

2. Análisis conceptual de la cinemática del movimiento de proyectiles a través de simuladores PhET



EDGAR ALEJANDRO CAMACHO MEDINA*

FRANCISCO RAMOS BRITO**

JESÚS ALBERTO FLORES CRUZ***

MARIO HUMBERTO RAMÍREZ DÍAZ****

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.399.02>

Resumen

En el presente capítulo se explora el uso de los simuladores como una alternativa para analizar conceptos físicos relacionados a la cinemática del movimiento de proyectiles, esto con la finalidad de promover en los estudiantes la identificación de dichos conceptos para que puedan relacionarlos con los fenómenos que se desarrollan en su entorno, comprendiendo las variables físicas involucradas, haciéndolos capaces de determinar cómo se interrelacionan también dichas variables entre sí. También se busca que a través de las ecuaciones de movimiento sean capaces de resolver problemáticas relacionadas con este tema de manera adecuada. Para desarrollar este proyecto, se diseñó una secuencia didáctica que hace uso de las simulaciones PhET para el análisis del

* Doctorante en Ciencias en Física Educativa en el Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada del Instituto Politécnico Nacional (CICATA-IPN). ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-9428-536X>

** Doctor en Ciencia e Ingeniería de Materiales por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). ORCID: 0000-0001-6355-1895

*** Doctor en Ingeniería de Sistemas. Profesor en el Posgrado en Física Educativa del Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada (CICATA) del Instituto Politécnico Nacional (IPN), México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7816-4134>

**** Doctor en Ciencias en Física Educativa. Profesor en el Posgrado en Física Educativa del Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada (CICATA), unidad Legaria, del Instituto Politécnico Nacional (IPN), México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3459-2927>

movimiento de proyectiles. La motivación de esta investigación se basa en la detección del bajo rendimiento académico en la unidad referente a cinemática en el curso de física en una institución privada de la Dirección General de Bachillerato, contrastando los resultados previos con los arrojados después de la implementación de la herramienta diseñada. Esto dejó ver resultados favorables de manera inmediata. Al analizar los resultados, se encontró que, en general, el 75 % de los estudiantes evaluados logró superar el promedio establecido desde el pasado en el desempeño en la unidad referente a cinemática. De esos estudiantes, el 97 % identifica correctamente el movimiento de proyectiles en la naturaleza, el 63 % identifica correctamente las magnitudes físicas involucradas en este movimiento y las que juegan un papel importante y el 47 % de los estudiantes aplica correctamente las ecuaciones para la resolución de problemas.

Palabras clave: *cinemática, conceptos, movimiento de proyectiles, PhET, simulaciones.*

Introducción

El estudio del movimiento de proyectiles es de interés en áreas como la ingeniería aeronáutica, la ingeniería aeroespacial, la geología, la meteorología, etc. Esto se observa en numerosos fenómenos cotidianos, como el lanzamiento de objetos o el tiro de una pelota, sin embargo, se ha observado un gran número de dificultades cuando se abordan conceptos relacionados con este tipo de movimiento (Obispo *et al.*, 2011) en comparación con los conceptos de movimiento unidimensional. El uso de los simuladores PhET representa una oportunidad de interactuar con un laboratorio computacional en el cual se puede experimentar y minimizar los obstáculos que el abordaje de estos conceptos conllevan (Karanggulimu *et al.*, 2017), promoviendo, además, abordar de manera efectiva las concepciones conceptuales erróneas (Fongsamut *et al.*, 2022) y el desarrollo de las habilidades de pensamiento de orden superior (Mulyati *et al.*, 2021) mismas que incluyen el crear, analizar, evaluar, aplicar y entender (González Murillo *et al.*, 2017). Es por ello que es crucial desarrollar estrategias innovadoras que incluyan herramientas como estos simuladores, ya que fomentan el pensamiento analítico de

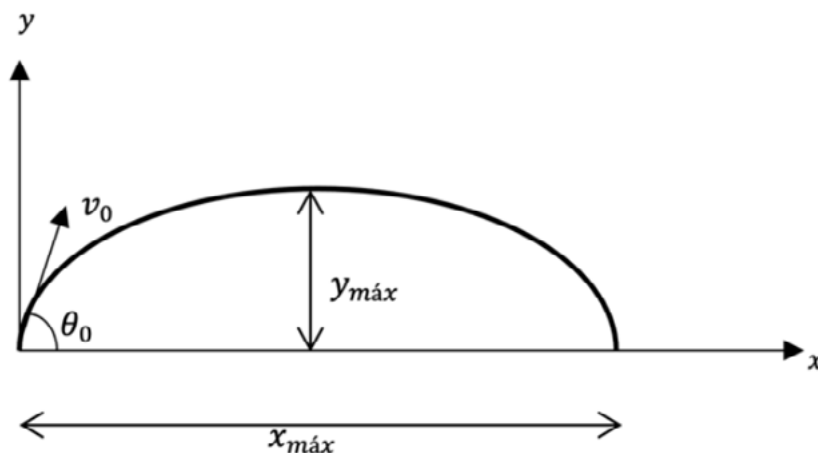
los estudiantes siguiendo las pautas de la Educación 4.0 (Tuhusula *et al.*, 2020). A diferencia de investigaciones contextualizadas en áreas similares, como la de Camelo (2020) que explora el uso de simuladores PhET para el movimiento de proyectiles para mejorar el aprendizaje significativo enfocándose en el apoyo al profesor, o la de Castrejón Parga *et al.* (2023) que lo hacen a través de clases interactivas demostrativas, o la de Zambrano-Cedeño y Alexander (2024) que utilizan los simuladores PhET para ilustrar los conceptos de posición, velocidad y aceleración a través de los distintos tipos de movimiento, en este trabajo se presenta una secuencia didáctica diseñada con la finalidad de crear la conexión entre los principios físicos de la cinemática del movimiento de proyectiles y los fenómenos que se desarrollan en el entorno. Se busca identificar cómo las variables físicas del movimiento y la interacción entre ellas afectan las trayectorias propias del movimiento de proyectiles y, mediante las ecuaciones que rigen este movimiento, resolver problemáticas relacionadas a este movimiento. Para determinar si existen diferencias importantes al aplicar la estrategia de la mano del simulador del movimiento de proyectiles se planteó la siguiente pregunta de investigación: ¿de qué forma promueve mejoras el uso de simuladores PhET en la adquisición conceptual de la cinemática del movimiento de proyectiles? Para lo cual también se plantearon las hipótesis de investigación y la hipótesis nula. H: el uso del simulador permite a los estudiantes obtener una ganancia conceptual significativa que se refleja en la calificación del post-test en comparación con el pre-test. H0: el uso del simulador no permite a los estudiantes obtener una ganancia conceptual significativa que se refleja en la calificación del post-test en comparación con el pre-test.

Marco teórico

Cinemática del movimiento de proyectiles

Según Young (2013), la combinación de las trayectorias del movimiento rectilíneo uniforme y la caída libre dan como resultado la característica trayectoria parabólica que describe los cuerpos en el movimiento de proyectiles (Figura 1).

Figura 2.1 Geometría del movimiento de proyectiles. Fuente: elaboración propia.



Al ignorar la fricción del aire, la aceleración a_x es nula, mientras que la aceleración vertical a_y será $-g$, es decir, la aceleración de la gravedad apuntando hacia el centro de la Tierra.

$$\begin{aligned} a_x &= 0 \\ a_y &= -g \end{aligned}$$

Como la velocidad horizontal v_x es constante, su magnitud solo dependerá del ángulo inicial de lanzamiento θ_0 no depende del tiempo, ya que ésta será igual en cualquier instante.

$$v_x = v_0 \cos \theta_0 \quad (1)$$

Por otro lado, la velocidad vertical v_y va a ir cambiando respecto al tiempo, ya que existe una aceleración vertical $-g$ por lo que la parte fija está definida por el ángulo de lanzamiento θ_0 y la parte variable la aceleración de la gravedad g respecto al tiempo t .

$$v_y = v_0 \sen\theta_0 - gt \quad (2)$$

Para encontrar la posición horizontal x en la que se encuentra el proyectil, es necesario conocer la velocidad horizontal definida en (1) y el instante de tiempo en el que se encuentra.

$$x = v_0 \cdot \cos\theta_0 \cdot t \quad (3)$$

Para la posición vertical y es necesario conocer la magnitud de la velocidad inicial v_0 , el ángulo de lanzamiento θ_0 , la aceleración gravitatoria g y el instante de tiempo t .

$$y = v_0 \cdot \sen\theta_0 \cdot t - \frac{1}{2}gt^2 \quad (4)$$

Si no conocemos el instante de tiempo t en el que se encuentra el objeto en estudio, pero conocemos la posición horizontal x , podemos conocer la posición vertical y del proyectil.

$$y = x \cdot \tan\theta - \frac{gx^2}{2v_0^2\cos^2\theta} \quad (5)$$

Para encontrar el alcance horizontal máximo al lanzar proyectil, necesitamos la magnitud de la velocidad inicial v_0 y el ángulo de lanzamiento θ_0

$$x_{\text{máx}} = \frac{v_0^2 \sen(2\theta_0)}{g} \quad (6)$$

Para encontrar la altura máxima que alcanzará el proyectil, necesitamos conocer la magnitud de la velocidad inicial v_0 y el ángulo de lanzamiento θ_0 .

$$y_{\text{máx}} = \frac{v_0^2(\text{sen}\theta_0)^2}{g} \quad (7)$$

Para conocer el tiempo que dura el proyectil en el aire, podemos partir de la ecuación (4) donde, al transcurrir el tiempo total de vuelo, el objeto regresará al suelo, y podemos definir la altura y como cero, entonces, al despejar t podemos expresar el tiempo de vuelo t_v como:

$$t_v = \frac{2v_0\text{sen}\theta_0}{g} \quad (8)$$

Si conocemos las componentes vertical y horizontal de la velocidad v_x y v_y en el instante inicial, podemos obtener la velocidad inicial v_0 , mediante el Teorema de Pitágoras:

$$v_0^2 = v_x^2 + v_y^2 \quad (9)$$

Los simuladores PhET

Los simuladores de tecnología para física educativa PhET (*Physics Education Technology*, por sus siglas en inglés) se crearon con base en el abordaje científico de la investigación como una oportunidad para explorar conceptos básicos y cuestionar, corregir y ampliar la comprensión del funcionamiento del mundo. Un buen diseño de simulación de fenómenos físicos centrado en conceptos básicos promueve la comprensión de dichos conceptos a través de la exploración y la manipulación de parámetros de su interfaz, con un enfoque similar al que tendría un científico durante un experimento, lo cual contrasta con la forma tradicional de aprender ciencia (Wieman *et al.*, 2008). A pesar

de las ventajas que ofrece el uso de los simuladores en la enseñanza de las ciencias, no debemos olvidar que, para explotar adecuadamente su potencial, estos deben seguir formando parte de un diseño didáctico global dirigido oportunamente por diversos investigadores (Karanggulimu *et al.*, 2017; Perkins *et al.*, 2006; Wieman *et al.*, 2010). En el caso del actual trabajo, se presentará más adelante un diseño didáctico, el cual incluye los simuladores PhET como una herramienta de apoyo.

Desarrollo

Diseño del experimento

La metodología desarrollada se construyó bajo un diseño cuasiexperimental debido a que no se contó con las condiciones para generar una muestra aleatoria en los grupos de tratamiento. Se diseñó una evaluación diagnóstica (pre-test) y, posterior al desarrollo e implementación de una secuencia didáctica, se aplicó una evaluación final (post-test). Además, se utilizó el valor estadístico de prueba *t* de Student para realizar la prueba de hipótesis y así aceptar o rechazar la hipótesis de investigación (Davis y Mukamal, 2006; Enrique y Freire, 2013).

Muestra

Se empleó una técnica de muestreo no probabilístico o muestra intencionada cuyo tamaño fue de 8 estudiantes con una edad que oscila entre los 16 y 17 años, de los cuales 25 % son mujeres y el 75 % son hombres. Esto se debió a la disponibilidad de los estudiantes para participar y el tamaño de los grupos con que se contó en el instituto donde se realizó el experimento. Para este caso en particular $N=8$. Los estudiantes pertenecen a una institución privada de nivel bachillerato ubicada en la ciudad de Culiacán Sinaloa, México, y cuya currícula se basa en los programas de estudio de la Dirección General de Bachillerato (DGB).

Secuencia didáctica

La secuencia didáctica planteada se conforma de 7 sesiones con una duración de 50 minutos cada una. Los objetivos específicos que rigen la secuencia didáctica diseñada para abordar el tema de cinemática del movimiento de proyectiles empleando simuladores PhET se cita a continuación junto con la secuencia didáctica presentada de forma resumida (Tabla 1.1):

Tabla 2.1 *Secuencia didáctica. Fuente: elaboración propia.*

Sesión	Actividades	Duración	Objetivo
1	a) Prueba diagnóstica b) Mesa de análisis c) Actividad 1 (Tarea)	20 min. 30 min. n/a.	Desarrollar la capacidad en el estudiante para identificar visualmente el movimiento en tiro parabólico de manera natural, así como en laboratorio y campo.
2	d) Discusión grupal e) Proyección video f) Quiz g) Cierre	25 min. 5 min. 10 min. 10 min.	Promover en el estudiante la identificación de las magnitudes físicas de aceleración, gravedad, velocidad inicial, masa, coeficiente de arrastre, ángulo de elevación y tiempo, como aquellas que caracterizan al movimiento de proyectiles sin considerar la resistencia del aire.
3	h) Manejo de la simulación. i) Actividad 2 (Tarea)	50 min. 20 min.	Lograr la comprensión de la relación que existe entre las variables de aceleración, velocidad inicial, masa, ángulo de tiro y tiempo.
4	j) Nube de ideas k) Mesa de análisis l) Uso de Simulador	10 min. 20 min. 20 min.	Lograr la comprensión de la relación que existe entre las variables de aceleración, velocidad inicial, masa, ángulo de tiro y tiempo.
5	m) Deducción de las ecuaciones n) Resolver ejercicio	30 min. 20 min.	Identificar las ecuaciones que rigen el movimiento de proyectiles, partiendo de las ecuaciones de movimiento unidimensional e ignorando la resistencia del aire.
6	o) Resolver ejercicios p) Actividad 3 (Tarea)	50 min. n/a.	Aplicar las ecuaciones que rigen el movimiento de proyectiles, ignorando la resistencia del aire.
7	q) Evaluación	50 min.	Evaluar el aprendizaje obtenido durante el desarrollo de la secuencia didáctica.

Fuente: elaboración propia.

El instrumento de evaluación diagnóstica (pre-test) consistió en una prueba de 4 ítems que reflejan situaciones realistas de cuerpos que describen trayectorias parabólicas para evaluar la noción de los conceptos de inercia, velocidad de lanzamiento, alcance horizontal y altura máxima alcanzada por el proyectil (ver Figuras 2a, 2b y 2c).

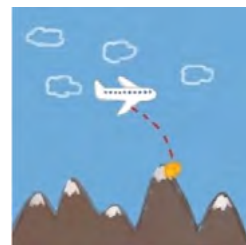
Figuras 2a., 2b y 2c. Ejemplos de ítems en el instrumento diagnóstico del movimiento de un proyectil. Fuente: elaboración propia



(2a)



(2b)



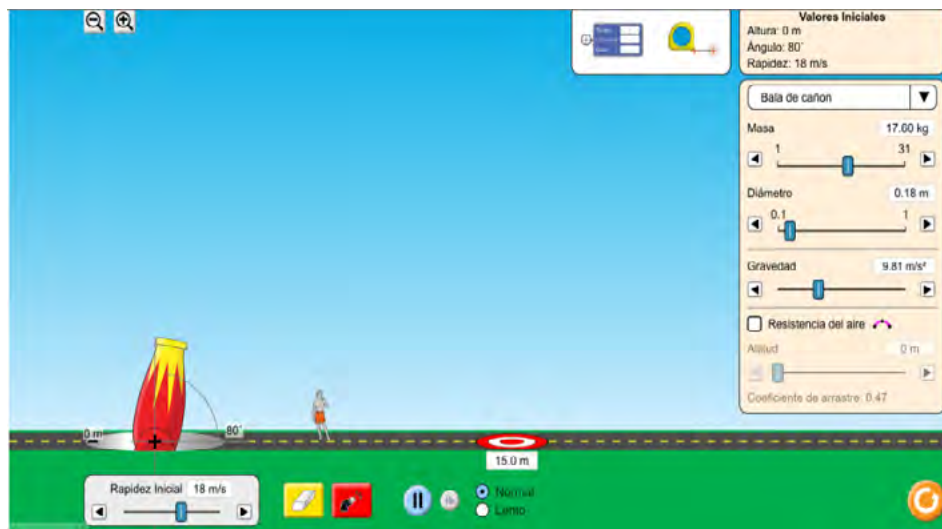
(2c)

Fuente: elaboración propia

Para evaluar la confiabilidad de los ítems del instrumento de evaluación se utilizó el estadístico K de Kuder-Richardson (Dressel, 1940; Feldt, 1965). Al analizar los ítems del instrumento de evaluación se obtuvo una $K=0.70$, por lo que consideramos una confiabilidad del 70 %. Por otro lado, la actividad desarrollada en la nube de ideas permitió a los estudiantes participar y visualizar en tiempo real, a través de la plataforma Mentimeter, situaciones planteadas por ellos mismos que, según su criterio, forman parte de la cinemática del movimiento de proyectiles. Las mesas de análisis y discusiones grupales fueron dirigidas por el profesor y permitieron generar un ambiente de discusión y análisis específico de cada fenómeno físico, promoviendo la participación de los estudiantes y otorgándoles retroalimentación. Para la elección del video proyectado para complementar las actividades realizadas en clase y en simulador, se elaboró una rúbrica a través de la escala de Likert de 4 puntos, y se eligió un elemento de una muestra total de 9 videos encontrados en la plataforma Youtube. Dentro de las actividades de la secuencia didáctica presentada, los estudiantes hicieron uso de un simulador para el análisis de la cinemática del movimiento de proyectiles. Para ello, emplearon el laboratorio del simulador de movimiento llamado “Movimiento de un Proyectil”, el cual se encuentra en el sitio web de PhET¹ (Figura 2.3).

¹ Sitio web del simulador PhET “Movimiento de un proyectil”: https://phet.colorado.edu/sims/html/projectile-motion/latest/projectile-motion_all.html?locale=es

Figura 2.3. Interfaz del simulador de movimiento de proyectiles.



Algunas de las preguntas rectoras que se emplearon en la evaluación para analizar el movimiento a través de este simulador fueron las siguientes: ¿Qué ocurre con el proyectil cuando cambiamos el ángulo de tiro? Para lanzamientos donde el ángulo se mantiene fijo, ¿existe alguna diferencia en el comportamiento del proyectil cuando se considera la resistencia del aire respecto a cuándo no se hace?, ¿con qué ángulo el proyectil tendrá un alcance horizontal máximo y con cuál tendrá un alcance vertical máximo? Mismas que se presentaron en la evaluación post-test como también en los ítems presentados en el pre-test. Esta actividad permitió a los estudiantes realizar tiros de prueba y analizar el cambio de trayectorias y la relación entre las variables involucradas en el movimiento de proyectiles (ángulo de tiro θ_0 , velocidad inicial v_0 , aceleración g , coeficiente de arrastre c_d , alcance máximo horizontal $x_{\text{máx}}$, altura máxima $y_{\text{máx}}$ y tiempo de vuelo t_v) al variar los distintos parámetros que ofrece la simulación. Posteriormente, los estudiantes computaron los datos a través de las ecuaciones que rigen al movimiento de proyectiles para comprobar los resultados arrojados por la simulación.

Resultados y discusión

Posterior a las actividades desarrolladas, y a través del uso del simulador PhET, se observó que en el 97 % de las situaciones cotidianas planteadas por los estudiantes, estos identificaron correctamente, y de manera natural, el movimiento de proyectiles, ya que, de 34 fenómenos mencionados por ellos, solamente uno que relacionaba el movimiento del agua al salir de un grifo se consideró inadecuado y se mencionó que se podía relacionar mejor con un movimiento rectilíneo acelerado o caída libre. También se observó que el 63 % del grupo identificó adecuadamente las magnitudes físicas relacionadas a este movimiento (aceleración, gravedad, velocidad inicial, masa, ángulo de elevación y tiempo) y la relación que existe entre ellas, ya que fue el porcentaje que respondió correctamente las preguntas relacionadas a la manipulación de estas variables; el 47 % del grupo identificó las ecuaciones que describen al movimiento de proyectiles, partiendo de las ecuaciones generales de movimiento y las aplicó correctamente en la resolución de problemas. El 57 % desarrolló la capacidad de resolver un problema usando modelos y planteamientos analíticos. Adicional a esto, el simulador de movimiento de proyectiles ofreció la oportunidad de manipular la variable de coeficiente de arrastre, lo cual permitió a los estudiantes experimentar la posibilidad de generar un tiro en movimiento parabólico más apegado a la trayectoria que describe un cuerpo en la realidad y haciendo una comparativa con las trayectorias en las cuales se desprecia la fricción por el rozamiento del aire (Tablas 1.2 y 1.3).

Tabla 2.2. Análisis del movimiento de proyectiles con variación del ángulo, considerando $C_d=0$.

θ_0 °	v_0 $\left(\frac{m}{s}\right)$	g $\left(\frac{m}{s^2}\right)$	C_d	$x_{m\acute{a}x}$ (m)	$y_{m\acute{a}x}$ (m)	t_v (s)
0	18	9.81	0	0	0	0
30	18	9.81	0	28.60	4.13	1.83
45	18	9.81	0	33.03	8.26	2.59
60	18	9.81	0	28.60	12.38	3.18
90	18	9.81	0	0	16.51	3.67

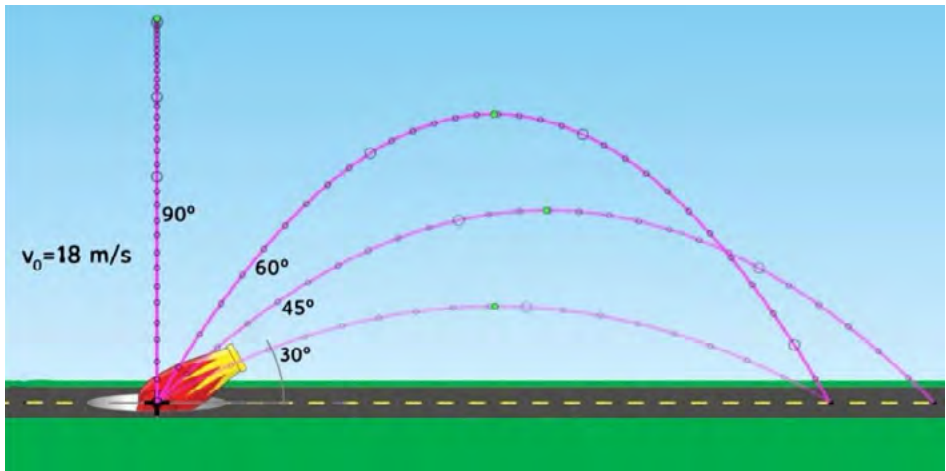
A través de la comparación entre las tablas 1.2 y 1.3 los estudiantes pudieron observar ligeras diferencias en los alcances máximos horizontal y vertical al considerar o no el coeficiente de arrastre, ya que, debido a este mismo, los objetos no son capaces de llegar tan lejos. Gracias al uso del simulador, el 87.5 % de la muestra identificó la influencia del coeficiente de arrastre en este tipo de movimiento y su relación con la geometría del proyectil.

Tabla 2.3. Análisis del movimiento de proyectiles con variación del ángulo, considerando $C_d \neq 0$

θ_0 ($^\circ$)	v_0 ($\frac{m}{s}$)	g ($\frac{m}{s^2}$)	C_d	$x_{m\acute{a}x}$ (m)	$y_{m\acute{a}x}$ (m)	t_v (s)
0	18	9.81	0.47	0	0	0
30	18	9.81	0.47	28.36	4.11	1.83
45	18	9.81	0.47	32.67	8.21	2.59
60	18	9.81	0.47	28.27	12.30	3.17
90	18	9.81	0.47	0	16.40	3.66

A través de la evaluación final, y posterior al uso del simulador, se observó que el 100 % de los estudiantes comprendió que, al emplear un ángulo de tiro $\theta_0 = 45^\circ$, se obtiene el alcance horizontal máximo y con un ángulo de lanzamiento $\theta_0 = 90^\circ$ se obtiene el alcance vertical máximo debido a que se desarrolla un tiro vertical (Figura 2.4).

Figura 2.4



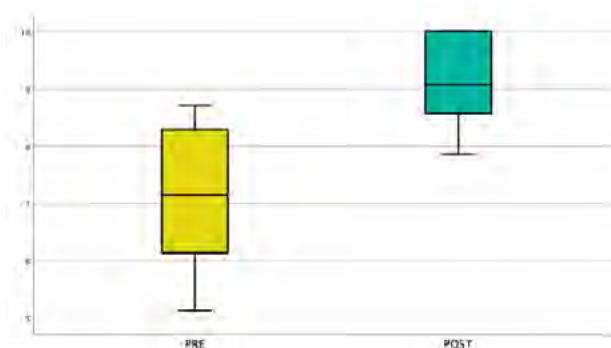
En la siguiente tabla (Tabla 2.4) se muestran las puntuaciones promedio del pre-test y post-test para cada uno de los participantes del experimento (E1-E8), así como la diferencia de puntuación y porcentaje de ganancia. Además, en la gráfica (Figura 2.5) se muestra una comparativa acumulada entre los resultados del pre-test y post-test.

Tabla 2.4. Puntuaciones en el pre-test y post-test.

<i>Estudiante</i>	<i>Pre-test</i>	<i>Post-test</i>	<i>dif</i>	<i>%</i>
E1	7.86	10.00	2.14	27.27
E2	8.29	8.86	0.57	6.90
E3	8.71	8.57	-0.14	-1.64
E4	6.14	9.29	3.14	51.16
E5	5.14	10.00	4.86	94.44
E6	6.14	7.86	1.71	27.91
E7	6.43	8.57	2.14	33.33
E8	8.29	10.00	1.71	20.69
	7.13	9.14	2.02	28.32

Se puede observar que, a excepción del estudiante E3, la totalidad de la muestra presentó un incremento en el promedio de la calificación del post-test en comparación con el pre-test, siendo este incremento promedio del 28.32 %, donde E5 fue el que presentó un mayor incremento, teniendo 4.86 puntos de diferencia y E3 fue el más bajo, presentando un decremento de 0.14 puntos.

Figura 2.5. Comparación de resultados de pre-test y post-test.



Se determinó para la muestra $N=8$, y a través del software estadístico SPSS, el valor de prueba t de Student con un intervalo de confianza $1-\alpha=95\%$ (ver Tabla 1.5).

Tabla 2.5. Estadístico de prueba t Student.

	N	$\bar{X}$	σ	t	α	t crítico $t_{(1-\frac{\alpha}{2}) (n_1 + n_2 - 2)}$	p
Pre-test	8	7.13	1.23	-3.69	0.05	2.14	0.002
Post-test	8	9.14	0.76				

* $p < 0.05$

Como el valor t crítico es mayor que el valor de prueba ($t = -3.69$), y además el valor p es menor que el criterio de significancia α ($p < 0.05$), podemos decir que la hipótesis nula H_0 se rechaza, por lo que se acepta la hipótesis de investigación (Leenen, 2012). Esto nos permite identificar que la integración de la estrategia didáctica planteada en este trabajo, haciendo uso de los simuladores PhET para el desarrollo de conceptos físicos relacionados a la cinemática del movimiento de proyectiles, es significativa, además de los resultados analizados a través de la estadística descriptiva anteriormente mencionada.

Conclusiones

El diseño de la prueba permitió identificar que algunas de las carencias en temas anteriores correspondientes al movimiento unidimensional, al álgebra y a la trigonometría resultan ser factores clave que dificultan la enseñanza y el aprendizaje del movimiento de proyectiles. Asimismo, comprender que el movimiento de proyectiles es un movimiento bidimensional, que resulta de la combinación de un movimiento rectilíneo uniforme horizontal y un movimiento rectilíneo uniforme acelerado vertical y resolución de problemas de aplicación, resultaron ser las dificultades más comunes que el alumno presenta al desarrollarse el tema de movimiento de proyectiles. Por otro lado, en repetidos casos,

cuando en los reactivos correspondientes a problemas de aplicación que involucraban el manejo de alguna ecuación, los estudiantes computaban los resultados sin escribir la ecuación o la empleaban de forma incorrecta, por lo que la secuencia didáctica no promueve este aspecto en la resolución de problemas. Atendiendo la pregunta de investigación planteada: ¿de qué forma promueve mejoras en la adquisición conceptual de la cinemática del movimiento de proyectiles el uso de simuladores PhET? Podemos concluir que la secuencia didáctica que se planteó durante este trabajo, la cuál hace uso de las simulaciones PhET, promueve mejoras en la adquisición conceptual de la cinemática del movimiento de proyectiles a través de la manipulación en tiempo real de las variables físicas. Esto permitió identificar la relación entre variables, además, la interacción con la interfaz gráfica permitió visualizar las trayectorias parabólicas y la lectura de datos sin necesidad de realizar operaciones matemáticas, lo que ofreció la oportunidad de hacer comparativas entre los datos presentados por el simulador y los obtenidos por los estudiantes al emplear las ecuaciones de cinemática. Finalmente, se demostró, a través de un instrumento estadístico y rechazando la hipótesis nula H_0 , que la implementación de la secuencia didáctica presentada, misma que emplea simuladores PhET, promueve, de manera significativa, la apropiación de conceptos físicos relacionados a la cinemática del movimiento de proyectiles en estudiantes de nivel medio superior.

Créditos

Los resultados presentados en este capítulo fueron posibles gracias al apoyo del Gobierno de México, a través del Instituto Politécnico Nacional, mediante el Programa de Proyectos de Investigación del Programa Especial de Consolidación de Investigadores, a través del proyecto SIP20241158.

Referencias

- Camelo, T. (2020). Incorporación del simulador PhET para fortalecer el aprendizaje significativo del movimiento parabólico en física del grado décimo. Universidad de Santander UDES. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2020.125798><https://doi.org/10.1016/j.smr.2020.02.002><http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/810049><http://doi.wiley.com/10.1002/anie.197505391><http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780857090409500205>
- Castrejón Parga, K. Y., Sáenz Villela, J. M., Lara Pérez, E. S., & López Tavares, D. B. (2023). Implementación de Hojas de Actividades y Clases Interactivas Demostrativas con Simulaciones PhET en Física Conceptual. *Cultura Científica y Tecnológica*, 20(3). <https://doi.org/10.20983/culcyt.2023.3.2e.3>
- Davis, R. B., & Mukamal, K. J. (2006). Hypothesis testing: Means. *Circulation*, 114(10), 1078–1082. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.105.586461>
- Dressel, P. L. (1940). Some remarks on the kuder-richardson reliability coefficient. *Psychometrika*, 5(4), 305–310. <https://doi.org/10.1007/BF02287978>
- Enrique, E., y Freire, E. (2013). Endive. *An A-Z of Food and Drink*, 16(1), 122–139. <https://doi.org/10.1093/acref/9780192803511.013.0454>
- Feldt, L. S. (1965). The approximate sampling distribution of Kuder-Richardson reliability coefficient twenty. *Psychometrika*, 30(3), 357–370. <https://doi.org/10.1007/BF02289499>
- Fongsamut, K., Tanasittikosol, M., y Phaksunchai, M. (2022). Effectiveness of the simulation-based learning (SBL) assisted with scaffolding approach to address students' misconceptions about projectile motion. *Physics Education*, 58.
- González Murillo, L. A., Cárdenas Galindo, J. A., y Arellano González, J. C. (2017). Desarrollo de Habilidades Del Pensamiento de Orden Superior a Través de Actividades de Desempeño. *Revista Electrónica ANFEI Digital*, 6, 1–9. <https://www.anfei.mx/revista/index.php/revista/article/viewFile/360/1002><https://anfei.mx/revista/index.php/revista/article/viewFile/360/1002#:~:text=El pensamiento de orden superior,López %26 Whittington%2C 2014>
- Karanggulimu, L., Sudjito, D. N., y Noviandini, D. (2017). Desain Modul Praktikum Mandiri Tentang Gerak Parabola Menggunakan Simulasi PhET "Projectile Motion". *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Sains*, 212–214.
- Leenen, I. (2012). La prueba de la hipótesis nula y sus alternativas : revisión de algunas críticas y su relevancia para las ciencias médicas. 1(4), 225–234.
- Muliyati, D., Nurindrasari, M., y Rustana, C. E. (2021). ProSim"-Designing projectile motion worksheet to support higher-order thinking skill. *AIP Conference Proceedings*, 2320(March). <https://doi.org/10.1063/5.0037482>
- Obispo, K. C., Yap, K. D., y Yap, J. M. (2011). The Use of Interactive Simulation in Teaching Science 9: Projectile Motion. 50–54. <http://phet.colorado.edu>
- Perkins, K., Adams, W., Dubson, M., Finkelstein, N., Reid, S., Wieman, C., y LeMaster, R.

- (2006). PhET: Interactive Simulations for Teaching and Learning Physics. *The Physics Teacher*, 44(1), 18–23. <https://doi.org/10.1119/1.2150754>
- Tuhusula, T. S., Pattana, B., Randai, E., Wateriri, D. R., y Walukow, A. F. (2020). Eksperimen Menggunakan Virtual Lab Berbasis PhET Simulation dalam Pembelajaran Fisika pada Materi Gerak Parabola. *Jurnal Pendidikan FIS*, 9(2), 128–135. <https://jurnal.unimed.ac.id/2012/index.php/jpf/article/download/20783/pdf>
- Wieman, C. E., Adams, W. K., Loeblein, P., y Perkins, K. K. (2010). Teaching Physics Using PhET Simulations. *The Physics Teacher*, 48(4), 225–227. <https://doi.org/10.1119/1.3361987>
- Wieman, C. E., Adams, W. K., y Perkins, K. K. (2008). Physics. PhET: Simulations that enhance learning. *Science*, 322(5902), 682–683. <https://doi.org/10.1126/science.1161948>
- Young, H. D. (2013). Sears & Zemansky Física universitaria Vol. 1. In Pearson (Vol. 135, Issue 4).
- Zambrano-Cedeño, I., y Alexander, A. (2024). Recursos digitales para el refuerzo pedagógico en contenidos de la asignatura de física Resumen. 8(4), 87–106.