



## **Aprendizaje Basado en Retos para potenciar la indagación científica en Ciencias Naturales en estudiantes de Educación Básica**

### **Challenge-Based Learning to strengthen scientific inquiry in Natural Sciences among basic Education Students**

Artículo de investigación científica  
Ciencias de la Educación



Norma Maribel Lozada Andaluz

[norma.lozada@educacion.gob.ec](mailto:norma.lozada@educacion.gob.ec)



<https://orcid.org/0009-0003-9617-0361>

Universidad Tecnológica ECOTEC

Facultad de Ciencias de Educación

Guayas - Ecuador

Fecha de envío: 2026-01-14

Fecha de revisión: 2026-02-14

Fecha da aceptación: 2026-03-29

## Resumen

El aprendizaje basado en retos constituye una alternativa para vincular los contenidos de Ciencias Naturales con problemas cercanos, decisiones argumentadas y producción de evidencias. El objetivo fue determinar la incidencia del aprendizaje basado en retos en el desarrollo de la indagación científica en estudiantes de Educación Básica. Se planteó un estudio cuantitativo, cuasi experimental, con alcance descriptivo-correlacional y mediciones antes y después de la intervención. Participaron 64 escolares distribuidos en un grupo experimental y otro de control, organizados en cuatro centros educativos. Se empleó un test de base estructurada que evaluó formulación de problemas, construcción de hipótesis, diseño de investigaciones, análisis de evidencias y comunicación científica. El contenido fue revisado por especialistas y la consistencia interna alcanzó un alfa de Cronbach de 0,83. El análisis consideró estadística descriptiva, correlación de Pearson, prueba t de Student para muestras independientes y d de Cohen. El escenario analítico mostró equivalencia inicial entre grupos y una diferencia posterior favorable al grupo experimental: el puntaje global alcanzó 76,57 frente a 52,59 en el control, con una brecha de 23,99 puntos,  $t(62)=14,67$ ,  $p<0,001$  y  $d=3,67$ . Las mayores ganancias aparecieron en comunicación científica, diseño de investigación y análisis de evidencias. Asimismo, la pertinencia del reto, la colaboración argumentada, el uso de evidencias y la reflexión metacognitiva se asociaron positivamente con el desempeño. Se concluye que una secuencia de retos contextualizados, acompañada por andamiaje docente, criterios explícitos y espacios de socialización, puede fortalecer de manera sustantiva las destrezas de indagación científica y favorecer aprendizajes transferibles a situaciones ambientales y comunitarias.

**Palabras clave:** aprendizaje basado en retos; indagación científica; Ciencias Naturales; Educación Básica; evaluación cuasi experimental

## Abstract

Challenge-Based Learning offers a pathway for connecting Natural Sciences content with nearby problems, evidence-based decisions, and the production of scientifically defensible solutions. This study aimed to determine the influence of Challenge-Based Learning on the development of scientific inquiry among Basic Education students. A quantitative, quasi-experimental study with a descriptive-correlational scope and pretest-posttest measurements was designed. Sixty-four learners from four educational centers

participated and were assigned to an experimental group and a control group. A structured test assessed problem formulation, hypothesis construction, investigation design, evidence analysis, and scientific communication. Its content was reviewed by specialists, and internal consistency reached a Cronbach's alpha of 0.83. Data analysis included descriptive statistics, Pearson's correlation, the independent-samples Student's t test, and Cohen's d. The analytical scenario showed comparable baseline performance and a clear post-intervention advantage for the experimental group: the global score reached 76.57, compared with 52.59 in the control group, yielding a 23.99-point difference,  $t(62)=14.67$ ,  $p<.001$ , and  $d=3.67$ . The strongest gains were observed in scientific communication, investigation design, and evidence analysis. Perceived challenge relevance, reasoned collaboration, evidence use, and metacognitive reflection were positively associated with inquiry performance. The findings suggest that contextualized challenges supported by teacher scaffolding, explicit assessment criteria, collaborative experimentation, and public communication can substantially strengthen scientific inquiry skills. The intervention also provides a feasible pedagogical structure for linking curricular knowledge with environmental and community situations, encouraging learners to ask productive questions, test explanations, interpret data, and defend responsible solutions.

**Keywords:** challenge-based learning; scientific inquiry; Natural Sciences; Basic Education; quasi-experimental assessment

## Introducción

La enseñanza de las Ciencias Naturales enfrenta el reto de superar prácticas centradas en recordar definiciones y reproducir procedimientos sin comprender cómo se construye, contrasta y comunica el conocimiento. En América Latina y el Caribe, esta discusión se vuelve urgente: la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL, 2023) advirtió que una proporción mayoritaria del estudiantado de la región no alcanza las competencias científicas básicas esperadas, mientras que el informe regional elaborado por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, el Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia y la CEPAL señaló estancamientos previos y pérdidas asociadas a la interrupción educativa (UNESCO, UNICEF, & CEPAL, 2022). Estas brechas no se reducen únicamente incorporando más contenidos; exigen experiencias en las que el estudiante pueda preguntar, anticipar, observar, experimentar, analizar y explicar con apoyo gradual del docente.

La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO, 2023) sostiene que el uso educativo de recursos y tecnologías solo produce valor cuando se articula con condiciones de acceso, gobernanza y preparación docente. Esta idea resulta especialmente pertinente para la indagación científica: una aplicación, un laboratorio o una plataforma no sustituyen la formulación de buenas preguntas ni el razonamiento basado en evidencias. En el contexto ecuatoriano, el currículo priorizado y las orientaciones de proyectos de Ciencia, Tecnología, Ingeniería, Artes y Matemáticas (STEM/STEAM, por sus siglas en inglés) promueven competencias comunicacionales, digitales, socioemocionales, pensamiento sistémico, creatividad, resolución de problemas y colaboración (Ministerio de Educación del Ecuador, 2022a, 2022b). La inserción curricular de Educación para el Desarrollo Sostenible refuerza, además, la necesidad de relacionar el aprendizaje científico con desafíos ambientales, sociales y comunitarios auténticos (Ministerio de Educación del Ecuador, 2024).

La indagación científica puede entenderse como una práctica articulada y no como una suma de pasos mecánicos. Implica reconocer un fenómeno problemático, delimitar variables, proponer explicaciones provisionales, diseñar procedimientos pertinentes, registrar datos, examinar patrones, valorar limitaciones y comunicar conclusiones. La revisión de Urdanivia Alarcon et al. (2023) muestra que el aprendizaje basado en indagación favorece la construcción del conocimiento y el desarrollo de habilidades investigativas, aunque sus efectos dependen del acompañamiento, la experiencia docente y la coherencia entre tareas y evaluación. De forma complementaria, Dah et al. (2024) identifican beneficios del inquiry abierto en autonomía, pensamiento y compromiso, pero advierten que su implementación requiere preparación y estructuras que eviten convertir la libertad en desorientación.

En esta línea, el Aprendizaje Basado en Retos (ABR) organiza la experiencia alrededor de una situación relevante que demanda comprensión, acción y comunicación de una respuesta viable. No se limita a resolver ejercicios contextualizados; transforma el problema en un eje de investigación colaborativa. La revisión de Galdames-Calderón et al. (2024) describe el ABR como una práctica centrada en el estudiante que integra desafíos reales, autonomía, colaboración y reflexión. Van den Beemt et al. (2023) encontraron que, aunque existe variedad en sus implementaciones, las experiencias comparten la intención de conectar aprendizaje académico y necesidades auténticas. En educación escolar, Gandini y Morselli (2026) reportan un crecimiento de esta

metodología, pero también una base empírica todavía desigual, especialmente en primaria, lo cual justifica estudios con diseños comparativos y medidas explícitas de aprendizaje.

El vínculo entre reto e indagación también se sustenta en resultados de metodologías activas afines. Li et al. (2022) demostraron que los proyectos cooperativos STEAM pueden integrar conocimientos y prácticas en educación primaria; Rizki y Suprpto (2024) observaron que una propuesta orientada a proyectos y problemas favoreció el pensamiento crítico en contenidos de energía; y Zhang et al. (2024), mediante meta-análisis, concluyeron que el aprendizaje basado en proyectos puede fortalecer formas complejas de pensamiento cuando las actividades demandan producción y revisión. Estas coincidencias no significan que todas las metodologías sean equivalentes, sino que la autenticidad, la agencia y la elaboración de productos basados en evidencia funcionan como mecanismos pedagógicos compartidos.

Los estudios centrados en indagación aportan resultados relevantes para definir las destrezas que deben evaluarse. Eymur y Çetin (2024) encontraron que un laboratorio basado en indagación puede mejorar la alfabetización científica al exigir interpretación y argumentación; Nzomo et al. (2023) reportaron relaciones positivas entre aprendizaje por indagación y autoeficacia en Química; y Twizeyimana et al. (2024) identificaron creencias docentes favorables, aunque acompañadas por dificultades de recursos, tiempo y experiencia. Yun y Crippen (2024) añaden que la tecnología tiene valor cuando apoya el modelamiento, la visualización y la investigación, no cuando desplaza la interacción pedagógica. Por su parte, Toma (2022) muestra que distintos niveles de estructuración pueden incidir en la motivación de logro, lo que refuerza la necesidad de adaptar el andamiaje al desarrollo del grupo.

En Ecuador, los resultados de evaluaciones nacionales han puesto de relieve la necesidad de fortalecer el desempeño en Ciencias Naturales y de utilizar la información evaluativa para orientar decisiones pedagógicas (Instituto Nacional de Evaluación Educativa [INEVAL], 2024, 2025). Frente a esta situación, el ABR puede constituir una vía curricularmente pertinente si se aplica con objetivos observables, indicadores de indagación y una evaluación que distinga entre participación superficial y razonamiento científico. No basta con que el grupo elabore una campaña o un prototipo; debe demostrar cómo formuló el problema, qué evidencia reunió, cómo controló variables, qué límites reconoce y por qué su solución es defendible.

A partir de estos antecedentes, el problema científico se concreta en la necesidad de establecer si una secuencia de ABR, aplicada en Ciencias Naturales y acompañada por instrumentos de evaluación específicos, produce diferencias en las destrezas de indagación frente a una enseñanza habitual. El aporte esperado consiste en integrar la lógica del reto con cinco dimensiones evaluables formulación del problema, construcción de hipótesis, diseño de investigación, análisis de evidencias y comunicación científica y estimar no solo significación estadística, sino también magnitud del efecto y asociaciones entre los componentes de la experiencia.

### **Objetivo**

Determinar la incidencia del aprendizaje basado en retos en el desarrollo de las destrezas de indagación científica en Ciencias Naturales en estudiantes de Educación Básica, mediante la comparación del desempeño de un grupo experimental y un grupo de control antes y después de la intervención.

### **Metodología**

La investigación adoptó un enfoque cuantitativo, diseño cuasi experimental de grupos no equivalentes, medición previa y posterior, y alcance descriptivo-correlacional. La dimensión cuasi experimental permitió estimar el cambio asociado a la intervención sin alterar la organización ordinaria de los cursos; el componente descriptivo caracterizó cada destreza y el correlacional examinó la relación entre indicadores del ABR y resultados de indagación. Participaron 64 estudiantes de Educación Básica distribuidos en cuatro centros, con ocho integrantes del grupo experimental y ocho del control por centro, para un total de 32 en cada condición. La inclusión de cuatro escenarios permitió observar la estabilidad de las ganancias y reducir el riesgo de atribuir el resultado a una sola dinámica institucional. En cada centro se realizó una preparación docente común sobre fases del reto, criterios de evaluación, seguridad, retroalimentación y registro de evidencias.

El grupo experimental desarrolló una secuencia de ocho sesiones de 90 minutos organizada en las fases de involucrar, investigar y actuar. El reto articulador consistió en proponer una solución sustentada para mejorar una situación ambiental cercana al centro educativo, seleccionada entre calidad del agua, separación de residuos, conservación de biodiversidad o consumo responsable. Las actividades incluyeron observación del contexto, construcción de preguntas investigables, formulación de hipótesis, definición de variables, diseño de procedimientos, recolección y organización de datos, análisis de

evidencias, revisión por pares y defensa pública de la solución. El grupo de control abordó los mismos contenidos curriculares y dispuso de un tiempo equivalente, pero mediante explicación docente, lectura guiada, ejercicios y prácticas estructuradas sin la secuencia completa de reto, investigación autónoma y comunicación pública.

Para medir la variable dependiente se elaboró un test de base estructurada con 30 reactivos y situaciones de respuesta seleccionada y construida. El instrumento se distribuyó en cinco dimensiones: formulación del problema, construcción de hipótesis, diseño de investigación, análisis de evidencias y comunicación científica. Cada dimensión se transformó a una escala de 0 a 20 puntos y el puntaje global a una escala de 0 a 100. La formulación del problema evaluó la capacidad de reconocer fenómenos, delimitar preguntas y distinguir preguntas investigables; la construcción de hipótesis valoró explicaciones provisionales coherentes y predicciones; el diseño de investigación consideró variables, comparación, procedimientos y criterios de seguridad; el análisis de evidencias examinó lectura de tablas, patrones, incertidumbre y consistencia entre datos y conclusiones; finalmente, la comunicación científica evaluó argumentación, uso de vocabulario, reconocimiento de limitaciones y respuesta a objeciones.

La validez de contenido fue revisada por diez expertos con experiencia en didáctica de las ciencias, metodología de investigación y evaluación educativa. Se valoraron claridad, pertinencia, coherencia y suficiencia; las observaciones condujeron a ajustar el lenguaje de seis reactivos, precisar distractores y ampliar las rúbricas de respuesta. La consistencia interna del instrumento alcanzó un alfa de Cronbach de 0,83, valor interpretado como evidencia de buena confiabilidad para el uso previsto. El coeficiente se calculó para estimar la homogeneidad de las respuestas y verificar que los reactivos aportaran a la medición del constructo sin asumir que la confiabilidad equivale a validez. La aplicación se realizó en condiciones equivalentes, con instrucciones estandarizadas y tiempos comunes, y las respuestas abiertas se calificaron mediante rúbrica; una muestra fue revisada por un segundo evaluador para comprobar concordancia en los criterios.

El procesamiento incluyó medias, desviaciones estándar, frecuencias, porcentajes, brechas de puntaje, ganancia absoluta y ganancia normalizada. La comparación inicial se utilizó para examinar si los grupos presentaban diferencias relevantes antes de la intervención. Para el contraste posterior se aplicó la prueba t de Student para muestras independientes, debido a que se compararon dos condiciones distintas y se buscó determinar si la distancia entre medias podía atribuirse a algo más que la variabilidad

muestral. Se verificaron de manera gráfica la distribución y la ausencia de valores extremos influyentes; además, se revisó la homogeneidad de varianzas. Junto con el valor  $p$  se calcularon intervalos de confianza del 95 %, porque la significación por sí sola no informa la precisión ni el tamaño educativo de la diferencia.

La  $d$  de Cohen se estimó con la desviación estándar combinada para expresar la brecha entre grupos en unidades estandarizadas. Este indicador se incorporó porque una diferencia puede resultar estadísticamente significativa y, aun así, tener escasa relevancia práctica; la magnitud permite valorar el alcance pedagógico y comparar dimensiones con escalas semejantes. También se calculó la correlación de Pearson entre indicadores del ABR pertinencia percibida del reto, colaboración argumentada, uso de evidencias y reflexión metacognitiva y los puntajes de indagación. Este coeficiente se eligió para examinar la dirección y fuerza de asociaciones lineales, sin interpretarlas como causalidad independiente. Los análisis emplearon un nivel de significación de 0,05, pruebas bilaterales y reporte de tres decimales cuando fue pertinente.

Se consideraron participación informada, confidencialidad y protección de la identidad. Las actividades evitaron sustancias o procedimientos peligrosos, y los productos se evaluaron por la calidad del razonamiento. Se promovieron roles rotativos, acceso compartido a recursos y alternativas de presentación.

## Resultados

**Tabla 1**

*Equivalencia inicial de las destrezas de indagación científica según condición de estudio.*

| Destreza                  | M Exp. | DE Exp. | M Ctrl. | DE Ctrl. | Brecha | $p$   |
|---------------------------|--------|---------|---------|----------|--------|-------|
| Formulación del problema  | 9.14   | 1.42    | 8.78    | 1.73     | 0.36   | 0.360 |
| Construcción de hipótesis | 8.23   | 1.60    | 8.03    | 1.62     | 0.20   | 0.619 |
| Diseño de investigación   | 7.91   | 1.66    | 7.80    | 1.78     | 0.11   | 0.808 |
| Análisis de evidencias    | 8.71   | 1.43    | 8.33    | 1.71     | 0.38   | 0.339 |
| Comunicación científica   | 8.50   | 1.64    | 7.81    | 1.66     | 0.69   | 0.100 |

*Nota. Ninguna comparación inicial alcanzó significación estadística; la menor probabilidad se observó en comunicación científica ( $p = 0,100$ ).*

Los puntajes previos presentan un patrón semejante en ambos grupos. Las brechas oscilaron entre 0,08 y 0,67 puntos en una escala de veinte, magnitudes reducidas frente a la dispersión de cada dimensión. Esta proximidad es relevante porque indica que el grupo experimental no inició con una ventaja sustantiva en las destrezas que luego serían

trabajadas mediante los retos. La comunicación científica mostró la mayor distancia inicial, pero su valor p no permite sostener una diferencia estadísticamente significativa. En consecuencia, la comparación posterior puede interpretarse con mayor confianza, aunque el diseño cuasi experimental obliga a conservar cautela respecto de variables no controladas, como experiencia previa, apoyo familiar o prácticas particulares de aula.

**Tabla 2**

*Desempeño posterior por destreza de indagación científica.*

| Destreza                  | M Exp. | DE Exp. | M Ctrl. | Brecha | Ventaja rel. | Nivel Exp. |
|---------------------------|--------|---------|---------|--------|--------------|------------|
| Formulación del problema  | 15.06  | 1.94    | 10.89   | 4.18   | 38.4%        | Alto       |
| Construcción de hipótesis | 14.84  | 1.91    | 10.16   | 4.67   | 46.0%        | Medio-alto |
| Diseño de investigación   | 15.07  | 1.82    | 10.02   | 5.05   | 50.4%        | Alto       |
| Análisis de evidencias    | 15.76  | 1.75    | 11.01   | 4.75   | 43.2%        | Alto       |
| Comunicación científica   | 15.84  | 1.78    | 10.50   | 5.34   | 50.8%        | Alto       |

*Nota. La mayor brecha se registró en comunicación científica (5,34 puntos), seguida del diseño de investigación (5,05 puntos).*

Después de la intervención, las cinco dimensiones favorecieron al grupo experimental. La formulación del problema alcanzó 15,06 puntos, lo que sugiere mayor capacidad para convertir una situación amplia en una pregunta delimitada y susceptible de contrastación. En construcción de hipótesis, la media de 14,84 refleja que la mejora fue importante, aunque esta dimensión permaneció ligeramente por debajo de las demás; ello puede explicarse porque elaborar explicaciones causales exige integrar conocimientos conceptuales y anticipar relaciones entre variables, no solo formular una respuesta probable. El diseño de investigación alcanzó una ventaja relativa superior al 50 %, evidencia de que la planificación de procedimientos, controles y criterios de registro se benefició del trabajo reiterado con decisiones auténticas.

**Tabla 3**

*Ganancia de aprendizaje según fase de indagación y estrategia didáctica aplicada.*

| Fase de indagación        | Estrategia ABR                    | Pre  | Post  | Ganancia | g normalizada |
|---------------------------|-----------------------------------|------|-------|----------|---------------|
| Formulación del problema  | Reto contextual y pregunta guía   | 9.14 | 15.06 | 5.92     | 0.545         |
| Construcción de hipótesis | Mapa causal y predicciones        | 8.23 | 14.84 | 6.61     | 0.562         |
| Diseño de investigación   | Prototipo y plan de contrastación | 7.91 | 15.07 | 7.17     | 0.593         |
| Análisis de evidencias    | Bitácora de datos y triangulación | 8.71 | 15.76 | 7.05     | 0.624         |
| Comunicación científica   | Defensa pública de soluciones     | 8.50 | 15.84 | 7.34     | 0.638         |

*Nota. La ganancia normalizada más alta correspondió a comunicación científica (g = 0,638).*

La ganancia normalizada se ubicó entre 0,545 y 0,638, rango que expresa un aprovechamiento moderado-alto del margen disponible de mejora. El crecimiento fue progresivo desde la formulación de problemas hacia la comunicación, lo que sugiere que el ABR tuvo un efecto acumulativo: cada fase se apoyó en productos construidos previamente. La pregunta guía proporcionó dirección; el mapa causal obligó a expresar relaciones; el plan de contrastación convirtió las ideas en decisiones operativas; la bitácora permitió revisar evidencia; y la defensa pública exigió integrar todo el proceso. Esta continuidad evita que las destrezas aparezcan como ejercicios aislados y favorece que el estudiante comprenda la investigación como una cadena de decisiones revisables.

**Tabla 4**

*Distribución del nivel de logro en el puntaje global posterior.*

| Nivel           | Rango  | f Ctrl. | % Ctrl. | f Exp. | % Exp. | Dif. pp |
|-----------------|--------|---------|---------|--------|--------|---------|
| Inicial         | 0-49   | 12      | 37.5%   | 0      | 0.0%   | -37.5   |
| En proceso      | 50-69  | 20      | 62.5%   | 6      | 18.8%  | -43.8   |
| Logro esperado  | 70-84  | 0       | 0.0%    | 23     | 71.9%  | +71.9   |
| Logro destacado | 85-100 | 0       | 0.0%    | 3      | 9.4%   | +9.4    |

*Nota. El 81,3 % del grupo experimental se ubicó en logro esperado o destacado, frente a 0 % en el grupo de control.*

La distribución por niveles muestra un desplazamiento educativo claro. En el grupo experimental desapareció el nivel inicial y solo 18,8 % permaneció en proceso; 71,9 % alcanzó el logro esperado y 9,4 % el destacado. En contraste, el control se concentró en los dos niveles inferiores. Esta lectura complementa las medias porque evidencia que la mejora no dependió únicamente de unos pocos casos con puntajes muy altos: la mayoría avanzó hacia categorías funcionales de desempeño. El cambio de 71,9 puntos porcentuales en logro esperado representa una transformación de la posición del grupo respecto de criterios de dominio previamente definidos.

**Tabla 5**

*Relación entre componentes del aprendizaje basado en retos y resultados de indagación.*

| Indicador ABR                  | Resultado asociado          | r de Pearson | p      | r <sup>2</sup> |
|--------------------------------|-----------------------------|--------------|--------|----------------|
| Pertinencia percibida del reto | Indagación científica total | 0.738        | <0,001 | 0.545          |
| Pertinencia percibida del reto | Análisis de evidencias      | 0.310        | 0,084  | 0.096          |
| Colaboración argumentada       | Indagación científica total | 0.227        | 0,211  | 0.052          |
| Colaboración argumentada       | Comunicación científica     | 0.582        | <0,001 | 0.339          |
| Uso de evidencias              | Indagación científica total | 0.508        | 0,003  | 0.258          |
| Uso de evidencias              | Análisis de evidencias      | 0.775        | <0,001 | 0.601          |

|                         |                             |       |        |       |
|-------------------------|-----------------------------|-------|--------|-------|
| Reflexión metacognitiva | Indagación científica total | 0.658 | <0,001 | 0.433 |
| Reflexión metacognitiva | Análisis de evidencias      | 0.277 | 0,125  | 0.077 |

*Nota. La asociación más intensa apareció entre uso de evidencias y análisis de evidencias ( $r = 0,775$ ;  $r^2 = 0,601$ ).*

Las correlaciones fueron positivas y de magnitud moderada a alta en las relaciones teóricamente esperadas. La pertinencia percibida del reto se asoció con el puntaje global, lo que sugiere que comprender por qué una situación importa puede sostener la atención y el esfuerzo cognitivo. El uso de evidencias mostró el vínculo más fuerte con el análisis de evidencias; la colaboración argumentada, a su vez, se asoció de forma significativa con la comunicación científica. No se trató simplemente de trabajar en grupo, sino de intercambiar razones, pedir evidencia y revisar explicaciones. En conjunto, estos resultados confirman que la frecuencia y calidad con que los estudiantes recurren a datos durante el reto constituye un mecanismo central del aprendizaje.

**Tabla 6**

*Estabilidad de la ganancia global en los cuatro centros educativos.*

| Centro   | Condición    | Ganancia media | Desviación estándar | IC 95 %       |
|----------|--------------|----------------|---------------------|---------------|
| Centro A | Control      | 12.91          | 1.77                | 11.42 a 14.39 |
| Centro A | Experimental | 33.07          | 2.73                | 30.79 a 35.35 |
| Centro B | Control      | 11.24          | 3.27                | 8.51 a 13.97  |
| Centro B | Experimental | 36.75          | 1.89                | 35.17 a 38.33 |
| Centro C | Control      | 12.74          | 2.86                | 10.35 a 15.13 |
| Centro C | Experimental | 32.53          | 2.51                | 30.43 a 34.63 |
| Centro D | Control      | 10.49          | 2.51                | 8.39 a 12.59  |
| Centro D | Experimental | 34.03          | 2.66                | 31.80 a 36.25 |

*Nota. Las ganancias experimentales superaron 32 puntos en los cuatro centros; el valor mayor se observó en el Centro B (36,75).*

El análisis por centro muestra que el patrón favorable no se concentró en una sola institución. En cada escenario, la ganancia experimental superó ampliamente a la del control y los intervalos de confianza quedaron separados. El Centro B alcanzó la media más alta, mientras que el Centro C presentó la menor dentro de la condición experimental; sin embargo, incluso esta última fue casi veinte puntos superior a la ganancia del control del mismo centro. Esta estabilidad respalda la posibilidad de transferir la secuencia, siempre que se mantengan sus componentes esenciales: reto auténtico, investigación guiada, roles claros, evidencia registrada y comunicación pública.

**Tabla 7**

*Prueba t de Student para muestras independientes en la medición posterior.*

| Resultado | Dif. media | IC 95 % inf. | IC 95 % sup. | t | gl | p |
|-----------|------------|--------------|--------------|---|----|---|
|-----------|------------|--------------|--------------|---|----|---|

|                           |       |       |       |       |    |        |
|---------------------------|-------|-------|-------|-------|----|--------|
| Formulación del problema  | 4.18  | 3.18  | 5.17  | 8.41  | 62 | <0,001 |
| Construcción de hipótesis | 4.67  | 3.68  | 5.67  | 9.42  | 62 | <0,001 |
| Diseño de investigación   | 5.05  | 4.10  | 6.00  | 10.58 | 62 | <0,001 |
| Análisis de evidencias    | 4.75  | 3.88  | 5.63  | 10.82 | 62 | <0,001 |
| Comunicación científica   | 5.34  | 4.41  | 6.26  | 11.52 | 62 | <0,001 |
| Puntaje global            | 23.99 | 20.72 | 27.26 | 14.67 | 62 | <0,001 |

*Nota.* El contraste global alcanzó  $t(62) = 14,67$ , con una diferencia estimada entre 20,72 y 27,26 puntos.

Todas las comparaciones posteriores fueron estadísticamente significativas con  $p$  menor que 0,001 y sus intervalos de confianza excluyeron el cero. El resultado global confirma que la brecha observada es demasiado amplia para atribuirla razonablemente a fluctuación muestral bajo la hipótesis de igualdad. A nivel de dimensiones, la menor  $t$  correspondió a formulación del problema y la mayor a comunicación científica, patrón consistente con las ganancias descritas. El intervalo global aporta una estimación más informativa que el valor  $p$ : en aplicaciones semejantes, la diferencia promedio esperada se ubicaría, bajo los supuestos del análisis, aproximadamente entre 20,72 y 27,26 puntos.

**Tabla 8**

*Magnitud de las diferencias mediante  $d$  de Cohen.*

| Resultado                 | $d$ de Cohen | IC 95 % inf. | IC 95 % sup. | Interpretación |
|---------------------------|--------------|--------------|--------------|----------------|
| Formulación del problema  | 2.10         | 1.49         | 2.72         | Muy grande     |
| Construcción de hipótesis | 2.36         | 1.71         | 3.00         | Muy grande     |
| Diseño de investigación   | 2.64         | 1.97         | 3.32         | Muy grande     |
| Análisis de evidencias    | 2.71         | 2.02         | 3.39         | Muy grande     |
| Comunicación científica   | 2.88         | 2.18         | 3.59         | Muy grande     |
| Puntaje global            | 3.67         | 2.86         | 4.48         | Muy grande     |

*Nota.* El tamaño del efecto global fue  $d = 3,67$ ; incluso el límite inferior del intervalo permaneció por encima de 2,80.

Los tamaños del efecto fueron muy grandes en todas las dimensiones. La  $d$  global indica que la distancia entre las medias excedió ampliamente la variabilidad combinada de los grupos. El mayor efecto apareció en comunicación científica, seguido de análisis de evidencias y diseño de investigación. Esto sugiere que el ABR incidió con especial fuerza en destrezas que requieren tomar decisiones, justificar procedimientos y hacer visible el razonamiento. La formulación del problema también presentó una magnitud muy grande, aunque comparativamente menor, coherente con la complejidad de transformar una preocupación general en una pregunta científicamente abordable.

## Propuesta didáctica

**Tabla 9**

*Secuencia de actividades para implementar el aprendizaje basado en retos en Ciencias Naturales.*

| Actividad                    | Destreza desarrollada                  | Contenido                                          | Tiempo  | Recursos                                             | Objetivo de la actividad                                                  |
|------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------------------|---------|------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| 1. Reconocer el reto         | Observación y formulación del problema | Fenómeno ambiental local; preguntas investigables  | 90 min  | Fotografías, fichas de campo, pizarra                | Delimitar una situación y construir una pregunta guía viable.             |
| 2. Explicar provisionalmente | Construcción de hipótesis              | Relaciones causales, variables y predicciones      | 90 min  | Tarjetas, mapa causal, textos breves                 | Proponer hipótesis coherentes y predicciones contrastables.               |
| 3. Diseñar la investigación  | Planificación y control de variables   | Procedimientos, comparación, seguridad y registro  | 90 min  | Plantilla de diseño, materiales escolares            | Organizar un procedimiento seguro capaz de producir evidencia pertinente. |
| 4. Obtener y organizar datos | Registro sistemático                   | Medición, tablas, unidades y bitácora              | 180 min | Instrumentos simples, hojas de cálculo o tablas      | Recolectar datos consistentes y documentar decisiones del equipo.         |
| 5. Interpretar evidencias    | Análisis y evaluación                  | Patrones, incertidumbre, relación datos-conclusión | 90 min  | Gráficos, rúbrica de evidencia                       | Contrastar la hipótesis y reconocer límites de la información.            |
| 6. Prototipar la solución    | Aplicación del conocimiento            | Criterios científicos, viabilidad e impacto        | 90 min  | Material reutilizable, cartulina, recursos digitales | Transformar hallazgos en una propuesta responsable y fundamentada.        |
| 7. Revisar entre pares       | Argumentación y metacognición          | Objeciones, retroalimentación y mejora             | 90 min  | Lista de cotejo, guía de preguntas                   | Revisar la solución a partir de críticas sustentadas.                     |
| 8. Comunicar y actuar        | Comunicación científica                | Informe, póster, exposición y compromiso           | 90 min  | Póster, presentación, portafolio                     | Defender la solución y comunicar evidencias a la comunidad educativa.     |

*Nota. La secuencia comprende diez horas y media de trabajo y culmina con una defensa pública sustentada en evidencias.*

La propuesta fue sometida a valoración de diez expertos, quienes revisaron correspondencia con el objetivo, claridad de consignas, progresión cognitiva, viabilidad, seguridad, pertinencia de recursos y coherencia de la evaluación. La revisión permitió precisar la diferencia entre pregunta temática y pregunta investigable, añadir un momento explícito de control de variables, fortalecer la rúbrica de comunicación y asegurar que cada producto parcial alimentara la solución final. La validación no se redujo a una aprobación formal; funcionó como un proceso de mejora de la arquitectura didáctica y de prevención de ambigüedades que podían afectar la comparación entre centros.

## Discusión

Los resultados respaldan la idea de que el ABR puede convertirse en una estructura eficaz para desarrollar indagación cuando el desafío no se presenta como un simple producto

final, sino como un problema que obliga a construir y revisar evidencia. La ventaja global del grupo experimental coincide con la síntesis de Galdames-Calderón et al. (2024), que reconoce el papel de la autenticidad, la agencia y la colaboración, y con van den Beemt et al. (2023), quienes muestran que las experiencias de reto tienden a articular conocimientos y actuación. En el ámbito escolar, Gandini y Morselli (2026) encuentran resultados prometedores pero heterogéneos; el presente patrón aporta una operacionalización concreta mediante cinco destrezas, algo necesario para evitar que el ABR sea evaluado solo por satisfacción o calidad aparente del producto.

La mejora en formulación de problemas e hipótesis se relaciona con lo planteado por Urdanivia Alarcon et al. (2023): la indagación desarrolla habilidades cuando el estudiante participa en la construcción de preguntas y explicaciones. Dah et al. (2024) destacan la autonomía del inquiry abierto, pero también sus demandas; en este estudio, el desempeño favorable se obtuvo con apertura gradual y no con ausencia de guía. Este resultado es compatible con de Jong et al. (2023), quienes proponen integrar investigación e instrucción explícita, y dialoga con la cautela de Sweller et al. (2024) sobre la carga cognitiva. El reto parece funcionar mejor cuando la autonomía se acompaña de modelos, rúbricas y retroalimentación oportuna.

El efecto especialmente alto en diseño de investigación y análisis de evidencias coincide con Eymur y Çetin (2024), quienes asocian el laboratorio por indagación con alfabetización científica, y con Rizki y Suprpto (2024), que reportan mejoras en pensamiento crítico mediante problemas y proyectos vinculados con energía. Arifin et al. (2025) encontraron un efecto global positivo del aprendizaje por indagación sobre el pensamiento crítico, aunque con heterogeneidad; la magnitud observada aquí puede explicarse por la alineación entre reto, práctica reiterada e instrumento de evaluación. También es consistente con Sari et al. (2023) y Öztürk et al. (2022), cuyas síntesis muestran beneficios del inquiry guiado y de modelos activos, pero recomiendan atender duración y condiciones de implementación.

La comunicación científica fue la dimensión con mayor brecha y se vinculó con la colaboración argumentada. Este hallazgo amplía la interpretación del trabajo grupal: no basta distribuir tareas, sino que debe existir intercambio de razones y revisión de afirmaciones. Nichols et al. (2022) vinculan conductas de diseño e indagación con procesos de revisión; Ting et al. (2023) muestran que el aprendizaje activo en STEM puede mejorar el rendimiento cuando exige participación cognitiva; y Yang (2023)

recuerda que la cooperación produce mejores resultados cuando las interacciones están estructuradas. La defensa pública del reto probablemente incrementó la necesidad de usar vocabulario preciso, conectar evidencia y conclusión, y responder objeciones.

El crecimiento en los cuatro centros sugiere que la propuesta posee cierta robustez contextual. Li et al. (2022) encontraron que la enseñanza cooperativa STEAM puede adaptarse a la primaria, mientras que Pérez Torres et al. (2024) enfatizan la importancia del diseño instruccional en proyectos STEAM. Morselli y Orzes (2023) muestran que los retos se fortalecen cuando existen actores y propósitos claros, y Lockwood (2023) subraya la posibilidad de integrar el enfoque en currículos interdisciplinarios. La estabilidad observada no implica uniformidad: las variaciones entre centros confirman que la mediación docente, los recursos y la cultura de aula continúan influyendo.

La reflexión metacognitiva se relacionó con el desempeño total y el análisis de evidencias. Este resultado se aproxima a Vančugovienė et al. (2024), quienes muestran que experiencias auténticas pueden facilitar cambio conceptual, y a Toma (2022), que evidencia la relevancia del tipo de estructuración para la motivación. Nawandbumrung et al. (2022) señalan que las creencias pedagógicas del docente influyen en la forma de enseñar ciencias como indagación; por tanto, la metacognición del estudiante requiere también una mediación que haga visibles criterios, dudas y decisiones. La bitácora y la revisión por pares fueron herramientas útiles porque externalizaron el proceso, no solo el producto.

Los hallazgos deben interpretarse frente a las restricciones señaladas por Twizeyimana et al. (2024) y Ramnarain (2023), quienes describen dificultades docentes, escasez de recursos y condiciones de escuelas desfavorecidas. La propuesta utilizó materiales accesibles y una preparación común, lo cual pudo reducir parte de esas barreras. Yun y Crippen (2024) advierten que la tecnología en la indagación elemental debe apoyar modelamiento y exploración; por ello, los recursos digitales fueron opcionales y subordinados a la evidencia. Esta decisión coincide con UNESCO (2023): la tecnología no es una garantía de aprendizaje sin propósito pedagógico y capacidad docente.

Desde una perspectiva curricular, los resultados se alinean con las orientaciones del Ministerio de Educación del Ecuador (2022a, 2022b, 2024), que promueven competencias, interdisciplinariedad y sostenibilidad. También responden a la preocupación de la CEPAL (2023), UNESCO, UNICEF y CEPAL (2022) e INEVAL (2024, 2025) respecto de las brechas en aprendizajes científicos. Sin embargo, una

intervención de aula no sustituye políticas de recursos, formación y seguimiento. Su contribución consiste en mostrar una ruta didáctica evaluable: formular retos locales, asegurar conocimiento de base, guiar la investigación, exigir evidencia, socializar soluciones y medir cambios por dimensión.

En conjunto, la evidencia sugiere que el ABR no es eficaz por el nombre de la metodología, sino por la calidad de las decisiones que organiza. Su aporte emerge cuando el problema es relevante y delimitable, el estudiante dispone de conocimientos y apoyos, la colaboración exige argumentar, la evidencia tiene consecuencias sobre la solución y la comunicación permite revisar. Esta lectura evita una adopción superficial y ubica la innovación en el diseño pedagógico, en concordancia con Strat et al. (2024), Gandini y Morselli (2026) y Galdames-Calderón et al. (2024).

### **Conclusiones**

El aprendizaje basado en retos mostró una incidencia favorable en el desarrollo de la indagación científica, expresada en mejoras simultáneas en formulación de problemas, construcción de hipótesis, diseño de investigación, análisis de evidencias y comunicación científica. La comparación posterior, la consistencia del patrón en cuatro centros y los tamaños del efecto indican que la secuencia permitió movilizar conocimientos de Ciencias Naturales hacia decisiones investigativas y soluciones justificadas. La contribución científica del estudio radica en proponer un marco evaluable que conecta las fases del reto con destrezas observables y combina significación estadística, intervalos de confianza, magnitud del efecto y relaciones entre componentes de la experiencia.

La eficacia pedagógica dependió de la combinación entre autenticidad y andamiaje. Los retos contextualizados generaron propósito, pero el aprendizaje se fortaleció mediante preguntas guía, modelamiento, control de variables, bitácoras, retroalimentación, revisión entre pares y defensa pública. Se recomienda replicar la propuesta con bases observadas más amplias, asignación aleatoria cuando sea viable, seguimiento temporal y medidas de transferencia. En la práctica, los centros educativos pueden adoptar la secuencia con recursos accesibles, siempre que preserven la centralidad de la evidencia, la seguridad, la inclusión y la reflexión sobre las limitaciones de cada solución.

### **Referencias**

Arifin, Z., Sukarmin, Saputro, S., & Kamari, A. (2025). The effect of inquiry-based learning on students' critical thinking skills in science education: A systematic review and meta-

- analysis. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 21(3), em2592. <https://doi.org/10.29333/ejmste/15988>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2023). América Latina y el Caribe debe abordar la crisis de aprendizaje para avanzar hacia el logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. CEPAL.
- Dah, N. M., Mat Noor, M. S. A., Kamarudin, M. Z., & Syed Abdul Azziz, S. S. (2024). The impacts of open inquiry on students' learning in science: A systematic literature review. *Educational Research Review*, 43, 100601. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2024.100601>
- de Jong, T., Lazonder, A. W., Chinn, C. A., Fischer, F., Gobert, J., Hmelo-Silver, C. E., Koedinger, K. R., Krajcik, J. S., Kyza, E. A., Linn, M. C., Pedaste, M., Scheiter, K., & Zacharia, Z. C. (2023). Let's talk evidence: The case for combining inquiry-based and direct instruction. *Educational Research Review*, 39, 100536. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2023.100536>
- Eymur, G., & Çetin, P. S. (2024). Investigating the role of an inquiry-based science lab on students' scientific literacy. *Instructional Science*, 52(5), 743–760. <https://doi.org/10.1007/s11251-024-09672-w>
- Galdames-Calderón, M., Pedersen, A. S., & Rodriguez-Gomez, D. (2024). Systematic review: Revisiting challenge-based learning teaching practices in higher education. *Education Sciences*, 14(9), 1008. <https://doi.org/10.3390/educsci14091008>
- Gandini, M. F., & Morselli, D. (2026). Challenge-based learning implementation in K-12 education: A systematic literature review. *Frontiers in Education*, 10, 1680347. <https://doi.org/10.3389/feduc.2025.1680347>
- Instituto Nacional de Evaluación Educativa. (2024). Resultados de la evaluación Ser Estudiante 2023. INEVAL.
- Instituto Nacional de Evaluación Educativa. (2025). Recomendaciones para la acción pública: Ser Estudiante 2023-2024. INEVAL.
- Li, J., Luo, H., Zhao, L., Zhu, M., Ma, L., & Liao, X. (2022). Promoting STEAM education in primary school through cooperative teaching: A design-based research study. *Sustainability*, 14(16), 10333. <https://doi.org/10.3390/su141610333>
- Lockwood, D. (2023). Challenge-based learning and STEAM curriculum. *STEAM*, 5, 1–7. <https://doi.org/10.5642/steam.ZFXX7073>

- Ministerio de Educación del Ecuador. (2022a). Currículo priorizado con énfasis en competencias comunicacionales, matemáticas, digitales y socioemocionales: Educación General Básica. Ministerio de Educación.
- Ministerio de Educación del Ecuador. (2022b). Guía de proyectos STEM-STEAM. Ministerio de Educación.
- Ministerio de Educación del Ecuador. (2024). Inserción curricular: Educación para el Desarrollo Sostenible. Ministerio de Educación.
- Morselli, D., & Orzes, G. (2023). Evaluating an interfaculty entrepreneurship program based on challenge-based learning through the theory of change. *The International Journal of Management Education*, 21, 100869. <https://doi.org/10.1016/j.ijme.2023.100869>
- Nawanidbumrung, W., Samiphak, S., & Inoue, N. (2022). The impact of pre-service teachers' pedagogical beliefs on teaching science as inquiry: A silent conflict. *Science Education International*, 33(1), 112–121. <https://doi.org/10.33828/sei.v33.i1.12>
- Nichols, K., Musofer, R., Fynes-Clinton, L., & Blundell, R. (2022). Design thinking and inquiry behaviours are co-constituted in a community of inquiry middle-school science classroom context. *International Journal of Technology and Design Education*, 32(5), 2527–2551. <https://doi.org/10.1007/s10798-021-09711-4>
- Nzomo, C. M., Rugano, P., Njoroge Mungai, J., & Gitonga Muriithi, C. (2023). Inquiry-based learning and students' self-efficacy in Chemistry among secondary schools in Kenya. *Heliyon*, 9(1), e12672. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e12672>
- Öztürk, B., Kaya, M., & Demir, M. (2022). Does inquiry-based learning model improve learning outcomes? A second-order meta-analysis. *Journal of Pedagogical Research*, 6(4), 201–216. <https://doi.org/10.33902/JPR.202217481>
- Pérez Torres, M., Couso Lagarón, D., & Márquez Bargalló, C. (2024). Evaluation of STEAM project-based learning instructional designs from the STEM practices perspective. *Education Sciences*, 14(1), 53. <https://doi.org/10.3390/educsci14010053>
- Ramnarain, U. (2023). South African science teachers' experiences of inquiry-based teaching at disadvantaged schools. *Research in Science Education*, 53(4), 727–740. <https://doi.org/10.1007/s11165-022-10095-1>
- Rizki, I. A., & Suprpto, N. (2024). Project-oriented problem-based learning through SR-STEM to foster students' critical thinking skills in renewable energy material. *Journal of Science Education and Technology*, 33(4), 526–541. <https://doi.org/10.1007/s10956-024-10102-2>

- Sari, N., Istiyono, E., Purbani, W., & Retnawati, H. (2023). Meta-analysis study of the effect of guided inquiry model on critical thinking skills of students' science concepts. *Jurnal Pendidikan Matematika dan IPA*, 14(1), 82. <https://doi.org/10.26418/jpmipa.v14i1.54483>
- Strat, T. T. S., Henriksen, E. K., & Jegstad, K. M. (2024). Inquiry-based science education in science teacher education: A systematic review. *Studies in Science Education*, 60(2), 191–249. <https://doi.org/10.1080/03057267.2023.2207148>
- Sweller, J., Zhang, L., Ashman, G., Cobern, W., & Kirschner, P. A. (2024). Response to de Jong et al.'s (2023) call to combine inquiry-based and direct instruction. *Educational Research Review*, 42, 100584. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2023.100584>
- Ting, F. S. T., Shroff, R. H., Lam, W. H., Garcia, R. C. C., Chan, C. L., Tsang, W. K., & Ezeamuzie, N. O. (2023). A meta-analysis of studies on the effects of active learning on Asian students' performance in science, technology, engineering and mathematics subjects. *The Asia-Pacific Education Researcher*, 32(3), 379–400. <https://doi.org/10.1007/s40299-022-00661-6>
- Toma, R. B. (2022). Confirmation and structured inquiry teaching: Does it improve students' achievement motivations in school science? *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 22(1), 28–41. <https://doi.org/10.1007/s42330-022-00197-3>
- Twizeyimana, E., Shyiramunda, T., Dufitumukiza, B., & Niyitegeka, G. (2024). Teaching and learning science as inquiry: An outlook of teachers in science education. *SN Social Sciences*, 4, 40. <https://doi.org/10.1007/s43545-024-00846-4>
- UNESCO. (2023). *Global Education Monitoring Report 2023: Technology in education—A tool on whose terms?* UNESCO.
- UNESCO, UNICEF, & CEPAL. (2022). *Education in Latin America and the Caribbean at a crossroads: Regional monitoring report SDG4-Education 2030*. UNESCO.
- Urdanivia Alarcon, D. A., Talavera-Mendoza, F., Rucano Paucar, F. H., Cayani Caceres, K. S., & Machaca Viza, R. (2023). Science and inquiry-based teaching and learning: A systematic review. *Frontiers in Education*, 8, 1170487. <https://doi.org/10.3389/feduc.2023.1170487>
- van den Beemt, A., Vázquez-Villegas, P., Gómez Puente, S., O'Riordan, F., Gormley, C., Chiang, F.-K., Leng, C., Caratozzolo, P., Zavala, G., & Membrillo-Hernández, J. (2023). Taking the challenge: An exploratory study of the challenge-based learning context in higher education institutions across three different continents. *Education Sciences*, 13(3), 234. <https://doi.org/10.3390/educsci13030234>

- Vančugovienė, V., Lehtinen, E., & Södervik, I. (2024). The impact of inquiry-based learning in a botanical garden on conceptual change in biology. *International Journal of Science Education*. <https://doi.org/10.1080/09500693.2024.2354542>
- Yang, X. (2023). A historical review of collaborative learning and cooperative learning. *TechTrends*, 67, 718–728. <https://doi.org/10.1007/s11528-022-00823-9>
- Yun, M., & Crippen, K. J. (2024). The use of educational technology in inquiry-based elementary science education: A systematic review. *International Journal of Science Education*, 46(12), 1256–1279. <https://doi.org/10.1080/09500693.2023.2284689>
- Zhang, W., Guan, Y., & Hu, Z. (2024). The efficacy of project-based learning in enhancing computational thinking among students: A meta-analysis of 31 experiments and quasi-experiments. *Education and Information Technologies*, 29, 14513–14545. <https://doi.org/10.1007/s10639-023-12392-2>

### Declaración

| Declaración            | Detalle                                                                                        |
|------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Conflicto de intereses | Los autores declaran que no existe conflicto de interés posible.                               |
| Financiamiento         | No existió asistencia financiera de partes externas para la elaboración del presente artículo. |
| Agradecimiento         | N/A                                                                                            |
| Nota                   | El artículo no es producto de una publicación anterior.                                        |