

Efecto de las simulaciones de fuerza y movimiento en el aprendizaje de la Física Básica

EDVCA TIO PHVSICORVM



ISSN 1870-9095

Freddy Emilio Imbert

Área de Ciencias Naturales, Recinto Luis Napoleón Núñez Molina, Instituto de Formación Docente Salomé Ureña (ISFODOSU), Licey al Medio, República Dominicana

E-mail: freddy.fimbert@isfodosu.edu.do

(Recibido el 27 de octubre de 2021, aceptado el 27 de febrero de 2022)

Resumen

Se estudió el efecto de la aplicación de simuladores de fenómenos físicos, en el proceso de enseñanza aprendizaje de la Física. Este estudio se aplicó a tres secciones de Física Básica del recinto Luis Napoleón Núñez Molina del Instituto de Formación Docente Salomé Ureña. El procedimiento empleado para este estudio comprendió las siguientes actividades: 1) un test diagnóstico, 2) retroalimentación del mismo, 3) explicación tanto de la teoría, que sustenta el fenómeno como del funcionamiento del simulador PhET, concretamente el simulador de *fuerza y movimiento*, 4) interacción directa del alumno con el simulador, 5) análisis de la interacción entre los alumnos y el simulador y 6) un test evaluativo de las competencias adquiridas. Los resultados demuestran que el empleo de los simuladores, en las clases sincrónicas de Física Básica, facilita, promueve un avance significativo y efectivo de la comprensión de los fenómenos físicos, en particular, de la 2da Ley de Newton y las competencias específicas, por parte de los alumnos.

Palabras clave: Simulador, enseñanza aprendizaje de la física, 2da Ley de Newton.

Abstract

The application of computer simulations of physic phenomena, in the process of teaching-learning, was studied. This study was applied to three sections of Basic Physics in the Luis Napoleón Núñez Molina campus of the Instituto de Formación Docente Salomé Ureña. The procedure employed in this study comprised the following activities: 1) diagnostic test, 2) feedback, 3) Introduction to both the phenomenon theory and to the simulator PhET, particularly, *force and movement*, 4) direct interaction of the students with the simulator, 5) analysis of the student interaction with the simulator and 6) a test to evaluate the acquired competence. The results show that the use of simulators, in the synchronous classes of Basic Physics, facilitates, promotes a significant and effective advance in the understanding of physical phenomena, in particular, of Newton's 2nd Law and the specific competences, by of the students

Keywords: Simulator, teaching learning physics, Newton 2nd Law.

I. INTRODUCCIÓN

En la educación tanto de las ciencias naturales como de la tecnología la motivación es una de las claves principales. Existe una dificultad general en los estudiantes para comprender la física. En parte, debido a la necesidad de poseer o haber desarrollado la capacidad de razonamiento lógico-matemático. Por otra parte, debido al bajo nivel de preparación, que traen los alumnos de su educación primaria y secundaria. También por razones subjetivas, como los prejuicios creados a lo largo de los años, respecto a lo difícil que es comprender la física. Teniendo en cuenta el bajo interés de los estudiantes en esta disciplina y el nivel de fracaso en los resultados de los exámenes, es urgente encontrar estrategias para invertir esta situación Amadeu y Leal [1]. El objetivo principal de las estrategias es enseñar mejor la física y reducir al mínimo las tasas de fracaso existentes en la disciplina. En este sentido, el uso de simuladores en el aula y/o en el laboratorio, como instrumentos de enseñanza-aprendizaje, constituye una

estrategia atractiva y lúdica, que promueve en el alumno integrar su experiencia cotidiana, con el lenguaje de la física, con la expresión matemática y con las correlaciones gráficas entre las variables. El análisis de cuestionarios antes y después de enseñada la materia indica que el uso de simulaciones por ordenador origina una tasa de éxito más alta que si no se recurre a este instrumento [1-3]. En otro orden de ideas, el paso abrupto de la presencialidad a la virtualidad, como consecuencia de la pandemia de COVID-19, y por tanto la imposibilidad de realizar las prácticas presenciales en el Laboratorio de Física contribuyeron, motivaron y aceleraron definitivamente la entrada al mundo de los simuladores, como instrumentos esenciales en el proceso de enseñanza-aprendizaje moderno, en nuestra institución. Ya hoy en día, la incorporación de las nuevas tecnologías a la enseñanza, es una necesidad para impulsar y alcanzar un sistema educativo de calidad [4]. Las nuevas tecnologías de la información y comunicación (TIC) ya son un elemento indispensable, en nuestro sistema educativo Sandoval *et al* [5]. De los numerosos estudios realizados acerca del impacto

que tienen los simuladores en el proceso de enseñanza-aprendizaje [6 - 9], tenemos: que ayudan a superar muchas veces las dificultades asociadas a los Laboratorios de Física y su dotación, para llevar a cabo la experimentación adecuada. En este contexto, se han reportado infinidad de simuladores computacionales, entre ellos los elaborados con el software GeoGebra, por ejemplo, Gutiérrez & Castillo [6], para el movimiento parabólico y el movimiento armónico simple. Los autores han avanzado una planeación en aula, en la cual estos simuladores pueden insertarse. El desarrollo de cada planeación de aula contempla un tránsito por tres momentos: descripción de los aspectos teóricos a ser estudiados, el uso del simulador para interactuar con el fenómeno modelado y las conclusiones que derivan de la actividad realizada. Se pueden validar o corroborar los resultados obtenidos mediante cálculos en base a la teoría, empleando los simuladores, ya que, los mismos representan situaciones ideales. En algunos casos permiten la interacción de los estudiantes manipulando parámetros físicos, como lo haría experimentalmente en el laboratorio. Estableciendo así la relación que existe entre las variables, el fenómeno físico y el modelo matemático que lo describe. Lo cual logran mediante el descubrimiento, la experimentación y el juego. En la práctica virtual, la puesta en marcha del experimento es prácticamente instantánea. En la literatura encontramos estudios que tratan sobre el potencial de las simulaciones por computadoras en la enseñanza-aprendizaje de la Física [10 - 15] en las que se afirma, que las simulaciones computacionales son medios poderosos para involucrar a los alumnos en las actividades educativas. Velasco y Buteler [16], en su estudio de revisión, detectaron un consenso generalizado en la literatura entre los autores, en cuanto a que las simulaciones computacionales resultan más efectivas como herramienta instruccional que varias de las herramientas “tradicionales”. También, encontraron, un profundo acuerdo entre los autores, en cuanto al nivel de orientación, en el sentido de que las simulaciones deben estar enmarcadas en una secuencia didáctica, con niveles óptimos de instrucción para potenciar los beneficios de las mismas a través de la exploración, la interactividad y las discusiones [16]. Por su parte Sandoval *et al* [17] presentan los resultados de utilizar una estrategia de enseñanza para la termodinámica, en particular la comprensión de la ecuación del gas ideal, empleando simuladores Phet, en la evaluación de los reportes de los participantes encontraron, que más del 80% de los participantes pudieron identificar y comprender de una manera sencilla el comportamiento de gases ideales cuando están sometidos a cambios de presión, volumen o temperatura. De igual manera, pudieron identificar las leyes subyacentes en la ecuación del gas ideal. Al aplicar una encuesta de satisfacción, los estudiantes mencionan que el uso de los simuladores fue de gran ayuda para comprender el comportamiento de los gases y les permitió observar cómo interaccionan internamente las moléculas. Indicaron también que no tuvieron muchos problemas de conexión a internet, y calificaron al simulador de ser una muy buena herramienta de aprendizaje.

Sandoval *et al.* [17] indican que para impulsar un aprendizaje significativo en conceptos de termodinámica el uso de simuladores, videos, audios, diagramas, gráficas,

animaciones y materiales interactivos juegan un papel vital para ayudar a visualizar y simplificar conceptos abstractos difíciles de comprender para los estudiantes. Por ende, tienen efectos positivos en el rendimiento de los estudiantes. Más aun, en la mayoría de los casos resultan efectivas como herramientas instruccionales y destacan diversos beneficios al ser usadas para enseñar. También en la formación de profesores, el uso de programas computacionales a tenido un efecto positivo en la calidad y la naturaleza de las explicaciones de diversos fenómenos físicos. De aquí, que hoy nos encontremos con que, la mayoría de las acciones formativas están apoyadas en diferentes medios tecnológicos. Una gran cantidad de simuladores se encuentran disponibles, en la red, desarrollados por grupos de investigación de diversas universidades, como la de Colorado y su famoso proyecto PhET (Physics Education Technology Project). Este proyecto ya contiene numerosas simulaciones que pueden utilizar los alumnos, dependiendo de su nivel de aprendizaje, y del programa de estudios que sigan. El código es libre y las simulaciones se pueden descargar. En nuestra práctica, el uso del simulador lo complementamos con la aplicación de pruebas pre y post uso de la herramienta, con el objeto de validar el efecto de la misma. Las limitaciones asociadas al uso de las simulaciones computacionales pudieran provenir de que: a) ciertas aplicaciones están en inglés, lo que dificulta a algunos de los estudiantes una comprensión completa de las potencialidades de la simulación, b) se requiere una buena conexión a internet si se desea trabajar la simulación en línea; sin embargo, se pueden descargar las simulaciones y trabajarlas desde su equipo: celular, tablet, o pc, pero en este caso se requiere una memoria suficiente para albergar el programa.

El estudiante conoce la física desde su praxis diaria, de manera operativa, pero tiene debilidades en el manejo matemático y conceptual, el objetivo central de este trabajo es ayudar a los estudiantes a superar estas dos insuficiencias y apoyarlos en su proceso hasta alcanzar la comprensión y competencias específicas de la materia.

Concretamente queremos facilitarle al alumno la comprensión de la 2da Ley de Newton, a través del juego y la interacción con un simulador de física, específicamente el de PhET: fuerza y movimiento, diseñado para este fin.

II. METODOLOGÍA

A. Tipo de estudio y diseño

Este fue un estudio cuasi experimental, de corte transversal y explicativo, con medidas repetidas. Se administró un pretest, Diagnóstico, se realizó la variable experimental, y luego se administró un post test, Evaluación. La comparación se realizó evaluando estadísticamente la Diferencia entre el Diagnóstico y la Evaluación, en cada sección.

B. Muestra

La muestra total fue de 47 participantes, de entre 19 y 22 años, estudiantes de tres secciones de la asignatura Física Básica de la Licenciatura en Educación Primaria 2do Ciclo,

del recinto Luis Napoleón Núñez Molina (LNNM) del Instituto de Formación Docente Salomé Ureña (ISFODOSU), durante el cuatrimestre mayo-agosto 2020. En dicha asignatura se imparten conocimientos generales y específicos de Física, entre los temas que se abarcan están las Leyes de Newton, dado que revisten importancia para su formación general y como futuros docentes. Se trabajó durante un mes completo (5 horas semanales de clases virtuales). Los estudiantes estaban distribuidos en las siguientes secciones: A con 19, 11 mujeres y 8 hombres; la sección B con 16, 11 mujeres y 5 hombres; y la sección C con 18, 15 mujeres y 3 hombres, de los cuales solo 12 completaron el Diagnóstico y la Evaluación. El total por sexo fue de 37 mujeres y 16 hombres.

C. Procedimiento

El procedimiento implicó llevar a cabo las siguientes acciones:

- 1) Aplicación de un test diagnóstico, cuyo objetivo es determinar el nivel inicial de conocimientos sobre el tema. Para esto se empleó el recurso cuestionario de MOODLE y se aplicó en línea de manera sincrónica a toda la sección, previo al trabajo con el simulador.
- 2) Se realiza una actividad de retroalimentación con los alumnos, basada en los resultados del test diagnóstico, se introducen los aspectos teóricos que sustentan el fenómeno a estudiar. Para ello se realizó una reunión sincrónica con los alumnos de la sección, empleando el recurso “meet” de Google.
- 3) Se les explica a los alumnos el uso del simulador de fuerza y movimiento: las variables que pueden manipular en cada caso y las respuestas a cada cambio de variable. Para ello se realizó una reunión sincrónica con los alumnos de la sección empleando el recurso “meet” de Google.
- 4) Los alumnos realizan el trabajo con el simulador individualmente y en grupo: (https://phet.colorado.edu/es_PE/simulation/forces-and-motion-basics)

Se pidió a los alumnos que realizaran por sí mismos varios ejercicios y experimentos propuestos por el maestro.

- 5) Se les motivó de manera que ellos mismos propusieran otros ejercicios y experimentos, promoviendo su creatividad, y la confianza en sí mismos.
- 6) Se les aplicó una evaluación para medir el impacto del procedimiento, sobre la comprensión de la 2da Ley de Newton. Para esto se empleó el recurso cuestionario de MOODLE y se aplicó en línea de manera sincrónica a toda la sección, posterior al trabajo con el simulador.

D. Instrumentos

Evaluamos en los alumnos: el conocimiento, el análisis, la comparación, la inferencia y la evaluación. Las actividades se diseñaron teniendo en cuenta el pensamiento crítico, la creatividad y la innovación, el trabajo colaborativo y la resolución de problemas. En el

cuestionario se emplearon preguntas de selección múltiple, verdadero/falso, análisis, y solución de problemas.

E. Desarrollo

El simulador es muy completo, sencillo de comprender y de utilizar. El alumno tiene control sobre todas las variables involucradas, pudiendo correlacionar las respuestas del sistema con las bases teóricas del fenómeno bajo estudio. Los alumnos interactúan con el simulador, variando ciertos parámetros (variables independientes) y observan los resultados (variables dependientes). Exploran los efectos de las fuerzas aplicadas, explican la relación entre las fuerzas aplicadas y sus efectos, es decir, la relación entre la fuerza y la aceleración (2da Ley de Newton). Por otra parte, los alumnos también pueden investigar el efecto de la fuerza de fricción. Así, el estudiante aprende a través de la exploración, el descubrimiento y del juego intuitivo.

El simulador consta de cuatro pantallas la primera se muestra en la Fig 1

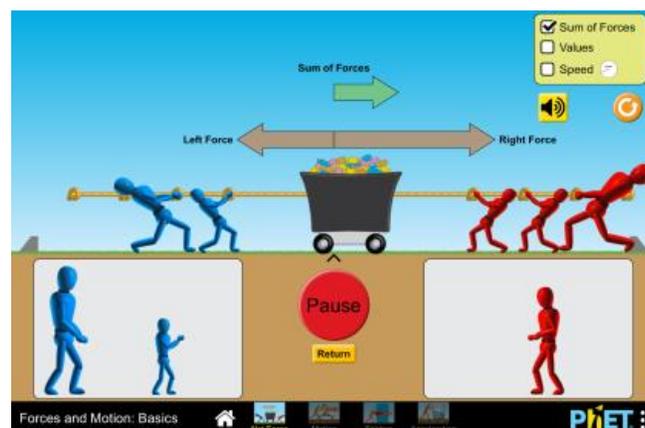


FIGURA 1. Simulador de Fuerza y Movimiento: Básico.

En esta pantalla, los alumnos pueden interactuar con el fenómeno expresado en la segunda Ley de Newton: Al ejercer una fuerza neta (F) sobre un objeto (masa constante), éste se mueve con aceleración (a) proporcional a la fuerza neta y en la misma dirección. Es decir, la aceleración es directamente proporcional a la fuerza neta aplicada e inversamente proporcional a la masa (m).

La expresión matemática de esta Ley es:

$$\vec{F}_n = m\vec{a}.$$

En esta primera pantalla el estudiante puede experimentar aplicando distintas fuerzas a un lado u otro, o a ambos lados de la carga. En esta experiencia el alumno observará que la carga se moverá en la dirección de la fuerza neta.

El alumno puede experimentar con la fricción, en la tercera pantalla, variándola a voluntad y observar su efecto en el movimiento. Puede determinar la fricción estática y cinética.

En la cuarta pantalla (fig 2) además de lo anterior se puede variar la masa de la carga, variar la representación de la carga, agrega un registro de la aceleración.



FIGURA 2. Simulador de Fuerza y Movimiento: Fundamentos.

Como puede verse, este es un simulador muy completo, que permite un excelente trabajo, con los alumnos, donde ellos podrán explorar, descubrir, aprender experimentando y adquiriendo las competencias específicas previstas.

F. Análisis

Se realizó un análisis de varianza para medidas repetidas con las variables independientes Sección y Sexo, y las variables dependientes Diagnóstico-Evaluación, con el software SPSS versión 22. El tamaño del efecto y la potencia de la prueba fueron confirmados con el software GPOWER [18].

III. RESULTADOS

El efecto de la metodología aplicada, en este trabajo, en el proceso de enseñanza-aprendizaje, sobre las competencias alcanzadas, por los alumnos, se puede apreciar, al comparar

los promedios de los resultados de la evaluación realizada después de aplicar la metodología, con respecto a los promedios de los resultados del test diagnóstico, a cada una de las secciones. En la figura 3 se muestra que, en todas las secciones las medias de la Evaluación fueron mucho mayores que las medias del Diagnóstico, también se observa que en las Secciones B y C los alumnos alcanzaron un mayor rendimiento que la sección A. El rendimiento en la Sección A fue baja, posiblemente debido al bajo nivel de entrada de los estudiantes de esta sección, lo cual limitó sus posibilidades para mejorar en este contexto. Ese grupo empezó con calificaciones que estuvieron por la mitad de los otros grupos y terminó con una diferencia casi también por la mitad de los otros grupos.

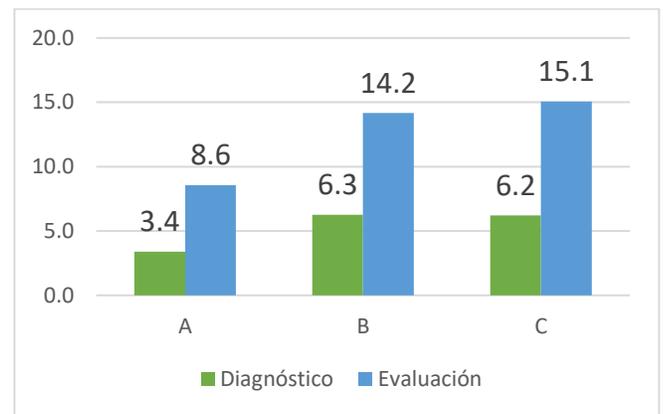


FIGURA 3 Medias de las calificaciones del Diagnóstico y la Evaluación, según Sección. Estudio de tres (3) secciones. Calificaciones sobre 20 puntos. Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 1 muestra un resumen de los resultados del análisis de varianza.

Tabla I. Resumen del análisis de varianza para la diferencia Diagnóstico-Evaluación, según Sección.

| Fuente | gl | F | Sig. | f | Tamaño del efecto | 1 - β | Potencia de la prueba |
|--------------|-------|---------|------|------|-------------------|-------|-----------------------|
| Diferencia | 1, 41 | 203.033 | .000 | 2.23 | Enorme | 1 | Perfecta |
| Sección | 2, 41 | 39.040 | .000 | 1.38 | Muy grande | 1 | Perfecta |
| Sexo | 1, 41 | 0.897 | .349 | | | | |
| Diferencia * | | | | | | | |
| Sección | 2, 41 | 5.267 | .009 | 0.57 | Grande | .999 | Muy alta |

Fuente: Elaboración propia.

En ella se puede ver que el efecto principal de la variable experimental fue muy significativo, es decir, la Diferencia entre el Diagnóstico y la Evaluación, con un tamaño del efecto enorme y una potencia de la prueba perfecta. También fue muy significativo el efecto de la Sección con un tamaño del efecto muy grande y una potencia de la prueba perfecta. En la tabla 2 se ve también que el efecto del Sexo no fue significativo, no hubo diferencias entre las puntuaciones

entre los hombres y las mujeres. Lo cual confirma, por otro lado, la ausencia de diferencias en las capacidades intelectuales de ambos sexos.

La interacción entre la Diferencia y la Sección fue igualmente muy significativa. El tamaño del efecto de esta interacción fue grande y la potencia de la prueba muy alta. Como esta interacción está presente, no podemos interpretar

aisladamente los efectos principales de la Diferencia y de la Sección.

En las comparaciones múltiples post hoc, con la corrección Bonferroni, se confirmaron las significaciones de las diferencias: ambas secciones, B y C, tuvieron medias significativamente más altas que la sección A.

Las simulaciones aportan un medio educativo de aprendizaje a través del juego y la competencia. El éxito del estudiantado, en el desarrollo de sus competencias, sirve de motivación, para implementar el uso de los simuladores en el aula.

IV. CONCLUSIONES

La conclusión más importante es el marcado efecto positivo, que tiene la metodología aplicada, sobre el logro de las competencias deseadas, por parte de los alumnos.

El uso del simulador tiene un efecto marcado sobre la comprensión de los fenómenos de dinámica en especial los regidos por la 2da Ley de Newton.

La comprensión del tema mejoró sustancialmente para todos los estudiantes, independientemente de su nivel de entrada. Sin embargo, para que el alumno alcance las competencias específicas requeridas, el nivel inicial de conocimientos, determinado por el test diagnóstico, es muy importante.

Como resultado de esta metodología, los estudiantes adquieren la capacidad de: a) predecir la dirección y cualitativamente la rapidez del objeto en movimiento como consecuencia de la aplicación de una fuerza externa, b) explicar los efectos, con la ayuda del diagrama de cuerpo libre y c) explicar la diferencia entre fricción estática, fricción cinética y fuerza de fricción.

Las simulaciones aportan un medio educativo de aprendizaje a través del juego y la competencia. En la que el alumno llega a los fundamentos teóricos, al contrastar los diferentes resultados obtenidos durante la experimentación, con los simuladores mediante un análisis reflexivo y crítico de sus observaciones.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Dr. Emmanuel Silvestre del ISFODOSU, recinto LNNM por el análisis de varianza de los resultados del presente trabajo.

REFERENCIAS

[1] Amadeu, R., y Leal, J. P., *Ventajas del uso de simulaciones por ordenador en el aprendizaje de la física*, Enseñanza de las Ciencias, Revista de investigación y experiencias didácticas **31**, 177-188 (2013)
 [2] Kubricht, J. R., Holyoak, K. J., Lu, H. *Intuitive Physics: Current Research and Controversies*. Trends in Cognitive Sciences **21**, 749-759 (2017).

[3] Vicovaro, M., *Intuitive physics and cognitive algebra: A review*. European Review of Applied Psychology **71**, 100610 (2021).
<https://doi.org/10.1016/j.erap.2020.100610>
 [4] Cabrero, F. J., Sánchez, J. M., Sánchez, A. B., Borrajo, J., Rodríguez, M. J., Hernández, M. y Juanes, J. A. (2010) *Simulaciones computacionales en la enseñanza de la física médica*, Teoría de la Educación Sociedad de la Información (TESI) **11**, 46-74 (2010).
 [5] Sandoval, M., M., Moreno, S., J., Mora, C., *Uso de simuladores Phet, para la enseñanza del comportamiento de gases ideales*, Lat. Am. J. Phys. Educ. **15**, 1313-1 – 1313-6 (2021).
 [6] Gutiérrez, R. E. y Castillo, L. A., *Simuladores con el software GeoGebra como objetos de aprendizaje para la enseñanza de la física*, Tecné Episteme y Didaxis (TED) **47**, 201-216 (2020).
 [7] Eder, M. L., *La enseñanza de la física en las clases universitarias. Las buenas prácticas*. Trabajo presentado en X Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias, 5-8 de septiembre, Sevilla. Enseñanza de las Ciencias, n.º extraordinario: 2583-2588 (2017).
 [8] Serrano, J. L. y Prendes M. P., *La enseñanza y el aprendizaje de la física y el trabajo colaborativo con el uso de las TIC*, Revista Latinoamericana de Tecnología Educativa **11**, 95-107 (2012)
 [9] Clark, D. B., Nelson, B., Sengupta, P. y D'Angelo, C. *Rethinking science learning through digital games and simulations: Genres, examples, and evidence*. Trabajo presentado en The National Research Council Workshop on Gaming and Simulations, October 6-7, (2009). Washington, DC.
https://sites.nationalacademies.org/cs/groups/dbasssite/documents/webpage/dbasse_080068.pdf.
 [10] Podolefsky, N. S., Perkins, K. K. y Adams, W. K. *Factors promoting engaged exploration with computer simulations*, Physical Review Special Topics - Physics Education Research **6**, 1-32 (2010).
<https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.6.020117>
 [11] Sadaghiani, H. R., *Using multimedia learning modules in a hybrid-online course in electricity and magnetism*, Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res. **7**, 010102 (2011).
 DOI:<https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.7.010102>
 [12] Sadaghiani, H. R., *Controlled study on the effectiveness of multimedia learning modules for teaching mechanics*, Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res. **8**, 010103 (2012).
 DOI:<https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.8.010103>
 [13] Lee, Y. F., Guo, Y. & Ho, H. J., *Explore Effective Use of Computer Simulations for Physics Education*, Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching **27**, 443-466 (2008). Waynesville, NC USA: Association for the Advancement of Computing in Education (AACE). Retrieved October 18, 2021 from [https://www.learntechlib.org/primary/p/25239/..](https://www.learntechlib.org/primary/p/25239/)
 [14] Wieman, C., *Why not try scientific approach to science education*, Change (2007) 9-15. Retrieved October 19, 2021 from http://web.mit.edu/jbelcher/www/TEALref/Wieman_Change_2007.pdf

[15] Wieman, C., Perkins, K. and Adams, W., *Interactive simulations for teaching physics: What works, what doesn't, and why. Oersted Medal Lecture 2007*, Am. J. Phys. **76**, 393-399 (2008).

[16] Velasco, J., Buteler, L., *Simulaciones computacionales en la enseñanza de la física: una revisión crítica de los últimos años*, Enseñanza de las Ciencias **35**, 161-178 (2017).

[17] Sandoval Martínez, M., Moreno Sandoval, J., Mora, C., *Uso de simuladores Phet, para la enseñanza del comportamiento de gases ideales*, Lat. Am. J. Phys. Educ. **15** 1313-1 – 6 (2021).

[18] Faul, F., Erdfelder, E., Buchner, A. & Lang, A. (2012). *GPOWER* (Version 3.1.5.) [Computer Program]. Germany: Universitat Kiel. <https://bit.ly/2TvGsqT>