

# Desafíos del covid-19: mantener el aprendizaje activo de la física en la enseñanza a distancia

The covid-19 challenge: keeping active learning approach to physics instruction in distance learning

Julio Benegas<sup>1,2\*</sup>, Ana Paula Lucero<sup>1</sup> y Myriam Villegas<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Física, Fac. de Ciencias Físico-Matemáticas y Naturales. Universidad Nacional de San Luis, 5700 San Luis. Argentina.

<sup>2</sup>Instituto de Matemática Aplicada San Luis (IMASL)- UNSL-CONICET.

<sup>3</sup>Instituto de Física Aplicada San Luis (INFAP)- UNSL-CONICET.

\*E-mail: [jcbenegas@gmail.com](mailto:jcbenegas@gmail.com)

Recibido el 15 de junio de 2021 | Aceptado el 5 de septiembre de 2021

## Resumen

Se informa sobre una experiencia didáctica para el trabajo a distancia realizada para el dictado en modalidad remota de la asignatura Física para alumnos de los Profesorados en Matemática y en Biología. Se adaptaron a la modalidad no presencial algunas actividades de la estrategia de aprendizaje activo Clases Interactivas Demostrativas (CID). Esta aproximación didáctica, basada en la utilización de equipamiento electrónico para mostrar en tiempo real los resultados de experimentos demostrativos de alto valor didáctico, fue adaptada al trabajo estudiantil remoto mediante la utilización de las simulaciones PhET. El trabajo en grupos, grandes o pequeños, realizado con equipamiento real en el aula fue reemplazado por el trabajo colaborativo entre dos estudiantes, utilizando simulaciones PhET en las hojas de trabajo de la CID original. También se comunica sobre la opinión estudiantil acerca de las actividades.

**Palabras clave:** Aprendizaje activo; Física general; Enseñanza a distancia; Clases interactiva demostrativas; Simulaciones PhET.

## Abstract

This work reports on the classroom experience regarding the teaching of a general physics course for prospective biology and math teachers. In order to keep the learning cycle of successful active learning teaching strategies, a few of the working sheets of the teaching strategy Interactive Lecture Demonstrations were adapted as homework assignments based on the use of PhET simulations. In this approach the in-class work based on peer interactions and experimental setups provided with on-line graphical representations of well-designed experiments was replaced with the homeworks that used PhET simulations instead of experimental equipment, while the full classroom social interactions were replaced by remote collaboration of pair of students. In this work the detail structure of this learning approach is informed, together with the results of three students' opinion questionnaires.

**Keywords:** Active learning; General Physics; Remote learning; Interactive lecture demonstrations; PhET simulations.

## I. INTRODUCCIÓN: El Aprendizaje Activo y la enseñanza a distancia

La investigación educativa en enseñanza de la física ha demostrado reiteradamente que las estrategias de enseñanza basadas en el aprendizaje activo (AA) generan un aprendizaje conceptual muy superior (Hake, 1998) al que se logra mediante la enseñanza tradicional, definida como aquella que está centrada en las actividades realizadas por el profesor, en las cuales el estudiante tiene un rol esencialmente pasivo. Esta realidad se comprueba no solo en física,

sino también en la enseñanza de las otras ciencias experimentales y la matemática (Freeman, Eddy, McDonough, Smith, Okoroafor, Jordt, & Wenderoth, 2014). Las estrategias de AA tienen como objetivo principal incorporar en los alumnos una sólida base conceptual de la física, haciéndoles partícipes directos de sus propios procesos de aprendizaje. Esto se logra a través de actividades en las cuales los estudiantes están intelectualmente (y en algunas actividades inclusive físicamente) activos realizando diversas tareas, generalmente en pequeños grupos, beneficiándose así del aprendizaje social para lograr conocimientos más profundos y duraderos (Sirur Flores y Benegas, 2021).

Varias y exitosas estrategias de aprendizaje activo se han desarrollado para las diversas actividades de un típico curso de física, incluyendo desde las clases “teóricas” multitudinarias, hasta el trabajo en grupos relativamente pequeños, como las tareas de laboratorio y de resolución de problemas (Meltzer & Thornton, 2012). En general, además, estas estrategias de enseñanza activa utilizan diversas tecnologías de la comunicación e información (TIC), las que desempeñan un rol muy importante como mediadoras entre los alumnos, el docente y el material curricular, en procesos que a veces se definen como aprendizaje colaborativo mediado por computadoras (*computer supported collaborative learning*, ISLS, 2021).

El enorme crecimiento de actividades de enseñanza a distancia de los últimos tiempos, con actividades tanto sincrónicas como asincrónicas, incrementadas de manera exponencial por la emergencia covid-19, potencian aún más las iniciativas para adaptar estrategias exitosas de enseñanza de aprendizaje activo a las formas no-presenciales de enseñanza. Bajo estas premisas, y pensando en la importancia de incorporar diversas TIC a los procesos de enseñanza y aprendizaje, en este trabajo se presenta una manera de adaptar las clases interactivas demostrativas (CID, Thornton y Sokoloff, 2004) a la modalidad de trabajo práctico remoto y asincrónico.

El objetivo original de las CID es reemplazar lo que tradicionalmente llamamos una clase “teórica” por una serie de experimentos demostrativos (realizados por el docente). La gran diferencia es que, en lugar de una clase expositiva, en cada CID los alumnos están intelectualmente activos, realizando tareas en forma individual primero (predicción) para luego compartir su producción con los compañeros más cercanos a su lugar en el aula, y eventualmente con todo el curso. En su forma original, basada en el aprendizaje social y presencial, para desarrollar un tema (velocidad, por ejemplo), se llevan a cabo una serie de experimentos (en general de 5 a 8), siguiendo para cada uno de ellos una secuencia de trabajo de ocho pasos. El docente comienza mostrando el experimento a describir, sin realizar mediciones. A partir de esta demostración los alumnos realizan alguna predicción (una gráfica  $x$  vs.  $t$ , por ejemplo). Luego, cada alumno discute sus predicciones con los compañeros más cercanos, explicando la razón de sus predicciones, intentando arribar a una explicación en común. El docente registra las predicciones de toda la clase y a continuación realiza nuevamente el experimento, pero esta vez accionando la detección electrónica, conectada a una computadora con un software de registro y representación de datos. Esta representación de los datos experimentales es la respuesta correcta y la que debe compararse con las predicciones. Cada experimento finaliza con un alumno explicando el porqué de esta respuesta correcta, citando, si fuera posible, situaciones similares de la vida cotidiana.

Es claro que esta metodología, basada en experimentos y el aprendizaje social, es difícil de implementar en forma remota. Sin embargo, tanto los experimentos propuestos como la secuencia de actividades (observación, predicción, discusión, registro respuesta correcta y reflexión sobre la respuesta elegida) son derivados de la investigación educativa sobre los principales problemas de aprendizaje en cada tema de la física y podrían ser utilizados en la enseñanza a distancia.

En el presente trabajo se describe cómo algunas CID se han adaptado como trabajos prácticos realizados en forma remota, reemplazando la base experimental por una de simulación, en particular utilizando la amplia base de experimentos simulados que ofrecen las simulaciones PhET (PhET, 2021), el programa desarrollado por el grupo de investigación en enseñanza de la física de la Universidad de Colorado. Aunque no es el objeto de la presente experiencia, destacamos que esta estrategia didáctica, CID + simulaciones PhET, también podría ser utilizada en la enseñanza presencial, en ambientes que no dispongan del equipamiento experimental necesario para utilizar la estrategia CID original, una solución que también podría extenderse (López Tabares, 2020; López Tabares y Orozco Martínez, 2017) a otras metodologías de enseñanza basadas en experimentos como es el caso, por ejemplo, de *Real Time Physics* (Sokoloff y Thornton, 2004) y *Workshop Physics* (Laws, 1997).

Describiremos a continuación el esquema de trabajo a distancia implementado en un curso de física general ofrecido para futuros profesores de matemática y profesores de biología. En este curso se implementaron, como actividad optativa, prácticas basadas en simulación. Se mostrará en detalle una guía de trabajo estudiantil para la CID denominada “Aceleración”, complementada por los datos obtenidos de una encuesta de opinión estudiantil sobre esta estrategia y modalidad de trabajo. Finalmente, se agregan algunas reflexiones y recomendaciones para docentes interesados en su utilización tanto en cursos introductorios de física universitaria como en aquellos destinados a la escuela secundaria.

## II. DESCRIPCIÓN DE UNA ACTIVIDAD DIDÁCTICA CID BASADA EN LA UTILIZACIÓN DE SIMULACIONES PHET

Las CID originales de Thornton y Sokoloff (2004) tienen una estructura de demostraciones estructuradas de manera tal que cada una está enfocada en solo uno de los problemas de aprendizaje más importantes que tiene un tema dado. Para ejemplificar este esquema de aprendizaje, describiremos el ciclo de aprendizaje de la CID “Aceleración”. En su versión original para trabajo presencial en el aula, denominada “Kinematics 2—Motion of carts” (Thornton y Sokoloff, 2004), esta CID consta de 8 demostraciones. En estas demostraciones el docente cuenta con un equipamiento experimental consistente de un riel, sobre el que se desplaza un carrito de baja fricción, y un detector de movimiento que registra el movimiento de ese carrito. El detector de movimiento está conectado mediante una interfase a la computadora, donde un programa especial transforma su señal en gráficas de cinemática. El origen del sistema de coordenadas de esas gráficas es el detector de movimiento y el sentido positivo es aquel en el que “mira” (mide) dicho detector. Las dos primeras demostraciones ejemplifican movimientos a velocidad constante, el primero en el sentido positivo y el segundo en el sentido negativo del sistema de coordenadas. Es decir, las dos primeras demostraciones están destinadas, en una aproximación plenamente constructivista, a afirmar en los alumnos conceptos de velocidad y su representación gráfica que son necesarios para construir el concepto de aceleración. Dichos conceptos fueron objeto de clases anteriores, puesto que hay una CID previa destinada al concepto velocidad. En cada demostración el docente conduce un proceso de aprendizaje de 8 pasos, que se inicia con la demostración del movimiento a representar gráficamente. Luego, los alumnos de manera individual realizan la predicción y la registran, para posteriormente discutirla con sus compañeros más cercanos. El docente registra las predicciones más comunes de toda la clase. Después, el docente realiza de nuevo el experimento, pero esta vez accionando el detector con su registro de datos en línea. La gráfica resultante, que determina la respuesta correcta, es mostrada a toda la clase y el docente pide que algún alumno describa los resultados y lo discutan en el contexto de la demostración. Finalmente, el docente pregunta a los alumnos si pueden identificar situaciones físicas análogas con diferentes características superficiales (diferentes situaciones físicas que responden al mismo concepto).

En el caso de esta CID, las demostraciones siguientes ejemplifican movimientos con aceleración constante, tanto positiva como negativa, con movimientos iniciales en el sentido positivo del sistema de coordenadas y opuesto a este. Estas demostraciones cubren lo que la investigación educativa en física ha identificado como las principales dificultades que tienen los estudiantes para comprender y representar un movimiento acelerado. Las dos últimas demostraciones representan movimientos similarmente acelerados, pero en un contexto distinto: un carrito que sube y baja por el riel inclinado y el movimiento de subida y bajada libre de una pelota que es lanzada hacia arriba. Para el cursado a distancia de esta materia, las hojas de trabajo de las CID se adaptaron para ser realizadas en forma remota en casa. Para ello el dispositivo experimental fue reemplazado por una simulación.

Epistemológicamente ese es un cambio muy grande, pues en la CID original, es el experimento la autoridad científica, el que determina la física, mientras que, en esta modificación, es la simulación la que determina la física correcta (aunque se pierde la incerteza experimental, lo que en cierta medida nos aleja del análisis de posibles errores de medición, inherente a las ciencias experimentales). Otro cambio fundamental es que el trabajo colaborativo en pequeños grupos y de toda la clase fue transformado en una práctica que los alumnos debían realizar en casa, comparar con un solo compañero en forma remota, completar y enviar al docente para su revisión. En un proceso de evaluación formativa, el docente retornaba el trabajo a los alumnos con comentarios, de manera de afirmar los conceptos fundamentales de cada demostración. Para cada CID, la respectiva hoja de trabajo, fue escrita de manera de conservar la estructura original de dos páginas, manteniendo dentro de lo que permitían las simulaciones PhET utilizadas, los mismos experimentos y gráficas descriptivas. En el anexo de este trabajo se incluyen tanto la hoja de trabajo de la CID “Aceleración” como las instrucciones para la realización del práctico. De este material se desprende que se han realizado los siguientes cambios respecto de la propuesta didáctica CID original:

- Las actividades de predicción son realizadas individualmente, pero la discusión entre pares cercanos que se lleva a cabo en la clase presencial, se ha limitado solo a un compañero en el práctico remoto, principalmente debido a las dificultades de realizar trabajo sincrónico grupal a distancia.
- El movimiento de un carrito en una rampa inclinada (Demostración 7) no tiene verificación experimental, porque la simulación PhET “Moving Man” no lo permite.
- Misma situación para la el movimiento de la pelota que sube y baja libremente (Demostración 8). En estos dos casos se solicita a los alumnos que imaginen y modelen los respectivos movimientos.
- En cada Demostración se pide a los alumnos relacionar el movimiento estudiado con movimientos similares de la vida cotidiana, registrando esto en el informe del práctico.
- En cada Demostración se ha introducido como último paso una actividad metacognitiva, con el objetivo que los alumnos piensen sobre lo que aprendieron al realizar esta Demostración, registrándolo en el informe del práctico que debían enviar al docente.

### III. RESULTADOS PRELIMINARES

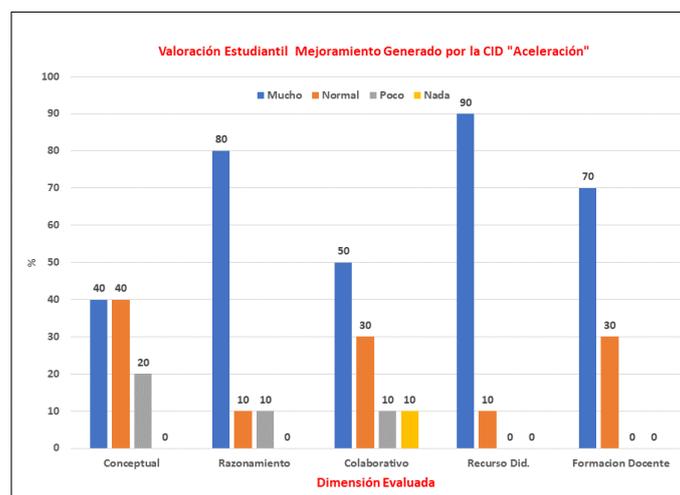
Este curso de Física general utiliza distintas actividades didácticas, integradas de manera continua, dado que en cada semana de clase se comienza y termina un dado tema (Benegas y Villegas, 2021). En particular, para el tema “aceleración” de la CID ejemplificada en este trabajo, se comenzó la semana con una clase de desarrollo de teoría mediante la estrategia de aula invertida, utilizando videos de la Kahn Academy para introducir a los alumnos al tema de aceleración y su representación gráfica. Luego debieron realizar, siempre en forma remota, el Tutorial “Aceleración en una dimensión” (McDermott y colaboradores, 2001), mientras que en la última clase del ciclo debieron resolver problemas ricos en contexto (Heller y Heller, 1998) siguiendo la modalidad de trabajo de la estrategia IDEA de resolución de problemas (Beichner, 2006). Esta integración de las distintas actividades de aprendizaje no permite medir por separado el efecto de cada una de ellas. Por lo tanto, se decidió apelar a encuestas de opinión estudiantil (con escalas tipo Likert) para tener una idea de esta implementación CID, al menos desde la óptica estudiantil. Se propusieron tres encuestas a lo largo del curso, una en ocasión de cada uno de los tres exámenes parciales necesarios para la aprobación del curso.

En la primera encuesta del año, los siguientes puntos refieren de manera directa a la práctica CID “Aceleración”: los primeros tres puntos refieren distintos aspectos del proceso de aprendizaje, mientras los dos últimos indagan sobre la percepción que estos estudiantes de profesorado tienen sobre estas actividades como recurso didáctico, pensando en su futura vida profesional, dado que, aunque sean estudiantes del Profesorado en Matemáticas o en Biología, la realidad del sistema educativo indica que, en la práctica, seguramente enseñarán algún curso de física.

**TABLA 1.** Práctica Extra con Simulación PhET.

Siento que la práctica de simulación de CID de Aceleración...	Mucho	Normal	Poco	Nada	No la hice
Mejoró mi entendimiento conceptual					
Mejoró mi capacidad de razonamiento					
Mejoró mi capacidad de trabajo en colaboración y obtengo más de mi esfuerzo					
Me parece un buen recurso didáctico					
Amplia mi formación docente y podría utilizar este recurso cuando tenga que enseñar					

La gráfica de la figura 1 representa la valoración estudiantil sobre estas cinco dimensiones.



**FIGURA 1:** resultado de la encuesta estudiantil sobre la CID “Aceleración”. Para cada una de las cinco dimensiones evaluadas, las opciones estudiantiles fueron. Mucho, Normal, Poco y Nada.

En general, se aprecia una importante valoración estudiantil en las cinco dimensiones evaluadas. En particular, una significativa mayoría destaca que este práctico contribuyó “mucho” a su capacidad de razonamiento. También lo destacan como futuro recurso didáctico y que su conocimiento y práctica contribuyen a su formación docente. Una valoración apenas inferior se le asigna a su contribución a la comprensión conceptual, así como a fortalecer el trabajo colaborativo.

La encuesta consta además de varias preguntas a desarrollar, entre ellas una sobre la conveniencia de la modalidad de asignar puntaje extra (aunque pequeño) a la realización exitosa de estas prácticas extras de simulación. La totalidad de los estudiantes respondió que les parecía muy conveniente pues les permitía una oportunidad más de afirmar conocimientos y de recibir retroalimentación positiva por parte del docente.

La pregunta final de la encuesta pedía a los alumnos situarse como futuros docentes y pensar cómo enseñarían un tema de los tratados en esa parte del curso. Se solicitaba: *“Si tuvieras que enseñar uno de los temas de este examen parcial (cinemática, Leyes de Newton y tiro del proyectil) a alumnos de 5to año de la escuela secundaria, ¿Cómo lo harías? ¿qué recursos o actividades utilizarías? ¿usarías Internet? ¿Cómo?”*. El 90 % de los estudiantes propuso utilizar simulaciones PhET para enseñar estos temas, con actividades similares a las utilizadas en estas prácticas de simulación.

#### IV. CONCLUSIONES

El objetivo de este trabajo ha sido mostrar la posibilidad de utilizar, con sus eventuales beneficios y dificultades, las simulaciones PhET como recurso didáctico para implementar el ciclo de aprendizaje de las clases interactivas demostrativas (Thornton y Sokoloff, 2004) en la enseñanza a distancia. Estas unidades didácticas modificadas fueron utilizadas en un curso de Física general, debido, en principio, a la extensa cuarentena del año 2020 por la emergencia covid- 19. Casi todas las demostraciones (experimentos) propuestas por la unidad didáctica correspondiente a la CID “Aceleración” pudieron ser implementadas recurriendo a la simulación PhET “el hombre móvil” (Moving Man) disponible en el sitio PhET (2021) de la Universidad de Colorado. En las dos últimas demostraciones, que no se pueden simular con esa aplicación, se les pidió a los estudiantes que se imaginaran dos movimientos de la vida real, construyendo las gráficas de cinemática correspondientes.

Otra diferencia importante en el proceso de aprendizaje propuesto por la estrategia CID presencial se refiere a la interacción de cada alumno con sus pares ubicados en su alrededor en la clase. Esta importante interacción social fue reemplazada con la discusión con un solo alumno, previamente establecido como su compañero de grupo. Esta limitación se debió a la dificultad que se tiene para interactuar en forma sincrónica y remota. De alguna manera esto queda reflejado en la encuesta estudiantil pues la valoración de la dimensión “cómo contribuye la realización de esta CID a desarrollar la capacidad de trabajo en grupo”, que fue la de más baja de las cinco dimensiones evaluadas.

Se destaca también que esta práctica, aunque fue propuesta como una actividad extra y no obligatoria, fue realizada por más del 90 % de los estudiantes, indicando la importancia que estos alumnos le asignaron para sus respectivos aprendizajes.

Por último, es importante destacar que las simulaciones PhET son un recurso didáctico atractivo para los estudiantes, en particular aquellos de los últimos cursos de la escuela secundaria, donde los temas tratados con estas CID modificadas son parte central del currículo de todos los países de Latinoamérica. Este aspecto es destacado por los propios estudiantes, ya que casi todos utilizarían estas simulaciones si tuvieran que enseñar estos temas en la escuela secundaria. Entendemos que la familiarización con una estrategia de aprendizaje activo y su secuencia didáctica constructivista, como la familiarización con las simulaciones PhET como herramienta didáctica, son aportes al conocimiento pedagógico del contenido físico de estos futuros profesores (Benegas y Villegas, 2021).

En resumen, los resultados de la presente experiencia sugieren que la sinergia que se obtiene de la utilización de simulaciones PhET como herramienta para implementar reconocidos esquemas constructivistas de aprendizaje, como es el caso de las CID, puede contribuir de manera significativa a la enseñanza de la física no solo en la educación a distancia, sino también en aquellas instituciones del nivel universitario y secundario que no cuenten con el relativamente sofisticado equipamiento necesario para su implementación original de base experimental.

#### AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Universidad Nacional de San Luis por su apoyo a través del proyecto de investigación PROICO 032720: *“Estrategias de enseñanza basadas en Aprendizaje Activo para física, matemática e informática”*.

#### REFERENCIAS

Beichner R. (2006). Recuperado de <https://www.compadre.org/per/items/detail.cfm?ID=4404>.

Benegas, J. y Sirur Flores, J. (2021). How Much is Lost? Measuring Long-Term Learning Using Multiple Choice Tests. *Elect. J. for Res. in Sc. & Math. Ed.*, 25(1), 93-104.

Benegas, J y Villegas M. (2021). Introducing Pre-Service Math and Biology Teachers to Physics PCK, *Journal of Science Teacher Education*. Recuperado de <https://doi.org/10.1080/1046560X.2021.1909809>.

Freeman, S., Eddy, S. L., McDonough, M., Smith, M. K., Okoroafor, N., Jordt, H., & Wenderoth, M. P. (2014). Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(23), 8410–8415. DOI:10.1073/pnas.1319030111.

Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics tests data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 66, 64–74. DOI:10.1119/1.18809.

Heller, P. & Heller, K. (1999). Cooperative group problem-solving in physics, University of Minnesota. Recuperado de <https://groups.physics.umn.edu/physed/Research/CGPS/GreenBook.html>

ISLS (2021). The International Conference on Computer-Supported Collaborative Learning, Recuperado de: <https://www.isls.org/annual-meeting/cscl/>

Laws, P.W. (1997). *Workshop Physics Activity Guide*. Hoboken, NJ: Wiley.

López Tabares, D. (2020), Estrategias didácticas para el uso eficaz de simulaciones interactivas en el aula. *Lat. Am. J. Sci. Educ.*, 7, 12019.

López Tabares, D. y Orozco Martínez, J. (2017) Clases Interactivas Demostrativas con el uso de simulaciones PhET para Mecánica en Preparatoria. *Lat. Am. J. Sci. Educ.*, 11(2), 2322-1.

McDermott L.C., Shaffer P.S., and the Physics Education Group at the University of Washington, (2001) *Tutoriales para Física Introductoria*. Buenos Aires: Prentice Hall. Traducción de *Tutorials in Introductory Physics*. Pearson Publishing, Inc.

Meltzer D, y Thornton R. (2012). Resource Letter ALIP–1: Active-Learning Instruction. *Physics, Am. J. Phys.*, 80(6), 478.

PhET (2021). <https://phet.colorado.edu/es/simulations/translated/es>

Sokoloff D. y Thornton R. (2004) *Interactive Lecture Demonstrations*. Hoboken, NJ: Wiley.

Sokoloff D. y Thornton R. (2004) *Real Time Physics*. Hoboken, NJ: Wiley.