

Enseñanza de la física a distancia: Un enfoque experimental con un Laboratorio Remoto Ultraconcurrente de Caída Libre

Eduardo Arias Navarro¹ , Carlos Arguedas-Matarrita²  & Cesar Mora³ 

1. Universidad Estatal a Distancia, San José, Costa Rica; earias@uned.ac.cr
2. Universidad Estatal a Distancia, San José, Costa Rica ; carguedas@uned.ac.cr
3. Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada, Unidad Legaria, Instituto Politécnico Nacional (México); cem136@gmail.com

Mercedes, Costa Rica; Ciudad de México, Distrito Federal, México

Recibido: 4 de marzo 2026

Aceptado: 1 Junio 2026

RESUMEN: El artículo presenta los resultados del uso de un Laboratorio remoto Ultraconcurrente (LU) de caída libre como recurso tecnológico para la enseñanza de la física bajo el contexto de la Educación a Distancia (ED). El diseño se estructuró a partir de una secuencia didáctica orientada a estudiantes de la Universidad Estatal a Distancia (UNED) de Costa Rica. La investigación adoptó un enfoque cuantitativo, por medio de una prueba conceptual utilizado como pretest y posttest, permitiendo recabar información para analizar metodologías activas como la ganancia de Hake, factor de concentración de Bao & Redish y el factor de Rasch. Los resultados evidenciaron mejoras en la comprensión conceptual y la autonomía del estudiantado con el uso del LU como herramienta pedagógica eficaz e innovadora, especialmente en instituciones bajo la modalidad de ED.

Palabras clave: Laboratorio Ultraconcurrente, educación a distancia, caída libre, física experimental.

ABSTRACT: The article presents the results of using a remote ultra-concurrent (LU) free-fall laboratory as a technological resource for teaching physics in the context of distance education (DE). The design was structured around a teaching sequence aimed at students at the State Distance University (UNED) of Costa Rica. The research adopted a quantitative approach, using a conceptual test as a pretest and posttest, allowing information to be collected to analyze active methodologies such as Hake's gain, Bao & Redish's concentration factor, and Rasch's model. The results showed improvements in conceptual understanding and student autonomy with the use of LU as an effective and innovative pedagogical tool, especially in institutions under the DE modality.

Key words: Calib Ultra-concurrent laboratory, distance learning, free Fall, experimental physics.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento tecnológico de la denominada revolución industrial 4.0 ha marcado un cambio notorio en la sociedad a través de las herramientas digitales, impactando en áreas como la educación, donde ha sido necesario implementar estrategias y metodologías acordes a estas nuevas tecnologías que buscan potenciar los procesos de enseñanza, principalmente en la Educación a Distancia (ED), un modelo caracterizado por su flexibilidad y la incursión de novedosas adaptaciones tecnológicas que promuevan el aprendizaje práctico. (Arias Navarro, 2024)

En este contexto de la ED, se originan los Laboratorios Remotos (LR) y Laboratorios Ultraconcurrentes (LU) como soluciones viables que permiten la interacción remota y simultánea de múltiples estudiantes con un experimento real, principalmente en la formación de carreras con enfoque STEM (García-Zubía, J., & Rodríguez-Gil, 2021).

De acuerdo (Ordóñez Urbano et al., 2023) estos recursos son esenciales en la formación de profesionales en ingeniería, puesto que:

“para los programas de formación en ingeniería el desarrollo de laboratorios o prácticas experimentales es fundamental para que los estudiantes puedan aplicar sus conceptos teóricos y verificar las leyes que rigen la naturaleza a través de diversos procesos de medición” (p. 305)

Los LR son “herramientas tecnológicas que integran software y hardware para configurar una experiencia real a la que se accede de manera remota a través de Internet o de redes académicas” (C. M. Arguedas & Concari, 2018. P 704)

Algunos estudios como el de (Van den Beemt et al., 2023) señalan que los LR han tenido un impacto igual o mejor que los laboratorios presenciales donde los efectos de la experimentación remota en procesos cognitivos, conductuales y afectivos tienen una correlación positiva con el aprendizaje y la participación de los estudiantes con el uso de LR.

En este artículo se presenta la implementación, autonomía y evaluación de un LU de caída libre como herramienta tecnológica para la enseñanza de la física en carreras de ingeniería en contextos de ED.

La experimentación remota: El laboratorio Ultraconcurrente de Caída Libre

Los LR son un recurso novedoso operados por equipos reales pero controlados por un servidor (véase la Fig 1) que envía las instrucciones requeridas por el estudiante para ejecutar el experimento, lo que promueve un trabajo autónomo para el usuario.

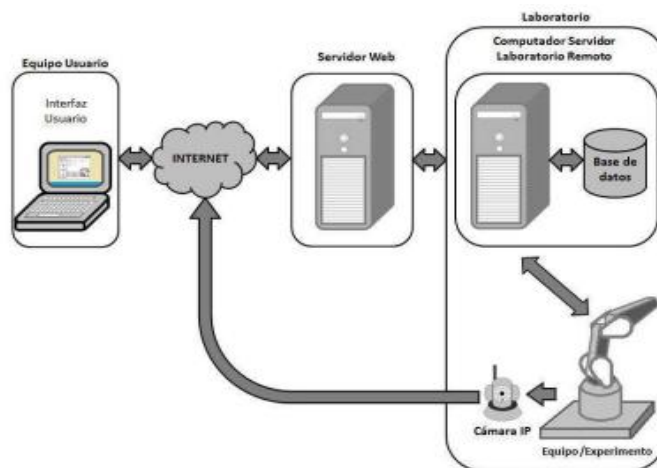


Figura 1. Arquitectura general de un LR. Fuente: (Arguedas & Concari, 2018).

Po otra parte, la modalidad de laboratorio LU es también conocida como diferida y surge como una subclasificación de los LR, dado que comparte la misma estructura de tecnología, hardware y software (Fig 2) pero con datos pregrabados desde un laboratorio real para ser llevado a los usuarios de forma masiva en forma simultánea (I. Idoyaga et al., 2020)

El desarrollo de estos laboratorios permite a los docentes implementar diseños experimentales a bajo costo y con elementos de experimentación real que pueden ser manipulados desde diferentes lugares y en cualquier momento desde plataformas de desarrollo con el apoyo de otras instituciones (Orduña, P et al, 2018)

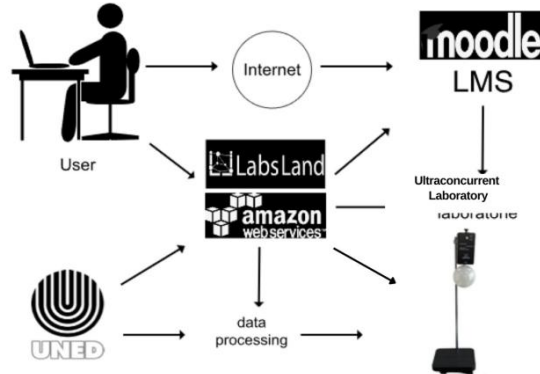


Figura 2. Arquitectura de un LU. Fuente: (Arias et al., 2024)

El LU de caída libre fue desarrollado en la UNED en colaboración de LabsLand para llevar a cabo una experiencia experimental con el tema de caída libre mediante un desarrollo LU (Figura 3).



Figura 3. Diseño de grabación del LU de caída libre. Fuente: Elaboración propia.

El laboratorio consiste según (Arias et al., 2024) en un diseño que permite realizar la siguiente situación:

...un circuito eléctrico se activa cuando un usuario presiona un interruptor eléctrico, inmediatamente un cronometro se inicia automáticamente y al mismo tiempo se suelta un objeto. Cuando el objeto golpea la plataforma de vuelo, el circuito se cierra y el cronometraje se detiene y se mide el tiempo de vuelo” (ver Figura 4).

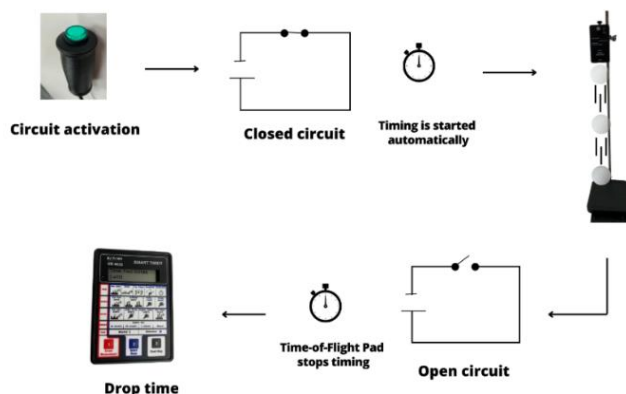


Figura 4. Esquema del LU de Caída libre. Fuente: (Arias et al., 2024)

El desarrollo de este laboratorio habilita un acceso de 20 minutos para su ejecución a través de la plataforma de LabsLand, pero su flexibilidad le permite hacer los ingresos que sean necesarios en cualquier rango horario. Su estructura se baja en tres comandos, uno introductorio con aspectos informativos, un segundo comando para configurar la altura deseada y la esfera de interés y un tercer comando con dos vistas previas que permite al usuario presenciar la experiencia de caída de los objetos, mismo que es capaz de ofrecer como variable de respuesta el tiempo del movimiento de caída libre de los objetos. (Arias et al., 2024)

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación propuesta responde a un enfoque cuantitativo de tipo cuasiexperimental, por medio de la observación y la medición del tratamiento educativo, puesto que el investigador no designa aleatoriamente a los sujetos o utiliza un grupo control sino que utiliza grupos ya conformados para observar los cambios señalados luego de implementar un tratamiento educativo (Ary et al., 2010) mediante una serie de datos y con ello validar el proceso investigativo mediante la hipótesis de investigación.

El proceso investigativo fue abordado como un experimento por ciclos, para observar el efecto a partir del tratamiento educativo, esto distinguiendo factores de impacto como “el paso del tiempo, teniendo en cuenta que el efecto de una intervención no es instantáneo, sino que puede llevar tiempo, y también que el efecto se puede desvanecer más o menos rápidamente” (Martínez, 2020. P 78).

Contexto educativo y muestra

El trabajo se desarrolló en la Universidad Estatal a Distancia (UNED) en las asignaturas de laboratorio de física de la Cátedra de Física para Ingenierías a través de la práctica de caída libre empleando el LU durante dos cuatrimestres y semestres del ciclo académico anual de la institución.

Cabe destacar que la muestra de estudio se compone de dos grupos con perfiles académicos distintos de la institución (CUADRO 1), donde la asignatura Laboratorio de Física General I (LFGI) se ubica en el bloque B del plan de estudios de la carrera de Licenciatura en Ingeniería Industrial, con oferta semestral, con correquisito de Física General I y el requisito de Cálculo I; por otra parte, la asignatura de Laboratorio de Fundamentos de Física (LFF) está enfocada a las ciencias de la vida, ubicada en el bloque C de la carrera de Bachillerato en Recursos de los Manejo Naturales, en una oferta cuatrimestral y con requisito de la asignatura de Elementos de Matemática Básica y correquisito de su respectiva teoría de Fundamentos de Física. A pesar de las diferencias señaladas en cuanto a los perfiles académicos de cada asignatura, las mismas comparten

en su diseño curricular el tópico de estudio y con ello se pudo validar la versatilidad del LU de forma como herramienta significativa para el modelo de ED de la UNED.

CUADRO 1. Características de las asignaturas.

Laboratorio de Física General I	Laboratorio de Fundamentos de Física
Abreviatura: LFGI	Abreviatura: LFF
Código: 03285	Código: 03293
Créditos: 1	Créditos: 1
Ubicación en plan de carrera: bloque B	Ubicación en plan de carrera: bloque C
Requisitos: 03355	Requisitos: 03472 / 03466
Oferta: semestral	Oferta: cuatrimestral
Énfasis: Ingeniería	Énfasis: ciencias de la vida

Fuente: Elaboración propia.

La muestra de interés se conformó por un total de (n=90) estudiantes, donde un total de (n=21) representó la matrícula de la asignatura de LFGI y (n=69) fue la muestra de la asignatura de LFF.

Instrumento: Prueba conceptual

Se utilizó una prueba de selección única con 10 ítems en formato de pretest y postest, a fin de generar una cuantificación de datos para el análisis de datos como el factor de ganancia conceptual de Hake, factor de concentración de Bao y Redish y el modelo de teoría relacionada al ítem de Rasch.

La misma se adaptó de una prueba conceptual diseñada y validada a través del trabajo doctoral de (Benítez, 2012) a partir de los tests de Force Concept Inventory FCI de Hestenes y sus colaboradores, el Force and Motion Conceptual Evaluation FMCE de Thornton y Sokoloff, y el test of Understanding Graphs-Kinematics TUG-K de Beichner. de (American Association of Physics Teachers, 2020) a fin de ilustrar el movimiento de caída de los cuerpos.

La prueba fue implementada a través de la plataforma LMS de Moodle que dispone la UNED bajo el entorno denominado Aprende U con un tiempo programado de 30 minutos y configurada para un solo intento, bajo el modo “aleatorizar preguntas y respuestas”, de forma que para que cada intento los estudiantes visualizaron diferente orden de ítems tanto en el pretest como el postest con el fin de garantizar una mayor variabilidad y nivel de confianza del instrumento al momento de ser aplicado.

Ganancia de Hake

Este método propuesto por (Hake, 1998) se conoce como el factor de ganancia conceptual y permite “hacer una comparación de la ganancia conceptual desarrollada por los estudiantes alrededor de una propuesta educativa mediante pruebas conceptuales empleadas como preprueba y posprueba” (Becerra, 2018)

La ganancia se cuantifica con un criterio establecido por el intervalo de valores [0,1] y se aplicó la prueba con una nota máxima de 10, por lo que se empleó el modelo de una ganancia conceptual de Hake normalizada, descrita en la ecuación 1.

$$g_{normalizada} = \frac{\theta_{postest} - \theta_{pretest}}{1 - \theta_{pretest}} \quad (1)$$

(Hake, 1998) cuantifica la ganancia obtenida en los resultados 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 de Hake cumple con $g < 0,3$

Factor de concentración

Este método se basa en el análisis de la concentración de respuestas esperadas en las pruebas pretes y postest con el fin de establecer los perfiles de los estudiantes (Arias, 2021)

El factor de (Bao & Redish, 2001) mide la distribución en un factor normalizado cuyos valores se extienden desde [0,1] con un 0 para un factor de concentración bajo y 1 para un máximo posible de respuesta en el factor, estableciendo patrones de respuestas que oscilarán dentro de este rango y los mismos se abreviaron según su respuesta en L, M y H en atribución a bajo, medio y alto por sus siglas en inglés, que luego se combinan en patrones que miden el desempeño de los estudiantes con los niveles LL, LH, MM, LM, MH y HH tal y como se describe en la CUADRO 2.

CUADRO 2. Jerarquía 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

Fuente: Bao & Redish, 2001

Este factor mide el rango de valores establecido de [0,1], donde se tiene un factor de concentración de C=1 cuando una respuesta elegida por los estudiantes es la misma, y si C=0 se tiene una respuesta aleatoria. Este se obtiene como una función de la puntuación de aciertos en una respuesta a través de la siguiente ecuación

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

Donde m es el número de opciones en las respuestas, N el número de estudiantes y los n_i representan el número de estudiantes que escogieron la opción i. Se define que el número mínimo de opciones de respuestas válidas para el factor de concentración como $m=2$, lo que define la restricción de $N>m$ para que no se indetermine la ecuación.

El modelo de Rasch

El modelo dicotómico de Georg Rasch permite “tomar o rechazar las hipótesis del modelo de contraste en el terreno de la tendencia evaluativa” (Tristán, 2013. P 66), buscando analizar la probabilidad de acierto en una respuesta brindada por el estudiante ante una prueba de selección múltiple a partir de un estímulo.

El modelo requiere un formalismo lógico matemático que se describe como:

$$P = p(X = 1) = \frac{e^{\alpha(\theta - \beta)}}{1 + e^{\alpha(\theta - \beta)}} \quad (3)$$

Para el parámetro θ se dice que este representa la habilidad del estudiante. Para cuantificar la probabilidad del modelo de Rasch, de acuerdo con (Baker & Kim, 2017) X se entiende como una variable aleatoria que describe los resultados de los ítems, para un caso donde $X = 1$ se dice que la respuesta es correcta, de lo contrario se dice que tiene una respuesta incorrecta cuando $X = 0$.

Por otra parte, el β se conoce como el parámetro de dificultad sobre cada pregunta o ítem y se relaciona con el valor de Probabilidad P en función de la habilidad del estudiante θ . De acuerdo con (Baker & Kim, 2017), este parámetro puede adquirir varios niveles como se describen a continuación:

Muy fácil $\Rightarrow (\beta \leq -2,625)$.
 Fácil $\Rightarrow (-2,625 < \beta \leq -1,5)$.
 Medio $\Rightarrow (-1,5 < \beta \leq 1,5)$.
 Difícil $\Rightarrow (1,5 < \beta \leq 2,625)$.
 Muy difícil. $\Rightarrow (2,625 \leq \beta)$.

Y para la discriminación α al ítem existen los siguientes niveles.

Ninguno $\Rightarrow (0 \leq \alpha < 0,4)$.
 Bajo $\Rightarrow (0,4 \leq \alpha < 1)$.
 Moderado $\Rightarrow (1 \leq \alpha < 2,1)$.
 Alto $\Rightarrow (2,1 \leq \alpha < 999)$.
 Perfecto. $\Rightarrow (999 \leq \alpha)$.

Respecto al parámetro de discriminación, según (Baker & Kim, 2017) este indicador mide la capacidad de cada ítem para diferenciar de los estudiantes los altos y bajos niveles de dificultad, específicamente indica que a valores más altos presentan una mayor pendiente en la curva característica, lo que implica una mayor sensibilidad para distinguir en los estudiantes las habilidades cercanas al nivel de dificultad del ítem.

Para el procesamiento psicométrico y la generación de las curvas características del ítem (CCI) se utilizó el lenguaje de programación de Python y se ejecutó el modelo logístico de dos parámetros (2PL) a cada ítem contemplando su dificultad (β) y su discriminación al ítem (α) y su ploteo gráfico se realizó en el entorno de desarrollo de la nube de Google Colab, ya que este recurso tecnológico permitió una gestión eficiente de las matrices de los datos y cálculos de habilidad y dificultad del ítem mediante librerías especializadas del modelo de Rasch para ambas asignaturas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los hallazgos derivados de la aplicación del pretest y postest en las asignaturas de LFGI y LFF durante los ciclos académicos en los que se implementó el LU de caída libre se exponen a continuación. Dichos resultados se agruparon por ciclos y una muestra agrupada (muestra total) por asignatura que facilitó la integración de la discusión para la interpretación de las tendencias observadas del aprendizaje.

Factor de Ganancia conceptual de Hake

Al analizar la ganancia de Hake (CUADRO 3) se destaca el desempeño de LFGI en el I ciclo con resultados situados en la zona alta (0,928), a pesar de que el caso del II ciclo tuvo una ganancia baja (límite a la zona media) con apenas un aumento del 10% en el rendimiento. Este factor nos sugiere, que si bien el impacto por ciclo tuvo una baja, (Hake, 1998) resalta que si existen diferencias que evidencian efectividad en el proceso, aunque sean a menor escala, los cambios contribuyen al

proceso de aprendizaje, por tanto, la implementación del LU sigue siendo efectiva, puesto que el proceso educativo validó positivamente un aumento, mismo que se constata con el acumulado de esta asignatura al presentar una zona de ganancia media con un factor que superó en un 17% su rendimiento.

Por otra parte, los resultados de la asignatura LFF exhiben un comportamiento más simétrico, situándose consistentemente en la zona de ganancia media en todos los ciclos evaluados. Este desempeño refleja una efectividad estimada del 50% en la población estudiantil tras la implementación del LU. Estos hallazgos se alinean con las tendencias descritas por Hake y son ratificadas por (Barbosa, 2021), quienes sostienen que las ganancias normalizadas (g) derivadas de metodologías activas mediante secuencias didácticas tienden a ser significativas en los procesos de enseñanza y buscan mejorar las metodologías realizadas en la enseñanza tradicional.

CUADRO 3. Resultados del factor de Hake en las asignaturas de laboratorio de la UNED.

Asignatura	Ciclo	Pretest	Postest	Factor Hake normalizado	Zona de aprendizaje
LFGI	I ciclo	0,500	0,964	0,928	Alta
	II ciclo	0,590	0,700	0,268	Baja
	Acumulado	0,576	0,753	0,417	Mediana
LFF	I ciclo	0,462	0,758	0,550	Mediana
	II ciclo	0,495	0,737	0,479	Mediana
	Acumulado	0,480	0,745	0,510	Mediana

Fuente: Elaboración propia.

Adicionalmente, en términos comparativos los resultados de la asignatura LFF muestran un incremento del 9,3 % en la ganancia conceptual respecto a LFGI. Pese a esta diferencia ambas se categorizan en zona media. De acuerdo con (Dellwo, 2010) si bien este tipo de resultados no alcanzan el umbral de efectividad de zona alta, representa un parámetro significativo en el contexto educativo, confirmando que la implementación del LU de caída libre permite una mejora sustancial en la comprensión de fenómenos físicos por parte de los estudiantes en comparación al estado inicial del tratamiento educativo.

Factor de concentración de Bao & Redish

Para el factor de concentración de Bao y Redish se dispone de los resultados obtenidos en la CUADRO 4, con una mayor reincidencia para el caso de los pretest en un nivel de patrón MM en ambas asignaturas y los diferentes ciclos académicos, esto de acuerdo con (Bao & Redish, 2001) se categoriza como una implicación de tipo II que representa dos modelos, donde se hace énfasis a que aún persiste un resultado de respuesta incorrecta. Sin embargo, los resultados del posttest recaen estrictamente en todos los casos en un patrón HH, lo que infiere la implicación del modelo de tipo III, que representa el modelo de la respuesta correcta.

CUADRO 4. Resultados del factor de concentración después de aplicar la secuencia didáctica

Asignatura	Ciclo	Factor de concentración promedio Pretest	Nivel en Pretest	Factor de concentración promedio Postest	Nivel en Postest	Cambio
LFGI	I ciclo	0,41	MM	0,94	HH	Aumentó
	II ciclo	0,46	MM	0,76	HH	Aumentó
	Acumulado	0,44	MM	0,75	HH	Aumentó
LFF	I ciclo	0,29	MM	0,60	HH	Aumentó
	II ciclo	0,35	MM	0,58	HH	Aumentó
	Acumulado	0,32	MM	0,58	HH	Aumentó

Fuente: Elaboración propia

Particularmente, en la fig 5 se destaca una evolución significativa del vector (conocido también como diferencial semántico), al considerar la muestra acumulada de la asignatura LFGI del estudio longitudinal se proyecta un vector con una tendencia de crecimiento (31%) hacia el cuadrante del modelo correcto (HH), lo que incide en una representación de un diferencial semántico que evidencia aspectos importantes de cómo los estudiantes de la asignatura LFGI percibieron el aprendizaje (Orlaineta et al., 2017) y con esto se entiende que la propuesta de implementación del LU de caída Libre contribuye de forma significativa al proceso académico que se dispuso en la cátedra de física en el ámbito de las asignaturas de laboratorio.

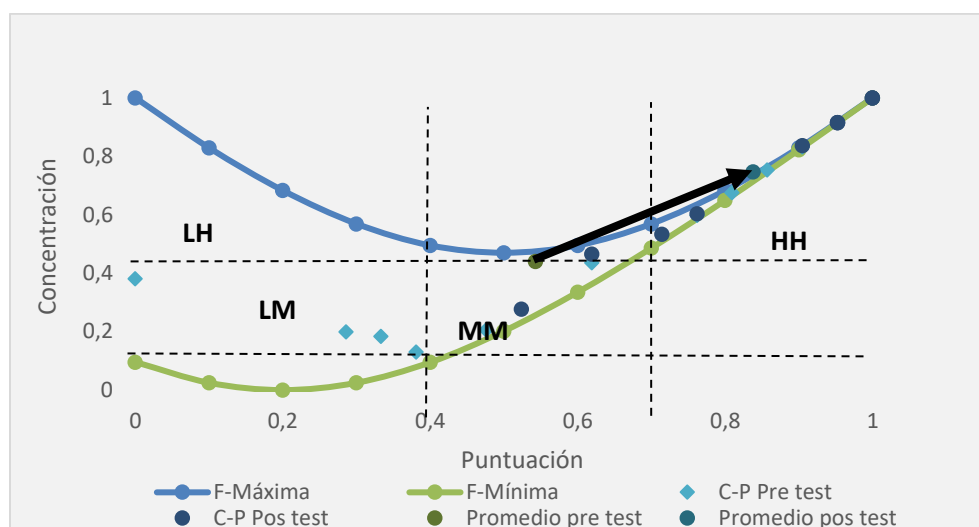


Figura 5. Concentración en función de la puntuación para pretest y posttest LFGI Acumulado Fuente: Elaboración propia

En el caso de los ciclos, la evolución del diferencial semántico fue en un aumento promedio del 53% sobre el factor de concentración del pretest al posttest hacia un nivel HH de la asignatura LFGI durante el I ciclo, esto a pesar que en el mismo grupo de estudiantes, tuvieron en el pretest una distribución del 20% en nivel MM y ML, un 10% en LL y apenas un 40% en HH mientras que para el II ciclo destaca igualmente una evolución, pero en menor escala con apenas un 29,6% pero con una clara tendencia al cuadrante del nivel HH que implica la tendencia de respuesta de los estudiantes sobre el modelo de respuesta correcta del tipo III.

Estos resultados se basan en el cálculo porcentual derivados del CUADRO 4 con la diferencia neta en la concentración de respuestas del posttest al pretest para respaldar la eficacia del LU en la homogenización del aprendizaje en niveles altos del factor de concentración.

Por otra parte, en la asignatura de LFF, para el I ciclo se evidencia un diferencial semántico promedio de un 31% y con una tendencia hacia el nivel HH, lo que representa un resultado notorio de cómo los estudiantes percibieron el aprendizaje con la implementación de la secuencia y para el II ciclo se obtuvo una evolución menor con un diferencial semántico promedio apenas de un 23% pero con la implicación hacia un modelo de nivel HH. Un aspecto destacado en este ciclo es el hecho que los resultados fundamentados en valores porcentuales derivados del CUADRO 4 en el pretest abarcaron un cerca de un 40% en nivel LL, 30% en MM y luego de aplicarse el posttest los resultados se tornaron a un cambio notorio que abarcó únicamente un 50% en el nivel MM y un 50% en nivel HH, lo que validó la evolución del aumento promedio descrito anteriormente.

No obstante, para el caso de LFF en la categoría de acumulado, vemos como en la figura 6 la evolución del aprendizaje muestra un escenario significativo e importante de cómo los estudiantes del LFF percibieron el aprendizaje mediante el factor de concentración al reflejar un crecimiento en promedio del 26% y con la tendencia hacia el nivel HH luego de haber implementado el LU de caída libre.

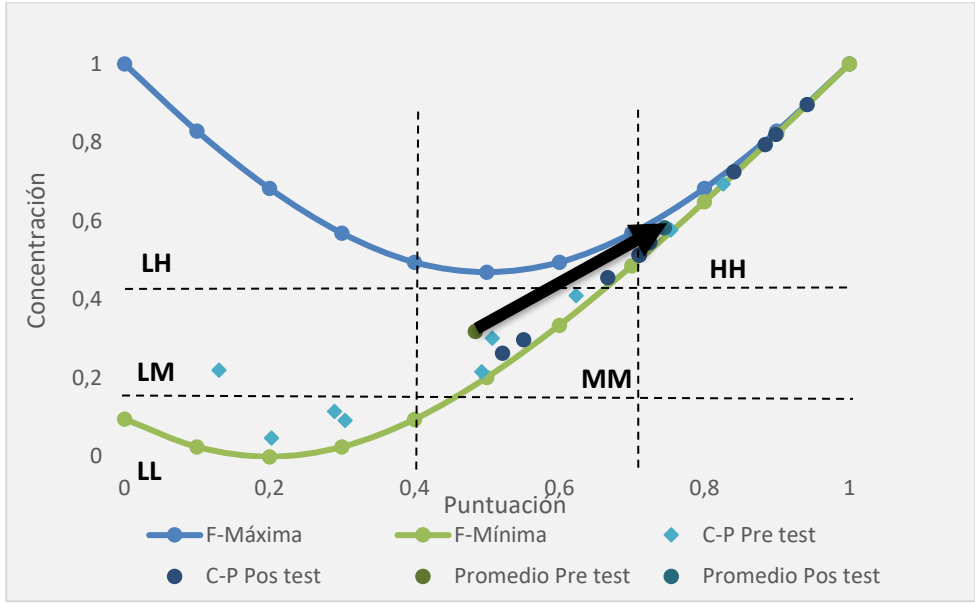


Figura 6. Concentración en función de la puntuación para pretest y postest LFF Acumulado. Fuente: Elaboración propia

Resultados del modelo de Rasch

A partir del modelo logístico de Rasch de dos parámetros (2PL) caracterizados por ítem para la dificultad (β) y su discriminación (α) a través de la prueba pretest y postest con las muestras de estudiantes de las asignaturas LFGI y LFF se detallan los siguientes resultados obtenidos en el CUADRO 5.

CUADRO 5. Resultados de parámetros de habilidad para las asignaturas de laboratorio de la UNED.

Asignatura	Ítem	Beta pretest	Beta posttest	Alpha pretest	Alpha posttest	Diferencia Beta	Diferencia Alpha
LFGI	1	2.000000	2.000000	2.000000	0.867163	0.000000	-1.132837
	2	2.000000	2.000000	1.722530	0.264235	0.000000	-1.458296
	3	-0.172385	0.865377	0.949104	2.000000	1.037762	1.050896
	4	-1.540158	-0.778605	1.553712	1.883371	0.761552	0.329658
	5	2.000000	1.243583	2.000000	2.000000	-0.756417	0.000000
	6	0.371244	2.000000	1.690162	0.916957	1.628756	-0.773205
	7	1.441835	0.941457	0.519951	0.917333	-0.500378	0.397382
	8	-0.842021	-1.977685	0.250000	2.000000	-1.135664	1.750000
	9	-1.148346	-0.618843	2.000000	1.636430	0.529503	-0.363570
	10	-2.000000	-2.000000	0.771066	1.813216	0.000000	1.042150
LFF	1	1.779232	2.000000	2.000000	1.692874	0.220768	-0.307126
	2	0.694012	1.230948	1.202160	1.613050	0.508148	0.382102
	3	-1.206204	2.000000	-0.310591	2.000000	0.895614	0.000000
	4	-0.966576	1.191810	0.060059	2.000000	1.026635	0.808190
	5	0.993242	0.692391	1.602285	1.103645	0.609043	0.411254
	6	0.138216	1.958747	0.075873	1.812162	-0.062343	-0.146585
	7	2.000000	1.414644	1.832503	1.501672	-0.167497	0.087028
	8	0.032947	0.261462	0.213554	1.598901	0.180607	1.337439
	9	-1.548524	0.897504	-1.340807	2.000000	0.207717	1.102496
	10	-1.995913	0.549256	-1.615252	2.000000	0.380660	1.450744

Fuente: Elaboración propia.

En la fig 7 se observan las curvas características del ítem (CCI) del pretest y postest para la asignatura de LFGI y con ello, se infiere que los resultados evidencian cambios notorios en la dificultad del ítem del pretest y postes, los ítems 1, 2 y 10 mantuvieron valores extremos ± 2 , siendo consistente con las curvas características observadas con permanencia (muy fácil o muy difícil) pero con poco aporte de información, en contraste, los ítems 3 y 6 con diferencias positivas de (β) buscan un desplazamiento más a la derecha, indicando un aumento general en la habilidad, con un (θ) mayor para alcanzar probabilidades de éxito. Por otro lado, los ítems 5, 7 y específicamente el 8 tienden un desplazamiento a la izquierda, mostrando mayores probabilidades de acierto en niveles bajos de habilidad, una apropiación efectiva de los contenidos evaluados.

Respecto al análisis de discriminación, se observan incrementos claros en las pendientes del postest de los ítems 3, 8 y 10, implicando una mayor capacidad para diferenciar estudiantes con habilidades cercanas, por otra parte, los ítems 2 y 6 redujeron su discriminación, al mostrar curvas más planas, efecto notorio por pérdida de variabilidad.

De forma general, esto resultados cruzados con las CCI muestran un desplazamiento general hacia la izquierda y un incremento de pendientes en varios ítems del postest, esto infiere un aumento en la habilidad en los ítems (Sánchez, 2020) de los estudiantes de LFGI, producto de la implementación del LU de caída libre, fortaleciendo el desempeño de los estudiantes y propicia una comprensión más estructurada y diferenciable de los conceptos físicos a través de la interacción de la experiencia experimental y la medición de conocimiento.

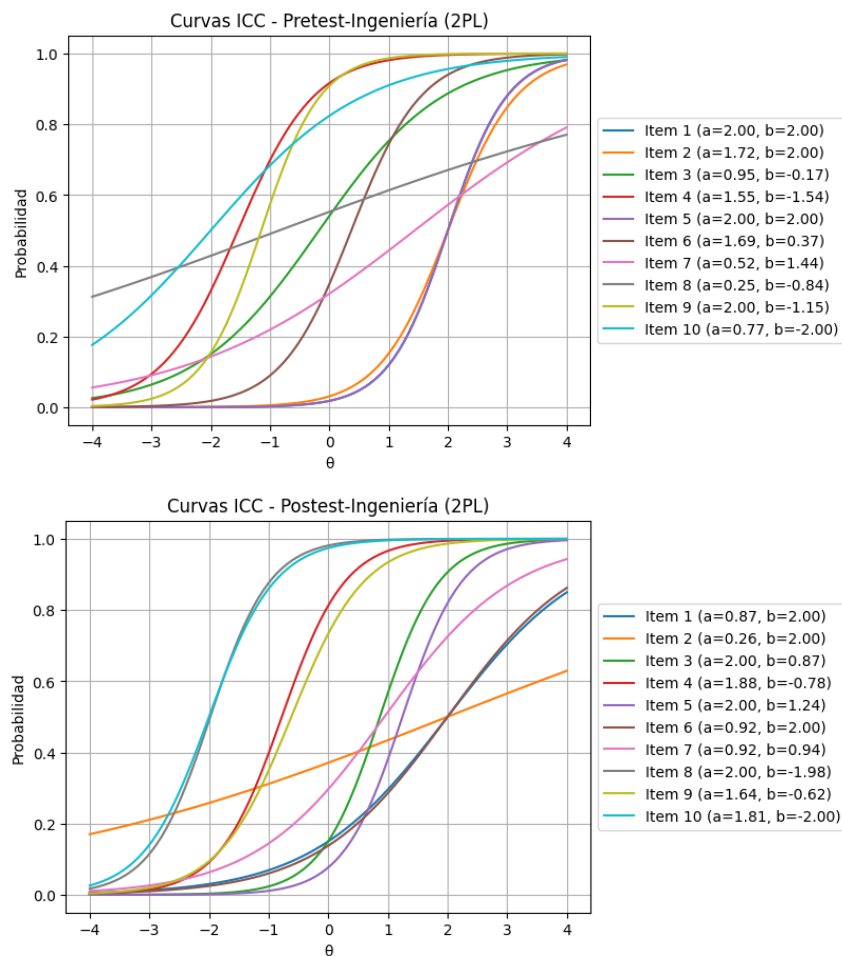


Figura 7. Gráfico de probabilidad en función de la dificultad para modelo de Rasch empleado con el pretest y postest para el LFGI. Fuente: Elaboración propia.

En contraste, la asignatura de LFF (fig 8) presenta un comportamiento en cuanto a la dificultad con transformaciones significativas del pretest al posttest, donde ítems como el 3 y 4 presentan desplazamientos marcados a la derecha, lo que infiere tras la intervención del LU, estos ítems pasaron de ser relativamente accesibles con mayores niveles de habilidad, puesto que (θ) exige valores mayores para alcanzar probabilidades altas de acierto, aspecto coherente con las CCI al mostrar este corrimiento. Por el contrario, el ítem 7 y 5 disminuyen su dificultad relativa, con desplazamientos de las curvas a la izquierda en el posttest, implicando que los estudiantes se apropiaron de los conceptos evaluados. Asimismo, ítems como el 1 mantuvieron niveles altos de dificultad, lo que refleja persistencia en la exigencia conceptual.

En cuanto a la discriminación (α), se observan mejoras destacadas como la del ítem 8, 9 y 10 con diferencias de (α) positivas (CUADRO 5), esto se traduce en las CCI como curvas más verticales en el posttest y una mayor capacidad de diferenciar niveles de habilidad cercanos. Los ítems 1 y 7 apenas lograron disminuciones de discriminación, con curvas menos pronunciadas, aunque dentro de los rangos adecuados, este aumento generalizado de las pendientes en las curvas de los ítems sugiere mejora en la calidad psicométrica del instrumento tras la intervención del LU, estableciendo un impacto positivo en el desempeño e interacción de los estudiantes.

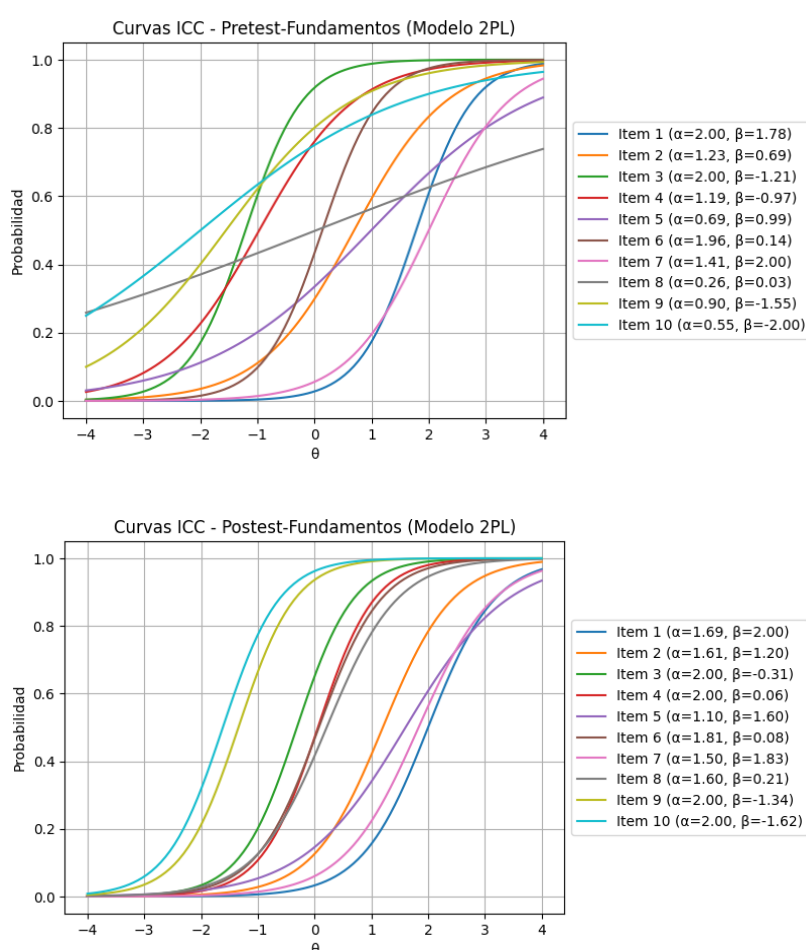


Figura 8. Gráfico de probabilidad en función de la dificultad para modelo de Rasch empleado con el pretest y posttest para el LFF. Fuente: Elaboración propia.

Con la aplicación de esta Teoría de Respuesta al Ítem (TRI) se puede inferir que la implementación del LU de caída libre ha sido pertinente con la expectativa de la hipótesis de investigación, mediante la sistematización de los parámetros de

habilidad y discriminación, el contraste de las curvas características respecto a los pretest y posttest, se infiere un aprendizaje significativo.

Para (Mora et al., 2021) el modelo de Rasch garantiza una evaluación objetiva al independizar la habilidad del estudiante de la dificultad intrínseca al tener "...una visión doble e independiente de cuál es la probabilidad de contestar con éxito la pregunta del test" (p. 367).

Limitaciones del estudio

Aunque los resultados descritos anteriormente evidencian una alta eficacia del LU de caída libre, es imperativo señalar que este estudio no deja de lado algunas limitantes que para investigaciones futuras podrían fortalecer el proceso de enseñanza y aprendizaje en la enseñanza de la física con la experimentación remota. Entre los aspectos más notorios es el uso de un diseño cuasiexperimental, con la ausencia de un grupo control que permita validar significativamente los resultados de la actividad experimental. Por otra parte, la naturaleza heterogénea de la muestra con perfiles académicos y tamaños de cohorte sugieren se puedan abordar de forma integral y se pueda extender la implementación de estos recursos a otros contenidos de la física, para validar su diseño e implementación como recurso educativo para el modelo de ED de la UNED.

CONCLUSIONES

De acuerdo con el factor de ganancia de Hake (g) se registraron valores acumulados de 0,417 para LFGI y 0,510 para LFF, lo que sitúa la efectividad de la implementación del LU en una zona de ganancia media. Estos resultados confirman que la propuesta favorece en la comprensión de contenidos fundamentales como la caída libre a través de la enseñanza experimental.

Asimismo, el análisis del factor de concentración por Bao y Redish evidenció una evolución del aprendizaje significativa hacia modelos de respuesta correcta (HH). En ambas asignaturas, se observó una transición de patrones o modelos aleatorios (MM) en los pretest hacia un modelo correcto en los posttest, con incrementos en la concentración del 31% (LFGI) y 26% (LFF) y con ello se establece un diferencial semántico que le permitió a los estudiantes dirigir su razonamiento con los conceptos analizados a un punto del modelo correcto que coincide con lo propuesto en la teoría de la mecánica newtoniana en el tópico de interés.

Este mismo factor, visualmente en la figura 5 y 6 evidenció una evolución con los vectores de crecimiento del diferencial semántico al cuadrante del modelo HH, lo que constituye una evidencia significativa en la homogenización del aprendizaje y con ello se ratificó que la implementación del LU es vinculante para validar la hipótesis de investigación.

El modelo dicotómico de Rasch permitió evidenciar una interpretación del comportamiento de los ítems y los estudiantes en las pruebas pretest y posttest a través del parámetro de dificultad y su discriminación, a fin de validar las inferencias derivadas de los datos y las CCI con un impacto positivo de la intervención del LU en los estudiantes, con desplazamientos de varios ítems hacia menores niveles de dificultad y un aumento generalizado en la pendiente de sus curvas cumpliendo con la hipótesis de investigación planteada de este proceso investigativo.

Finalmente, los hallazgos son resultados consistentes para la validación de la hipótesis planteada y aporta evidencia experimental que contribuye a la validación positiva de la implementación del LU en los procesos de aprendizaje, no obstante para futuras investigaciones se sugiere extender este tipo de estudios a diseños experimentales con grupos control, muestras homogéneas y extenderlo a otros contenidos de la física y áreas científicas para profundizar en la intervención y calidad de estos recursos de innovación.

REFERENCIAS

- American Association of Physics Teachers, A. (2020). PhysPort. <https://www.physport.org/assessments/>
- Arguedas, C. M., & Concarí, S. B. (2018). Características deseables en un Laboratorio Remoto para la enseñanza de la física: indagando a los especialistas. In *Caderno Brasileiro de Ensino de Física* (Vol. 35, Number 3, pp. 702–720). <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2018v35n3p702>
- Arias, E. (2021). Una propuesta didáctica experimental aplicada a la unidad Electricidad en un colegio científico de Costa Rica. *Revista de Enseñanza de La Física*, 33(2), 55–62. <https://doi.org/10.55767/2451.6007.v33.n2.35175>
- Arias, E., Moya, C. N., Lizano-sánchez, F., Arguedas-, C., Mora, C., & Idoyaga, I. (2024). Study of Free Fall using an Ultra- concurrent laboratory at the university. *International Journal of Online Biomedical Engineering*, 20(2), 4–15. <https://doi.org/10.3991/ijoe.v20i02.43099>
- Arias Navarro, E. (2024). Diseño y aplicación de una secuencia didáctica a be mediante un laboratorio ultraconcurrente de caída libre para la educación superior con modalidad a distancia. [[Tesis de maestría] Instituto Politécnico Nacional].
- Ary, D., Jacobs, L. C., & Sorensen, C. (2010). *Introduction to Research in Education* (8th ed.). CENGAGE Learning.
- Baker, F. B., & Kim, S. (2017). *The Basics of Item Response Theory Using R*. Springer. Recuperado de: <https://www.springerprofessional.de/en/the-basics-of-item-response-theory-using-r/12245712>
- 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>
- Benítez, Y. (2012). Una clase demostrativa interactiva para la enseñanza de la caída libre de los cuerpos. [[Tesis de doctorado] Instituto Politécnico Nacional]. <https://www.fised-cicata.com/tesisdoctorado.html>
- García-Zubía, J., & Rodríguez-Gil, L. (2021). Remote laboratories: Empowering STEM education with technology. World Scientific. <https://doi.org/https://doi.org/10.1142/q0277>
- Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 66(1), 64–74. <https://doi.org/10.1119/1.18809>
- Idoyaga, I., Vargas, L., Moya, C., Montero, E., & Garro, A. (2020). El Laboratorio Remoto: una alternativa para extender la actividad experimental. *Campo Universitario*, 1(2), 4–26. Recuperado a partir de: <http://campouniversitario.aduba.org.ar/ojs/index.php/cu/article/view/17>
- Ordóñez Urbano, C. F., Muñoz, J. A., Fierro, L. P., Marulanda, J. F. F., & Vargas-Canas, R. (2023). Remote Laboratories for Physics Education: A Proposal Toward Interactive Learning for Engineering Students.

Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje, 18(3), 305–312.
<https://doi.org/10.1109/RITA.2023.3303100>

Orduña, P., Rodríguez-Gil, L., García-Zubia, J., Angulo, I., Hernández, U., Azcuenaga, E. (2018). Increasing the value of remote laboratory federations through an open sharing platform: Labsland. In: Online Engineering & Internet of Things. In Springer (pp. 859–873). https://doi.org/10.1007/978-3-319-64352-6_80

Sánchez, R. S. (2020). Reflexionando sobre algunas características generales del modelo de Rasch. Lajpe, 14(1), 1–4. Recuperado de: [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://www.lajpe.org/mar20/14_1_08.pdf](http://www.lajpe.org/mar20/14_1_08.pdf)

Tristán, A. (2013). Análisis de Rasch para Todos. Instituto de Evaluación e Ingeniería Avanzada.

Van den Beemt, A., Groothuijsen, S., Ozkan, L., & Hendrix, W. (2023). Remote labs in higher engineering education: engaging students with active learning pedagogy. Journal of Computing in Higher Education, 35(2), 320–340. <https://doi.org/10.1007/s12528-022-09331-4>