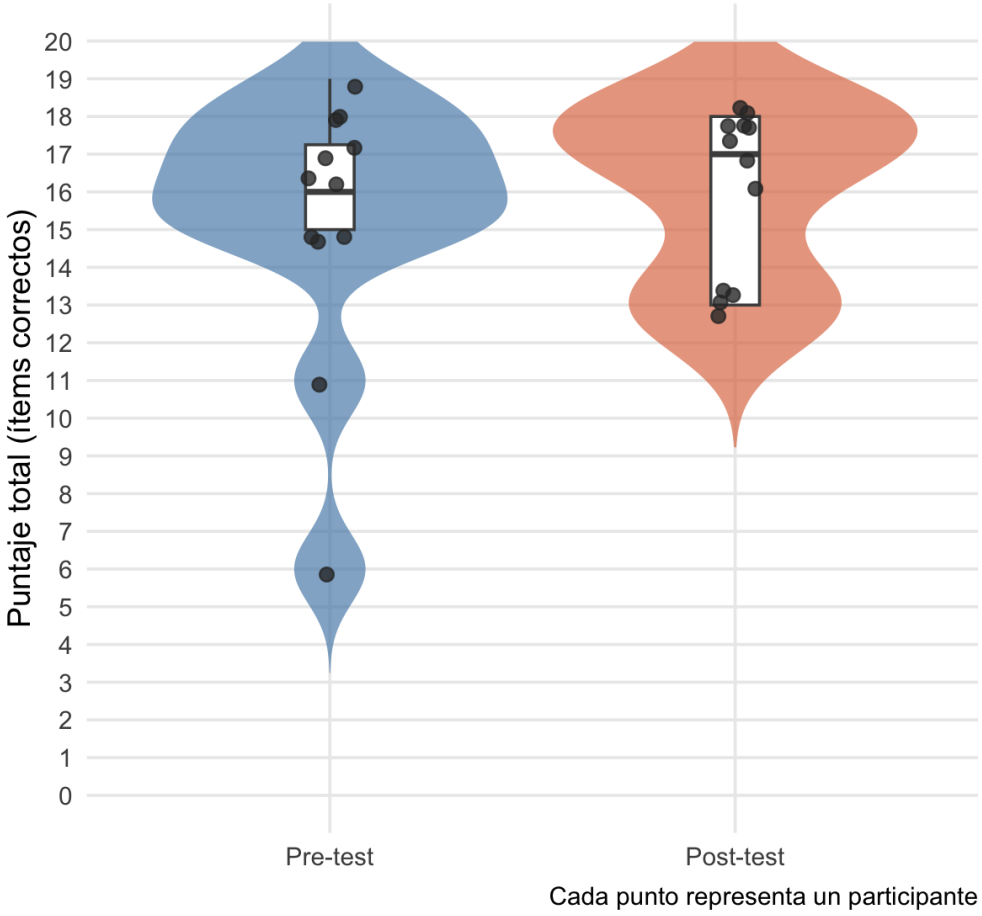


Figura 1: Distribución de los puntajes obtenidos pretest y postest

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Los resultados obtenidos indican que la incorporación de drones como recurso didáctico se asoció con una mejora estadísticamente significativa en el desempeño de las y los estudiantes en la prueba de conocimientos de Geografía. Este hallazgo es coherente con lo reportado por Mathews et al. (2023), quienes, mediante un diseño pretest-postest y un procedimiento analítico similar al aquí empleado —verificación de la normalidad con la prueba de Shapiro-Wilk y uso de una prueba no paramétrica para muestras relacionadas—, constataron un incremento estadísticamente significativo del 14% en los puntajes globales de escolares de educación básica, tras una intervención de seis meses que combinó actividades manipulativas y el uso de drones para el aprendizaje de mapas topográficos. En la misma línea, Williams et al. (2017) observaron que la incorporación de VANT en el trabajo de campo de Geografía Física en educación superior aumentó la participación del estudiantado y le permitió desarrollar habilidades de procesamiento de datos.

Estos resultados también dialogan con la revisión sistemática de Yeung et al. (2024), que identifica el aprendizaje experiencial y el basado en proyectos como los enfoques pedagógicos más frecuentes en la educación STEM mediada por drones, y documenta resultados como una mayor participación, el interés por el aprendizaje y el desarrollo de habilidades de resolución colaborativa de problemas. A su vez, Jiang et al. (2024) sitúan a la Geografía y a las disciplinas afines como el segundo ámbito con mayor uso educativo de drones, después de las áreas STEM, lo que confirma la pertinencia de explorar su aporte específico a la enseñanza de esta disciplina.

Por su parte, el presente estudio aporta evidencia sobre el aprendizaje de contenidos disciplinares, un ámbito en el que los resultados disponibles son más heterogéneos. En una experiencia con 16 estudiantes de educación secundaria, Yeung et al. (2025) informaron mejoras significativas en los dominios psicomotor y afectivo, pero advirtieron la necesidad de fortalecer los logros cognitivos, particularmente en matemáticas y programación. Una explicación plausible de esta diferencia es que los contenidos geográficos se benefician directamente de la perspectiva aérea que ofrecen los drones, la cual facilita vincular los conceptos teóricos con la observación del territorio y de los fenómenos de paisaje.

El hecho de que la experiencia se desarrollara en la formación inicial docente otorga a estos resultados una relevancia particular. Ahmed (2021) constató actitudes favorables de formadores de profesores hacia la educación GeoSTEM basada en drones, pero también brechas en sus competencias técnicas y obstáculos de orden logístico para su implementación. En este marco, que las y los futuros docentes experimenten el uso pedagógico de los VANT desde la posición de aprendices constituye una condición favorable para su posterior integración en el aula escolar, en la medida en que les permite conocer, desde la práctica, tanto sus potencialidades como sus exigencias.

En el plano psicométrico, el aumento de la consistencia interna entre el pretest ($\alpha = 0{,}62$) y el postest ($\alpha = 0{,}82$) admite una lectura sustantiva. Una posible interpretación es que, antes de la intervención, el conocimiento de las y los estudiantes sobre los contenidos evaluados era más

fragmentario —con aciertos en algunos ítems no necesariamente acompañados de aciertos en otros vinculados al mismo constructo—, mientras que tras ella sus respuestas se volvieron más coherentes entre sí, lo que sería consistente con una comprensión más integrada del contenido. No obstante, esta diferencia también implica que las puntuaciones del pretest contienen un mayor error de medición, lo que obliga a interpretar con cautela la magnitud del cambio observado.

Por otra parte, la eliminación de cuatro ítems sin varianza en el postest, junto con la concentración de puntajes en el tramo superior de la escala observada en la Figura 1, sugiere un posible efecto techo. Si dichos ítems fueron respondidos correctamente por la totalidad del grupo, su nivel de dificultad habría sido insuficiente para discriminar entre estudiantes de alto desempeño, lo que pudo limitar la detección de mejoras entre quienes ya obtenían puntajes elevados en el pretest. Ello refuerza la conveniencia de depurar el instrumento e incorporar reactivos de mayor dificultad en futuras aplicaciones.

En cuanto a la estructura del instrumento, la identificación de dos componentes, en lugar de las cuatro dimensiones teóricas consideradas en su adaptación, debe valorarse a la luz del tamaño muestral. Incluso en condiciones óptimas —cargas elevadas y un número suficiente de ítems por factor—, se estima que se requieren entre 150 y 200 casos para obtener estimaciones factoriales precisas (Lloret-Segura et al., 2014), cifra muy superior a la disponible en este estudio. Por ello, la solución obtenida debe entenderse como una aproximación exploratoria, cuya estabilidad deberá verificarse en muestras más amplias antes de extraer conclusiones sobre la dimensionalidad de la competencia geográfica evaluada.

Junto con las limitaciones propias del diseño preexperimental, existen explicaciones alternativas que conviene considerar al interpretar la mejora observada. Por una parte, la aplicación del mismo instrumento en ambas mediciones pudo generar un efecto de administración de pruebas, derivado de la familiaridad con los ítems. Por otra, la presencia de puntajes extremos en el pretest, sumada a su confiabilidad cuestionable, hace plausible que parte del ascenso de los puntajes más bajos —y el hecho de que los más altos no se superaran— responda a un fenómeno de regresión estadística hacia la media. Ambas constituyen fuentes de invalidación interna ampliamente descritas para los diseños de un solo grupo con medición previa y posterior (Creswell, 2008; Hernández Sampieri et al., 2014).

A lo anterior se suma el posible efecto novedad asociado a la tecnología. Jiang et al. (2024) advierten que los drones se emplean principalmente en experiencias breves, intermitentes y colaborativas, y que las y los educadores deben considerar el efecto novedad que acompaña su uso, esto es, un incremento transitorio del interés y del rendimiento atribuible al carácter novedoso del recurso más que a su valor pedagógico.

De igual modo, dado que los beneficios documentados en la literatura se vinculan principalmente con enfoques experienciales y basados en proyectos (Yeung et al., 2024), la mejora observada no puede atribuirse exclusivamente al dispositivo, sino también a la estrategia didáctica en la que este se integró. Discriminar entre estos factores requerirá, además de diseños con grupo de control, el uso de formas paralelas del instrumento y de mediciones diferidas que permitan evaluar la persistencia de los aprendizajes.

CONCLUSIONES

En conjunto, los resultados indican que la intervención generó un cambio estadísticamente significativo en el rendimiento de los estudiantes. No obstante, la confiabilidad cuestionable del pretest sugiere la necesidad de revisar y ajustar el instrumento antes de futuras aplicaciones.

Respecto del objetivo planteado, la evidencia obtenida permite sostener que el uso de Vehículos Aéreos No Tripulados como recurso didáctico favorece el aprendizaje de contenidos de Geografía en estudiantes de formación inicial docente. La mejora observada entre el pretest y el postest ($V = 109$, $p = 0{,}032$) en las y los estudiantes de las dos universidades participantes es coherente con lo planteado por la literatura internacional respecto del potencial de los drones para vincular el conocimiento teórico con la observación directa del territorio y el análisis de fenómenos de paisaje (Williams *et al*., 2017; Yeung et al., 2024).

En el plano metodológico, el análisis de componentes principales identificó dos componentes que explican en conjunto el 62% de la varianza total, con un buen ajuste del modelo, mientras que la consistencia interna del test aumentó de $\alpha = 0{,}62$ en el pretest a $\alpha = 0{,}82$ en el postest. Sin embargo, la presencia de ítems sin varianza, de ítems con correlaciones negativas o cercanas a cero y de comunalidades bajas (ítems 2 y 22) indica que el instrumento adaptado al contexto nacional requiere una depuración de sus reactivos, junto con la revisión de la redacción de aquellos que cargan en sentido inverso (ítems 11 y 22).

Los hallazgos deben interpretarse con cautela. El diseño preexperimental de un solo grupo, sin grupo de control, no permite descartar que factores externos o la propia maduración de las y los participantes expliquen parte del cambio observado, en tanto que el tamaño reducido de la muestra ($n = 15$) y el muestreo por oportunidad limitan la generalización de los resultados a otras poblaciones y niveles educativos.

Pese a estas limitaciones, el estudio constituye una primera aproximación empírica a la integración de drones en la formación inicial docente en Geografía, un ámbito escasamente explorado a nivel regional. Como líneas futuras de investigación se proyecta la aplicación de diseños cuasiexperimentales con grupo de control y muestras más amplias, el análisis diferenciado por dimensión de la competencia geográfica y la incorporación de técnicas cualitativas que permitan comprender las condiciones contextuales que facilitan u obstaculizan el uso de esta tecnología en el aula. Asimismo, los resultados ofrecen insumos para la elaboración de orientaciones pedagógicas y de material didáctico que apoyen la incorporación de los VANT en los procesos de enseñanza y aprendizaje de la Geografía.

DECLARACIÓN DE CONFLICTOS DE INTERESES

El y las autoras declaran no tener conflictos de interés.

DECLARACIÓN DE CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES/AS Y AGRADECIMIENTOS:

- J.J.: Conceptualización, Análisis formal, Investigación, Metodología, Administración de proyectos, Recursos, Validación, Visualización, Redacción - borrador original, Redacción - revisión y edición.
- A.A.: Conceptualización, Análisis formal, Redacción-revisión y edición.
- A.S.: Investigación, Análisis formal, Metodología, Redacción-revisión

El y las autoras agradecen el apoyo brindado por la Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación (Chile), Dirección de Investigación (DIUMCE), que a través del Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica y Pensamiento Espacial (LABSIGPE), el Departamento de Geografía de la Universidad de Concepción (Chile) con las docentes Paula Quijada y María Ester González, y el financiamiento otorgado a través del concurso "Implementación de Drones como recurso Didáctico para la FID - 03-2025-LICi" -Proyecto DIUMCE.

DECLARACIÓN DE APROBACIÓN DEL COMITÉ DE ÉTICA: El y las autoras declaran que la investigación fue aprobada por el Comité de Ética de la Universidad de Santiago de Chile, en tanto la misma implicó a seres humanos, a través del informe ético 538/2025.

DECLARACIÓN DE DISPONIBILIDAD DE DATOS: El y las autoras declaran que los datos estarán disponibles bajo demanda, para lo cual, los interesados deben contactarse mediante correo electrónico con el investigador responsable. Los datos no son públicos por su procesamiento y recomendaciones del Comité de Ética de la Universidad de Santiago de Chile.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abichandani, P., Lobo, D., Dimitrijevic, B., Borgaonkar, A., Sodhi, J., Kabrawala, S., Brateris, D., & Kam, M. (2024). Competition-based active learning instruction for drone education. *Interactive Learning Environments*, *32*(5), 1795–1813. https://doi.org/10.1080/10494820.2022.2128821

Ahmed, H. O. K. (2021). Towards application of drone-based GeoSTEM education: Teacher educators readiness (attitudes, competencies, and obstacles). *Education and Information Technologies*, *26*(4), 4379–4400. https://doi.org/10.1007/s10639-021-10475-6

Alamri, M. M. (2022). Investigating students' adoption of MOOCs during COVID-19 pandemic: Students' academic self-efficacy, learning engagement, and learning persistence. *Sustainability*, *14*(2), Artículo 714. https://doi.org/10.3390/su14020714

Bandura, A., & Locke, E. A. (2003). Negative self-efficacy and goal effects revisited. *Journal of Applied Psychology*, *88*(1), 87–99. https://doi.org/10.1037/0021-9010.88.1.87

Bargsted, M., Ramírez-Vielma, R., & Yeves, J. (2019). Professional self-efficacy and job satisfaction: The mediator role of work design. *Journal of Work and Organizational Psychology*, *35*(3), 157–163. https://doi.org/10.5093/jwop2019a18

Campos-Carreño, M. L., Velasco, C. B., Araya, J. P., & Gaete, C. E. (2021). Construcción y validación de una escala de autoeficacia en el trabajo. *Información Tecnológica*, *32*(3), 47–56. https://doi.org/10.4067/S0718-07642021000300047

Cohen, L., Manion, L., & Morrison, K. R. B. (2018). *Research methods in education* (8.ª ed.). Routledge.

Creswell, J. W. (2008). *Educational research: Planning, conducting, and evaluating quantitative and qualitative research* (3.ª ed.). Pearson/Merrill Prentice Hall.

George, D., & Mallery, P. (2003). *SPSS for Windows step by step: A simple guide and reference, 11.0 update* (4.ª ed.). Allyn and Bacon.

Hernández Ramos, J. P., Martínez Abad, F., Olmos Migueláñez, S., & Rodríguez Conde, M. J. (2016). Evaluación de competencias informacionales con el instrumento IL-HUMASS: Escalamiento multidimensional. *Revista Iberoamericana de Diagnóstico y Evaluación – e Avaliação Psicológica*, *2*(42), 39–48. https://doi.org/10.21865/RIDEP42_39

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.ª ed.). McGraw Hill.

Jiang, M. Y.-C., Jong, M. S.-Y., Chai, C. S., Huang, B., Chen, G., Lo, C.-K., & Wong, F. K.-K. (2024). They believe students can fly: A scoping review on the utilization of drones in educational settings. *Computers & Education*, *220*, Artículo 105113. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2024.105113

Lloret-Segura, S., Ferreres-Traver, A., Hernández-Baeza, A., & Tomás-Marco, I. (2014). El análisis factorial exploratorio de los ítems: Una guía práctica, revisada y actualizada. *Anales de Psicología*, *30*(3), 1151–1169. https://doi.org/10.6018/analesps.30.3.199361

Mathews, A. J., DeChano-Cook, L. M., & Bloom, C. (2023). Enhancing middle school learning about geography and topographic maps using hands-on play and geospatial technologies. *Journal of Geography*, *122*(5), 115–125. https://doi.org/10.1080/00221341.2023.2226156

Sánchez-Cruzado, C., Santiago Campión, R., & Sánchez-Compaña, M. T. (2021). Teacher digital literacy: The indisputable challenge after COVID-19. *Sustainability*, *13*(4), Artículo 1858. https://doi.org/10.3390/su13041858

Sze, S. N., Phang, P., Tiong, W. K., Chiew, K. L., Wee, B. L., Goh, S. L., Bakar, S. A. A., & Hardi, R. (2025). Digital drone education in Sarawak: Enhancing STEM learning through hands-on training for school students. *Journal of Advanced Research in Applied Sciences and Engineering Technology*, *53*(2), 1–9. https://doi.org/10.37934/araset.53.2.19

Valentine, J. C., DuBois, D. L., & Cooper, H. (2004). The relation between self-beliefs and academic achievement: A meta-analytic review. *Educational Psychologist*, *39*(2), 111–133. https://doi.org/10.1207/s15326985ep3902_3

Vancouver, J. B., & Kendall, L. N. (2006). When self-efficacy negatively relates to motivation and performance in a learning context. *Journal of Applied Psychology*, *91*(5), 1146–1153. https://doi.org/10.1037/0021-9010.91.5.1146

Warshawski, S. (2022). Academic self-efficacy, resilience and social support among first-year Israeli nursing students learning in online environments during COVID-19 pandemic. *Nurse Education Today*, *110*, Artículo 105267. https://doi.org/10.1016/j.nedt.2022.105267

Williams, R. D., Tooth, S., & Gibson, M. (2017). The sky is the limit: Reconstructing physical geography from an aerial perspective. *Journal of Geography in Higher Education*, *41*(1), 134–146. https://doi.org/10.1080/03098265.2016.1241986

Yeung, R. C. Y., Sun, D., & Yeung, C. H. (2025). Integrating drone technology in STEM education: Curriculum, pedagogy and learning outcomes. *Education and Information Technologies*, *30*(10), 14237–14272. https://doi.org/10.1007/s10639-025-13368-0

Yeung, R. C. Y., Yeung, C. H., Sun, D., & Looi, C.-K. (2024). A systematic review of drone integrated STEM education at secondary schools (2005–2023): Trends, pedagogies, and learning outcomes. *Computers & Education*, *212*, Artículo 104999. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2024.104999

Zysberg, L., & Schwabsky, N. (2021). School climate, academic self-efficacy and student achievement. *Educational Psychology*, *41*(4), 467–482. https://doi.org/10.1080/01443410.2020.1813690