

IMPLEMENTACIÓN DE UNA UNIDAD DIDÁCTICA EN CAÍDA LIBRE: APLICANDO EL MODELO EXTENDIDO A TRAVÉS DE UN LABORATORIO ULTRACONCURRENTE EN LA MODALIDAD EDUCATIVA CINDEA

Implementation of a teaching unit in free fall: applying the extended model through an Ultra-concurrent laboratory in the CINDEA educational model

Diana Mariel Solano Herrera[dianamariel.solano@uned.cr]

Ministerio de Educación Pública

Guanacaste, Costa Rica

Eduardo Arias Navarro[earias@uned.ac.cr]

Universidad Estatal a Distancia

San José, Costa Rica

Carlos Arguedas-Matarrita[carguedas@uned.ac.cr]

Universidad Estatal a Distancia, Laboratorio de Experimentación Remota

San José, Costa Rica

Ignacio Idoyaga[iidoyaga@ffyb.uba.ar]

Universidad Buenos Aires, Facultad de Farmacia y Bioquímica, CONICET

Buenos Aires, Argentina

Recibido em: 25/10/2024

Aceito em: 11/10/2024

Resumen

En esta investigación se buscó propiciar en el proceso enseñanza-aprendizaje de los Centros Integrales de Educación para Adultos (CINDEA). Para esto se implementó una unidad didáctica de caída libre abarcando el modelo del Laboratorio Extendido con un laboratorio ultraconcurrente por la estrategia de indagación. La investigación responde a un estudio cuantitativo experimental, esta se aplicó a diez estudiantes de undécimo del CINDEA de Tilarán, Guanacaste, donde lograron obtener los resultados por medio de una prueba aplicada en dos fases de manera previa antes de implementar la unidad didáctica, y posterior, luego del desarrollo. Los resultados muestran que las notas aumentaron del pretest al posttest indicando que los estudiantes presentaron una mayor comprensión de los contenidos de la caída libre después de desarrollar la unidad didáctica. Por esto se considera que la estrategia utilizada es un recurso educativo que potencia las destrezas y habilidad científicas.

Palabras claves: Laboratorio Ultraconcurrente; Laboratorio Remoto; Unidad didáctica; Caída libre; CINDEA.

Abstract

In this research, we sought to promote in the teaching-learning process at the Comprehensive Adult Education Centers (CINDEA). Therefore, a didactic unit on free fall was implemented, encompassing the extended laboratory model with an ultraconcurrent laboratory using the inquiry strategy. The research corresponds to an experimental quantitative study, applied to ten eleventh-grade students from the CINDEA in Tilarán, Guanacaste. Results were obtained through a test administered in two phases: before implementing the didactic unit and after its development. The results show that scores increased from the pretest to the posttest, indicating that students demonstrated a greater understanding of the free fall content after developing the didactic unit. For this reason, the strategy used is considered an educational resource that enhances scientific skills and abilities.

Keywords: Ultra-concurrent laboratory; Remote laboratory; Didactic unit; free fall; CINDEA.

Introducción

La enseñanza de las ciencias naturales en el ámbito educativo está buscando estrategias que permitan potenciar aprendizajes procedimentales, conceptuales y el desarrollo de actitudes propias del trabajo experimental (Idoyaga et al., 2020), tratando de dejar de lado el viejo sistema de clase magistral, donde el docente es el centro del proceso de enseñanza, y el estudiante es relegado a un papel de oyente sin la posibilidad de mayor interacción o participación activa en su proceso de formación. (Elgueta et al., 2014). Además, según Carrascosa et al. (2018), este enfoque tradicional limita la capacidad crítica y creativa de los estudiantes, impidiendo su plena participación en el proceso de aprendizaje.

El Ministerio de Educación Pública [MEP], 2015 enfatiza en la importancia de la transformación curricular en donde el estudiante se pone como centro de las actividades educativas tomando un rol de constructor de su proceso de aprendizaje, mediante un ambiente reflexivo, dinámico y crítico. Según el cuarto informe del (Programa del Estado de la Nación [PEN], 2013) se debe dar relevancia al aprendizaje por medio de la indagación donde los jóvenes y adultos sean los protagonistas del proceso enseñanza-aprendizaje, para esto el docente debe propiciar metodologías en donde los estudiantes sean críticos, autónomos y desarrollen competencias científicas.

No obstante, en la actualidad, Costa Rica presenta problemas ligados a infraestructura según el octavo informe del estado de la educación del PEN (2021) donde se refleja un déficit crónico en referente a la infraestructura clave para el desarrollo de la actividad experimental, lo que limita las posibilidades de contar con ambientes donde se propicien las actividades experimentales. Este tipo de falencias de infraestructura y apoyo económico compromete la creación de espacios experimentales como laboratorios de ciencias con todos sus recursos (Capuya et al., 2023).

Ante esta problemática y la necesidad de buscar estrategias que apoyen el desarrollo de las actividades experimentales se han buscado recursos para apoyar a los sistemas educativos desde las tecnologías de la información y comunicación, para esto se utilizó un nuevo modelo didáctico llamado el modelo del Laboratorio Extendido (LE) que se basa en un ecosistema que funciona de forma sinérgica al integrar recursos, herramientas y estrategias que permiten el desarrollo de la actividad experimental mediada en interfases físicas y digitales. (Idoyaga, 2023)

Dentro del LE figuran como uno de los recursos más potentes los Laboratorios Remotos (LR), que brindan la flexibilidad de romper la barrera espacio-tiempo, es decir, el estudiante puede desarrollarlo desde cualquier lugar y en el horario que mejor le convenga, lo que convierte al LR en una estrategia que fortalece el proceso enseñanza-aprendizaje en asignaturas como la física.

Sin embargo, se deben establecer estrategias con una finalidad óptima para la mediación pedagógica y para el proceso enseñanza-aprendizaje, por ende, en esta investigación se tiene como objetivo implementar una unidad didáctica en la modalidad de educación para Centro Integral para Adultos (CINDEA), esta tiene como eje central el tema de caída libre, y pretende propiciar la actividad experimental basándose en el modelo del laboratorio extendido con el uso del laboratorio ultra concurrente (LU).

Referentes Teóricos

Descripción del Centro Integrado de Educación para Adultos.

Los Centros Integrados de Educación para Adultos (CINDEA) son instituciones del sistema educativo costarricense que logran atender las necesidades que presenta la población estudiantil de jóvenes y adultos en el ámbito educativo, abordándolo por medio de sus sedes y satélites. (MEP, 2023)

Los CINDEAS desarrollan el plan de estudios de educación para adultos aprobado por CSE en el siguiente acuerdo:

Nº 33-39, en la sesión Nº 9 del 29 de abril del 1993, la comisión planes y programas del CSE, acuerda ajustar los contenidos de los módulos al Currículo Nacional, y la actualización del Plan de Estudios de Educación de Adultos aprobada en el acuerdo del CSE 10-23-13, del 7 de noviembre del 2013 y modificaciones posteriores hasta la fecha. (MEP, 2023, p. 8)

Este tipo de plan de estudios destaca por la flexibilidad que presenta para el desarrollo del proceso enseñanza-aprendizaje en la población estudiantil de jóvenes y adultos, ya que logra tomar en cuenta los intereses y ritmos de aprendizajes, por medio de tres áreas que son de vital importancia entre ellas: académica, socio-productiva y de desarrollo personal (MEP, 2023). Estas áreas se encuentran conformadas por módulos y por un número de créditos. Los módulos se definen de la siguiente manera:

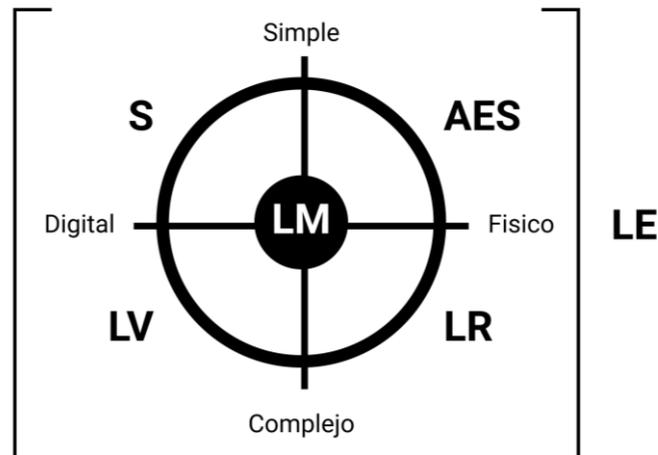
Es la unidad de organización curricular autónoma y flexible, orienta situaciones de aprendizaje activas y participativas surgidas de la experiencia o vivencia cotidiana de la persona joven y adulta. Cada módulo se organiza en períodos y se aprueban en forma independiente, es decir, no es requisito uno de otro para avanzar, según decreto Nº 40862 reglamento de evaluación de los aprendizajes, artículo 64. (MEP, 2023, p. 9)

Además, los CINDEAS presentan una mediación andragógica, estos les ofrecen a los estudiantes que no pueden asistir a clases de manera presencial por causas de fuerza mayor hacerlo por medio de tutorías, estas permiten que el estudiante realice el proceso enseñanza-aprendizaje a su ritmo, también se utilizan las actividades experimentales para fortalecer las tutorías.

El Modelo del Laboratorio Extendido (LE)

Según Idoyaga, (2023) el LE constituye una recopilación de principios de diseño educativo que tiene como objetivo reintegrar el aspecto experimental en entornos mediados tecnológicamente. En este tipo de laboratorios se utilizan técnicas, recursos y estrategias para ofrecer una experiencia innovadora en la implementación de secuencias de enseñanza aprendizaje basándose en la importancia de proporcionar una contextualización narrativa, y la incorporación de diferentes formas de evaluación.

El modelo del LE presenta una interfaz que permite comprender la aplicación pedagógica y sistémica de herramientas y metodologías para facilitar los esfuerzos experimentales en entornos educativos digitales (Idoyaga, 2020). El LE se considera como un híbrido experimental que busca generar aprendizajes de procedimientos, actitudes y conceptos, estos Laboratorios Extendidos incluyen: Actividades Experimentales Simples (AES) o Laboratorios Caseros, Simulaciones (S), uso de teléfonos inteligentes o Laboratorios Móviles (LM), Laboratorios Virtuales (LV) y Laboratorios Remotos (LR) y otras tecnologías emergentes como la Realidad Aumentada (RA) o la inteligencia Artificial (IA). A continuación, se presenta la figura del modelo del laboratorio extendido:

Figura 1 Modelo del laboratorio extendido

Nota: La imagen muestra los principales componentes del modelo LE, manteniendo la conexión el mundo físico o digital, y el nivel de sofisticación de las prácticas. Tomado de *El laboratorio extendido: nuevas perspectivas para el diseño de la enseñanza de las ciencias naturales en contextos digitales* (p. 49), por I.J. Idoyaga, 2023, Revista Innovaciones Educativas.

Laboratorios Remotos

Los Laboratorios Remoto (LR) según Arguedas y Concari (2015) se tratan de un recurso educativo que involucra un desarrollo de *software* y *hardware* alojado en un entorno educativo digital que permite a los estudiantes realizar experimentos reales a distancia, donde los usuarios pueden interactuar con dispositivos físicos a través de Internet. Los LR presentan las siguientes ventajas (Arguedas y Concari, 2015):

- Accesibilidad, ya que permite a estudiantes de diversas ubicaciones acceder a equipos y experimentos que no pueden estar disponibles en las instituciones locales.
- Flexibilidad, dado que los estudiantes pueden realizar experimentos en cualquier momento y desde cualquier lugar, lo que facilita la conciliación con otros compromisos.
- Interactividad, porque fomenta un aprendizaje activo, permitiendo a los estudiantes interactuar con el equipo y los datos en tiempos real.
- Recursos compartidos, permite que varios estudiantes puedan acceder a un mismo LR, optimizando de equipos costosos y limitados.
- Mejora de la experiencia de aprendizaje, ya que, al realizar experimentos prácticos, los estudiantes pueden entender mejor los conceptos teóricos y aplicarlos en situaciones reales.

Laboratorio Ultra Concurrente

Como se ha explicado los LR son recursos educativos que permiten la interacción de los usuarios con equipos de laboratorio reales. Otro aspecto importante es su clasificación en LR en tiempo real (LRT), donde el usuario manipula equipos en tiempo real visualizando los fenómenos experimentales a través de una cámara web. Este tipo de LR es apropiado para diseños experimentales donde median condiciones reversibles, sin embargo, posee la limitación de que solo puede ser operado por un usuario a la vez (Arguedas et al., 2022). Por otro lado, existen los LR ultraconcurrentes (LU), donde se tienen equipos reales con la diferencia de que el experimento ocurrió en diferido manteniendo grabaciones de las experiencias (aleatorias y de varias réplicas) que a través del desarrollo software permite al usuario replicar esta experiencia. Como ventajas que se han logrado

documentar de este tipo de LR se encuentra el poder mantener el error aleatorio de las mediciones y la facilidad de usos simultáneos y masivos. En contra parte a los LTR, los LU no requieren de un mantenimiento preventivo o correctivo lo que garantiza el trabajo ininterrumpido de estos (Lizano et al., 2024).

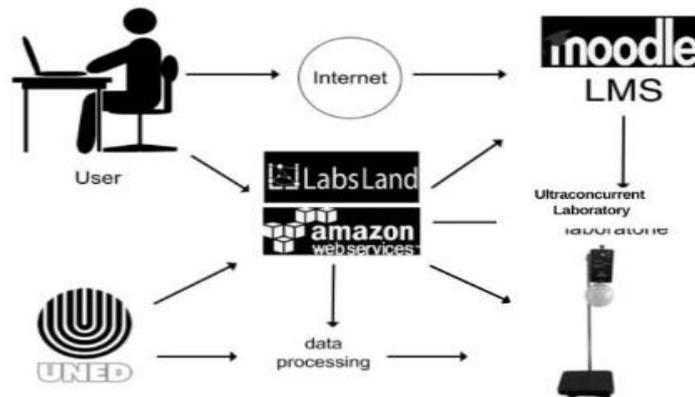
Las secuencias didácticas con este tipo de laboratorios brindan la oportunidad de que los estudiantes sean autónomos en el desarrollo del trabajo experimental, también tienen la ventaja de controlar varios parámetros y la facilidad de repetir la experiencia en múltiples ocasiones y desde varios dispositivos electrónicos (*Smartphone*, Tableta o Computadora) (Idoyaga et al., 2020).

Como partes de los LU, el desarrollo de caída libre permite describir la arquitectura de este tipo de desarrollo se presenta a continuación Arias, (2024):

- Servidor Web: encargado de mostrar el audio/video del laboratorio, las acciones que se pueden realizar en el laboratorio y los resultados de estas acciones.
- Sistema de gestión de Laboratorio Remoto: permite compartir los diferentes laboratorios, brinda análisis de uso y proporciona diversos soportes educativos, en este caso se gestiona a través de LabsLand.
- Laboratorio: equipo que se controla o manipula de forma remota

Sin embargo, en la Figura 2 se puede observar el LUC:

Figura 2 Arquitectura del LUC



Nota: Imagen que describe detalladamente la arquitectura del LU de Caída Libre. Tomado de *Estudio de un Laboratorio Ultraconcurrente de Caída Libre en la Universidad* (p. 5), por E. Arias, 2024. Revista de Ingeniería Biomédica.

Laboratorio Ultra Concurrente de Caída Libre (LUC)

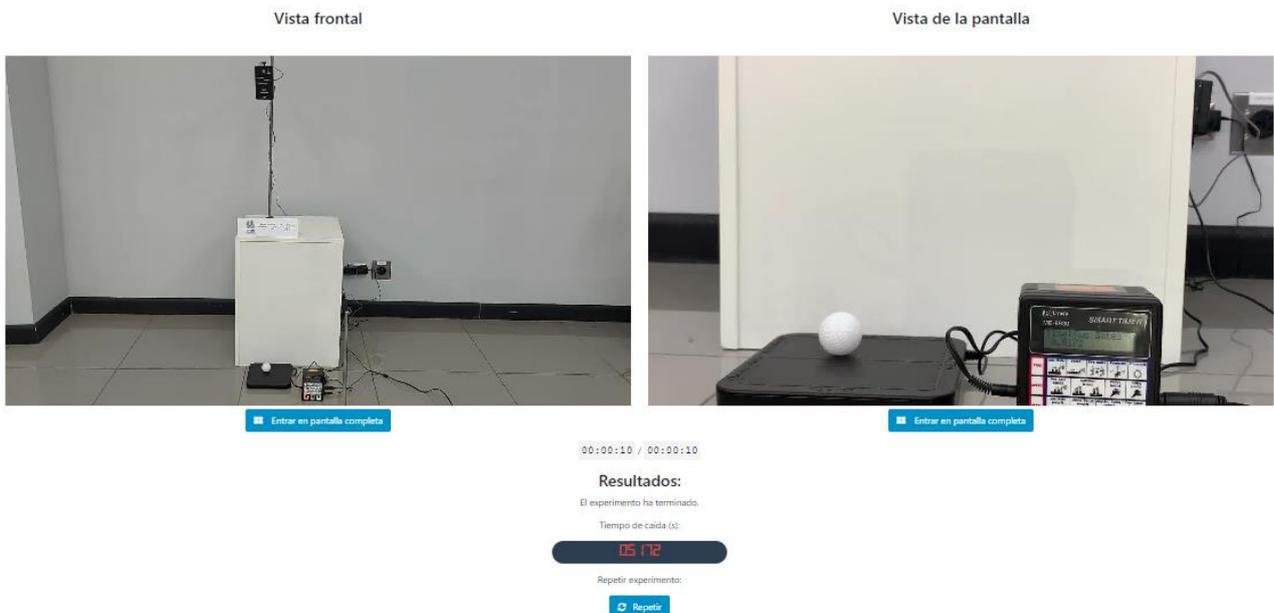
El LUC se encuentra diseñado por el equipo del Laboratorio de Experimentación Remota de la Universidad Estatal a Distancia (UNED) en conjunto con la empresa LabsLand, estos fueron los encargados del desarrollo del software de aplicación necesario para el uso del LU de caída libre.

En la plataforma Labsland se accede para el desarrollo del LUC, primeramente, se debe armar el sistema donde se utilizan esferas rellenas, huecas y de colores, así como también variar la altura utilizando tres valores diferentes como se muestra a continuación (Figura 3):

Figura 1 Esferas y alturas del LU de caída libre

Nota: La imagen describe el modo de configuración del LUC para seleccionar el objeto y altura en la plataforma de Labsland. Tomado de *Laboratorio de Caída Libre* en la plataforma de Labsland, 2024.

Para determinar el tiempo y observar cómo se comportan las esferas en caída libre se puede observar la Figura 4

Figura 4 Vistas del movimiento de Caída Libre

Nota: En la imagen se evidencia la caída de la esfera a través de dos vistas, una frontal y otra de la pantalla completa usado en el LUC. Tomado de *Laboratorio de Caída Libre* en la plataforma de Labsland, 2024.

Este tipo de laboratorios pretenden potenciar en los estudiantes destrezas y habilidades científicas, análisis y pensamiento crítico en el desarrollo de actividades experimentales, con el fin de fortalecer la enseñanza de la física en el tema de caída libre Arias, (2024).

Metodología

Esta investigación se llevó a cabo por medio de un diseño cuasiexperimental, que de acuerdo con Montero y León (2002) busca comprobar una hipótesis de relación causal, por medio de intervenciones como la del tipo pretest y posttest para ser empleado en un solo grupo y el mismo es considerado como un grupo de cuasi control.

Para este diseño, las intervenciones de tipo series temporales al ser conformadas por un grupo cuasi control permite que la variable dependiente se mida antes y después de la intervención en varios intervalos, y el impacto del tratamiento se evalúa en función de la varianza entre las medidas del grupo antes y después de la intervención Buendía, (1998)

Por otra parte, el desarrollo de la unidad didáctica está basada en la metodología de la indagación, misma que se adaptó al diseño del modelo del LE para cumplir con el contexto educativo de la región. Para conocer la efectividad de la implementación de la unidad didáctica se utilizó una prueba en formato pretest y posttest esta busca medir una evaluación de conocimientos sobre la dinámica del movimiento en caída libre, y el comportamiento de objetos lanzados verticalmente bajo la influencia de la gravedad, considerando una aceleración constante y despreciando la fricción del aire, la prueba contiene siete ítems por medio de selección simple, donde se plantea un contexto físico específico de cada pregunta, y el estudiante debe seleccionar la opción correcta entre cuatro alternativas (a,b,c y d). Entre los temas evaluados se encuentra la aceleración de la gravedad, el cálculo de la altura máxima alcanzada por un objeto lanzado hacia arriba, la velocidad de un objeto lanzado hacia abajo desde cierta altura, y el análisis de las condiciones en el punto de altura máxima, como la velocidad y aceleración en ese instante.

Además, por medio de la prueba en formato pretest y posttest se permitió realizar el análisis de los datos recolectados por medio de los diferentes modelos de estadística descriptiva y paramétrica, ganancia conceptual y la concentración de aprendizaje. A continuación, se detalla la metodología empleada:

Contexto y población

Esta investigación se desarrolló en el módulo aplicaciones de la física en el CINDEA de Tilarán, situado en la provincia de Guanacaste, Costa Rica, durante el primer período del curso lectivo 2023 durante los meses de marzo hasta mayo y contó con la participación de 10 estudiantes de undécimo nivel, con un rango de edad que va desde los 17 a los 45 años donde 7 son mujeres y 3 son hombres.

Propuesta de la unidad didáctica de caída libre

La unidad didáctica que se implementó para abordar el tema de caída libre, en estudiantes de undécimo del CINDEA de Tilarán, presentó una estructura basada en la metodología por medio de la indagación. Además, la unidad se dividió en las siguientes fases que se presentan en la Figura 5:

Figura 5 Esquemas de fases del desarrollo de la unidad didáctica



Nota: Descripción gráfica de las fases de investigación desarrolladas con la unidad didáctica en el CINDEA de Tilarán. Tomado por elaboración propia, 2024.

En la Figura 5 se muestra las fases del desarrollo de la unidad didáctica, primeramente, se realizaron preguntas para indagar lo que los estudiantes conocían respecto al tema de caída libre en la pizarra se anotan todos los conceptos que mencionan, seguidamente la docente en conjunto con los estudiantes construyeron un solo concepto sobre la caída libre. Además, se procede a realizar la parte de exploración que es donde el docente plantea un ejercicio diagnóstico sobre el tema estudiado y los estudiantes deben resolverlo.

Así mismo, los alumnos en la fase de desarrollo logran adquirir los conceptos físicos de caída libre por medio de la explicación del docente, para lo anterior realizan un laboratorio físico y uno remoto en parejas, en el primero los estudiantes utilizan una cinta métrica y adhesiva, una bola pequeña y un cronometro, con tres diferentes alturas, posteriormente se procede a determinar el tiempo de vuelo de la bola y por último se calcula la velocidad final por medio de las ecuaciones de cinemática del movimiento rectilíneo acelerado vertical (caída libre), seguidamente se procede a realizar el laboratorio remoto utilizando un smartphone con acceso a Internet, para lo anterior la docente procede a compartir el link, estos se registran y logran acceder al LUC, y logran elegir una de la esferas que presentan diferentes tamaños y se utilizan tres alturas distintas para determinar el tiempo de vuelo de la esfera, posteriormente se calcula la velocidad final desde la misma manera que en el laboratorio físico.

Por último, la docente les proporciona a los estudiantes ejercicios prácticos de refuerzo sobre el movimiento rectilíneo acelerado vertical, cuando los estudiantes terminan la docente procede a revisar y dar su retroalimentación.

Análisis de datos

El análisis de datos se trabajó por medio de metodologías activas para la enseñanza de la física. Se consideró la prueba estadística conocida como prueba t de la familia paramétrica, donde se dan escenarios en los que la variable dependiente se cuantifica mediante escalas de intervalo o proporción, y cuando se examinan múltiples poblaciones que muestran homogeneidad en la varianza (Ortiz, 2004). También tratan de desviaciones con normalidad en sus muestras, lo que indica, que la distribución tiene procedimientos en modelos poblacionales normales. Estos tipos de métodos contribuyen en la prueba de hipótesis.

La hipótesis estadística puede ser simple o compuesta, se considera simple cuando se caracteriza completamente a la distribución de la variable aleatoria y en caso contrario se denomina compuesta. Es decir, para este caso se utilizó una hipótesis compuesta, no obstante, para poder probar una proposición se establece primeramente a la hipótesis el parámetro de un grado de confianza del 95% lo que equivale a un $\alpha = 0.05$ de significancia, posteriormente se establece una hipótesis nula y alternativa, en la que se acepta la hipótesis nula si $p > \alpha$ y se rechaza si $p < \alpha$ en este caso se utiliza la hipótesis alternativa, lo que infiere una mejoría al finalizar el producto de la investigación.

Para este proceso investigativo, se consideró la hipótesis nula y alternativa de la siguiente forma:

H_0 = Los resultados del postest no son mayores a los del pretest

H_a = Los resultados del postest son mayores a los del pretest.

En la hipótesis alternativa las varianzas son desiguales, y se considera que es de dos colas o bilateral, cuando los resultados del producto son diferentes en el pretest y postest. (Moraguez-Iglesias, 2017)

Por otra parte, se dispuso el factor de ganancia de Hake, este permitió conocer si hubo una mejora en el tratamiento de la propuesta, cuantificándolo por medio de un criterio establecido por intervalo de valores de $[0,1]$ la cual se obtiene de la siguiente manera:

$$\Rightarrow g = \frac{\%posprueba - \%preprueba}{100 - \%preprueba} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Por otra parte, la ganancia de normalizada presenta la siguiente estructura:

$$g^{\text{normalizada}} = \frac{\theta_{\text{posterior}} - \theta_{\text{previo}}}{1 - \theta_{\text{previo}}} \quad (\text{Ecuación 2})$$

Con un parámetro establecido de para θ_{previo} y $\theta_{\text{posterior}}$ como $\frac{\text{número de respuestas en el previo}}{N \cdot M}$ y $\frac{\text{número de respuestas en el posterior}}{N \cdot M}$, donde N representa el número de estudiantes y M el número de las preguntas de la prueba.

Además, Hake (1998) clasificó la ganancia a partir de tres rangos de medida de la ganancia de aprendizaje establecidos como:

Zona de ganancia alta: si el factor de Hake cumple con $g \geq 0.7$

Zona de ganancia media: si el factor de Hake cumple con $0.3 \leq g < 0.7$

Zona de ganancia baja: si el factor cumple con $g < 0.3$

Por otra parte, con el modelo estadístico de la concentración del aprendizaje de Bao & Redish (2001) permite recopilar la información del pretest y postest, por medio de la distribución de un factor normalizado cuyos valores rondan en un intervalo que va desde $[0,1]$ donde 0 representa un factor de concentración bajo y 1 para un factor máximo de respuesta.

Además, en el factor de concentración se establecieron los patrones de respuesta L, M y H que significan bajo, medio y alto que se representa con las siglas en inglés (Low, Medium, High), estas se combinan con el factor de concentración y de acuerdo a las puntuaciones que se obtuvieron, se logra establecer una medida en los niveles LL, LH, MM, LM, MH, y HH, que oscilan de acuerdo al desempeño, en los resultados obtenidos en el pretest y postest. En la tabla 1 se categorizan los niveles de respuesta en función de un estilo y sus implicaciones.

Tabla 1 Combinación de la concentración y la puntuación para establecer los modelos del factor de concentración

Estilo	Nivel	Implicaciones de la puntuación y la concentración
Un modelo	HH	Un modelo correcto
	LH	Un dominante modelo incorrecto
Dos modelos	MM	Dos modelos populares, uno correcto y otro incorrecto.
	LM	Dos posibles modelos incorrectos.
Sin modelo	LL	Situación aleatoria

Nota: Distribución de patrones e implicaciones del factor de concentración de Bao & Redish. Tomado de *Uso de simulaciones en la enseñanza de conceptos generales de electricidad y magnetismo en estudiantes de ingeniería*, por D. Becerra, 2018. Tesis de Doctorado en CICATA, IPN. México.

También es importante considerar que para obtener los niveles descritos en la Tabla 1, se debió cuantificar en el rango de valores establecidos de [0-1] el promedio de los porcentajes de respuestas correctas en cada pregunta, para esto se considera que el factor de concentración es $C=1$ se dice entonces que la respuesta elegida por lo estudiantes es la misma, y que si $C=0$ se obtiene una respuesta al azar. En la Tabla 2, se puede evidenciar la escala de cada nivel, por lo que con esta codificación se obtiene el modelo que se analizara.

Tabla 2 Codificación de escala en la puntuación y la concentración para establecer el nivel patrón de respuesta

Puntuación	Factor de concentración	Nivel
$0 \leq 0.4$	$0 < 0.2$	L
$0.4 < 0.7$	$0.2 < 0.5$	M
$0.7 - 1$	$0.5 - 1$	H

Nota: Clasificación cuantitativa para el modelo del factor de concentración según nivel de patrón para sistematizar implicaciones. Tomado de *Análisis de concentración: una evaluación cuantitativa de los estados de los estudiantes*, por L. Bao y E. Redish, 2001, Revista Americana de Física.

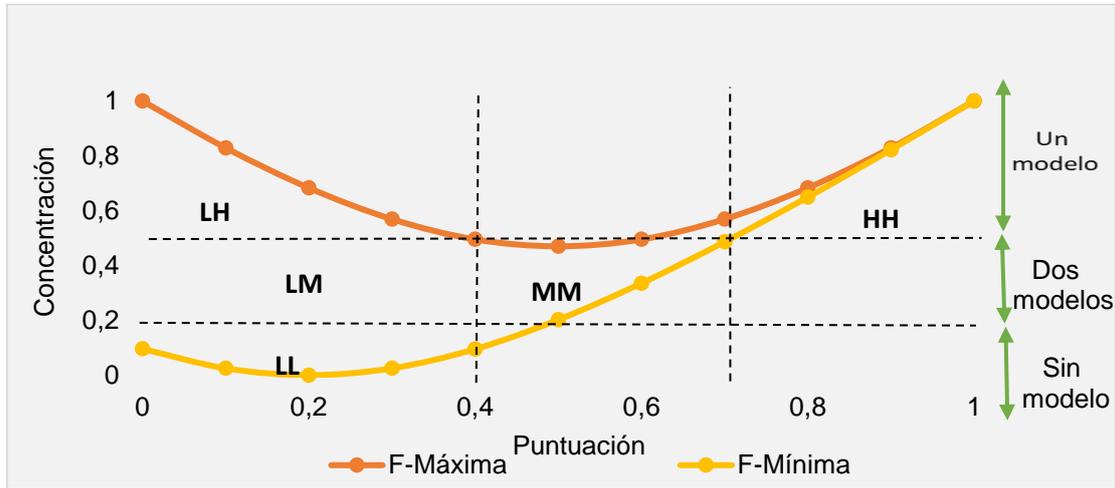
Además, se debe tomar en cuenta que, para obtener el factor de concentración como función de la puntuación de aciertos a una respuesta, se determinó la siguiente ecuación matemática:

$$C(P) = \left(\frac{\sqrt{m}}{\sqrt{m}-1} \right) \left(\frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n 1(n_i)^2}}{N} - \frac{1}{\sqrt{m}} \right) \quad (\text{Ecuación 3})$$

Se tiene que m es el número de opciones en las respuestas, N es el número de estudiantes y los n_i representan el número de estudiantes que eligieron la opción i , también se debe tomar en cuenta que el número mínimo de opciones de respuesta válida para el factor de concentración es $m=2$, lo que define la restricción de $N > m$ para que no se indetermina la ecuación. (Arias, 2020)

De acuerdo a las puntuaciones obtenidas se realizó un gráfico de factor de concentración para los patrones de respuesta donde el objeto de interés estaría dentro de las curvas delimitadas por fronteras, en la Figura 6 se logra observar.

Figura 6 Regiones permitidas del factor de concentración para establecer los patrones de respuesta y el modelo implicado



Nota: La imagen presenta un gráfico de la concentración en función de la puntuación con sus zonas de modelo delimitadas por las implicaciones del factor de concentración. Tomado por elaboración propia, 2024.

RESULTADOS Y ANÁLISIS DE DATOS

Con el propósito de medir el impacto de la implementación de la propuesta didáctica del tema de caída libre, se analizaron los resultados empleando una prueba de hipótesis, la ganancia conceptual y la concentración del aprendizaje.

Tabla 3 Análisis de la prueba t aplicada a los resultados de la prueba conceptual previa y posterior en los estudiantes de undécimo del CINDEA de Tilarán.

Diferencia	Valor de t (dos colas)	Valor de p (dos colas)	GL
-34.2	2.10	0.003	18

Nota: Resultados obtenidos a partir de la prueba t con los estudiantes del CINDEA de Tilarán. Tomado por elaboración propia, 2024.

En la Tabla 3, se muestra un valor de $p = 0.003$ donde se puede observar que $p < \alpha$ lo que indica que la prueba de hipótesis nula (H_0) se rechaza ya que los resultados del postest son mayores que los resultados obtenidos del pretest, esto permite establecer como válida la hipótesis alternativa (H_a), indicando una diferencia estadística que representa que al aplicarse la unidad didáctica de caída libre con los estudiantes de undécimo del CINDEA de Tilarán se obtuvieron resultados efectivos para lograr potenciar el proceso enseñanza-aprendizaje mediante recursos tecnológicos como el LUC.

Por otra parte, en la Tabla 4 se muestran los resultados del factor de ganancia obtenido en las pruebas que se aplicaron en dos momentos pretest antes de implementar la propuesta didáctica y postest luego de desarrollar la unidad didáctica.

Tabla 4 Ganancia de Hake aplicada a toda la muestra con la prueba conceptual previa y posterior.

Nota promedio de prueba conceptual previa	Nota promedio de prueba conceptual posterior	Factor de Hake	Factor de Hake normalizado
32.9	67.1	0.510	0.507

Nota: Resultados obtenidos a partir del factor de ganancia conceptual de Hake con los estudiantes del CINDEA de Tilarán. Tomado por elaboración propia, 2024.

De acuerdo a los resultados obtenidos se puede observar como el factor de Hake estándar presenta un valor de 0.510 y el factor de Hake normalizado presenta un valor de 0.507, ambos encontrándose en una ganancia media pero muy cercano al límite de la zona alta, ya que según Dellwo (2010) a pesar de que no se encuentra dentro de la zona de ganancia alta se considera efectiva la unidad didáctica de caída libre ya que del pretest al postest se logra medir la probabilidad de un error en el pretest que se corregirá al aplicar la propuesta didáctica, dado que, los estudiantes en el postest presentan una mejor comprensión de los conceptos físicos de caída libre.

Con respecto al factor de concentración de Bao & Redish (2001) se realiza una evaluación sobre la comprensión de los contenidos teóricos y prácticos de caída libre en el proceso enseñanza-aprendizaje. En la tabla 5 se presentan los resultados obtenidos al implementar la unidad didáctica de caída libre.

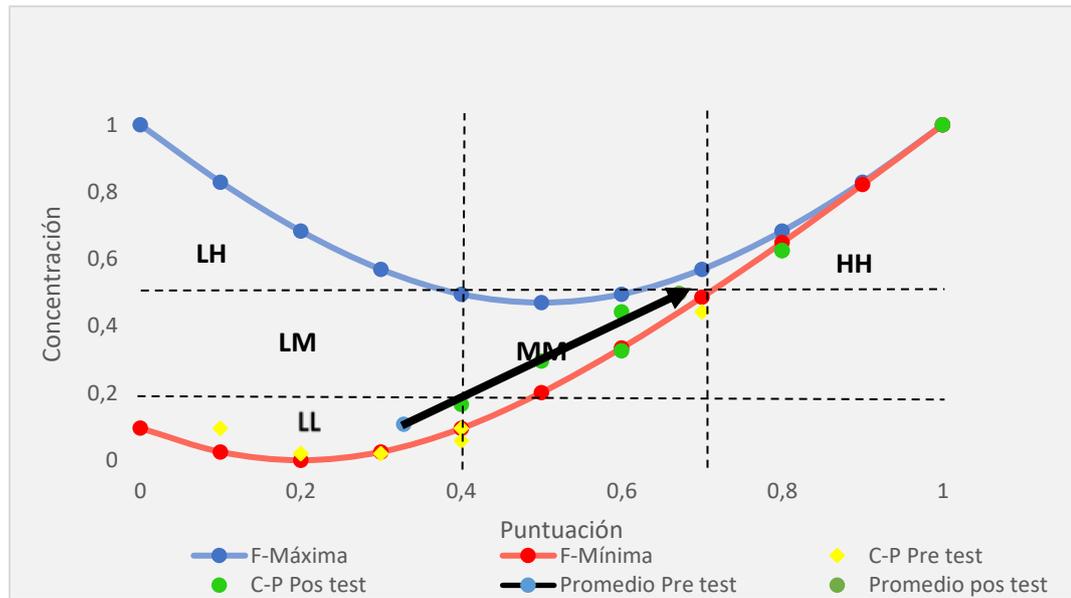
Tabla 5 Resultados del cambio en el modelo del factor de concentración después de aplicar la propuesta didáctica.

Número de pregunta.	Nivel de prueba conceptual previa	Nivel de prueba conceptual posterior	Cambio
1	LM	HH	Excelente
2	LL	HH	Excelente
3	LL	MM	Adecuado
4	LL	MM	Adecuado
5	LL	LL	Igual en bajo
6	LL	MM	Adecuado
7	LL	HH	Excelente

Nota: Resultados comparativos del pretest-postest obtenidos con el factor de concentración en los estudiantes del CINDEA de Tilarán. Tomado por elaboración propia, 2024.

Además, en la Tabla 5 se presentan resultados de todo el grupo, en el pretest se presentó una mayor concentración sobre una zona sin modelo o respuesta con un patrón (LL) que representa un 85.7% de la muestra general. Además, se identificó otro patrón de menor tamaño (LM) representando un 14.3% el cual se relaciona con dos modelos de respuesta incorrecta. Asimismo, se obtuvo una tendencia significativa después del tratamiento de la propuesta didáctica ya que en el postest se pasó a una zona de dos modelos con un patrón (MM) representando un 42.8%, que establece un acierto hacia una respuesta correcta o incorrecta, y otra parte se desplazó hacia una zona de un modelo correcto con un patrón (HH) que representa un 42.8% de la muestra general lo que significa haber respondido correctamente.

Figura 7 Resultados generales del factor de concentración en función de la concentración para los estudiantes de undécimo del CINDEA de Tilarán al aplicar la prueba conceptual previa y posterior.



Nota: La imagen describe el vector con el diferencial semántico de los resultados obtenidos con los estudiantes del CINDEA de Tilarán para el factor de concentración. Tomado por elaboración propia, 2024.

En la Figura 7 se observa un impacto del pretest al postest ya que se presenta un desplazamiento de los puntos amarillos que representa las respuestas de concentración y puntuación del pretest de una zona sin modelo, mientras que para el postest los puntos verdes se agrupan en la zona de un modelo, con esto el vector representa una norma creciente de una zona sin modelo o aleatoria, al límite de una zona con un solo modelo o respuesta correcta, de esto se infiere que existe un diferencial semántico significativo en concentración según Bao & Redish (2001). La implementación de la unidad didáctica de caída libre evidencia que los estudiantes mejoraron su razonamiento y comprensión sobre los conceptos tratados. Esto indica que, tras desarrollar la unidad, enfrentaron menos dificultades en los contenidos de caída libre, lo que puede reflejar una mayor capacidad para abordar los temas relacionados de manera efectiva.

Por otra parte, la retroalimentación proporcionada por los estudiantes sugiere que en general el material didáctico fue bien recibido y cumplió con las expectativas de la investigación. Sin embargo, es crucial abordar las inquietudes expresadas respecto al manejo del tiempo y uso de las herramientas tecnológicas. Esto refleja la importancia de adaptar las metodologías y recursos a las necesidades. En particular los estudiantes recomiendan dedicar más tiempo al desarrollo de la unidad didáctica, ya que sugieren que la duración actual podría estar limitando la capacidad de los estudiantes para simular los conceptos de manera profunda. Implementar sesiones adicionales o extender el tiempo de ciertas actividades podría contribuir a un aprendizaje

Consideraciones finales

El tratamiento de la propuesta didáctica facilitó una comprensión más profunda de los conceptos de caída libre entre los estudiantes de undécimo año del CINDEA de Tilarán. Los resultados obtenidos mediante los pretest y postest revelaron estadísticas significativas; específicamente, la prueba de hipótesis permitió rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alternativa.

Además, el factor de Hake presentó un valor de 0.510, situándose en la zona de ganancia media, aunque con una tendencia cercana al límite superior de esta categoría. Esto indica una mejora conceptual que contribuyó positivamente al proceso de enseñanza-aprendizaje. Por otro lado, el factor de concentración mostró un cambio significativo, pasando de una zona sin modelo, con un patrón (LL) del 85.7%, al límite de una zona con un único modelo correcto, representado por un patrón del 42.8%, así como a una zona de dos modelos con un patrón (MM) también del 42.8%.

La propuesta didáctica implementó el modelo del Laboratorio Extendido, un recurso híbrido e innovador que permitió la práctica a través de una interfaz del LU de caída libre. Esta metodología en la enseñanza de la física favoreció el desarrollo de destrezas y habilidades científicas en los estudiantes de undécimo año del CINDEA de Tilarán, mejorando notablemente su comprensión de los contenidos relacionados con el tópico de caída libre.

Además, la implementación del LE sugiere que esta metodología podría adaptarse a otros tópicos en física, ampliando su impacto, en futuras investigaciones se podrían explorar el uso de tecnologías más avanzadas como la RA y la IA para enriquecer estas experiencias de aprendizaje. Además, un estudio longitudinal ayudaría a evaluar la transferencia del conocimiento adquirido hacia otros contextos y su sostenibilidad a largo plazo. Finalmente, ampliar el diseño de estas unidades didácticas a otras instituciones permitiría validar su efectividad en diferentes entornos educativos, ampliando su alcance y contribuyendo al desarrollo de nuevas líneas de trabajo en la enseñanza de la física.

Agradecimientos

A los estudiantes del CINDEA de Tilarán por participar en este estudio.

Referencias bibliográficas

- Arguedas, C & Concari, S. (2015). Hacia un estado del arte de los laboratorios remotos en la enseñanza de la física. *Revista de enseñanza de la física*, 27, 133-139. <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/revistaEF/article/view/12596/12872>
- Arguedas-Matarrita, C., Montero-Miranda, E., Vargas, L., Sánchez, R., Ríos, E., Orduña, P., Rodríguez, L. (2022). Diseño y Desarrollo de un Laboratorio Ultra Laboratorio Concurrente para el Estudio de una Valoración Ácido-Base (ABT) en la Universidad Estatal a Distancia (UNED), Costa Rica. *Actas de la 18ª Conferencia sobre Ingeniería Remota e Instrumentación Virtual*. Springer 298. En M. E. Auer, K. R. Bhimavaram, & X.-G. Yue (Eds.), *Online Engineering and Society 4.0*, 122-130. https://doi.org/10.1007/978-3-030-82529-4_13
- Arias, E., Moya, C., Lizano-Sánchez, F., Arguedas-Matarrita, C., Mora, C., & Idoyaga, I. (2024). Estudio de caída libre utilizando un Laboratorio Ultra Concurrente en la universidad. *Revista internacional de ingeniería biomédica*, 20(2), 4-15. <https://online-journals.org/index.php/i-joe/article/view/43099/14569>
- Arias, E. (2020). *Diseño de propuesta didáctica experimental en la Enseñanza de la Física aplicada al tema de Electricidad para estudiantes de Undécimo año del Colegio Científico Costarricense de San*

- Ramón. [Tesis de Licenciatura]. Universidad de Costa Rica. <https://www.kerwa.ucr.ac.cr/bitstream/handle/10669/86786/TFG%20Eduardo%20Arias%20Navarro.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Bao, L., & Redish, E. F. (2001). Concentration analysis: A quantitative assessment of student states. *American Journal of Physics*, 69(S1), S45–S53. <https://doi.org/10.1119/1.1371253>
- Becerra, D. (2018). *Uso de simulaciones en la enseñanza de conceptos generales de electricidad y magnetismo en estudiantes de ingeniería*. [Tesis de doctorado]. Instituto Politécnico Nacional. <https://www.fised-cicata.com/tesisdoctorado.html>
- Buendía, L. (1998). *Research methods in psychopedagogy*. McGraw-Hill. https://www.icmujeres.gob.mx/wpcontent/uploads/2020/05/LEONOR-Metodos-de-investigacion-en-psicopedagogia-medilibros.com_.pdf
- Capuya, F., Montero-Miranda, E., Arguedas-Matarrita, C., & Idoyaga, I. (2023). Laboratorios Remotos: Un recurso para el aprendizaje de la temática de gases en cursos universitarios masivos en Argentina durante la pandemia de la COVID. *Revista Innovaciones Educativas*, 25(38), 246-259. <https://doi.org/10.22458/ie.v25i38.4121>
- Carrascosa, A., López, L., & Martínez, J. (2018). La educación activa en el aula de ciencias. *Revista de Educación en Ciencias*, 12(3), 45-48. <https://revistas.udea.edu.co/index.php/educacionenlasciencias/article/view/330467>
- Elgueta, C., & Palma, E. (2014). Una propuesta de clasificación de la clase magistral impartida en la facultad de derecho. *Revista chilena de derecho*, 41(3), 907-924. https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34372014000300006
- Dellwo, D. (2010). Course assessment using multi-stage pre/post testing and the components of normalized change. *Journal of the Scholarship of Teaching and Learning*, 10(1), 55–67. <https://doi.org/10.14434/josotl.v10i1.1732>
- Hake, R. (1998). Participación interactiva versus métodos tradicionales: una encuesta de seis mil estudiantes sobre datos de pruebas mecánicas para cursos de introducción a la física. *American journal of physics*, 66(1), 64-74. <https://doi.org/10.1119/1.18809>
- Idoyaga, I. (2023). El laboratorio extendido: nuevas perspectivas para el diseño de la enseñanza de las ciencias naturales en contextos digitales. *Revista innovaciones educativas*, 25, 45-59. <https://revistas.uned.ac.cr/index.php/innovaciones/article/view/5083/7099>
- Idoyaga, I., & Lorenzo, M. (2022). La educación en ciencias naturales en la universidad intangible. Hacia una buena enseñanza remota de emergencia. *Revista de estudios y experiencias en educación*. <https://www.redalyc.org/journal/2431/243175076019/html/>
- Idoyaga, I., Moya, C., Montero-Miranda, E., Sánchez-Brenes, R., Maeyoshimoto, J., & Arguedas-Matarrita, C. (2020). *El Laboratorio Remoto de Validación Ácido-Base en un Curso de Química en la Universidad*. https://www.researchgate.net/profile/Carlos-Arguedas-Matarrita/publication/349319741_El_Laboratorio_Remoto_de_Validacion_Acido-Base_en_un_Curso_de_Quimica_en_la_Universidad/links/602a8d06299bf1cc26c9febd/El-Laboratorio-Remoto-de-Validacion-Acido-Base-en-un-Curso-de-Quimica-en-la-Universidad.pdf
- Lizano-Sánchez, F., Montero-Miranda, E., Sánchez-Brenes, R., & Arguedas-Matarrita, C. (2024). Impacto de los laboratorios remotos ultra concurrentes para el desarrollo de la actividad experimental en química. *Repertorio Científico*, 27(Especial), 50–63. <https://doi.org/10.22458/rc.v27iEspecial.5273>
- Ministerio de Educación Pública. (2015). *Fundamentación pedagógica de la transformación curricular*. <https://www.mep.go.cr/sites/default/files/documentos/transf-curricular-v-academico-vf.pdf>

- Ministerio de Educación Pública. (2023). *Directrices y lineamientos para las modalidades de educación de personas jóvenes y adultas*. https://ddc.mep.go.cr/sites/all/files/ddc_mep_go_cr/adjuntos/directrices_y_lineamientos_para_los centros_integrados_de_educacion_de_adultos_cindea.pdf
- Montero, I., León, O. (2002). Clasificación y descripción de las metodologías de investigación en Psicología. *Revista Internacional de Psicología Clínica y de la Salud*2(3), 503-508. https://www.aepc.es/ijchp/articulos_pdf/ijchp-53.pdf
- Moraguez-Iglesias, A., Espinosa-Torres, M., & Morales-Peralta, L. (2017). La prueba de hipótesis Kolmogorov-Smirnov para dos muestras grandes con una cola. *Luz*, 16(3), 77-89. <https://www.redalyc.org/pdf/5891/589166504009.pdf>
- Ortiz, F. (2004). *Diccionario de metodología de la investigación científica*. Editorial Limusa S.A. https://www.google.co.cr/books/edition/Diccionario_de_metodologia_de_la_investigacion_cientifica/3G1fB5m3eGcC?hl=es-419&gbpv=1&dq=estadistica+parametrica&pg=PA60&printsec=frontcover
- Programa Estado de la Nación. (2013). *Estado de la educación (No 4)*. <https://repositorio.conare.ac.cr/handle/20.500.12337/955>
- Programa Estado de la Nación. (2021). *Estado de la educación (No 8)*. <https://repositorio.conare.ac.cr/handle/20.500.12337/8152>