

El modelo B-Learning para fortalecer competencias científicas en Física en educación media

Daniel Rodrigo Ortega Alegría¹

RESUMEN

Este estudio reporta el diseño, implementación y validación de una estrategia didáctica basada en el modelo *B-Learning* para fortalecer las competencias científicas en Física en estudiantes de grado undécimo de una institución oficial colombiana. Se adoptó un diseño cuasiexperimental con grupos no equivalentes (control y experimental, n=25 por grupo), con pretest-postest y medición de validez y confiabilidad del instrumento principal (cuestionario de competencias científicas). La intervención integró sesiones presenciales y actividades virtuales (simulaciones, laboratorios virtuales y foros), mientras que el grupo control trabajó con metodología tradicional. La validez de contenido mostró índices altos y la confiabilidad interna fue adecuada. Los análisis indican equivalencia inicial entre grupos y mejoras significativas en el grupo experimental tras la intervención, con evidencias cualitativas y cuantitativas de avance en explicación de fenómenos, indagación y análisis de datos. Se

discute la coherencia con enfoques constructivistas y el marco de *Community of Inquiry*, así como implicaciones didácticas y tecnológicas para la replicabilidad en contextos con brecha digital. El *B-Learning* se confirma como alternativa efectiva y pertinente para el logro de competencias científicas en la enseñanza de la Física en educación media.

Palabras clave: *B-Learning*; competencias científicas; Física; educación media; cuasiexperimental.

INTRODUCCIÓN

En la enseñanza de la Física en educación media persisten dificultades vinculadas a enfoques transmisivos, baja articulación entre teoría y práctica y escaso uso pedagógico de tecnologías para la indagación y el análisis de datos. En respuesta, esta investigación se orienta a diseñar e implementar un entorno *B-Learning* que combine actividades presenciales con recursos digitales (simulaciones, laboratorios virtuales).

¹ Corporación Universitaria Autónoma del Cauca, Popayán, Colombia, Artículo donde se muestran los resultados principales del trabajo de investigación, llevados a cabo para optar por el título científico de Doctor en Investigación en Ciencias de la Educación, otorgado por el Instituto Superior de Informática y Computación ISIC, (Tepic-Nayarit, México) daniel.ortega.a@uniautonomacol.edu.co.

les y foros), con el fin de fortalecer las competencias científicas del estudiantado de grado undécimo de la Institución Educativa Cajete, en Popayán. El problema científico se define como la búsqueda de la manera adecuada de implementar un modelo *B-Learning* aplicado a la enseñanza de la Física en dicho contexto.

De esta formulación se desprende la pregunta de investigación: *¿Cómo mejorar el aprendizaje de la Física en el grado undécimo en la Institución Educativa Cajete de Popayán?* La pregunta estructura el núcleo del estudio e integra el foco en la práctica de enseñanza, entendida como el objeto de investigación al interior de un entorno híbrido que posibilita experiencias de aprendizaje más participativas y significativas.

El proyecto se apoya en fundamentos constructivistas y socioculturales, que subrayan la mediación de herramientas cognitivas, la resolución de problemas y la modelización y en la teoría del aprendizaje significativo que vincula saberes previos y nuevos conocimientos (Ausubel, 1963; Piaget; Vygotsky). En el plano del diseño instruccional, se retoma el modelo de Community of Inquiry para integrar presencias cognitiva, social y docente en entornos híbridos (Garrison & Vaughan, 2008). Asimismo, el marco internacional legitima la adopción de recursos abiertos y plataformas de aprendizaje (UNESCO, 2012), en sintonía con lineamientos de política educativa y de ciencia, tecnología e innovación en Colombia.

Así, el objetivo general de este artículo es proponer una estrategia didáctica de aprendizaje de la Física en el grado undécimo mediante el entorno *B-Learning* en la Institución Educativa Cajete de Popayán. Este objetivo guía el diseño, la implementación y la validación de la propuesta en un estudio con grupos control y experimental. Para esto se han formulado los objetivos específicos: (1) Sistematizar los fundamentos teóricos que sustentan las competencias científicas para grado undécimo; (2) diagnosticar el estado inicial de dichas competencias en el contexto institucional; (3) elaborar una estrategia didáctica *B-Lear-*

ning alineada con el diagnóstico; y (4) validar su efecto en el fortalecimiento de las competencias científicas mediante la comparación de resultados entre grupos.

La hipótesis que guía el estudio es la propuesta de una estrategia didáctica de aprendizaje al utilizar un modelo *B-Learning* aplicado a la enseñanza de la Física mejorará las competencias científicas del estudiantado y la calidad de los procesos académicos de la Institución Educativa Cajete de Popayán. Esta hipótesis articula la variable independiente (estrategia didáctica *B-Learning*) y la variable dependiente (competencias científicas en educación media) y encuadra el análisis empírico del estudio.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se empleó un diseño cuasiexperimental con grupos no equivalentes (control y experimental) y mediciones pretest–posttest para estimar el efecto de una estrategia didáctica *B-Learning* sobre las competencias científicas en Física. El enfoque positivista–cuantitativo orientó la recolección y el análisis estadístico.

En relación a los sujetos de estudio, la población estuvo conformada por 50 estudiantes de grado undécimo de la Institución Educativa Cajete (Popayán): 17 hombres y 33 mujeres, de forma mayoritaria de zona rural y con trayectorias de movilidad por condiciones sociales. La muestra se seleccionó por conveniencia. La institución, de forma administrativa, conformó dos cursos: 11-2 (control) y 11-1 (experimental), con 25 estudiantes cada uno.

Para reducir sesgo de selección se aplicó emparejamiento por puntaje de propensión: estimación logística de propensiones, caliper moderado (≤ 0.2) y complemento por vecino más próximo, al equilibrar similitud entre pares y conservación muestral. Se documentó la cercanía de propensiones entre estudiantes tomados como pares.

La equivalencia inicial se verificó con U de Mann-Whitney sobre el pretest ($p = 0.883$; $\alpha = 0.05$),

por lo que no se rechazó H_0 y se consideró homogeneidad entre grupos antes de la intervención.

El instrumento principal fue un cuestionario de competencias científicas (*pretest* y *posttest*). Su validez de contenido se estableció con V de Aiken = 0.93 tras evaluación por panel de expertos (maestría/docctorado) sobre criterios de claridad, pertinencia y coherencia. La confiabilidad se estimó mediante KR-20 = 0.88, tras pilotaje con 20 estudiantes de una institución equivalente.

Se complementó con rúbricas de desempeño, guías de observación y registros de laboratorio/plataforma para triangulación procedimental.

En relación a la propuesta pedagógica, esta se implementó en tres laboratorios secuenciados con sesiones presenciales y virtuales, integrando experimentación, simulaciones PhET, aplicaciones de regresión lineal y socialización de resultados. La organización incluyó, entre otros, el péndulo simple (MAS), la estimación del valor de la gravedad en Cajete mediante regresión Lineal y la determinación de la constante elástica en un sistema masa-resorte (ley de Hooke). El protocolo contempló fases de exploración, experimentación, análisis de datos y construcción del conocimiento, uso de recursos digitales y divulgación (infografías, foros y cuestionarios en línea). Se trabajó en *Google Classroom* (código y cronograma), con 4 horas presenciales y 3 virtuales por laboratorio. El grupo de control siguió guías análogas sin TIC, mientras que el experimental incorporó recursos digitales, al mantener el mismo fenómeno y secuencia conceptual.

Para la correcta implementación de la propuesta pedagógica se utilizaron instrumentos de laboratorio escolar (p. ej., péndulos, resortes, masas), hojas de cálculo, apps de regresión y simuladores PhET, con el doble propósito de robustecer la modelación y disminuir brechas de equipamiento. Por otra parte, el análisis estadístico consideró: (a) equivalencia inicial con U de Mann-Whitney (*pretest*), (b) efecto de la inter-

vención con U de Mann-Whitney (*posttest*) y (c) tamaño del efecto (r) por dimensión de competencia. Se adoptó $\alpha = 0.05$ y se reportaron decisiones de contraste (rechazo/no rechazo de H_0). El *posttest* mostró $p < 0.05$, al confirmar la mejora significativa en el grupo experimental; además, se estimaron tamaños de efecto por dimensión.

Finalmente, la intervención se documentó con guías, registros y productos digitales; la coevaluación y autoevaluación complementaron la evidencia de proceso y participación colaborativa.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Descripción general del desempeño y equivalencia inicial.

Antes de la intervención se aplicó el *pretest* de competencias científicas a los dos cursos: 11-2 (control, $n=25$) y 11-1 (experimental, $n=25$). La distribución de puntajes mostró variabilidad comparable en ambos grupos y ausencia de asimetrías extremas. La prueba U de Mann-Whitney sobre el *pretest* indicó no diferencias significativas entre grupos ($p=0.883$; $\alpha=0.05$), por lo que se aceptó H_0 y se consideró equivalencia inicial. Este resultado permitió atribuir con mayor confianza los cambios posteriores a la intervención y no a condiciones previas de los estudiantes.

Efecto global de la intervención en el *posttest*.

Tras el ciclo de laboratorios y actividades híbridas, el *posttest* evidenció un incremento significativo en las competencias científicas del grupo experimental respecto del control ($p<0.05$ con U de Mann-Whitney). La mejora se manifestó tanto en el puntaje total como en las dimensiones evaluadas; el patrón de cambio es consistente con el objetivo de fortalecer la capacidad de explicar fenómenos, diseñar indagaciones e interpretar datos en Física. Aunque el análisis se centró en pruebas no paramétricas por la naturaleza de los datos, la inspección de medianas y rangos intercuartílicos mostró desplazamientos favorables en el grupo expe-

rimental y estabilidad (o avances modestos) en el grupo control.

Resultados por dimensión

Explicación de fenómenos científicos. En los ítems vinculados con la explicación de fenómenos (predicción cualitativa y argumentación basada en leyes y modelos), el grupo experimental mostró mejores respuestas en situaciones que exigían recordar y aplicar conocimiento científico, desarrollo de hipótesis explicativas de fenómenos y uso de diferentes formas de representación de información; se observó un aumento de respuestas correctas que articulaban el uso de lenguaje disciplinar más preciso (términos como «proporcionalidad», «relación lineal», «variación», «periodo», «oscilación», «elongación», «amplitud»). El grupo control también mejoró, pero en menor magnitud, al concentrar su avance en ítems de menor complejidad conceptual (p. ej., reconocimiento de unidades y definiciones).

Investigar, evaluar y utilizar información científica para la toma de decisiones y la acción. Se evalúa la capacidad para respaldar una conclusión científica a partir de un conjunto de datos, el grupo experimental mejoró al justificar decisiones al utilizar argumentos científicos, además de discernir información que pueda tener importancia para llegar a decisiones sobre los temas presentados. En el grupo de control se observó dificultad para justificar argumentos y comunicar cualidades relativas a diferentes fuentes de información.

Construir y evaluar diseños para la investigación científica e interpretar datos y pruebas científicas de forma crítica. Se evaluó lectura de tablas y gráficas, ajuste de modelos y cálculo de parámetros. En el laboratorio para determinar la constante de elasticidad del resorte (masa-resorte), el grupo experimental mejoró su habilidad para linealizar relaciones, estimar la constante elástica a partir de la pendiente y reportar

incertidumbre básica (p. ej., dispersión y ajuste visual). La modelación fue más sólida: al comparar series de pares (F , Δx), los estudiantes lograron explicar por qué la recta no pasa exactamente por el origen y discutieron la contribución del error sistemático (rozamiento, calibración). En el grupo control el desempeño creció en lectura de tablas y unidades, pero hubo más dificultad para justificar residuos y para diferenciar error aleatorio de sistemático.

Desempeño en tareas con simulaciones y recursos digitales. El uso de simulaciones PhET en la determinación de la aceleración de la gravedad y la constante de elasticidad de un resorte, permitió que el grupo experimental practicara variaciones paramétricas rápidas y observara en tiempo real los efectos sobre gráficas y tablas. Esto se tradujo en mayor fluidez para pasar de lo gráfico a lo algebraico y en más autonomía para verificar conjeturas. En la estimación del valor de la gravedad a partir de datos del péndulo, el grupo experimental integró Aplicaciones para el ajuste lineal y el cálculo de pendientes, al interpretar la pendiente como una combinación de parámetros físicos. El control, que trabajó con guías analógicas, mostró avances en el procedimiento básico, pero con menor densidad de evidencia cuantitativa y con explicaciones más descriptivas que analíticas.

Rendimiento proceso-producto y evidencias procedimentales. Los productos de aprendizaje (registros de laboratorio, infografías, reportes cortos y foros) evidenciaron una progresión en la calidad de la argumentación del grupo experimental: se pasó de descripciones («la gráfica es una línea») a explicaciones causales que combinan modelo, dato y representación («las unidades de la pendiente corresponde a $[s^2/m]$; la no linealidad de los datos, puede estar asociada a errores sistemáticos presentes en la práctica, por eso se hace necesario el uso de aplicaciones que permitan el ajuste por regresión lineal»). La coevaluación y auto-

evaluación sugirieron mejoras en participación, trabajo colaborativo y uso de evidencia para defender conclusiones. En el grupo control, si bien hubo mejoras narrativas, la conexión entre evidencia empírica y modelo fue menos consistente.

Fidelidad de implementación y dosificación del B-Learning. La fidelidad del componente virtual se consideró alta: se completaron las tareas planificadas en *Classroom*, se registraron interacciones en foros y se entregaron los reportes con las rúbricas previstas. En la parte presencial, los tres laboratorios (péndulo pintor, determinación de la aceleración de la gravedad y constante de elasticidad del resorte) se ejecutaron con las secuencias y tiempos establecidos. Este cumplimiento guarda relación con el patrón de mejora observado en el *posttest* del grupo experimental, al sugerir que la dosificación híbrida (4 horas presenciales + 3 virtuales por laboratorio) fue suficiente para promover la práctica guiada, la formalización y la transferencia hacia las tareas del test.

Análisis de sensibilidad y coherencia interna de resultados. La equivalencia inicial verificada estadísticamente reduce el riesgo de sesgo por diferencias preexistentes. Adicionalmente, la convergencia entre evidencia cuantitativa (*posttest*) y cualitativa (productos, rúbricas, participación) sugiere coherencia interna de resultados: las habilidades que más se ejercitaron en el entorno *B-Learning* —modelar, representar, discutir— son precisamente las que más mejoran al medir competencias científicas. En otras palabras, los mecanismos pedagógicos activados por la intervención (andamiaje en línea y presencial, práctica intencional con retroalimentación) explican el perfil de mejora observado.

Los resultados —mejoras significativas en competencias científicas del grupo con *B-Learning* frente al control— son congruentes con los fundamentos constructivistas y socioculturales: la combinación de ex-

periencias presenciales y mediaciones digitales activó saberes previos y facilitó el anclaje significativo de nuevos conceptos (Ausubel, 1963), mientras que la interacción guiada en clase y foros proveyó andamiajes dentro de la zona de desarrollo próximo (Vygotsky, 1978), evidenciada en el tránsito desde descripciones a explicaciones causales que articulan modelo, dato y representación (Piaget, 1972). Desde la perspectiva de *Community of Inquiry*, el entorno híbrido fortaleció la presencia cognitiva (resolución de problemas con datos reales y simulados), la presencia social (coevaluación y debate) y la presencia docente (retroalimentación oportuna), tríada que explica la transferencia a situaciones no idénticas y la mejora en interpretación de datos y diseño de indagaciones (Garrison & Vaughan, 2008). Además, el uso de recursos educativos abiertos y simuladores permitió estandarizar oportunidades de práctica y reducir barreras de equipamiento, en línea con la Declaración de París sobre REA (UNESCO, 2012).

El perfil de logro se alinea con los Estándares Básicos y los Derechos Básicos de Aprendizaje del MEN —explicar fenómenos, indagar e interpretar información científica—, lo que refuerza la pertinencia curricular de la propuesta en educación media (Ministerio de Educación Nacional [MEN], 2004; MEN, 2015). Metodológicamente, la equivalencia inicial y la diferencia *post-intervención* respaldan la inferencia de efecto; en consecuencia, el *B-Learning* no solo incrementa puntajes, sino que robustece prácticas epistémicas propias del trabajo científico escolar (formulación de hipótesis, control de variables, análisis de incertidumbre) (Kuehl, 2000; Hernández, Fernández & Baptista, 2014). En síntesis, la convergencia entre teoría y evidencia empírica apoya la validez pedagógica del enfoque híbrido para fortalecer competencias científicas en Física en educación media (Ortegano Alegría, 2025).

Los hallazgos —diferencias significativas a favor del grupo que trabajó con *B-Learning* en el *posttest* y pro-

gresos cualitativos en explicación de fenómenos, indagación e interpretación de datos— confirman la pertinencia de integrar experiencias presenciales y mediaciones digitales en la enseñanza de la Física en educación media. La mejora observada es consistente con la tesis de que el aprendizaje se potencia cuando los nuevos contenidos se anclan en estructuras previas y se reconstruyen con tareas que exigen relación entre conceptos, datos y representaciones (Ausubel, 1963). En las actividades híbridas, las simulaciones y laboratorios virtuales facilitaron el tránsito desde descripciones hacia explicaciones causales sustentadas en modelos y evidencias, justo el tipo de reorganización de esquemas que describe el equilibrio adaptativo en la tradición piagetiana (Piaget, 1972).

Asimismo, la dinámica de trabajo —secuencias guiadas, foros y coevaluación— sugiere la presencia de andamiajes sociales e instruccionales que amplían la actuación de los estudiantes dentro de su zona de desarrollo próximo (Vygotsky, 1978). Esto se reflejó en la mayor precisión al linealizar relaciones, justificar controles de variables y discutir incertidumbre y errores (aleatorios y sistemáticos), desempeños que requieren interacción con pares y retroalimentación oportuna del docente (Vygotsky, 1978; Hernández *et al.*, 2014). En términos del modelo Community of Inquiry, las evidencias de proceso (participación, productos y rúbricas) apuntan a un fortalecimiento simultáneo de la presencia cognitiva (resolución de problemas y modelación), la presencia social (construcción de significado compartido) y la presencia docente (secuenciación y *feedback*), tríada que explica la transferencia de procedimientos a situaciones no idénticas (Garrison & Vaughan, 2008).

El enfoque híbrido también guarda coherencia con el marco normativo colombiano, que prioriza la explicación de fenómenos, la indagación y la interpretación de información científica como ejes del desempeño esperado en ciencias (MEN, 2004; MEN, 2015). En contextos con brechas de equipamiento, el

empleo de simuladores y recursos educativos abiertos amplía oportunidades de práctica, estandariza experiencias y contribuye a la fidelidad de implementación, en línea con la Declaración de París sobre REA (UNESCO, 2012). La dosificación propuesta (combinación de horas presenciales y virtuales por laboratorio) parece haber sido suficiente para sostener ciclos de práctica guiada, formalización y metacognición, condiciones que favorecen la consolidación de competencias científicas (Garrison & Vaughan, 2008; MEN, 2015).

Desde la perspectiva metodológica, la equivalencia inicial verificada y las diferencias *post*-intervención soportan la inferencia de efecto en un diseño cuasiexperimental, atendiendo a criterios de validez interna y al control estadístico apropiado para la naturaleza de los datos (Kuehl, 2000; Hernández *et al.*, 2014). No obstante, deben reconocerse límites: el muestreo por conveniencia y el contexto único restringen la generalización externa; será útil estimar de forma sistemática tamaños de efecto por dimensión y explorar seguimientos que evalúen la sostenibilidad de los logros (Kuehl, 2000; Ortecano Alegría, 2025). Aun así, la convergencia entre resultados cuantitativos y evidencias procedimentales sugiere que el *B-Learning* no solo incrementa puntajes, sino que fortalece prácticas epistémicas propias del trabajo científico escolar —formular hipótesis, controlar variables, modelar con datos y argumentar con evidencias—, alineadas con los estándares nacionales y con una visión contemporánea de la alfabetización científica (MEN, 2004; MEN, 2015; Ortecano Alegría, 2025).

CONCLUSIONES

El propósito general de este estudio fue proponer e implementar una estrategia didáctica de enseñanza de la Física en grado undécimo mediante un entorno *B-Learning* y valorar su efecto sobre las competencias científicas del estudiantado. Con base en los resultados obtenidos —equivalencia inicial entre grupos, di-

ferencias significativas en el postest a favor del grupo experimental y evidencias procedimentales consistentes— se concluye que el modelo híbrido aplicado cumplió su cometido: mejoró de manera significativa la capacidad de los y las estudiantes para explicar fenómenos, diseñar y ejecutar indagaciones e interpretar y comunicar datos con apoyo de modelos, representaciones y argumentos.

En relación con el primer objetivo específico (sistematizar fundamentos y dimensiones de las competencias científicas pertinentes para educación media), el trabajo consolidó un perfil operativo de las competencias que resultó útil y accionable para el diseño didáctico: (a) explicación y modelación de fenómenos con múltiples representaciones; (b) indagación con control de variables, hipótesis contrastables y criterios de evidencia; y (c) interpretación y comunicación de datos, con énfasis en linealización, pendiente e incertidumbre básica. Esta sistematización previa fue crucial para que la intervención no se diluyera en actividades tecnológicas sin foco, sino que preservara una alineación fina entre lo que se enseña, lo que se practica y lo que se evalúa.

Respecto del segundo objetivo (diagnosticar el estado inicial), la aplicación del pretest y los registros de clase permitieron un mapa de entrada claro: dificultades recurrentes con la pendiente como parámetro del modelo, confusión entre proporcionalidad y linealidad con intercepto y debilidades en la justificación de decisiones experimentales. Este diagnóstico orientó la dosificación de recursos y los andamiajes, de modo particular en tareas de modelación con datos y en el uso guiado de simulaciones para explicitar relaciones funcionales.

En cuanto al tercer objetivo (elaborar la estrategia *B-Learning*), el estudio mostró que es viable y eficaz estructurar ciclos híbridos donde cada laboratorio combina 4 horas presenciales (exploración, experimentación y discusión en aula) y 3 horas virtuales (pre-tarea, simulación, análisis y socialización). La se-

cuencia de péndulo simple, estimación de la aceleración de la gravedad y determinar la constante de elasticidad de un resorte resultó pertinente: comparte un lenguaje de representaciones (tablas, gráficas, ajustes) que favorece la transferencia entre fenómenos y ofrece un escalamiento conceptual desde la lectura de gráficas hasta la parametrización de modelos. La incorporación de PhET, aplicaciones *software* y foros operó como andamiaje distribuido: antes (activación y anticipación), durante (interacción y retroalimentación) y después (formalización y metacognición).

En relación con el cuarto objetivo (validar el efecto de la estrategia), el postest confirmó mejoras estadísticamente significativas del grupo experimental frente al control. Este resultado se triangula con productos de aprendizaje (registros, informes breves, infografías), que evidencian un salto cualitativo desde descripciones hacia explicaciones causales sustentadas en datos y decisiones metodológicas con criterio (número de repeticiones, control de variables, consideración de errores). La convergencia entre desempeño medido y prácticas observadas sugiere que el B-Learning no se limitó a «preparar para el test», sino que robusteció prácticas epistémicas propias del trabajo científico escolar.

Desde una mirada pedagógica, los hallazgos refuerzan tres ideas clave:

- 1 El valor del anclaje representacional. La insistencia en vincular representaciones (texto, tablas, gráficas, ecuaciones y simulaciones) facilitó que la pendiente dejara de ser un rasgo gráfico para convertirse en parámetro del modelo. Este cambio conceptual, observado en ítems y reportes, es un hito en la alfabetización científica de Física en la educación media.
- 2 La centralidad del andamiaje social e instruccional. La coevaluación, los foros y la retroalimentación guiada generaron condiciones para que las y los estudiantes avanzaran en su

zona de desarrollo próximo. La calidad de las justificaciones —más explícitas, con referencias a evidencia y criterios— mejoró cuando se compartieron y discutieron criterios de evaluación.

- 3 La pertinencia del tiempo híbrido. La dosificación 4+3 alcanzó un equilibrio razonable entre práctica guiada y autonomía. El tramo virtual permitió iterar con datos y simulaciones sin la presión del tiempo de laboratorio, mientras que el tramo presencial sostuvo la discusión disciplinar y la validación colectiva de los hallazgos.

En el plano institucional y de política, la propuesta se alinea con los estándares y derechos básicos de aprendizaje para Ciencias y Física, al priorizar explicación, indagación e interpretación.

Además, el uso de recursos abiertos y simulaciones contribuye a mitigar brechas de equipamiento, una condición frecuente en instituciones oficiales. No obstante, la sostenibilidad del modelo requiere gestión: curaduría de recursos, formación docente en uso pedagógico de TIC y tiempos protegidos para la planeación y el análisis de evidencias.

En cuanto a limitaciones, el estudio se desarrolló con muestra por conveniencia y en un único contexto escolar, lo que restringe la generalización externa. Si bien el diseño cuasiexperimental aplicó controles razonables (equivalencia inicial y comparaciones apropiadas), futuras investigaciones pueden ampliar el tamaño muestral, estimar tamaños de efecto por dimensión de competencia y realizar seguimientos longitudinales (p. ej., re-aplicación diferida del *test*) que evalúen retención y transferencia a nuevas unidades temáticas (óptica, sonido, electricidad). También es deseable incorporar indicadores de proceso más finos (p. ej., analítica de aprendizaje en plataforma) para modelar la relación entre trayectorias de participación y ganancias de desempeño.

De los hallazgos emergen recomendaciones concretas para la práctica:

- Diseñar secuencias híbridas con tareas puente: una pre-tarea breve que active conocimientos y enuncie el problema; una tarea central (laboratorio/simulación) con criterios de éxito explícitos; y una *post*-tarea de formalización (líneas de mejor ajuste, interpretación de parámetros, reflexión sobre errores).
- Estabilizar un repertorio de fenómenos con lenguaje común de representación (pendiente, intercepto, linealización), de modo que el estudiantado vea patrones que trascienden el fenómeno particular.
- Hacer visibles los criterios de calidad mediante rúbricas y ejemplos de respuestas de distinto nivel, para orientar la auto/coevaluación y la mejora iterativa.
- Adquirir un set mínimo de recursos digitales (simuladores, plantillas de hoja de cálculo, guías de análisis) que funcionen *offline* o con conectividad limitada y acompañarlos con micro tutoriales de uso.
- Institucionalizar espacios de colaboración docente para revisar evidencias, ajustar consignas e instrumentación y compartir buenas prácticas.

Finalmente, el estudio aporta evidencia de efectividad y un protocolo replicable para la enseñanza de la Física en educación media con *B-Learning*. Más allá de los puntajes, lo logrado es una mejora cualitativa en la forma de pensar y trabajar con fenómenos físicos: del «hacer por receta» al modelar con datos, argumentar con evidencia y comunicar decisiones metodológicas de manera explícita. En tiempos en que la alfabetización científica es condición de ciudadanía crítica, estos avances representan un paso significativo hacia aulas más indagadoras, equitativas y cen-

tradas en el sentido de lo que se aprende. Escalar el modelo implica cuidar el diseño (alineación didáctica), sostener el acompañamiento (presencia docente) y asegurar recursos (tecnológicos y de tiempo). Con esas garantías, el *B-Learning* se perfila como una estrategia potente para fortalecer competencias científicas y con ellas, la capacidad de comprender, explicar y transformar el mundo físico desde la escuela.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ausubel, D. P.** (1963). *The psychology of meaningful verbal learning*. Grune & Stratton.
- Garrison, D. R., & Vaughan, N. D.** (2008). *Blended learning in higher education: Framework, principles, and guidelines*. Jossey-Bass.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P.** (2014). *Metodología de la investigación* (6.^a ed.). McGraw-Hill.
- Kuehl, R. O.** (2000). *Diseño y análisis de experimentos* (2.^a ed.). International Thomson.
- Ministerio de Educación Nacional.** (2004). *Estándares básicos de competencias en Ciencias Naturales y Educación Ambiental*.
- Ministerio de Educación Nacional.** (2015). *Derechos básicos de aprendizaje: Ciencias naturales – Física*.
- Ortegano Alegría, D. R.** (2025). *El modelo B-Learning aplicado a la enseñanza de la Física* (Tesis doctoral).
- Piaget, J.** (1972). *La epistemología de las relaciones interdisciplinarias*.
- UNESCO.** (2012). *Declaración de París sobre los Recursos Educativos Abiertos*. <https://www.unesco.org/en/articles/paris-declaration-oer>
- Vygotsky, L. S.** (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Harvard University Press.

