

Enseñanza en línea de las leyes de Newton, utilizando simulaciones PhET

Online teaching of Newton's laws using PhET simulations

Francisco Aguilar Acevedo
Universidad Anáhuac Puebla. México
facevedo@anahuac.mx

Jesús Alberto Flores Cruz
Instituto Politécnico Nacional. México
jafloresc@ipn.mx

Daniel Pacheco Bautista
Universidad del Istmo. México
dpachecob@bianni.unistmo.edu.mx

Recibido: 23/08/2021 Aceptado: 22/04/2023

Palabras clave: Enseñanza de la física, recursos didácticos, simulación, software educativo, educación superior.

Keywords: Physics teaching, teaching resources, simulation, educational software, higher education.

Resumen

Situaciones emergentes como la originada por la pandemia por COVID-19 han planteado desafíos a la educación en todos los niveles educativos, los cuales requieren de nuevos enfoques creativos e innovadores que potencialicen el uso de las tecnológicas disponibles en pro de mejorar las condiciones de aprendizaje de los estudiantes en circunstancias extraordinarias. Bajo este contexto, en este artículo se valora el aprendizaje que genera una instrucción de las leyes de Newton que es apoyada de simulaciones PhET, en un curso universitario en línea durante el confinamiento por COVID-19. Se evaluó la efectividad de la instrucción a través de la aplicación de un Cuestionario Sobre el Concepto de Fuerza (FCI por sus siglas en inglés), previo y posterior a la intervención, se exploró la percepción de los estudiantes sobre su conocimiento tras la instrucción y el tipo de representaciones externas que manifestaron. El estudio reveló un incremento del 7.2 % en el porcentaje de respuestas correctas en la prueba FCI mientras que el 68 % (13/19) de los ítems presentaron un menor

Innovatus

índice de dificultad. Por su parte, el 82 % de los estudiantes que consideraron saber “nada” antes de la instrucción percibieron algún tipo de mejora, señalando saber “poco” o “algo” después de la instrucción. En su conjunto, estas observaciones otorgan una valoración positiva del uso de simulaciones PhET como apoyo para la enseñanza de las leyes de Newton en un curso en línea, abriendo la posibilidad al diseño y desarrollo de nuevas simulaciones que potencialicen los resultados obtenidos.

Abstract

Emerging situations such as caused by COVID-19 pandemic, have presented challenges to education at all levels, which require new creative and innovative approaches that enhance the use of available technologies, in order to improve the learning conditions of student in extraordinary circumstances. In this context, this paper assesses the learning that generates an instruction of Newton’s laws that is supported by PhET simulations, in an online university course during confinement by COVID-19. Instruction efficiency was evaluated through employing of Force Concept Inventory (FCI) before and after of the intervention, the students’ perception of their knowledge after the instruction was explored, as well as the type of external representations they manifested. The study revealed a 7.2 % increase in the percentage of correct answers in the FCI test, while 68 % (13/19) of the items presented a lower difficulty index. For their part, 82 % of the students who considered knowing “nothing” before the instruction perceived some kind of improvement, indicating that they knew “little” or “some” after the instruction. Taken together, these observations give a positive assessment of using PhET simulations to support Newton’s laws teaching in an online course, opening the possibility to the design and develop new simulations that enhance the results obtained.

Introducción

Las simulaciones por computadora se pueden utilizar con fines heurísticos (descubrir), con el objetivo de predecir datos que no se tienen, y con el propósito de generar un entendimiento de los datos que ya se tienen (Winsberg, 2019). Bajo este enfoque, para Landriscina (2013) una simulación es una representación interactiva de un sistema, que basada en un modelo permite verificar hipótesis y reflexionar sobre la estructura del sistema y los procesos de decisión relacionados con él. En este sentido, las simulaciones pueden presentar dos niveles de transparencia de sus modelos

de simulación, teniéndose aquellas en las que los modelos conceptuales y/o computacionales subyacentes permanecen ocultos, las así llamadas “de caja negra”, y aquellas otras en las que la estructura y el comportamiento del modelo son accesibles, mostrando abiertamente las relaciones entre las variables denominadas de caja de “vidrio/blanca/transparente” (Groesser, 2012; Landriscina, 2013).

En los procesos de enseñanza-aprendizaje las simulaciones permiten la reproducción de actividades con la suficiente fidelidad para lograr la participación de los estudiantes en una forma realista y significativa (Contreras, García y Ramírez, 2010), favoreciendo la enseñanza de conocimientos específicos, el desarrollo de habilidades básicas del pensamiento y el interés de los estudiantes.

En relación con el uso de simulaciones para fines de aprendizaje, este se puede manifestar de dos formas: construyendo una simulación o usando una ya existente (Landriscina, 2013). En el caso de su uso, los simuladores pueden ser empleados para ilustrar contenidos y/o realizar experimentos (Frasson y Blanchard, 2012; Vlachopoulos y Makri, 2017). En este aspecto, la taxonomía de Maier y Größler (2000) señala al modelo subyacente, la interfaz humano-computadora y la funcionalidad como rasgos distintivos de las simulaciones diseñadas para apoyar el aprendizaje, mientras que para Frasson y Blanchard (2012) son las distintas formas de realización, la fidelidad, la interactividad, la inmersión y la capacidad para reaccionar de forma “inteligente” a las interacciones del usuario, características distintivas de las simulaciones usadas con propósitos de aprendizaje. Es de mencionar que en años recientes los avances tecnológicos han permitido potencializar las simulaciones por computadora al incrementar su realismo (credibilidad).

Con respecto a su impacto en procesos de aprendizaje complejos como los demandados en el estudio de las ciencias, para Landriscina (2013), en condiciones adecuadas, el uso de simulaciones puede mejorar procesos cognitivos como seleccionar, organizar e integrar información, acceder y crear analogías y metáforas, y generar inferencias, lo que facilita la construcción de nuevas estructuras cognitivas o la modificación e, incluso, reemplazo de las preexistentes.

Lo anterior favorece el uso de simulaciones en la enseñanza de ciencias como la Física en donde frecuentemente es necesario que los estudiantes construyan modelos mentales (representaciones internas) que deben incluir abstracciones y factores invisibles para los cuales no tienen referencias reales (Ibáñez *et al.*, 2014). Al respecto, Handhika *et al.* (2016) señalan que la consistencia de símbolos (visuales y matemáticos) en los recursos de enseñanza y aprendizaje de la Física se vuelven muy importantes para superar una concepción incorrecta. Un ejemplo de ello son las ideas

alternativas del concepto de fuerza que lleva a los estudiantes a tener dificultades para dibujar diagramas de fuerzas o determinar la magnitud y dirección del movimiento de los objetos (Zhou, Zhang y Xiao, 2015). En este sentido, Mora y Benítez (2007) señalan que el origen y persistencia de ideas alternativas sobre fuerza se pueden atribuir en parte a una enseñanza inadecuada de las ciencias. A lo cual, Hubber, Tytler y Haslam (2010) indican que las dificultades conceptuales sobre la noción de fuerza son de naturaleza fundamentalmente representativa.

Bajo este contexto es importante distinguir entre programas de simulación simples y entornos de aprendizaje basados en simulación, siendo estos últimos los que cuentan con un soporte instruccional y recursos destinados a facilitar y enriquecer la experiencia de aprendizaje de los estudiantes (Landriscina, 2013). Sin embargo, como señala el National Research Council (2011), su efectividad requiere de un buen diseño, pruebas y un adecuado andamiaje de la experiencia de aprendizaje en sí. Más aún, para Solé-Llussà, Aguilar e Ibáñez (2020) una simulación que no encaja en el currículo dificulta su incorporación en la práctica docente. Al respecto, un proyecto ampliamente difundido es el encausado por la Universidad de Colorado en Boulder mediante el cual se han desarrollado una serie de simulaciones interactivas y gratuitas para la enseñanza-aprendizaje de las matemáticas y las ciencias, denominadas PhET (Physics Education Technology). Hoy en día se encuentran disponibles simulaciones PhET de Física, Química, Matemáticas, Ciencias de la Tierra y Biología a través del portal web <https://phet.colorado.edu/>

En particular, las herramientas PhET han sido usadas en combinación con otros recursos o como parte de técnicas didácticas en busca de mejorar los procesos de enseñanza-aprendizaje de la Física. Por ejemplo, en Yuliati, Riantoni y Mufti (2018) se explora el desarrollo de habilidades para la resolución de problemas a través del aprendizaje basado en la indagación con simulaciones PhET relacionadas con el tema de corriente directa. A la vez, en Mahtari *et al.* (2020) y Sudirman y Qaddafi (2023) se estudia el uso de hojas de trabajo con simulaciones PhET para mejorar el aprendizaje de conceptos relacionados con circuitos eléctricos y la ley de Hooke, respectivamente. Por su parte, Vegisari, Wilujeng y Hardiyanti (2020) exploran el efecto de una metodología de didáctica activa apoyada de simulaciones PhET masa-resorte para promover las habilidades de representaciones múltiples en estudiantes de Física. A su vez, La Aca, Sulisworo y Maruto (2020) examinan el uso de simulaciones PhET relacionadas con el movimiento parabólico, en un entorno de aula invertida, para el desarrollo de las habilidades de pensamiento crítico en los estudiantes. Desde la perspectiva de la enseñanza basada en juegos, en Yıldırım y Baran (2021) se compara el uso de simulaciones PhET de movimiento (fuerza y leyes de Newton),

con juegos de actividad física, sin encontrar una diferencia significativa entre estos métodos. En tanto, Ernita *et al.* (2021) exploran el aprendizaje por indagación basado en laboratorios reales y virtuales, estos últimos a través de simulaciones PhET de electricidad, señalando que no hay diferencias en los resultados y motivación de los estudiantes con respecto al uso de un tipo de laboratorio u otro.

Así, el uso de herramientas tecnológicas como las simulaciones en la enseñanza de ciencias como la Física ha motivado diversas investigaciones, las cuales han adquirido nuevos matices tras la pandemia por COVID-19. Dichas investigaciones han buscado contribuir a mejorar las condiciones de aprendizaje de los estudiantes en confinamiento mientras se cuestiona la eficacia de la enseñanza cuando ésta pasa del aula física a los dispositivos tecnológicos (Klein *et al.*, 2021; Ahamad *et al.*, 2021; Delgado, 2021; Granados *et al.* 2021; Abouhashem *et al.*, 2021). En este contexto, las simulaciones PhET han sido una opción como herramienta para la enseñanza en línea de la Física (Perkins, 2020; Masruroh *et al.*, 2020; Hasyim, Prastowo y Jatmiko, 2020; Laila y Anggaryani, 2021; Salsabila y Kholiq, 2021).

Así, el objetivo de este estudio se centra en valorar el aprendizaje que genera una instrucción de las leyes de Newton que es apoyada por simuladores PhET durante el confinamiento por COVID-19, además de buscar conocer la percepción de los estudiantes sobre su conocimiento tras la instrucción y el tipo de representación externa que manifestaron en un ejercicio de clase particular. El estudio se realizó con una población de estudiantes universitarios de primer ciclo de una institución pública del sureste de México, integrando un instrumento para medir el aprendizaje conceptual y un cuestionario breve para estimar la actitud de los estudiantes hacia la instrucción apoyada con simuladores.

Metodología

Se presenta un estudio de diseño cuasi-experimental del tipo antes-después con un sólo grupo, considerando la medición del nivel de aprendizaje conceptual de los estudiantes sobre las leyes de Newton, antes y después de producir la intervención apoyada por simuladores PhET. La instrucción se desarrolló bajo una estrategia de indagación guiada a través del seguimiento de la interacción de los estudiantes con los simuladores PhET. Para efectos de esta investigación se emplearon dos instrumentos de naturaleza cuantitativa: la prueba FCI y dos ítems Likert. De manera adicional, se consideraron las calificaciones de cuatro grupos de años académicos pasados en los que no se realizó ninguna intervención similar, ello con el objetivo de identificar diferencias respecto de la instrucción apoyada por simuladores.

Este estudio se gestó bajo el marco del confinamiento por COVID-19, llevando a cabo la intervención en una modalidad en línea, la cual se enfocó en la tercera unidad temática de la asignatura de Física para Ingeniería del ciclo 2020-2021, que dentro del programa de estudios aborda la enseñanza de las leyes de Newton.

Participantes

Se trabajó con solamente un grupo de una población finita pequeña, conformada por once estudiantes (54 % mujeres y 46 % hombres), quienes recibieron la instrucción en línea a través del empleo de una plataforma Moodle gratuita para la administración de recursos asíncronos y videollamadas como medio síncrono. Previamente, el 82 % de los estudiantes cursaron alguna asignatura de Física. El profesor investigador fungió como docente del curso.

Instrumentos

En este estudio se hizo uso de la prueba denominada Force Concept Inventory (FCI), que es un Cuestionario Sobre el Concepto de Fuerza formulado por Hestenes, Wells y Swackhamer (1992), el cual es uno de los instrumentos más utilizados para evaluar el aprendizaje conceptual en cursos introductorios a la Física (Fazio y Battaglia, 2019). En este trabajo se empleó la versión en español de la prueba FCI revisada en 1995, que se encuentra disponible a través del portal web www.physport.org. En el análisis de los datos se consideró la identificación realizada por Caballero *et al.* (2012) que relaciona las leyes de Newton con 19 de las 30 preguntas del FCI, categorizando éstas en tres subconjuntos de 7, 7 y 5 preguntas, etiquetados en este estudio como $N1=\{6,7,8,10,12,21,23\}$, $N2=\{3,9,22,24,25,26,27\}$ y $N3=\{4,5,15,16,28\}$, que corresponden a la primera, segunda y tercera ley de Newton, respectivamente.

Si desea consultar la prueba FCI empleada, haga clic en el enlace de anexos que se encuentra ubicado al final del documento.

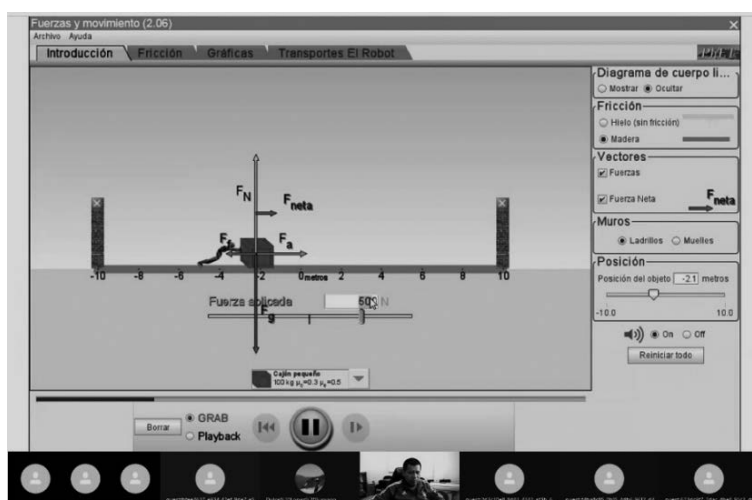
Con respecto al registro de la percepción de los estudiantes sobre sus conocimientos de las leyes de Newton, éste se realizó a través de dos preguntas con escala Likert de cinco puntos (nada/poco/algo/bastante/mucho): 1) Conforme a mi desempeño en el cuestionario (FCI), ¿qué tanto conozco del tema de leyes de Newton?, 2) Al considerar los temas vistos en las clases virtuales, ¿qué tanto conozco ahora de leyes de Newton?, las cuales fueron realizadas en dos tiempos complementarios al proceso de instrucción.

Procedimiento

Las clases virtuales para la instrucción de las leyes de Newton apoyada por simuladores consistieron de cinco sesiones de una hora durante las cuales el docente hizo uso de las simulaciones PhET “Fuerza y Movimiento” y “Rampa: Fuerzas y movimiento” como herramienta de apoyo para ilustrar los contenidos y realizar experimentos virtuales relacionados con las leyes de Newton por parte de los estudiantes. En la Figura 1 se muestra una imagen de la instrucción en línea apoyada con simuladores.

De manera previa y posterior a la instrucción, se aplicaron el instrumento FCI y las preguntas en escala Likert, a través de la plataforma Moodle, en un cuestionario con un tiempo límite de 30 minutos para el caso de la prueba FCI y, a través de foros, para el caso de las preguntas en escala Likert.

• **Figura 1.** Instrucción en línea apoyada de la simulación PhET “Fuerzas y Movimiento”



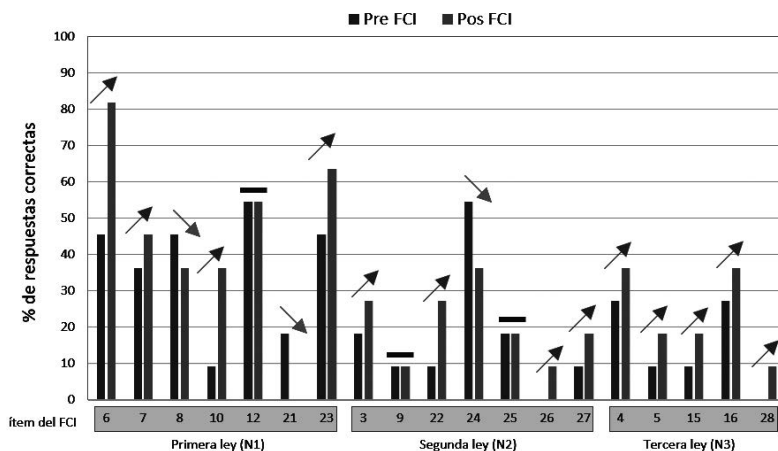
Fuente: elaboración propia

Resultados y discusión

En la Figura 2 se ilustra la dificultad por ítem a través del porcentaje de respuestas correctas que presenta un promedio de 24.3 % en el pretest y 30.6 % en el postest para una diferencia favorable del 7.2 %. De igual forma, es posible denotar que el 68 % (13/19) de los ítems mostraron una variación positiva en el desempeño, que el 16 % (3/19) no mostró ningún tipo de variación {12, 9, 25} y que el 16 % (3/19) manifestó diferencias negativas {8, 21, 24}. Para el caso de los ítems 8 y 21, donde se analiza la descripción de la trayectoria de un objeto bajo la

acción de una fuerza de impulso (ítem 8) o cuando éste sigue una trayectoria constante (ítem 21), la diferencia negativa encontrada podría atribuirse a errores conceptuales que los estudiantes hayan adquirido previamente sobre el movimiento de proyectiles o a la falta de una simulación que abordara escenarios similares durante la intervención. En el caso particular del ítem 24, éste está relacionado con la interpretación de una trayectoria (ítem 23) en ausencia de un empuje inicial que genere el movimiento (del ítem 21), lo que presupone una relación con la observación señalada para los ítems 8 y 21.

• **Figura 2.** Resultados pre-FCI y pos-FCI por ítem



Fuente: elaboración propia

En la Tabla 1 se muestra una comparativa del índice de dificultad por ítem, entendiendo éste como la relación entre el número de aciertos y el total de estudiantes examinados (Hurtado, 2018), y que bajo la valoración propuesta por Ortiz *et al.* (2015) puede clasificar a los ítems como Difíciles (menor de 0.40), Medianamente Difíciles (entre 0.40 y 0.50), de Dificultad Media (entre 0.51 y 0.80), Medianamente Fáciles (entre 0.81 y 0.90) y Fáciles (entre 0.91 y 1.00), de modo que a menor índice el ítem presentara mayor dificultad. Se puede observar que el 68 % (13/19) de los ítems revelaron un menor índice de dificultad mientras, considerando su valoración, el 16 % (3/19) de los ítems disminuyeron en escala de dificultad (!).

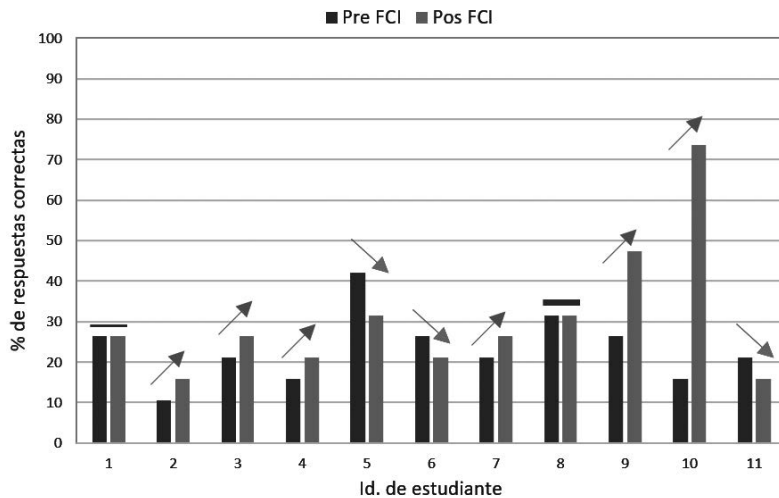
•Tabla 1. Índice de dificultad por ítem

Ley de Newton	Pregunta en el FCI	Pre-FCI		Pos-FCI			Diferencia
1.º	6	0.45	MD	0.82	MF	I	-0.37
	7	0.36	D	0.45	MD	I	-0.09
	8	0.45	MD	0.36	D	I	+0.09
	10	0.09	D	0.36	D		-0.27
	12	0.55	M	0.55	MD		0.00
	21	0.18	D	0.00	D		+0.18
	23	0.45	MD	0.64	M	I	-0.19
2.º	3	0.18	D	0.27	D		-0.09
	9	0.09	D	0.09	D		0.00
	22	0.09	D	0.27	D		-0.18
	24	0.55	M	0.36	D	I	+0.19
	25	0.18	D	0.18	D		0.00
	26	0.00	D	0.09	D		-0.09
	27	0.09	D	0.18	D		-0.09
3.º	4	0.27	D	0.36	D		-0.09
	5	0.09	D	0.18	D		-0.09
	15	0.09	D	0.18	D		-0.09
	16	0.27	D	0.36	D		-0.09
	28	0.00	D	0.09	D		-0.09

Fuente: elaboración propia

En relación con el desempeño de cada estudiante, en la Figura 3 se observa una tendencia grupal favorable, siendo sólo tres los estudiantes que mostraron una tendencia negativa después de la intervención, lo cual complementa la observación realizada a nivel de ítem.

• **Figura 3.** Resultados pre-FCI y pos-FCI por estudiante

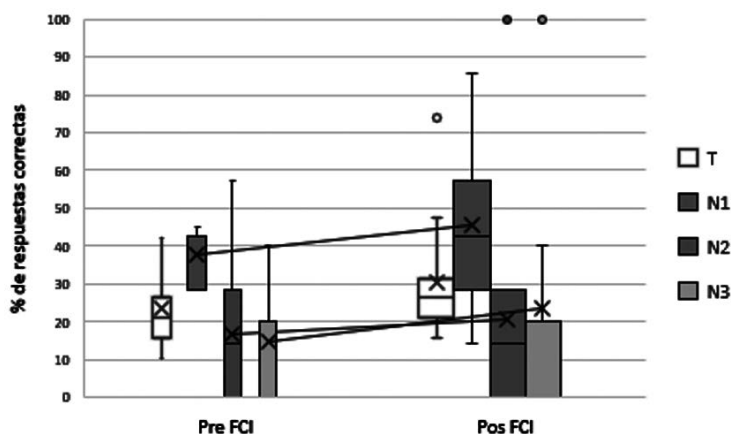


Fuente: elaboración propia

Sobre las preguntas como conjunto, el puntaje promedio (valor medio) pasó de 4.5/19 (0.23) a 5.8/19 (0.30), con desviaciones estándar de 1.6 y 3.2. En la Figura 4 son mostrados, a través de sus respectivos cuartiles, el promedio total de respuestas correctas (T) y, por subconjunto, de preguntas. Acerca del conjunto T, se observa un valor medio más alto, con extremos superiores e inferiores que señalan una variabilidad equiparable entre los datos.

En cuanto a los subconjuntos, en cada uno de ellos el valor medio favorece a los resultados del pos-FCI, siendo más notorio en el subconjunto N1 (2.5/7 respecto de 3.2/7), el cual está relacionado con la primera ley de Newton que, sin embargo, evidencia un mayor rango intercuartil y, por tanto, mayor dispersión. El valor medio observado para N3, tanto en el FCI previo (el menor de todos) como posterior (superior al cuartil superior), fortalece la observación realizada por otros estudios que señalan a la tercera ley de Newton como un tópico del tipo “desafío” para los estudiantes (Savinainen *et al.*, 2017). Por otra parte, se tiene que los datos atípicos en los grupos N2 y N3 dan origen a la mayor desviación estándar para los datos obtenidos en el pos-FCI.

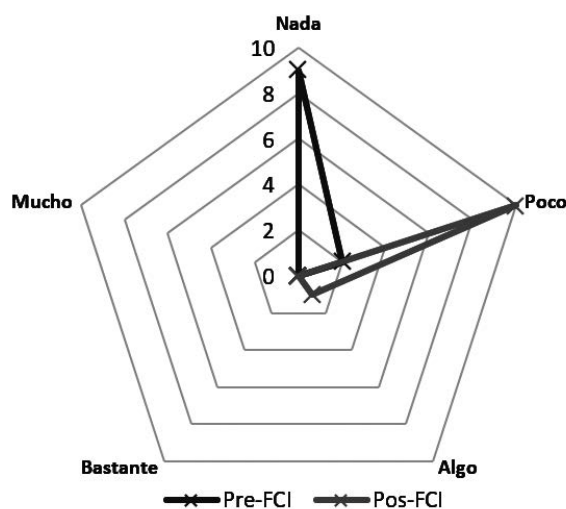
• **Figura 4.** Resultados pre-FCI y pos-FCI por conjunto de preguntas



Fuente: elaboración propia

En lo que respecta a la percepción de los estudiantes sobre su conocimiento, en el caso de la pregunta 1 (antes de la instrucción), el 82 % (9/11) de los estudiantes estimaron saber “nada” sobre el tema mientras que un 18 % (2/11) consideró conocer “poco”. En cuanto a la pregunta 2 (después de la instrucción), el 91 % (10/11) señaló saber “poco” y un 9 % “algo” (1/11). En la Figura 5 se puede observar una mejora grupal en la percepción de los estudiantes, lo que apoya los resultados de la prueba FCI.

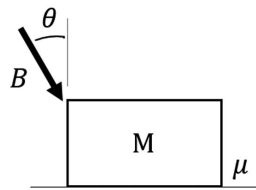
• **Figura 5.** Percepción de los estudiantes sobre su conocimiento de las leyes de Newton



Fuente: elaboración propia

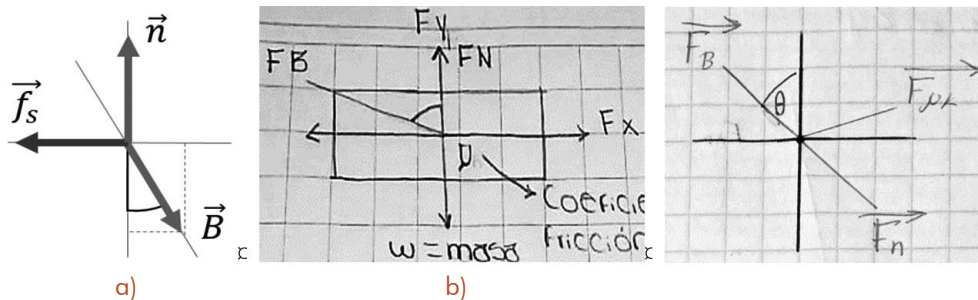
Finalmente, si bien los resultados mostrados presuponen una mejora en la comprensión conceptual de las leyes de Newton, es de destacar las dificultades que manifiestan los estudiantes para representar situaciones que conllevan la construcción o modificación de representaciones internas, de las cuales no tienen referencia. Tal es el caso de la siguiente situación hipotética, presentada al grupo bajo estudio y como parte de las actividades de clase.

Un astronauta empuja un bloque de masa M sobre una superficie con una fuerza B en la dirección que indica la figura. Este experimento es realizado en el espacio donde el efecto de la gravedad es despreciable. El coeficiente de fricción estática y cinética entre el bloque y la superficie es el mismo (μ). Asumiendo que el bloque no se mueve inicialmente, dibuje el diagrama de cuerpo libre que muestre todas las fuerzas que actúan sobre el bloque.



En la Figura 6 se muestra la respuesta esperada (a) y la respuesta obtenida por dos de los estudiantes (b). Como se observa, los diagramas generados describen de manera parcial la interacción entre las fuerzas que actúan sobre el bloque, denotando un vacío argumental sobre la aplicación de la tercera ley de Newton, lo que concuerda con los resultados mostrados en la Figura 2, subrayando la necesidad de contar con herramientas para el apoyo en la enseñanza de este tópico particular.

• **Figura 6.** Problemas de representación: a) Diagrama esperado, b) Respuestas de dos estudiantes



Fuente: elaboración propia

Es de señalar que, si bien la condición de confinamiento por COVID-19 no permitió estimar los efectos intervinientes de la modalidad presencial o en línea, algunos estudios señalan que no existen diferencias significativas en el desempeño entre estudiantes de estas modalidades (Fischer *et al.*, 2020; Bergeler y Read, 2021), hecho que no es explorado en este estudio.

Conclusiones

El confinamiento por COVID-19 ha traído consigo vicisitudes que han ampliado la brecha preexistente en el acceso a la educación e incrementado los índices de deserción escolar, sin embargo, también ha llevado a investigadores y docentes de todos los niveles educativos y de diversos países a buscar nuevas formas creativas e innovadoras para enfrentar este tipo de crisis.

Así, en este artículo se abordó una experiencia de enseñanza de las leyes de Newton apoyada por simuladores PhET bajo el contexto de confinamiento por COVID-19. Los resultados obtenidos respaldan la viabilidad exhibida por estudios como los de Hasyim, Prastowo y Jatmiko (2020), y de Laila y Anggaryani (2021), sobre el uso de simulaciones PhET como apoyo para la enseñanza en línea de las leyes de Newton. En este contexto particular, se observó un incremento en el porcentaje de respuestas correctas, una disminución en el índice de la dificultad por ítem de la prueba FCI y una mejora grupal en la percepción de los estudiantes sobre su conocimiento acerca del tema que podrían ser atribuidos en primera instancia al empleo de las simulaciones PhET, sin dejar de lado el hecho de la modalidad en línea bajo la que se da la instrucción y la imposibilidad de estudiar esta variable interviniente. En el mismo sentido, los vacíos argumentales sobre la aplicación de la tercera ley de Newton, en este caso manifestados a través de las representaciones externas de un ejercicio de clase, coinciden con las observaciones realizadas por otros estudios respecto de la dificultad que representa la enseñanza de la tercera ley de Newton, más allá de los obstáculos didácticos que se presentan en una instrucción en línea.

Es de indicar que, si bien las prestaciones de las simulaciones PhET disponibles para la enseñanza de las leyes de Newton son considerables, experiencias como las abordadas en este trabajo abren una ventana de oportunidad para el diseño y desarrollo de nuevas simulaciones que resulten en simuladores que permitan mejorar los procesos de enseñanza-aprendizaje de las leyes de Newton.

Se declara que la obra que se presenta es original, no está en proceso de evaluación en ninguna otra publicación, así también que no existe conflicto de intereses respecto a la presente publicación.

Referencias

- Abouhashem, A., Abdou, R. M., Bhadra, J., Siby, N., Ahmad, Z. y Al-Thani, N. J. (2021). COVID-19 Inspired a STEM-Based Virtual Learning Model for Middle Schools - A Case Study of Qatar. *Sustainability* 13(5), 2799. doi: 10.3390/su13052799
- Ahamad, A. N., Samsudin, M. A., Ismail, M. E. y Ahmad, N. J. (2021). Enhancing the Achievement in Physics' Motion Concept through Online Multiple Intelligence Learning Approach. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education* 17(2), em1941. doi: 10.29333/ejmste/9698

- Bergeler, E. y Read, M. F. (2021). Comparing Learning Outcomes and Satisfaction of an Online Algebra-Based Physics Course with a Face-to-Face Course. *Journal of Science Education and Technology* 30, 97-111. doi: 10.1007/s10956-020-09878-w
- Caballero, M. D., Greco, E. F., Murray, E. R., Bujak, K. R., Marr, M. J., Catrambone, R., Kohlmyer, M. A. y Schatz, M. (2012). Comparing large lecture mechanics curricula using the Force Concept Inventory: A five thousand student study. *American Journal of Physics*, 80(7), 638-644. doi: 10.1119/1.3703517
- Contreras, G. A., García, R. y Ramírez, M. S. (2010). Uso de simuladores como recurso digital para la transferencia de conocimiento. *Apertura* 2(1), 86-100.
- Delgado, F. (2021). Teaching Physics for Computer Science Students in Higher Education During the COVID-19 Pandemic: A Fully Internet-Supported Course. *Future Internet* 13(2), 35. doi: 10.3390/fi13020035
- Ernita, N., Muin, A., Verawati, N. N. S. P. y Prayogi, S. (2021). The effect of inquiry learning model based on laboratory and achievement motivation toward students' physics learning outcomes. *Journal of Physics: Conference Series* 1816, 012090. doi: 10.1088/1742-6596/1816/1/012090
- Fazio, C. y Battaglia, O. R. (2019). Conceptual Understanding of Newtonian Mechanics Through Cluster Analysis of FCI Student Answers. *International Journal of Science and Mathematics Education* 17, 1497-1517. doi: 10.1007/s10763-018-09944-1
- Fischer, C., Xu, D., Rodríguez, F., Denaro, K. y Warschauer, M. (2020). Effects of course modality in summer session: Enrollment patterns and student performance in face-to-face and online classes. *The Internet and Higher Education* 45, 100710. doi: 10.1016/j.iheduc.2019.100710
- Frasson, C. y Blanchard, E. G. (2012). Simulation-Based Learning. En N. M. Seel (Ed.), *Encyclopedia of the Sciences of Learning* (pp. 3076-3080). Boston, Massachusetts, EUA: Springer. doi: 10.1007/978-1-4419-1428-6_129
- Granados, J., Tavera, F., Cid, A., Hernández, R. T. y Velázquez, J. M. (2021). Non-face-to-face physics laboratory, an educational strategy. *Journal of Physics: Conference Series* 1723, 012061. doi: 10.1088/1742-6596/1723/1/012061
- Groesser, S. N. (2012). Model-Based Learning with System Dynamics. In N. M. Seel (Ed.), *Encyclopedia of the Sciences of Learning* (pp. 2303-2307). Nueva York, EUA: Springer. doi: 10.1007/978-1-4419-1428-6_909
- Handhika, J., Cari, C., Soeparmi, A. y Sunarno, W. (2016). Student conception and perception of Newton's law. *AIP Conference Proceedings* 1708(1), 070005. doi: 10.1063/1.4941178
- Hasyim, F., Prastowo, T. y Jatmiko, B. (2020). The Use of Android-Based PhET Simulation as an Effort to Improve Students' Critical Thinking Skills during the Covid-19 Pandemic. *International Journal of Interactive Mobile Technologies* 14(19), 31-41. doi: 10.3991/ijim.v14i19.15701
- Hestenes, D., Wells, M. y Swackhamer, G. (1992). Force concept inventory. *The Physics Teacher* 30(3), 141-158. doi: 10.1119/1.2343497
- Hubber, P., Tytler, R. y Haslam, F. (2010). Teaching and Learning about Force with a Representational Focus: Pedagogy and Teacher Change. *Research in Science Education* 40(1), 5-28. doi: 10.1007/s11165-009-9154-9
- Hurtado, L. L. (2018). Relación entre los índices de dificultad y discriminación. *Revista Digital de Investigación en Docencia Universitaria*, 12(1), 273-300. doi: 10.19083/ridu.12.614
- Ibáñez, M. B., Di Serio, Á., Villarán, D. y Kloos, C. D. (2014). Experimenting with electromagnetism using augmented reality: Impact on flow student experience and educational effectiveness. *Computers & Education* 71, 1-13. doi: 10.1016/j.compedu.2013.09.004
- Klein, P., Ivanjek, L., Dahlkemper, M. N., Jeličić, K., Geyer, M.-A., Küchemann, S. y Susac, A. (2021). Studying physics during the COVID-19 pandemic: Student assessments of learning achievement, perceived effectiveness of online recitations, and online laboratories. *Physical*

- Review *Physics Education Research* 17(1), 010117. doi: 10.1103/PhysRevPhysEducRes.17.010117
- La Aca, A., Sulisworo, D. y Maruto, G. (2020). The Critical Thinking Skills Impacts on the Utilization of PhET Simulation in the Flipped Classroom Setting. *Advances in Social Science. Education and Humanities Research* 477, 104-108. doi: 10.2991/assehr.k.201017.024
- Laila, S. I. y Anggaryani, M. (2021). The Use of STEM-Based Virtual Laboratory (PhET) of Newton's Law to Improve Students' Problem Solving Skills. *Jurnal Pendidikan Fisika* 9(2), 125-133. doi: 10.26618/jpf.v9i2.5078
- Landriscina, F. (2013). *Simulation and Learning: A Model-Centered Approach*. Nueva York, EUA: Springer. doi: 10.1007/978-1-4614-1954-9
- Maier, F. H. y Größler, A. (2000). What are we talking about? - A taxonomy of computer simulations to support learning. *System Dynamics Review*, 16(2). 135-148. doi: 10.1002/1099-1727(200022)16:2<135::AID-SDR193>3.0.CO;2-P
- Mahtari, S., Wati, M., Hartini, S., Misbah, M. y Dewantara, D. (2020). The effectiveness of the student worksheet with PhET simulation used scaffolding question prompt. *Journal of Physics: Conference Series* 1422, 012010. doi: 10.1088/1742-6596/1422/1/012010
- Masruroh, N. C., Vivianti, A., Anggraeni, P. M., Waroh, S. N. y Wakhidah, N. (2020). Application of Phet Simulation to Electrical Circuits Material in Online Learning. *INSECTA* 1(2), 130-142. doi: 10.21154/insecta.v1i2.2312
- Mora, C. y Benítez, Y. (2007). Errores conceptuales sobre fuerza y su impacto en la enseñanza. *Revista Cubana de Física* 24(1), 41-45.
- National Research Council (2011). *Learning Science Through Computer Games and Simulations*. Washington, D. C., EUA: The National Academies Press. doi: 10.17226/13078
- Ortiz, G. M., Díaz, P. A., Llanos, O. R., Pérez, S. M. y González, K. (2015). Dificultad y discriminación de los ítems del examen de Metodología de la Investigación y Estadística. *EDUMECENTRO*, 7(2), 19-35. Recuperado de <http://www.revedumecentro.sld.cu/index.php/edumc/article/view/474>
- Perkins, K. (2020). Transforming STEM Learning at Scale: PhET Interactive Simulations. *Childhood Education* 96(4), 42-49. doi: 10.1080/00094056.2020.1796451
- Salsabila, S. y Kholiq, A. (2021). Development of Physics Edutainment Website to Improve Students' Critical Thinking Skills During the Covid-19 Pandemic. *Radiasi: Jurnal Berkala Pendidikan Fisika* 14(1), 11-22. doi: 10.37729/radiasi.v14i1.1034
- Savinainen, A., Mäkynen, A., Nieminen, P. y Viiri, J. (2017). The Effect of Using a Visual Representation Tool in a Teaching-Learning Sequence for Teaching Newton's Third Law. *Research in Science Education* 47(1), 119-135. doi: 10.1007/s11165-015-9492-8
- Solé-Llussà, A., Aguilar, D. e Ibáñez, M. (2020). El rol del maestro en indagaciones escolares mediante simulaciones. *EDUTEC. Revista Electrónica de Tecnología Educativa* 74, 221-223. doi: 10.21556/edutec.2020.74.1803
- Sudirman, S. y Qaddafi, M. (2023). The Application of Student Worksheets Based on PhET Simulation to Increase the Concept Understanding in Hooke's Law. *Jurnal Pendidikan Fisika*, 11(1), 73-85. doi: 10.26618/jpf.v11i1.9505
- Vegisari, Wilujeng, I. y Hardiyanti, S. (2020). Interactive conceptual instruction model assisted by PhET simulations on the improvement of physics multiple representations. *Journal of Physics: Conference Series* 1440, 012030. doi: 10.1088/1742-6596/1440/1/012030
- Vlachopoulos, D. y Makri, A. (2017). The effect of games and simulations on higher education: a systematic literature review. *International Journal of Educational Technology in Higher Education* 14(22), 1-33. doi: 10.1186/s41239-017-0062-1
- Winsberg, E. (2019). Computer Simulations in Science. En E. N. Zalta (Ed.), *Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Edición primavera 2019). Recuperado de <https://plato.stanford.edu/archives/spr2019/entries/simulations-science/>

- Yıldırım, Z. y Baran, M. A. (2021). A comparative analysis of the effect of physical activity games and digital games on 9th grade students' achievement in physics. *Education and Information Technologies* 26, 543-563. doi: 10.1007/s10639-020-10280-7
- Yuliaty, L., Riantoni, C. y Mufti, N. (2018). Problem Solving Skills on Direct Current Electricity through Inquiry Based Learning with PhET Simulations. *International Journal of Instruction* 11(4), 123-138. doi: 10.12973/iji.2018.1149a
- Zhou, S., Zhang, C. y Xiao, H. (2015). Students understanding on Newton's third law in identifying the reaction force in gravity interactions. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education* 11(3), 589-599. doi: 10.12973/eurasia.2015.1337a

Enlace para consultar anexos

https://drive.google.com/file/d/1d9dkL9w1wDLUo1Tlls3Wh9Fyb0w7L_kg/view?usp=sharing

Semblanzas

Francisco Aguilar Acevedo. Ingeniero en electrónica por la Universidad Tecnológica de la Mixteca (UTM), maestro en ciencias en Ingeniería Mecatrónica por el Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (CENIDET), y doctor en ciencias en Física Educativa por el Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada (CICATA) del Instituto Politécnico Nacional (IPN). Por casi 15 años, ha sido profesor a nivel superior y especialidad en diversas instituciones públicas y privadas, realizando actividades de docencia, investigación, vinculación y gestión académica, en programas de mecatrónica, robótica, y computación. Ha participado como director de tesis de licenciatura y posgrado, con particular interés en el área de las ciencias computacionales. Actualmente es profesor de tiempo completo en la Escuela de Ingeniería y Actuaría de la Universidad Anáhuac Puebla, dentro del programa de ingeniería mecatrónica. Sus áreas de interés incluyen la física educativa, la realidad virtual y aumentada y los sistemas mecatrónicos.

Jesús Alberto Flores Cruz. Ingeniero electricista, maestro en ciencias y doctor en Ingeniería de Sistemas. Especialista en el uso de tecnologías de última generación aplicadas a la educación, donde se destacan los Sistemas de realidad virtual, realidad aumentada, juego serio, mundos virtuales y simuladores. Desde hace doce años se desempeña como profesor en el departamento de ingeniería eléctrica, de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (ESIME) del Instituto Politécnico Nacional (IPN), con la categoría de profesor titular C de tiempo completo. Desde el mes de noviembre del 2018 forma parte del posgrado de física educativa del Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada (CICATA), Unidad Legaria del IPN, dentro de la línea de aplicación y generación del conocimiento: tecnologías de la información y la comunicación (TIC) en la enseñanza de las ciencias, impartiendo diversas asignaturas relacionadas con esa área del conocimiento y dirigiendo múltiples tesis de maestría y doctorado.

Daniel Pacheco Bautista. Ingeniero en electrónica por el Instituto Tecnológico de Oaxaca (TecNM), maestro en ciencias en electrónica por el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE), y doctor en Ingeniería Biomédica por la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla (UPAEP). Actualmente es profesor investigador de tiempo completo en la Universidad del Istmo dentro del programa de Ingeniería en Computación (UNISTMO) y director del grupo de investigación en cómputo aplicado. Sus áreas de interés son la bioinformática, la instrumentación médica, y los sistemas embebidos.

