

Laboratorios Remotos en el Aprendizaje de la Física: Análisis del Péndulo Simple en un Curso de Física General a Distancia

Nidia Danigza Lugo López - Universidad Nacional Abierta y a Distancia  0000-0002-9096-5767
 Dayana Alejandra Barrera Buitrago - Universidad Nacional Abierta y a Distancia  0000-0001-8867-9705
 Diana Lorena Tique Escobar - Universidad Nacional Abierta y a Distancia  0000-0001-6417-7954
 Freddy Alexander Torres Payoma - Universidad Nacional Abierta y a Distancia  0000-0002-5206-0836
 Diana Carolina Herrera Muñoz - Universidad Nacional Abierta y a Distancia  0000-0002-2555-4072

Fecha de publicación: 19.06.2024

Correspondencia a través de **ORCID**: Nidia Danigza Lugo López  0000-0002-9096-5767

Citar: Lugo Lopez, ND, Barrera Buitrago, DA, Tique Escobar, DL, Torres Payoma, FA, & Herrera Muñoz, DC (2024). Laboratorios Remotos en el Aprendizaje de la Física: Análisis del Péndulo Simple en un Curso de Física General a Distancia. *REIDOCREA*, 13(19), 258-274.

Área o categoría del conocimiento: Enseñanza de la física

Revisión por pares abierta		
Recepción: 22.04.2024	Isaac Camargo Freile	 0000-0002-2823-6010
Aceptado: 19.06.2024	José Laureano Cruz Cardozo	 0000-0003-0020-9675

Resumen: Este trabajo tiene como objetivo presentar los avances en el aprendizaje de los estudiantes tras la incorporación de prácticas de laboratorio remotos en un curso de Física General de modalidad virtual, enfocándose particularmente en el estudio de la medición mediante el análisis del fenómeno del péndulo simple. Este trabajo se enmarca en la participación de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia en la alianza internacional World Pendulum Alliance (WPA). Los resultados muestran una mejora significativa en la comprensión de los conceptos físicos, como se evidencia mediante la ganancia de Hake, superando a las metodologías tradicionales de enseñanza de la física. La evolución de los aprendizajes de los estudiantes es analizada a través de los factores de concentración de Bao, revela un acercamiento de las respuestas de los estudiantes a los modelos considerados correctos en la literatura científica, especialmente en las primeras cinco preguntas del cuestionario. Sin embargo, se identificó la necesidad de integrar actividades adicionales que profundicen en el fenómeno físico estudiado, ante las dificultades observadas en preguntas que exceden el dominio conceptual básico. Este hallazgo enfatiza la necesidad esencial de refinar y enriquecer las metodologías pedagógicas en la enseñanza de la física, con el objetivo de maximizar la efectividad del aprendizaje en contextos virtuales.

Palabra clave: Aprendizaje de la física

Remote Laboratories in Physics Learning: Analysis of the Simple Pendulum in a Distance General Physics Course

Abstract: This work aims to present the progress in student learning following the incorporation of remote laboratory practices in a virtual General Physics course, focusing particularly on the study of measurement through the analysis of the simple pendulum phenomenon. This work is part of the participation of the Universidad Nacional Abierta y a Distancia in the international World Pendulum Alliance (WPA). The results show a significant improvement in the understanding of physical concepts, as evidenced by the Hake gain, surpassing traditional physics teaching methodologies. The evolution of student learning, analyzed through Bao's concentration factors, reveals an alignment of student responses with models considered correct in the scientific literature, especially for the first five questions of the questionnaire. However, the need to integrate additional activities that delve into the studied physical phenomenon was identified, given the difficulties observed in questions that exceed basic conceptual domain. This finding emphasizes the essential need to refine and enrich pedagogical methodologies in physics teaching, with the goal of maximizing the effectiveness of learning in virtual contexts.

Keyword: Physics Learning

Introducción

En la actualidad, la evolución que ha tenido la educación mediada por las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC), marca de manera satisfactoria los procesos

de enseñanza y aprendizaje de las ciencias, introduciendo nuevas herramientas, tales como: programas de modelización, simulaciones, laboratorios virtuales, remotos, entre otros (Martínez et. Al, 2022, Chaparro, Lombana y León-Soacha, 2019, Ariza & Quesada, 2014, Navarro y Arguedas-Matarrita), especialmente en el campo de la experimentación. El uso de dichas herramientas se ha incorporado en Colombia y principalmente en las instituciones de educación superior (Farfán-Pimentel et al, 2023, Martínez et. Al, 2022, Chaparro, Lombana y León-Soacha, 2019), presentando modificaciones en las metodologías usadas en la enseñanza tradicional. En este sentido, el uso de las TIC ha facilitado el acercamiento de la educación a lugares alejados de territorio colombiano permitiendo que más personas puedan acceder a una educación de calidad.

Este trabajo se desarrolla con estudiantes de programas de ingeniería de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), institución de educación superior de Colombia, con modalidad virtual y a distancia (UNAD, 2011). La UNAD es una institución pública que tiene como misión acceder a la educación superior para todos los colombianos, garantizando la calidad, la inclusión y la equidad con su política social, que pretende dar la oportunidad a cualquier ciudadano con deseos de tener una formación profesional, sin importar sus condiciones sociodemográficas o socioeconómicas. La población estudiantil en la Universidad es heterogénea, se encuentra en diferentes zonas del país, presenta diversas condiciones sociales, políticas, económicas y adicionales en una modalidad a distancia, lo que convierte en un gran reto el aprendizaje de los cursos de formación, como se menciona en el proyecto Académico Pedagógico y Solidario (UNAD, 2011).

Según lo anterior, se puede entender que la realidad de los estudiantes inmersos en la universidad es tal, que coinciden en tener dificultades en la formación en física, en aspectos teóricos, experimentales, de manejo de herramientas tecnológicas, conectividad, dificultad para asistir presencialmente a los centros para realizar actividades de laboratorio (llamado componente práctico en la UNAD), entre otros. A esto, se le debe sumar que durante el 2019 y parte de 2020 el mundo enfrentó la pandemia del COVID-19, por lo que la UNAD, al igual que otras universidades en Colombia y el mundo se vieron obligadas a realizar todas sus actividades de forma remota y/o virtual (Minsun Shin & Kasey Hickey, 2021). Sin dudas esto terminó siendo un problema para los modelos de educación tradicional que como señalan Minsun Shin & Kasey Hickey (2021) que se vieron obligados a utilizar muchas herramientas en cortos periodos de tiempo sin preparación previa, pero en el caso de la UNAD, su impacto se centró especialmente, en el caso de física general, en el componente práctico que se desarrollaba de manera presencial.

Con esto en mente, tutores y estudiantes de la asignatura fueron obligados a valerse de diversas tecnologías de software y hardware, que le permiten al usuario llevar a cabo experimentos cuyos montajes se encuentran físicamente en una o más localizaciones de la tierra (Torres-Payoma, Herrera, Tique, Barrera y Penalba, 2022, Ariza & Quesada, 2014, Gomes & Bogosyan, 2009), por lo que se desarrolló e implementó un laboratorio remoto al interior de la asignatura de física. Así los laboratorios remotos se tornaron como una estrategia fundamental para la enseñanza e investigación de la ciencia experimental. Lo anterior se complementa con una población estudiantil cada vez más habituada al uso de herramientas de autoaprendizaje (Miller et al., 2015; Kortemeyer, 2007), entre las que se pueden citar los experimentos con laboratorios remotos el cálculo de la aceleración gravitacional del artículo del (Torres-Payoma, 2023).

Ahora bien, la UNAD participa de una cooperación internacional, llamada World Pendulum Alliance, que se enfoca en el establecimiento de una red de péndulos remotos

e interconectados mediante la internet (Torres-Payoma et al, 2020), lo que ha permitido el desarrollo de laboratorios remotos, que promueven el avance en el aprendizaje de las matemáticas y las ciencias naturales en la educación básica y superior (Escobar et al., 2019). Por lo que se decidió, emplear dicha red al interior del curso de Física General de la UNAD y desde esta, formular las prácticas sobre la naturaleza de la medición que serán descritas posteriormente.

Este trabajo se organiza de la siguiente manera: primero se presenta el marco teórico donde se describen los fundamentos físicos, la estrategia de aprendizaje y la forma de evaluar la evolución del aprendizaje; luego se muestran los métodos de la implementación pedagógica y las metodologías usadas para analizar los resultados; luego se encuentran los resultados y la discusión y, por último, las conclusiones frente a la investigación.

Marco Teórico

En esta sección se profundiza en los elementos teóricos que sustentan la investigación, entre los que se encuentra la descripción general del Modelo Pedagógico de la UNAD, el componente práctico, los laboratorios remotos y la naturaleza de la medición, exactitud y precisión, medidas directas e indirectas, la estrategia de enseñanza utilizada y finalmente se describe la ganancia de Hake y los factores de concentración de Bao, que se emplearon para determinar la evolución del aprendizaje de los estudiantes.

Modelo Pedagógico de la UNAD

Las estrategias de aprendizaje en el curso de Física General de la Escuela de Ciencias Básicas Tecnología e Ingeniería (ECBTI) de la UNAD están diseñadas conforme a su Modelo Pedagógico, que prioriza la autonomía del estudiante, enfatizando su rol activo y crítico en su propio proceso de aprendizaje. Esta filosofía educativa promueve que el estudiante se autogestione y contribuya a la construcción de una mejor sociedad, con el apoyo de E-mediadores—docentes, consejeros, investigadores o monitores—quienes brindan asesoría y acompañamiento personalizado, teniendo en cuenta los distintos contextos y ambientes de aprendizaje (Leal-Afanador, 2021).

Para el acompañamiento docente, el curso de Física General integra diversas estrategias como webconferencias, que ofrecen espacios de atención sincrónica de manera virtual; los Círculos de Interacción y Participación Académica y Social (CIPAS), que funcionan como comunidades de aprendizaje entre estudiantes y docentes; y el uso de Skype para resolver dudas específicas, así como el acompañamiento en el componente práctico, ya sea presencial o virtual, facilitando interacciones clave para el aprendizaje y el desarrollo académico (Leal-Afanador, 2021).

El enfoque metodológico del curso se centra en el aprendizaje basado en tareas (ABT), que impulsa a los estudiantes a solucionar problemas reales de Física o ingeniería, promoviendo así un aprendizaje significativo. Este enfoque se estructura en tres fases: construcción de la tarea por parte del docente, realización de la tarea en equipo con el apoyo de foros virtuales y evaluación continua para el desarrollo integral del estudiante (Jerez Naranjo & Garófalo Hernández, 2012). Adicionalmente, debido a la pandemia de Covid-19, se adaptó el componente práctico para ser realizado de manera remota, utilizando recursos como los laboratorios de la World Pendulum Alliance, lo que refleja la adaptabilidad del curso ante nuevas necesidades educativas y mantiene su alineación con los principios del Modelo Pedagógico de la UNAD.

Laboratorios remotos del World Pendulum Alliance

Un laboratorio remoto corresponde a una infraestructura de experimentación, donde el usuario utiliza todas las capacidades de Internet (velocidad, trabajo a distancia, recursos, etc.) para ejecutar tareas que se podrían realizar presencialmente en un laboratorio. Se establece, entonces, un nuevo “puente” entre el experimentador y el arreglo experimental, en el proceso de entrada de información (input) y la toma de datos de salida (output) (Gomes & Bogosyan, 2009).

En este sentido, World Pendulum Alliance es un proyecto de investigación cofinanciado por el programa Erasmus+ de la Unión Europea, que articula 14 universidades de educación superior ubicadas en Latinoamérica y Europa, con el objetivo de desplegar una red de experimentos y/o laboratorios remotos que contribuye al mejoramiento de la educación en matemáticas y física mediante “un espacio de aprendizaje por indagación, proporcionando un camino hacia el autodescubrimiento de los contenidos de aprendizaje” (Escobar et al., 2019, p. 388). Es así como se puede afirmar que la alianza citada promueve la equidad en el acceso al conocimiento, aspectos fundamentales en un mundo globalizado.

La Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD, a través de la Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería (ECBTI), se vinculó al proyecto World Pendulum Alliance desde el año 2019, y a la fecha ha consolidado la instalación de una red de péndulos que se desplegaron a lo largo de varios departamentos del país (Cundinamarca, Boyacá, Meta, Magdalena, Atlántico, Huila, Risaralda, Antioquia, Valle del Cauca), tal como lo ilustra la Figura 1. La World Pendulum Alliance ha permitido la consolidación de múltiples estrategias que aportan a las responsabilidades sustantivas de la UNAD, un ejemplo de ella es la internacionalización.

Figura 1.

Péndulo primario en Bogotá D.C. (Elaboración Torres-Payoma et al., 2022).



Estrategia de enseñanza utilizada en esta investigación

Una vez expuestas las generalidades del MP de la UNAD, las formas de acompañamiento docente que se usan dentro de la Universidad, la herramienta remota que se emplea y el modelo físico que se aborda, es importante profundizar en la estrategia de enseñanza utilizada al interior de componente práctico del curso de Física General. Este último se divide en tres unidades temáticas (3 créditos académicos) y se compone de 4 tareas. Las tres unidades temáticas son Unidad 1- Tarea 1. Cinemática., Unidad 2- Tarea 2. Dinámica y energía y Unidad 3- Tarea 3. Conservación de la Energía.

De forma transversal a todas las unidades temáticas se lleva a cabo la Tarea 4, en donde se efectúa el componente práctico mediante tres sesiones de laboratorio propuestas para el curso, el cual tiene como resultado del aprendizaje: desarrollar competencias científicas (Planificación, observación, análisis y argumentación) a través de la realización de prácticas de laboratorio. Los temas de las sesiones son sesión 1: Medición y Cinemática., sesión 2: Dinámica y Energía y sesión 3: Conservación de la Energía.

Al interior de cada una de estas sesiones presenciales se realizan dos prácticas experimentales, las cuales se exponen en la Tabla 1.

Tabla 1.

Descripción del componente práctico de Física General.

Sesión	Nombre de la sesión	Prácticas realizadas
1	Medición y Cinemática	1. Naturaleza de la medición 2. Caída libre
2	Dinámica y Energía	1. Segunda ley de Newton 2. Energía cinética y potencial
3	Conservación de la Energía	1. Conservación de la energía cinética. 2. Hidrostática.

Esta investigación se desarrolla en la sesión 1, especialmente con la práctica de naturaleza de la medición, la cual se implementó a lo largo del 2020 y en la que se utilizó la red de laboratorios remotos del World Pendulum Alliance.

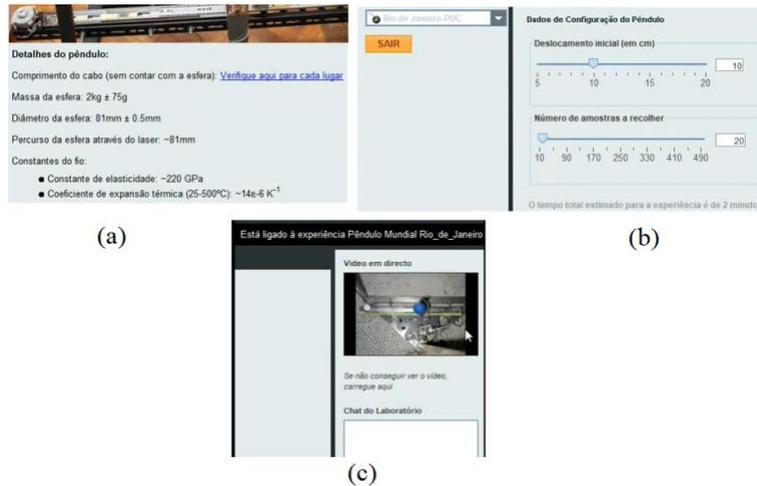
Con la intención de guiar a los estudiantes en el desarrollo del componente práctico, se convoca una reunión con la líder nacional de la cadena de Ciencias Básicas, quien explica los detalles de las prácticas de laboratorio. Paralelamente, los docentes en las webconferencias y CIPAS presentan el contenido descrito a continuación.

1. El resultado del aprendizaje de la práctica de laboratorio es: introducir al estudiante en la comprensión de la naturaleza de la medición a partir de un laboratorio remoto.
2. Evaluación inicial: cuestionario de 9 preguntas para hacer un diagnóstico de los estudiantes (pretest).
3. Desarrollo de la práctica de laboratorio para lograr realizar esta tarea los estudiantes debían:
 - Descarga del software que permite la conexión entre el ordenador y los laboratorios donde están instalados los péndulos.
 - Descarga o actualización de los complementos y/o software multimedia para todo lo correspondiente a la interfaz gráfica.
 - Acceso a la red de péndulos remotos. Ver la Figura 2 (a).
 - Selección del laboratorio. Ver la Figura 2 (b).
 - Una vez establecida la conexión, en la plataforma se fijan los valores iniciales de los parámetros del experimento, tales como el desplazamiento inicial a partir de la posición de equilibrio, y el número de oscilaciones (muestras) de cada rodada del experimento. Ver la Figura 2 (b).
 - Inicio de la prueba. Ver la Figura 2 (c).
 - Se espera a que el péndulo culmine las oscilaciones respectivas. El dispositivo está automatizado para reportar propiedades del fenómeno oscilatorio, tales como el periodo y la velocidad del péndulo.
 - Extracción de los datos.

- Se realiza el análisis de datos en una plantilla dispuesta en una hoja de cálculo, donde están establecidas las fórmulas para obtener cantidades físicas a partir de los resultados del péndulo remoto, así como sus respectivos momentos estadísticos y cuantificadores de error. Para ello, se usó la Ecuación (3) y la Ecuación (5). El objetivo final es estimar el valor de la aceleración de la gravedad en la localización terrestre del péndulo utilizado (Torres-Payoma et al., 2022).
4. Evaluación final: es un cuestionario sobre las mismas temáticas del pretest, pero los estudiantes lo realizaron después de seguir los anteriores pasos (postest).

Figura 2.

Interfaz de Elab para experimentos con un péndulo.



Nota: (a) Pantalla de inicio para definir parámetros físicos; (b) controles para ajustar condiciones iniciales como desplazamiento y número de muestras; (c) vista superior en tiempo real del péndulo en Rio de Janeiro, mostrando la masa colgante (esfera azul) y la dirección de oscilación.

Los estudiantes, además de la realización de las evaluaciones inicial y final, deben reportar su valor estimado para la aceleración de la gravedad para la ciudad del laboratorio seleccionado remotamente. En general, el procedimiento fue realizado sin inconvenientes por la gran mayoría de los usuarios. Cada tutor acompañó el proceso, brindando soporte en cuestiones teóricas y experimentales del sistema físico, análisis de errores, manejo de cada software implicado en la práctica, acceso a la red de péndulos, y reporte de los resultados en los formatos establecidos.

Naturaleza de la medición, exactitud, precisión, y medidas directas e indirectas

Dentro de la práctica de laboratorio remoto que se desarrolló con los estudiantes del curso Física General se aborda el concepto de medición, el cual se puede definir como el procedimiento para obtener el valor numérico asociado a una magnitud física a partir de actos experimentales. Empleando los medios técnicos y el acto de observación, se pueden encontrar magnitudes físicas vectoriales, las cuales se caracterizan por una magnitud (longitud del vector) y una dirección (velocidad, posición, entre otras) y magnitudes escalares, las cuales solamente tienen una magnitud (temperatura, densidad, etc.). Las magnitudes tienen unidades de medida asociadas que se definen a través de un patrón, para cada cantidad o magnitud podemos encontrar diferentes tipos de unidades. Por ejemplo, para medir la longitud de un objeto, encontramos la unidad del centímetro, milímetro o metro; esto depende del tipo de instrumento que se use para obtener la longitud (mensurando) en una u otra unidad.

Se debe tener en cuenta que una medida no solo es un valor, sino que debe estar acompañada de su respectiva incertidumbre, porque no existe una medida perfecta. La

incertidumbre es una cantidad asociada a una medición, que indica la precisión de dicha medida, también el conocimiento que se tenga de su principio físico. Esta incertidumbre se puede representar a partir de un porcentaje; esto indica qué tan buena, o no, es la medida que se está tomando, permitiendo cuantificar la calidad de esta. Usualmente una buena medida tiene una incertidumbre de menor de 5%. Esto es fundamental para los estudiantes de ingeniería porque todos los instrumentos que se usan en industrias y laboratorios van a tener una incertidumbre en el reporte de sus mediciones. La incertidumbre es necesaria porque permite estimar la confiabilidad de un resultado de una medida, para ser capaces de comparar dos medidas en diferentes laboratorios, además establecer una trazabilidad.

Hay incertidumbres para medidas directas las cuales se caracterizan por tomarse con un instrumento una sola vez, pero también podemos tenerlo a partir de repeticiones cuando se miden masas o tiempos y en este caso se obtiene la incertidumbre según las repeticiones. También existen incertidumbres para medidas indirectas, ya que usualmente se encuentra que la mayoría de las cantidades físicas de interés son determinaciones indirectas. Por ejemplo, para determinar la densidad de un objeto, se divide el valor de la masa entre su volumen; se debe medir la masa y el volumen de forma independiente. En este caso, para la determinación de la incertidumbre se deben seguir algunos pasos: establecer el mensurando, cantidad o magnitud de medida; establecer el modelo matemático del mensurando; establecer las variables o cantidades de entrada del mensurando; establecer las fuentes de incertidumbre para cada cantidad de entrada, y por último determinar la ecuación para la obtención de la incertidumbre (Herrera Fuentes, 2005).

La exactitud indica el grado de cercanía o proximidad entre un valor medido o una serie de valores observados, en comparación con el valor esperado, se asocia a un valor numérico, y se cuantifica a través del error de la medida que se determina como:

$$\%error = \frac{\text{valor de referencia} - \text{valor medido}}{\text{valor de referencia}} \times 100. \quad (1)$$

La precisión se refiere al grado de proximidad o cercanía de los resultados de diferentes mediciones entre sí. Se asocia a la sensibilidad del instrumento, pues en la interacción con el objeto medido se puede obtener mayor o menor precisión, según la magnitud que se esté midiendo.

Medición de la evolución del aprendizaje

Con el fin de estudiar la evolución del aprendizaje de los estudiantes tras la implementación de la estrategia descrita en la sección inmediatamente anterior, en esta investigación se emplean dos parámetros: la ganancia de Hake y los factores de concentración de Bao, los cuales ha sido utilizados ampliamente en la literatura para este fin particular.

El primero de ellos, la ganancia de Hake (g), determina la evolución del aprendizaje posterior a la aplicación de una estrategia de enseñanza específica, tomando en consideración el conocimiento previo de los estudiantes (Cortés Montero, 2022):

$$g = \frac{\text{postest} - \text{pretest}}{1 - \text{pretest}}. \quad (2)$$

Los valores de referencia para la ganancia se establecen según como $g \leq 0,3$ indica que el aprendizaje es bajo, si $0,3 < g \leq 0,7$ se presenta un aprendizaje medio y un valor de $g > 0,7$ indica un aprendizaje alto.

Esta medida también ha sido utilizada para determinar la efectividad de la estrategia en la enseñanza de temáticas relacionadas con conceptos de fluidos, cinemática, oscilaciones y ondas, entre otros (Barbosa, 2021; Castañeda Salazar et al., 2018; Perdomo - García & Galo -Roldán, 2020; Ruiz Macías et al., 2018).

Con el objetivo de profundizar en la evolución del aprendizaje de los estudiantes se calcula el índice de concentración de Bao (Bao y Redish, 2001). Para la aplicación de esta técnica es necesario que la prueba sea de opción múltiple con única respuesta. El cálculo del índice de concentración se realiza con la Ecuación 3.

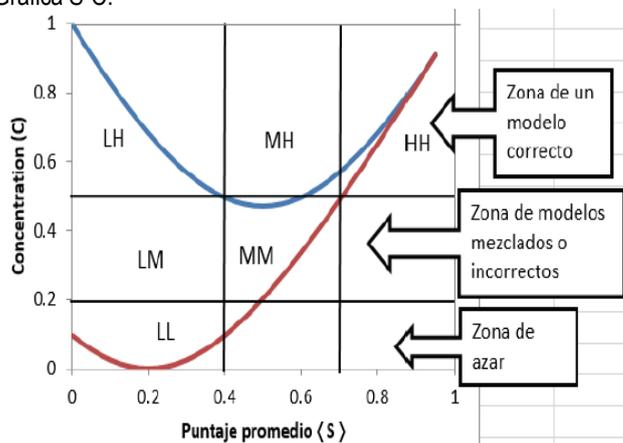
$$C = \frac{\sqrt{m}}{\sqrt{m} - 1} \left(\frac{\sqrt{\sum_{i=1}^m n_i^2}}{N} - \frac{1}{\sqrt{m}} \right). \tag{8}$$

Donde m es el número de opciones en una pregunta en particular, N la cantidad de estudiantes al que se le aplicó la prueba y n_i el número de estudiantes que escogieron la respuesta i de una pregunta particular (Bao y Redish, 2001). Este índice de concentración considera tanto el número de respuestas correctas como incorrectas, dando un panorama más amplio de los aprendizajes de los estudiantes. La información proporcionada por el índice de concentración C es ampliada con el puntaje S , que se muestra en la Ecuación 4.

$$S = \frac{A_i}{A}. \tag{9}$$

El puntaje se determina como la razón entre puntaje por pregunta A_i y el puntaje total A . Con estos dos valores se construye el espacio de configuraciones (C vs S), donde se identifican patrones relacionados con el razonamiento en las respuestas por parte de los estudiantes, en cada uno de los ítems que se desarrollan en la prueba; de esta manera las respuestas se pueden agrupar en diferentes zonas o modelos explicativos, tal como se muestra en la Figura 3. Identificando tres zonas predominantes: modelo correcto, mezclados o incorrectos y al azar.

Figura 3.
Gráfica S-C.



Nota: La línea roja y azul son el límite inferior y superior de la. La notación es explicada en la Tabla 2. Elaborado por Barbosa (2021).

Por lo tanto, el espacio de configuraciones (C vs S), muestra cuál ha sido la transformación en el aprendizaje del estudiante antes y después de implementar la estrategia de aprendizaje; lo que permite representar la llamada curva de aprendizaje del grupo de participantes. En la Tabla 2 se presentan los rangos de valores de puntaje (columna 1) y concentración (columna 3) para cada una de las zonas y su respectiva notación (columna 2 y 4, respectivamente).

Tabla 2.

Codificación de concentración sugerida por Bao. Tomada de Bao (2006).

Puntaje (S)	Nivel	Concentración (C)	Notación
0,0-0,4	Bajo	0,0-0,2	L
0,4-0,7	Medio	0,2-0,5	M
0,7-1	Alto	0,5-1	H

Metodología

Esta investigación se enmarca bajo el paradigma cuantitativo, con un enfoque cuasiexperimental que contó con un grupo experimental al que se le aplicó la estrategia que se presentó en la sección anterior, que tenía por resultado de aprendizaje: introducir al estudiante en la comprensión de la naturaleza de la medición a partir de un laboratorio remoto. Ahora bien, con el propósito de evaluar dicho aprendizaje se utilizó la encuesta como técnica de recolección de la información; para este caso particular se diseñó un cuestionario de opción múltiple con única respuesta, que se empleó como pre y post prueba. Para recabar las respuestas de los participantes se optó por la herramienta de formularios de Google, instrumento ampliamente usado en la literatura para indagar por el nivel de conocimiento en diferentes tópicos de la Física y en otras áreas (Barbosa, 2021; Hernández-Sampieri et al., 2010; Perdomo - García & Galo -Roldán, 2020).

Participantes en la investigación

La población en la que se realizó este trabajo pertenece a la Universidad Nacional Abierta y a Distancia, que es la universidad pionera en Colombia dedicada de manera exclusiva a la educación virtual y a distancia, cuenta con las escuelas de Escuela de Ciencias Administrativas, Contables, Económicas y de Negocios (ECACEN), Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente (ECAPMA), Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería (ECBTI), Escuela de Ciencias de la Educación (ECEDU), Escuela de Ciencias de la Salud (ECISA), Escuela de Ciencias Sociales, Artes y Humanidades (ECSAH) y Escuela de Ciencias Jurídicas y Políticas (ECJP). Este trabajo se llevó a cabo específicamente con los estudiantes de la ECBTI de las carreras de ingeniería de alimentos, telecomunicaciones, electrónica, multimedia, industrial, agroforestal, diseño industrial, ambiental y tecnologías en desarrollo de software, saneamiento ambiental, producción de audio, automatización electrónica, logística industrial, gestión de redes inalámbricas, gestión de obras civiles y construcción, desarrollo de Software, de diferentes centros distribuidos a lo largo del país, en total 3192 alumnos.

Del total de participantes en la asignatura el pretest fue realizado por 1066, mientras que el postest por 596 estudiantes. Se debe aclarar que estas pruebas no fueron obligatorias para los alumnos, lo cual puede corresponder a una explicación para un menor número en el postest. La muestra final está compuesta por 470 estudiantes, dado que se retiraron del listado aquellos estudiantes que no participaron en las tres sesiones del componente práctico, también a los que en su informe escrito se evidenció plagio, y aquellos que hicieron el pretest y el postest el mismo día.

Validación y descripción del instrumento

Con el propósito de evaluar la validez de contenido del instrumento se convocaron a 26 profesionales en el campo de física, entre licenciados, físicos, magister y doctores. A los jueces se les pidió específicamente que evaluaran la coherencia entre los ítems de la prueba y el objetivo de aprendizaje que se pretende indagar con ella. Al final de la prueba los expertos tenían un espacio para dejar sus observaciones generales sobre la misma. En este espacio, podían proponer o formular una pregunta o hacer comentarios sobre las mismas. La versión inicial del instrumento que fue suministrada a los jueces contaba con 15 preguntas.

Empleando la técnica propuesta por Hernández- Nieto (2002, citado por Pedrosa, Suárez-Álvarez y García-Cueto, (2013)) el Coeficiente de Validez de Contenido (CVC) es de 0.92, resultado del que se puede concluir que la prueba es coherente con el objetivo de aprendizaje a indagar. Finalmente, los comentarios y observaciones de los expertos indicaron que era necesario eliminar las preguntas 1, 2 y 3.

Posterior a la validación de contenido se realizó una Prueba Piloto (PP), donde se seleccionó una muestra aleatoria de 40 estudiantes de la población global, herramienta empleada constantemente en la literatura para explorar la confiabilidad de este. La confiabilidad es de 0.59, siempre que se eliminen las preguntas 5, 11 y 12. A modo de conclusión el instrumento evalúa la variable que se pretende medir y su nivel de confiabilidad es aceptable, considerando que se debe tener en cuenta los resultados generales de pretest y postest (Monter & Carpio, 2023, Ruiz Bolivar, 2022, citado por Díaz-Muñoz, 2020).

El instrumento que se aplicó para esta investigación consta de nueve preguntas de opción múltiple, a continuación, se muestra los aprendizajes a evaluar y enunciado de cada pregunta (Ver Tabla 3).

Tabla 3.

Cuestionario Postest

Aprendizaje a evaluar	Ítem	Pregunta
Identificación de cantidades físicas escalares o vectoriales	1	Basado en los resultados obtenidos en la tabla de datos del WPA@ELAB, la(s) magnitud(es) escalar(es) del experimento son:
Precisión y exactitud en relación con una medida	2	A partir de la dispersión de los datos de cada imagen, ¿cuál de ellas representa una mayor exactitud en la medida?
Precisión en la medida	3	A partir de la dispersión de los datos de cada imagen, ¿cuál de ellas representa una mayor precisión en la medida?
Cálculo de la aceleración de la gravedad	4	¿Cuál de los siguientes resultados obtenidos en el péndulo para el cálculo de la aceleración de la gravedad g_E es el más cercano al valor de referencia y con menor incertidumbre?
Posibles errores aleatorios en la implementación del laboratorio	5	Un posible error aleatorio en la implementación del laboratorio remoto puede ser:
Disminución de la incertidumbre en la medida en la práctica del laboratorio	6	Según los datos recopilados en la experiencia, para disminuir la incertidumbre en la medida en la práctica del laboratorio, es mejor:
Tipos de mediciones	7	A partir de su experiencia, el período es una medición:
Concepto de promedio	8	Para determinar el valor promedio del período en cada experimento, se debe:
Valor convencionalmente verdadero de una magnitud física	9	En la práctica, el valor de referencia de la gravedad en la experimentación del laboratorio:

Cabe destacar que al ser un cuestionario que se empleará posteriormente en un análisis por factores de concentración de Bao, las respuestas de las preguntas están repartidas entre el modelo correcto (aceptado por en la literatura) y un modelo incorrecto normalmente popular, además en algunas de ellas se introdujo un distractor común.

Resultados y Discusión

Efectividad de la metodología

Como se mencionó en la sección anterior la información del pretest y del postest se recopiló con un formulario de Google, que permite fijar una clave de respuesta e indica si estas son o no correctas. Con esta información, empleado las ecuaciones 7 y 9 se determinó la ganancia de Hake, los puntajes promedio para el pre $\langle S_o \rangle$ y postest $\langle S_f \rangle$ y sus respectivas desviaciones ($\langle \sigma_o \rangle$, $\langle \sigma_f \rangle$), esto se resume en la Tabla 4.

Tabla 4.
Estadísticos de la ganancia de Hake.

$\langle S_o \rangle$	$\langle \sigma_o \rangle$	$\langle S_f \rangle$	$\langle \sigma_f \rangle$	$\langle g \rangle$	$\langle \Delta g \rangle$
0.592	0.079	0.834	0.089	0.593	0.321

En la Tabla 4 se observa que tras aplicar la estrategia pedagógica descrita en la sección anterior se encuentra que la ganancia es de 0.593 con una desviación de 0.321, esto último indicando que los valores están más dispersos, reduciendo la confiabilidad de la estrategia, por lo que se hace necesario trabajar en mejorar algunos aspectos de esta. Es importante tener claro que los anchos de las desviaciones estándar no son resultado de un error experimental, sino que hablan sobre la variabilidad propia de los estudiantes que participan en la actividad. Alcanzar menores valores, reflejaría por lo tanto que la estrategia se adapta con mayor facilidad a las diversas formas de aprendizaje de los estudiantes.

A pesar de esto el valor de ganancia $\langle g \rangle$ es mejor al esperado, dado que las metodologías centradas en los modelos tradicionales logran valores menores a 0.3 y las activas de 0.3 a 0.5 (Barbosa, 2021). Con este resultado se puede decir que la estrategia consigue una buena comprensión de las temáticas estudiadas, aunque se debe recordar que la alta dispersión indica que no logra adaptarse a las diversas formas de aprendizaje de los estudiantes y/o a la falta de acompañamiento por parte del tutor que repercute en la no adecuada construcción de conocimiento por parte del alumno, estos resultados concuerdan con los resultados señalados por Ariza & Quesada (2014), quienes en su recopilación reportan que:

la experiencia muestra que los alumnos no siempre interpretan de forma adecuada los gráficos e imágenes ofrecidos por las visualizaciones y los programas de modelización. Por lo tanto, si no se les adiestra en las formas de representación específicas, o si carecen de la orientación oportuna, los recursos digitales pueden reforzar sus errores conceptuales, en lugar de facilitar la asimilación y comprensión de las ideas científicas. (p. 111)

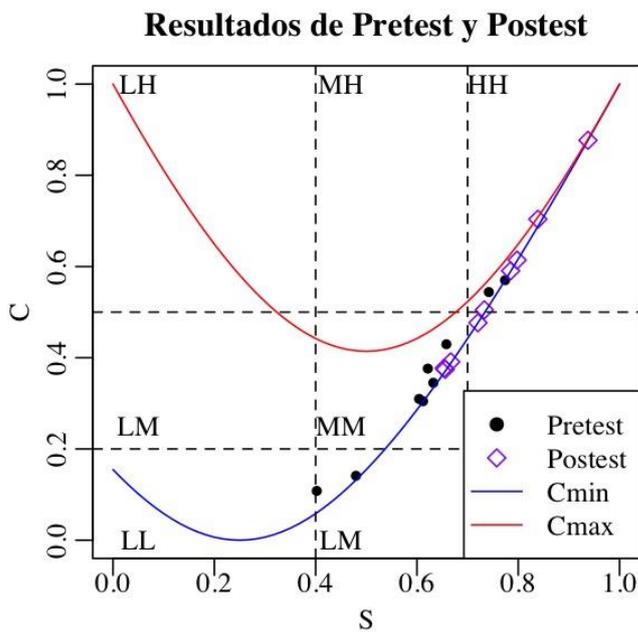
Lo anterior, refuerza la idea de que es necesario evaluar las posibles fallas que presenta la estrategia y promover su solución, esto será evaluado a profundidad en la sección siguiente.

Evolución del aprendizaje

Empleando las respuestas de los estudiantes del cuestionario sobre el componente práctico de Física usado como pretest y postest, se calculan los factores de concentración de Bao y los puntajes, para determinar la evolución en el aprendizaje de los participantes. En la Figura 3 se muestran los datos de concentración (C) en función de puntaje (S), los puntos rellenos negros son los datos del pretest, mientras que los rombos morados abiertos muestran los del postest. Se observa que, en la población del pretest, las respuestas de la prueba proporcionan datos en las zonas LM, MM y HH, que

indican diferentes niveles de razonamiento; estas están en las regiones de solución al azar (22,2%), modelos mezclados (55.5%) y modelo correcto (22.2%), respectivamente, por lo que se puede decir que los participantes del pretest tienen conocimientos previos básicos en la temática evaluada. Posterior a la implementación los resultados del postest se agrupan en las zonas, MM, HM y HH, esto es, regiones de modelos incorrectos (33.3%) y mezclados (11.1%) y correctos (55.5%), dejando de lado la región al azar, lo que evidencia un avance en el aprendizaje, ya que pone de manifiesto que los estudiantes logran diferenciar un modelo explicativo (correcto o incorrecto) e identificarse con él. La información detallada para cada una de las preguntas se muestra en la Tabla 5, en la columna uno se indica el número de pregunta, las columnas 2, 3 y 4 muestran los datos obtenidos para puntaje, concentración y zona de concentración de Bao en el pretest, respectivamente. Manteniendo el orden en las tres columnas siguientes se presentan esta misma información para el postest.

Figura 5.
Factores de concentración de Bao Física General.



Nota: Puntos negros pretest y rombos morados postest.

Se observa en la Figura 5, que dos preguntas se mantuvieron en la zona HH y las otras siete se desplazaron gradualmente hacia zonas de aprendizaje superiores, puesto que los puntos y concentración del postest son mayores que en el pretest. Para observar detalladamente los resultados de cada ítem se tiene la siguiente Tabla 5.

Tabla 5.
Evolución del aprendizaje.

Nº	Pretest C	Pretest Z	Zona Pre	Postest C	Postest Z	Zona Pos
1	0,774	0,570	HH	0,785	0,590	HH
2	0,742	0,544	HH	0,839	0,704	HH
3	0,621	0,376	MM	0,733	0,505	HH
4	0,632	0,345	MM	0,798	0,614	HH
5	0,613	0,305	MM	0,938	0,877	HH
6	0,658	0,430	MM	0,720	0,477	MM
7	0,402	0,108	ML	0,667	0,391	MM
8	0,479	0,141	ML	0,656	0,374	MM

En los resultados de la pregunta uno, que indagaba sobre cantidades físicas escalares y vectoriales, se evidencia que desde el pretest los estudiantes lograron diferenciar si una cantidad es escalar o vectorial, dado que el 77.4% selecciona el modelo correcto, valor que se mantuvo igual para el postest aumentado en un punto porcentual. Con lo que se puede decir que la estrategia empleada debe mejorar, puesto que persiste el porcentaje de estudiantes que seleccionaron el modelo incorrecto (12.26%) y el distractor (9.25%). Se hace necesario también ampliar el número de preguntas en este indicador, ya que con la pregunta se concluye que los participantes separan entre cantidades física vectoriales y escalares, pero no permite indicar si ellos tienen conocimientos sobre sus diferentes propiedades e incluso operaciones particulares, y es en este campo en donde se encuentran mayores dificultades, como lo señalan (Gutierrez & Martín, 2015) quienes sugieren que los alumnos tienen problemas con la resta y vectores unitarios. Resultados similares son reportados por (Torroba & Trípoli, 2021), quienes además proponen un instrumento de estudio para realizar esta tarea de investigación.

Por otra parte, de la pregunta dos a la seis se exploraba los conocimientos de los estudiantes sobre precisión y exactitud, en relación con una medida. Para el caso particular de la pregunta dos, que indagaba sobre el concepto de precisión, los resultados del pretest ubican a 74% de los estudiantes en la zona HH, es decir, los estudiantes encontraron el modelo correcto poniendo en evidencia que tienen conocimientos claros antes de la implementación de la estrategia, posterior a la misma, este valor aumenta en 10 puntos porcentuales y la concentración también subió un 0.16, dado que ningún estudiante seleccionó el distractor, opción d. Estos 101 estudiantes que en el pretest optaron por el distractor, en el postest se repartieron entre el modelo correcto y el incorrecto, señalando la opción que hablaba de precisión, por lo que es necesario profundizar más en la diferencia entre exactitud y precisión. Dicho aprendizaje es importante para los participantes, como es señalado por Herrera Fuentes (2005) quien indica que en el caso de los ingenieros es de vital importancia que reconozcan las diferencias entre estas dos cantidades, dado que son frecuentemente empleadas en su práctica laboral. Es sustancial recordar que el estudiantado arriba al curso con ideas previas bien establecidas.

La pregunta tres pretendía determinar si el estudiantado conoce el concepto de precisión, encontrando que en el pretest un 62.2% de los participantes conocen la diferencia entre precisión y exactitud, mientras que el 37.8 aún no consigue hacerlo. Para el postest, los datos se ubican en un 73% en el modelo correcto, pero un 27% persiste en seleccionar el incorrecto o el distractor (ver figura 5). Los resultados apuntan en la misma dirección que la pregunta dos.

Los resultados de la pregunta cuatro, que de nuevo indagaba por la incertidumbre y la cinco que cuestionaba al estudiantado por los errores aleatorios muestran unos resultados muy significativos pues los estudiantes en el pretest estaban en la zona MM con un modelo correcto y otro incorrecto y evolucionaron directamente a la zona HH obteniendo que la mayoría identificó el modelo correcto. Cabe mencionar que la pregunta 4 pasó de un puntaje promedio de 63% a casi el 80% y la pregunta cinco de un puntaje promedio del 61% al 94% aproximadamente, mostrando que las estrategias pedagógicas aplicadas en el componente práctico fueron efectivas para mejorar el aprendizaje en este sentido (ver Figura 5). De nuevo, se hace énfasis en que estos conceptos son necesarios para realizar la práctica laboral por parte de los participantes, debido a que el total de la muestra pertenece a carreras de las ingenierías.

Para el caso de la pregunta seis las opciones de respuesta se mantienen en la zona MM con un modelo correcto y otro incorrecto a la zona MM, en donde el 72.04% seleccionó

el modelo correcto, y las otras tres opciones obtuvieron valores muy cercanos entre sí, por lo que el 27.9% sigue sin ver diferencias en el modelo incorrecto. Los resultados muestran una mejora, pero el puntaje cambia solo en un 0.06, dejando en evidencia que, aunque los participantes logran entender el concepto, les es difícil usarlo en un contexto problemático. Lo anterior debido a que en la pregunta se indagaba en relación con la mejor estrategia para reducir la incertidumbre en una práctica de laboratorio (ver Figura 5).

La pregunta 7, en la cual se esperaba determinar si los alumnos conseguían identificar si una cantidad física era resultado de una medida directa o indirecta, se encontró que inicialmente estaba en la zona ML, en donde las respuestas de los estudiantes fueron más debido al azar, para luego pasar a la zona MM, en la cual los estudiantes identifican diferentes tipos de modelos y se agrupan en ellos. Aunque la mejora es significativa, aún tiene una fuerte dispersión (baja concentración), esto debido principalmente a que en este ítem las opciones de respuesta se dividían en correcta, incorrecta y dos distractores.

La pregunta 8 fue una sorpresa, ya que se esperaba un mejor resultado desde el comienzo, debido a que los estudiantes emplean el concepto de promedio constantemente en sus vidas. Por ejemplo, para sacar la nota de una asignatura. A pesar de ello, en el pretest las respuestas cayeron en la zona al azar (ML), pero mejorando posteriormente a la implementación, pasando a la región MM (ver Figura 5), donde persiste la selección del modelo correcto en un 44 % de los participantes.

Finalmente, la pregunta 9 no mostró ningún cambio, permaneciendo en la misma zona del pretest, indicando ello que se deben mejorar las estrategias pedagógicas en este sentido (ver Figura 5).

Discusión

La implementación efectiva de laboratorios remotos en cursos de física a distancia, como se describe en el análisis del péndulo simple en un curso de Física General, requiere una cuidadosa consideración de múltiples aspectos pedagógicos y técnicos. La gestión del tiempo es esencial, y como indica Leal-Afanador (2021), es crucial enfocar el aprendizaje en tareas significativas que impulsen al estudiante a aplicar los conceptos teóricos en contextos prácticos a través de los laboratorios remotos. Esto se complementa con una supervisión efectiva de los estudiantes, donde los tutores juegan un papel vital en guiar y monitorizar el progreso de los estudiantes durante los experimentos remotos (Jerez Naranjo & Garófalo Hernández, 2012).

En cuanto a los desafíos técnicos, la necesidad de una infraestructura tecnológica robusta es primordial. Según Torres-Payoma et al. (2022), la integración de plataformas de software como Elab permite realizar experimentos en tiempo real, aunque esto requiere que tanto estudiantes como instructores tengan acceso a conexiones de internet estables y rápidas. La accesibilidad y la fiabilidad de los experimentos remotos también dependen de la compatibilidad del software con diversos dispositivos, un desafío destacado por Gomes y Bogosyan (2009), quienes subrayan la importancia de adaptar continuamente las plataformas tecnológicas a las necesidades cambiantes de los usuarios.

El mantenimiento y la actualización de los laboratorios remotos son críticos para asegurar su funcionalidad continua. Como parte de la alianza World Pendulum Alliance, la colaboración entre instituciones permite compartir recursos y conocimientos que facilitan estas tareas, manteniendo los laboratorios a la vanguardia de la tecnología

educativa (Escobar et al., 2019). Esto no solo mejora la experiencia del aprendizaje, sino que también asegura que los laboratorios remotos sigan siendo una herramienta relevante y efectiva en la educación científica.

Estos enfoques y soluciones técnicas reflejan la importancia de una estrategia integrada que abarque tanto la pedagogía como la tecnología para maximizar los beneficios de los laboratorios remotos en la educación a distancia. Así, la experiencia de la UNAD proporciona un valioso marco de referencia para otras instituciones que buscan implementar prácticas similares en sus propios contextos educativos.

Conclusiones y limitaciones

El componente práctico es una actividad fundamental realizada por la UNAD en los cursos metodológicos, ya que fortalece el “saber hacer”. En la práctica descrita en el presente trabajo, se complementan los laboratorios presenciales usuales con un laboratorio remoto, permitiendo al estudiante explorar otras formas de aprendizaje.

Partiendo de los resultados obtenidos de la ganancia de Hake para la estrategia pedagógica empleada se puede decir que el estudio del péndulo simple mediante un laboratorio remoto tiene un impacto positivo en los aprendizajes de los estudiantes, en la temática de la naturaleza de la medición, pero se hace necesario profundizar en ella, dado que las respuestas muestran una dispersión considerable, dejando en evidencia que no logra adaptarse completamente a todas las formas de aprendizaje. Dejando en evidencia que estos laboratorios pueden emplearse como un complemento a las prácticas presenciales, antes de la práctica como un espacio para aprender a usar instrumentos y/o herramientas o después de la misma profundizar lo visto en la práctica, pero no pueden reemplazar totalmente las actividades presenciales.

De los factores de concentración de Bao se logró evidenciar que los participantes en el estudio tienen conocimientos previos claros sobre la temática a estudiar cómo se ve de las preguntas 1 y 2, mientras que las preguntas 3, 4, 5, 6 y 9 mostraban un punto de partida intermedio en la muestra, ya que las respuestas cayeron en la zona de modelos mezclados, correcto, incorrecto o distractor y solo dos preguntas estaban en la región de respuestas al azar. Posterior a la implementación de la estrategia, ninguna de las preguntas estaba en la región de respuestas al azar, lo que sin duda es un avance dado que los estudiantes logran identificar un modelo y seleccionar, así sea incorrecto. De las preguntas 1 a la 5, están en la región de modelo correcto. A modo de cierre, las preguntas dos a la seis revelan dos cuestiones fundamentales. Primero, los participantes llegan con conocimientos previos básicos en relación con los temas de indagación, lo que puede deberse a que utilizan estos conceptos en su campo laboral, lo que tendría que estudiarse con mayor profundidad considerando variables sociodemográficas propias de la muestra. En segunda estancia, la estrategia consigue que los aprendizajes de los estudiantes se acerquen más a los aceptados en la literatura ubicando su respuesta en la región HH y refuerza los aprendizajes previos de los estudiantes. Por último, la pregunta 4 pone en evidencia que, aunque alcanzan a explicar diferentes conceptos sobre la naturaleza de la medición, al ponerlos en una situación problema el resultado no es el esperado.

Finalmente, se debe resaltar que el componente práctico se desarrolla en diferentes cursos de manera presencial en todas las zonas del país, sin embargo, en ocasiones no se cuenta con el material necesario para realizarlo; por esta razón es de vital importancia considerar otras alternativas que permitan efectuar las prácticas desde cualquier lugar del mundo sin necesidad de que los estudiantes se desplacen, considerando la población heterogénea que maneja la Universidad, por lo que emplear los laboratorios

remotos en el proceso de enseñanza es de vital importancia, que sin duda facilitaría el aprendizaje de los estudiantes, al complementar las prácticas presenciales.

Por último, es importante ampliar el número de preguntas del cuestionario para tener un panorama que permita recabar una mayor información, respecto a si los estudiantes consiguen realmente alcanzar el objetivo de aprendizaje propuesto, así como, indagar por las actitudes del estudiantado frente al uso de laboratorios remotos.

Referencias

- Alonso, M, & Finn EJ (1967). *Fundamental university physics*. Addison-Wesley Reading.
- Farfán-Pimentel, JF, Candia-Menor, MA, ..., & Peña-Cotrino, AL (2023). Laboratorios Virtuales en la Enseñanza de la Física: Un Análisis Teórico. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(4), 7117-7128. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i4.7466
- Ariza, MR, & Quesada, A (2014). Nuevas tecnologías y aprendizaje significativo de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 32 (1), pp. 101-115.
- Bao, L, & Redish, EF (2001). Concentration analysis: A quantitative assessment of student states. *American Journal of Physics*, 69(7), S53. <https://doi.org/10.1119/1.137125>
- Barbosa, L (2021). Superación de dificultades en el aprendizaje de la ecuación de Bernoulli con experimentos discrepantes. *Enseñanza de Las Ciencias. Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*, 39(2), 143–162. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3237>
- Castañeda Salazar, J, Carmona Ramírez, L, & Mesa, F (2018). Determinación de la Ganancia en el Aprendizaje de La Cinemática Lineal Mediante el uso de Métodos Gráficos con Estudiantes de Ingeniería en la Universidad de Caldas. *Scientia et Technica*, 23(01), 99–103.
- Chaparro-Mesa, JE, Lombana, NB, & León-Socha, FA (2019). FísicaTIC, plataforma Hardware-Software para Aplicaciones en Física e Ingeniería. *Scientia Et Technica*, 24(3), 354-365.
- Cortés Montero, L (2022). Análisis de la ganancia de aprendizaje en la enseñanza de las ecuaciones lineales implementando un entorno personal de aprendizaje. *CITAS*, 8(1), 1–15. <https://doi.org/10.15332/24224529.7560>
- Díaz-Muñoz, G (2020). Metodología del estudio piloto. *Revista Chilena de Radiología*, 26(3), 100–104. <https://doi.org/10.4067/S0717-93082020000300100>
- Escobar, M, Fernandes, H, ..., & Erazo, Y (2019). Pendulum as an educational remote experiment. *Proceedings of the 2019 5th Experiment at International Conference, Exp.at 2019*, 388–393. <https://doi.org/10.1109/EXPAT.2019.8876473>
- Gomes L, & Bogosyan, S (2009). Current Trends in Remote Laboratories. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 56(12), 4744-4756. <https://doi.org/10.1109/TIE.2009.2033293>.
- Gutierrez, E, & Martín, J (2015). Dificultades en el aprendizaje de vectores, en los estudiantes que cursan materias del ciclo introductorio de la FCEF y N de la U.N.C. *Revista de Enseñanza de La Física*, 27(Extra), 89–96.
- Hernández-Sampieri, R, Fernández-Collado, C, & Pilar, BL (2010). *Metodología de la investigación* (5 ed). Mcgraw-Hill México.
- Herrera Fuentes, JL (2005). *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de Las Ciencias*, 2(2), 163–172.
- Jerez Naranjo, Y, & Garófalo Hernández, A (2012). Aprendizaje basado en tareas aplicado a la enseñanza de las Telecomunicaciones. *Revista Científica de Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones*, 33(3), 1–7.
- Kortemeyer, G (2007). Response switching and self-efficacy in peer instruction classrooms. *Physical Review Physics Education Research*, 3(010101).
- Leal, A (2021). Los principios del modelo pedagógico en la Universidad a distancia. In *Educación, virtualidad e innovación Estudio de caso para la consolidación de un modelo de liderazgo en la educación incluyente y de calidad* (pp. 89–95). Sello Editorial UNAD.
- Martínez, H, Miranda, D, ..., & Arenas, H (2022). Modelo de presencialidad remota para Física I, II y III. *Revista Docencia Universitaria* 23(1), 3-4. <https://doi.org/10.18273/revdu.vesp1-2022002>
- Miller, K, Schell, J, ..., & Mazur, E (2015). Response switching and self-efficacy in peer instruction classrooms. *Physical Review Physics Education Research*, 11(010104).
- Minsun Shin & Kasey Hickey (2021) Needs a little TLC: examinando las experiencias de enseñanza y aprendizaje remoto de emergencia de los estudiantes universitarios durante COVID-19, *Journal of Further and Higher Education*, 45:7, 973-986. <https://doi.org/10.1080/0309877X.2020.1847261>
- Montes, D, & Carpio, A (2023). Revisión sobre la calidad de instrumentos que evalúan los comportamientos proambientales. *Polo del Conocimiento: Revista científico-profesional*, 8(4), 1561-1585.
- Navarro, E, & Arguedas-Matarrita, C (2020). El trabajo experimental en la enseñanza de la Física en tiempos de pandemia mediante el uso de la aplicación II Ley de Newton en la UNED de Costa Rica. *Revista Innovaciones Educativas*, 22(Suppl. 1), 103-114. <https://doi.org/10.22458/ie.v22iespecial.3204>
- Pedrosa, I, Suárez-Álvarez, J, & García-Cueto, E (2013). Evidencias sobre la validez de contenido: Avances Teóricos y Métodos para su Estimación. *Acción Psicológica*, 10(2), 3–18. <https://doi.org/10.5944/ap.10.2.11820>
- Perdomo-García, G, & Galo-Roldán, A (2020). Aula invertida como estrategia didáctica para propiciar el aprendizaje conceptual de la Mecánica de Fluidos de Física General en el nivel superior. *Revista de La Escuela de Física*, 14, 44–59.

Reese, RL (1998). University physics. Brooks/Cole Publ. Co.

Ruiz Macías, E., Duarte, J. E., & Fernández Morales, F. (2018). Validación de un material didáctico computarizado para la enseñanza de Oscilaciones y Ondas a partir del estilo de aprendizaje de los estudiantes. *Revista Espacios*, 39(49), 317–329. <https://doi.org/10.19053/20278306.V7.N2.2017.6073>

Taylor, J (1998). Introduction to error analysis: The study of uncertainties in physical measurements. Univ. Science Books.

Torres-Payoma, F, Herrera, D, ..., & Castaño, J (2022). Computing the gravitational acceleration with the World Pendulum Alliance: an application of the remote laboratory methodology implemented by UNAD.

Torres-Payoma, F, Escobar, M, ..., & Herrera, D (2020). Use and design of virtual and remote free access experiments: World

pendulum alliance and dlab in times of covid 19. *CEUR-WS Proceedings*

Torres-Payoma, F, Herrera, D, ..., & Castaño-Yepes, JD (2023). Computing the gravitational acceleration within the World Pendulum Alliance as an application of the remote laboratory methodology. *European Journal of Physics*, 44(6), 065702.

Torroba, P, & Trípoli, MM (2021). Magnitudes vectoriales: una propuesta de articulación en tiempos de pandemia | *Revista de Enseñanza de la Física*. *Revista de Enseñanza de La Física*, 33, 621–627.

Universidad Nacional Abierta y a Distancia. (2011). Proyecto Académico Pedagógico Solidario Versión 3.0. Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD).