

# Clases Interactivas Demostrativas con el uso de simulaciones PhET para Mecánica en Preparatoria

EDUCATIO PHYSICORVM



**Diana Berenice López Tavares, José Orozco Martínez**

*Instituto Politécnico Nacional, Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada Unidad Legaria, Departamento de Tecnología Avanzada. Calzada Legaria #694, colonia Irrigación, Delegación Miguel Hidalgo, C. P. 11500, Ciudad de México.*

**E-mail:** dianab\_lopez@hotmail.com

(Recibido el 2 de febrero de 2017, aceptado el 21 de marzo de 2017)

## Resumen

Las Clases Demostrativas Interactivas (ILD por sus siglas en inglés) son una metodología basada en el aprendizaje activo de la física que ha mostrado buenos resultados en el aprendizaje conceptual de los estudiantes. Debido a la dificultad en el desarrollo de los experimentos demostrativos por falta de material que requiere esta metodología, en esta investigación son sustituidos con simulaciones interactivas PhET, para mostrar que de igual forma se logra mejorar el aprendizaje conceptual de los estudiantes en temas de Mecánica a nivel Preparatoria (Vectores, MRU y MRUA). Se elaboraron las hojas de Predicción/Resultado, documentos guía de implementación en el aula y 2 test de evaluación. En esta primera etapa del proyecto se analizaron estos documentos por medio de entrevistas al docente y el análisis narrativo de la implementación. Los grupos piloto pertenecen al tercer semestre del Colegio de Ciencias y Humanidades (CCH) de la UNAM. Los resultados sugieren modificaciones en las hojas de Predicción/Resultado por el tiempo que requiere su implementación y buscar estrategias para la implementación de los test. Se observaron actitudes y habilidades favorables en los estudiantes en temas y actividades posteriores a la implementación, por lo que también está en revisión herramientas para el análisis cualitativo y actitudinal.

**Palabras clave:** Clases demostrativas interactivas, ILD, Mecánica, Preparatoria, simulaciones interactivas, PhET.

## Abstract

The Interactive Lecture Demonstrations (ILD) are an Active Physics Learning methodology that has shown good results in conceptual learning. Due to the difficulty in the implementation of demonstrative experiments for the deficiency of material that this methodology request, in this research it was substituted for PhET interactive simulations, to show that it is also possible to improve students' conceptual learning in Mechanics at high school level (vectors and kinematic subjects). Work sheets (predictions and results), a guidance documents and two evaluation tests were developed. In this first part of the project were analyzed these documents using interviews to the teacher and the narrative analysis of the implementation. The test groups belong to the third semester of the College of Sciences and Humanities (CCH) of the UNAM. The result suggests modifications in the work sheets for the time that their implementation requires, and to search for strategies for the implementation of the evaluation tests. Positive attitudes and skills were observed in the students in post implementation topics' activities, so tools for a qualitative and attitudinal evaluation are also under review.

**Keywords:** Interactive Lecture Demonstration, ILD, Mechanics, high school, interactive simulations, PhET.

**PACS:** 01.40.-d, 01.50.-i

**ISSN 1870-9095**

## I. INTRODUCCIÓN

Los resultados en pruebas nacionales e internacionales muestran un déficit en el aprendizaje de ciencias y habilidades científicas en los estudiantes mexicanos ubicándolos debajo de la media [1]. Los temas de Mecánica abarcan una parte importante en el currículo de preparatoria de todas las modalidades, asignando de uno a dos cursos dependiendo de la especialidad, por lo que es ideal para proponer estrategias didácticas para mejorar el aprendizaje de la Física y las habilidades científicas en este nivel educativo. En la enseñanza y aprendizaje de las ciencias lo

importante es propiciar situaciones en las que los estudiantes sean capaces de contrastar y analizar diversos modelos, construir argumentos, trabajar colaborativamente, además promover y cambiar ciertas actitudes [2], en donde el estudiante es el principal actor, así como responsable de su propio aprendizaje, estas características describen el Aprendizaje Activo [3].

El Aprendizaje Activo sugiere experiencias significativas, donde los alumnos participan escuchando de manera activa, hablando de manera reflexiva, mirando con la atención centrada en algo, escribiendo con un fin determinado,

leyendo de manera significativa y dramatizando de modo reflexivo [3].

Se han realizado muchas investigaciones que comparan metodologías activas con tradicionales y los resultados muestran que las metodologías activas superan a las tradicionales no solo en el aprendizaje de conceptos, sino también en las habilidades de resolución de problemas [4,5].

Las demostraciones pueden estimular a los estudiantes a buscar su propia explicación de lo que observa, discute y prueba otras versiones del experimento para llegar al entendimiento del fenómeno demostrado, mejorando así su entendimiento de física ya que intentan explicar lo observado usando conceptos físicos, teorías y patrones [6].

Una metodología de aprendizaje activo muy popular que hace uso de las demostraciones con experimentos y participación reflexiva y comunicativa de los estudiantes son las Clases Demostrativas Interactivas (ILD por las siglas en inglés de Interactive Lecture Demonstration). Investigaciones han mostrado una gran mejora en el entendimiento conceptual de los estudiantes al usar ILD [7].

Debido a las dificultades que representa el realizar experimentos demostrativos en clase por la falta de material y otras cuestiones técnicas de implementación, en su tesis de maestría Diana López [8] comparó dos secuencias didácticas con el uso de demostraciones en dos grupos, pero uno usando experimentos y otros simulaciones interactivas en el tema de circuitos eléctricos, llegando a la conclusión de que ambas herramientas usadas en este tipo de metodología logran un aprendizaje conceptual semejante.

Tal resultado inspiró este trabajo de investigación con el objetivo de desarrollar, implementar y evaluar material didáctico basado en la metodología de ILD cambiando los experimentos por simulaciones interactivas PhET para temas introductorios de mecánica para responder la pregunta de investigación ¿Cómo impacta en el aprendizaje conceptual, habilidades científicas y opinión sobre la física en los estudiantes el uso de ILD con simulaciones PhET?

Está es una investigación en proceso y en este artículo se presentan resultados preliminares de la primera implementación que cubre los temas de Vectores, MRU y MRUA basándonos en el orden de temas de la Dirección General de Bachilleratos (DGB), donde estos temas son de los primeros en ser abordados en la asignatura de Física. Se está trabajando para cubrir el resto de los temas que se incluyen en el currículo a nivel preparatoria en el área de Mecánica. La metodología seguida en esa primera implementación fue de una investigación narrativa [9] para realizar un análisis sobre las hojas de trabajo de los estudiantes y los test de evaluación para los temas de vectores, MRU y MRUA, centrando la atención en la estructura, coherencia, pertinencia de cada demostración,

uso de las simulaciones, dinámica en el aula, tiempo de implementación y relación entre las preguntas de los test validados seleccionados con los objetivos de aprendizaje de cada demostración.

En este artículo presentamos primero más información referente a las ILD, describiendo en qué consiste y cómo ha sido adaptada para sustituir los experimentos por simulaciones. Enseguida presentamos las simulaciones de uso libre PhET, introducción a su filosofía, usos en la enseñanza de la física y la elección de las simulaciones usadas en este proyecto. Como ya se mencionó, esta es una investigación en proceso y en esta primera etapa se siguió la metodología de una investigación narrativa para analizar las hojas de trabajo que usan los estudiantes y los test de evaluación, todo esto se describe en la sección de metodología, así como las características de la primera implementación. En la sección de resultados y conclusiones presentamos los avances, así como las perspectivas y lo pendiente por realizar, como el desarrollo y adaptación de más documentos para cubrir todo el temario de mecánica, y la implementación y evaluación del nuevo material.

## **II. CLASES INTERACTIVAS DEMOSTRATIVAS (ILD)**

Las Clases Interactivas Demostrativas (ILD por sus siglas en inglés) siguen una metodología basada en el aprendizaje activo de la física para mejorar el entendimiento conceptual y la interpretación de representaciones gráficas de fenómenos físicos. Son usadas para clases con un número grande de estudiantes y una duración mínima de 50 minutos. Esta metodología fue creada por David Sokoloff y Ronald Thornton en 1991 [7], donde la actividad central es el análisis y la discusión de un experimento demostrativo por parte de los alumnos, algunos con el uso de sensores para la adquisición y análisis de datos en tiempo real, información interpretada por los mismos estudiantes de manera individual y grupal. A pesar de los buenos resultados que reporta esta metodología, su implementación se ve limitada por la falta de material, sensores y dificultades técnicas como el que algunos alumnos no alcanzan a ver el fenómeno, fallas en el material, fallas en el experimento por no contar con el control de los parámetros, entre otros. Por estas razones en esta investigación los experimentos fueron sustituidos por simulaciones interactivas, donde de igual manera la observación y el análisis de los datos que proporcionan las simulaciones son interpretados por los estudiantes.

Cuando se usan simulaciones interactivas solo se requiere de una computadora que tenga descargada la simulación en caso de no contar con internet, un proyector y las hojas de predicciones y resultados donde los alumnos trabajan. Esta metodología se recomienda para una o dos sesiones de cada tema como introducción o cierre.

Las ILD tienen los siguientes ocho pasos de ejecución por demostración:

1. El docente describe el experimento o lo realiza sin mostrar resultados. Usando la simulación.
2. Los estudiantes hacen sus predicciones individualmente y las escriben en la Hoja de Predicciones.
3. Los estudiantes discuten sus predicciones en grupos pequeños de dos a tres integrantes. En este paso es importante la atención del profesor para apoyar aquellas discusiones que se alejen del tema a tratar y también para motivar a los alumnos a participar.
4. El profesor pregunta al grupo cuales son las predicciones para obtener las más comunes, motivando a los equipos a participar en una discusión grupal.
5. Los estudiantes registran la predicción grupal en la Hoja de Predicciones.
6. El profesor realiza la demostración mostrando claramente los resultados. La demostración consiste en la manipulación de la simulación, la cual presentará el resultado de manera visual con una animación que emule el fenómeno real y con el apoyo de gráficas. El experimento puede repetirse cuantas veces sea necesario para que a los estudiantes les quede muy claro cuál ha sido el resultado.
7. Los estudiantes describen los resultados ante el grupo por participaciones voluntarias. Es posible que en esta sección se presenten preguntas ¿Qué pasa si...? De los estudiantes para reafirmar el resultado que ellos sugieren, el profesor debe mediar estas preguntas dependiendo del tiempo y relevancia que el resultado puede traer al tema que se trata. El resultado se registra en la Hoja de Resultados.
8. Finalmente, el profesor o los estudiantes comparten otras situaciones físicas donde se presente el mismo concepto y se da pie a la siguiente demostración.

Las hojas de Predicción y Resultados son el mismo documento, el de predicciones es para el profesor como evidencia del curso, y el de resultados es la herramienta de estudio y forma a ser parte de la libreta de apuntes del estudiante. Cada hoja cuenta con varias demostraciones, el seguimiento de los ocho pasos se hace por demostración, por lo que en una sesión este procedimiento se repite varias veces.

Es importante recalcar que en este artículo no se está sugiriendo que todos los experimentos de un curso se sustituyan por simulaciones, ni que en todas las sesiones se siga esta metodología. Lo que se está sugiriendo es que las sesiones de inicio o cierre de un tema pueden ser abordados con la metodología de ILD, basada en demostraciones realizadas con simulaciones interactivas, ya que las ILD

han demostrado buenos resultados para facilitar el aprendizaje conceptual. En el resto de las sesiones para abordar el tema completo se pueden usar otras metodologías, como instrucción por pares, otros experimentos, etc., que complementen el aprendizaje conceptual, o sirvan para mejorar otro tipo de habilidades y conocimiento, como lo es la resolución de problemas y ejercicios, habilidades para la manipulación de material de laboratorio, entre otros.

### III. SIMULACIONES INTERACTIVAS PHET

Esquembre [10] comenta en su libro *Creación de Simulaciones Interactivas en Java, Aplicación a la Enseñanza de la física* “los estudiantes actualmente se están criando en una era de computadoras, internet, videojuegos y televisión, por lo que no tienen la fluidez con el material impreso ni las habilidades matemáticas de antes. Por lo tanto, los métodos de enseñanza tampoco pueden ser los de antes. Esto no significa que son alumnos menos capaces o que han perdido el interés, es simplemente que tienen habilidades diferentes y en lugar de verse como un impedimento, se deben de aprovechar para su educación”. Esquembre dice esto con el objetivo de motivar a los profesores al uso de la tecnología, y en especial de las simulaciones interactivas en sus aulas, como una herramienta de la cual se puede obtener mucho provecho para mejorar el aprendizaje de los estudiantes.

Autores como Santos [11] muestran en su trabajo cómo las simulaciones interactivas son una herramienta útil en el proceso enseñanza-aprendizaje. Giocasa et al. [12] agregan que el uso de simulaciones en la enseñanza de la física, además, favorece el desarrollo del pensamiento lógico de los estudiantes. Las simulaciones computacionales son programas informáticos diseñados con el propósito de comprender o predecir el funcionamiento de un sistema dinámico real, representado por un determinado modelo, mediante la experimentación en entornos virtuales [11].

Las ventajas que ofrece el uso de simulaciones son variadas, entre ellas se encuentran:

- Acepta aportaciones de los usuarios y presenta los resultados en gráficos o tablas, permitiendo a los alumnos jugar un papel más activo en el proceso educativo.
- Ayuda a cubrir más de un objetivo educativo simultáneamente si se usa como complemento en una secuencia didáctica adecuada [10, 11, 12].
- Facilitan la adquisición de conocimientos conceptuales y procedimentales.
- Muestra el fenómeno a través de una animación gráfica, utiliza sonidos, complementa la información con texto y otros medios, abarcando los diferentes estilos de aprendizaje de los estudiantes, en especial los visuales. Esquembre

[10] agrega además, que la mente humana recuerda con mayor facilidad información visual que auditiva o escrita.

- Permite observar el fenómeno desde diferentes puntos de vista.
- Permite investigar fenómenos que no sería posible experimentar en un aula o un laboratorio.
- Ayuda a dotar de significado a las expresiones matemáticas y poder interpretar datos.
- Motivan al estudio de las ciencias y son interesantes para los estudiantes.
- Hace conexiones con su vida diaria.
- Ayuda al cambio conceptual.
- Favorece la construcción de modelos mentales adecuados.

Es importante recalcar que las simulaciones son solo una herramienta, por lo que deben estar insertadas en una metodología adecuada para poder explotar sus ventajas, en este caso se trata de la ILD.

Las simulaciones interactivas no son recursos muy costosos o difíciles de manejar. En internet se pueden encontrar applets que son pequeñas aplicaciones de simulaciones escritas en lenguaje Java, diseñadas para ser incrustadas en archivos HTML (página web), que son ejecutadas por el navegador del equipo de cómputo cuando se visita una página que los contiene. Se tiene una gran variedad de simulaciones de uso libre, que abarca casi todos los temas básicos de la física. La dificultad reside en generar criterios que permitan seleccionar la simulación más adecuada. El profesor interesado en usar estas herramientas en su aula debe analizar el componente técnico (como el tamaño del programa, requerimientos operáticos, compatibilidad con otros sistemas informáticos), funcional (versatilidad, usabilidad, interactividad, eficiencia, recuperabilidad, portabilidad) y estético (vistoso y atractivo) [10]. Además de considerar destinatarios (el tipo de estudiantes al que va dirigido), objetivos de la formación pretendidos, contenidos involucrados (conceptuales, actitudinales y procedimentales), tipos de actividades propuestas, recursos necesarios, posibilidad de auto-evaluación, tiempo disponible y contexto socio-cultural. Este análisis por parte del profesor para la elección de la simulación adecuada puede ser muy tardado. Por esta razón, las simulaciones interactivas PhET han tenido una aceptación rápida entre profesores e investigadores educativos, ya que sus simulaciones cuentan con un fundamento teórico y pedagógico basado en investigaciones educativas, están en constante mejora, cumple con las características comentadas anteriormente. Tiene simulaciones de varios temas de física, así como de otras asignaturas, además de estar traducidas a varios idiomas<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Nuestro grupo de investigación participa en la traducción de las simulaciones PhET, todas ya disponibles en español.

Las simulaciones interactivas PhET pueden descargarse de manera gratuita en español en el sitio web <http://phet.colorado.edu/es>, su nombre viene de las siglas Physics Education Technology (PhET), proyecto perteneciente a la Universidad de Colorado. La simulación descargada puede usarse en cualquier computadora sin la necesidad de conectarse a internet. Para la realización de una simulación PhET, los investigadores de la Universidad de Colorado analizan exhaustivamente la eficacia educacional de cada una de sus simulaciones, mediante test, entrevista a los estudiantes que usan las simulaciones y observación en el aula. Actualmente las simulaciones están siendo migradas al lenguaje de programación HTML 5, ya que este lenguaje es compatible con todos los dispositivos electrónicos, incluso Smartphone.

Las simulaciones interactivas son usadas como herramienta de otras metodologías activas aparte de las ILD, como instrucción entre pares, parte de aprendizaje basado en problemas, en actividades prelaboratorio, entre otros.

#### IV. METODOLOGÍA

Como se mencionó antes, este es un proyecto en marcha, y en esta *primera etapa* la importancia radica en la *evaluación y análisis de los documentos de trabajo* (hojas de predicción/resultado), la *secuencia didáctica* propuesta, basada en la ILD, y *los test conceptuales*; con el objetivo de mejorar estos tres, para posteriormente realizar las implementaciones en el aula para responder a la pregunta de investigación razón del proyecto completo, cuyos resultados se publicarán más adelante.

Para esta primera etapa se describen los momentos que se siguieron desde la elaboración del material, hasta la evaluación del mismo después de la implementación en el aula, resumidos en los siguientes pasos:

:

1. Traducir, adaptar y completar las hojas de predicción/resultado y elección de las simulaciones a utilizar.
2. Realizar el documento guía para cada demostración.
3. Elaborar los test conceptuales.
4. Implementar la secuencia en el aula. Recolección de datos mediante narración de la implementación por parte del docente y recolección de hojas de trabajo.
5. Analizar los resultados, siguiendo una metodología de investigación narrativa.
6. Adaptar el material, prepararlo para implementaciones futuras.

A continuación, se describe en qué consiste cada uno de estos pasos seguidos por tema desarrollado en ILD:

1. Traducir, adaptar y completar las hojas de predicción/resultado y elección de las simulaciones a utilizar.

Las hojas de predicción/resultados usadas en este proyecto son una traducción y adaptación de las contenidas en el libro Interactive Lecture Demonstrations Active Learning in Introductory Physics de Sokoloff y Thornton [7], complementadas con ideas de los investigadores y profesores participantes en la investigación y los documentos de ayuda a profesores de la página de simulaciones interactivas PhET (<https://phet.colorado.edu/>). Los objetivos de aprendizaje de cada uno de los temas fueron los marcados por el programa de la DGB (Dirección General de Bachilleratos), las preparatorias del IPN y la UNAM. Para cada uno de los temas fueron los siguientes:

**Vectores**

- Interpretación grafica
- Adición de vectores (vector resultante)
- Propiedad conmutativa de la suma
- Resta de vectores
- Descomposición y composición vectorial
- Método analítico para la suma vectores

**Movimiento Rectilíneo Uniforma (MRU)**

- Identificación de las magnitudes físicas involucradas (tiempo, desplazamiento y velocidad)
- Carácter vectorial de la velocidad y el desplazamiento
- Rapidez
- Punto de referencia
- Interpretación de graficas de movimiento

**Movimiento Rectilíneo Uniformemente Acelerado (MRUA)**

- aceleración (y desaceleración)
- Relación entre la aceleración y la velocidad
- Carácter vectorial de la aceleración
- Interpretación de graficas

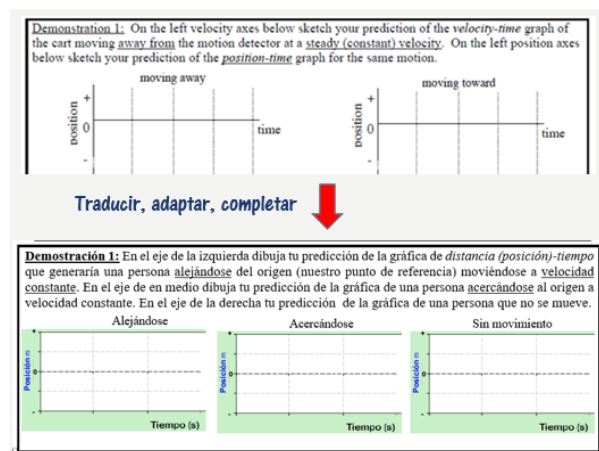


Imagen 1. Muestra de una demostración original de las ILD de Sokoloff y Thornton comparada con la traducción, adaptación y complementos realizadas en este proyecto.

En la realización de las hojas de predicción/resultado se cuidó el uso de gráficos, representaciones y dibujos como los utilizados en las simulaciones (Imagen 1), con el objetivo de facilitar la observación de la animación que representa el fenómeno y la interpretación de los resultados por parte de los estudiantes.

Las hojas de cada tema tienen diferentes números de demostraciones: Vectores 7, MRU 6 y MRUA 12. La cantidad de demostraciones depende de la complejidad y de los temas abordados en cada documento. Cada demostración requiere de la manipulación de una simulación interactiva. A continuación, se describen las simulaciones seleccionadas para cada ILD de esto tres temas.

*Adición de Vectores*

En esta simulación<sup>2</sup> se tiene un contenedor de vectores rojos que el usuario arrastra y coloca en el espacio correspondiente al primer cuadrante de un plano cartesiano. Al seleccionar un vector en este espacio, en la parte superior aparecerán los valores correspondientes a su magnitud, dirección y componentes. Al seleccionar la opción de “mostrar suma” aparecerá el vector resultante del sistema de vectores que se tienen en el plano cartesiano en color verde. Todos los vectores pueden moverse a cualquier lugar del cuadrante a placer del usuario. Los vectores rojos pueden modificarse a libertad, tanto en magnitud como en dirección y si el resultante está a la vista, se apreciará inmediatamente su modificación si un vector rojo cambia. La simulación cuenta con tres estilos diferentes para presentar las componentes del vector y un bote de basura para eliminar vectores del plano. La vista de la simulación se aprecia en la Imagen 2.

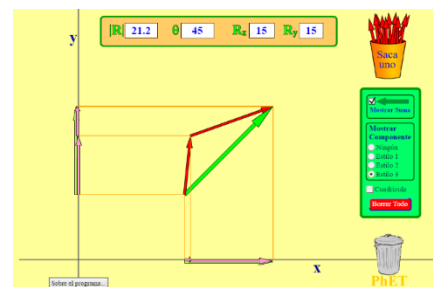


Imagen 2. Vista de la simulación Adición de Vectores.

*Hombre móvil*

Esta simulación<sup>3</sup> tiene a un hombre que se mueve en una línea recta horizontal sobre una regla graduada de -10 a 10.

<sup>2</sup> Puede verse en <https://phet.colorado.edu/es/simulation/legacy/vector-addition>

<sup>3</sup> Puede verse en <https://phet.colorado.edu/es/simulation/legacy/moving-man>

La simulación cuenta con dos pestañas, en la primera pestaña el usuario puede cambiar los parámetros de posición, velocidad y aceleración del hombre y observar su movimiento (Imagen 3). Esta ventana es útil para el paso uno de los ocho de la metodología ILD, donde solo se presenta la demostración sin mostrar los resultados. La segunda pestaña, a la que se accede en la parte superior de la simulación y que tiene el nombre de “gráficas” también permite elegir la posición, velocidad y aceleración del hombre, pero al iniciar la simulación se van generando las gráficas de estos parámetros vs tiempo simultáneamente. Cuenta con un botón de replay y de recorrido de las gráficas paso a paso una vez que fueron creadas, para ayudar a su análisis y relación entre una gráfica y otra (Imagen 4). También se tiene la opción de seleccionar al hombre con el puntero y moverlo a placer hacia la izquierda o la derecha y se observa la generación en la gráfica correspondiente con base a la velocidad con la que el usuario mueve al hombre por la recta. Pueden aparecer los vectores velocidad y aceleración y modificarse los intervalos de las gráficas.

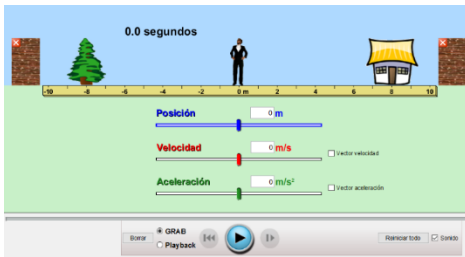


FIGURA 3. Vista de la primera pestaña de la simulación Hombre móvil donde se tiene la opción de modificar los parámetros de posición inicial, velocidad y aceleración y observar el movimiento del hombre.



FIGURA 4. Vista de la segunda pestaña de la simulación Hombre móvil donde se accede a las gráficas de movimiento.

## 2. Redacción del documento guía para cada demostración.

En este documento, elaborado por nosotros, se describe la secuencia didáctica a seguir en el aula para cada demostración. La metodología ILD, como se describió anteriormente, cuenta con ocho pasos a seguir por cada demostración, pero en este documento se describe como descargar y usar la simulación para realizar la demostración, mencionando cuales son los parámetros de los valores recomendados para cada demostración, como

usar los botones de la simulación y ejemplos de cómo relacionar una demostración con otra (Imagen 5).

Los documentos guía se elaboraron a partir de la manipulación de la simulación, y los participantes del proyecto se pusieron de acuerdo sobre cuáles son los mejores valores para usar en la actividad, con la finalidad de que se aprecie bien el fenómeno y el uso de las opciones en la simulación.

**Ejemplo de demostración:**

Dados estos vectores  $\vec{a}$  y  $\vec{b}$ , dibuja a la derecha tu predicción para la suma  $\vec{c} = \vec{a} + \vec{b}$ . Coloca el nombre de cada vector que dibujes debajo de él.

**Ejemplo de explicación en el documento guía:**

Se colocan los vectores  $\vec{a}$  y  $\vec{b}$  en el espacio de la simulación, lo más parecido a los vectores de la demostración. Pueden colocarse separados tal cual se ven en la imagen de la demostración. En la simulación se presiona el botón “mostrar suma” y el vector resultante aparecerá de color verde en medio de la simulación. Moviéndolos acomodándolos acorde al método gráfico de suma de vectores, se les recuerda a los alumnos este procedimiento. Aprovechando se puede recordar la propiedad conmutativa de la suma vectorial.

Imagen 5. Ejemplo de la información proporcionada por el documento guía que se tiene para cada demostración de las ILD.

## 3. Test de evaluación.

Se realizaron dos test de opción múltiple, uno para el tema de Vectores y otro para los temas de MRU y MRUA. Lo test serán usados como pre-test, antes de iniciar el tema, y post-test, después de terminar el tema abordado con sesiones que incluyeron ILDs. Para la elaboración del test se analizaron los contenidos en el portal de recursos para Física Educativa <https://www.physport.org/> que contiene Test estandarizados de diversos tópicos. Se revisaron todos los test de los temas de Vectores MRU y MRUA, y se seleccionaron aquellos que tenían más correspondencia con los temas y demostraciones de las ILD.

El test de vectores tiene 15 preguntas y se elaboró combinando reactivos de dos test estandarizados, del propuesto por Nguyen y Meltzer [14] se utilizaron dos reactivos modificando las respuestas para hacerlas de opción múltiple, y del test de Barniol y Zavala [15] se utilizaron 11 reactivos modificando algunos de ellos para usar el ángulo con respecto a la horizontal para identificar las componentes del vector, en lugar del ángulo con respecto a la vertical como lo hacer el test original. Se



diseñaron otras dos preguntas por parte del grupo de investigación para poder evaluar todas las demostraciones de la ILD, para el concepto de negativo del vector y asociación de las razones trigonométricas y teorema de Pitágoras con las componentes de los vectores, debido a que ninguno de los test contenía estos temas.

El motivo de elaborar preguntas de opción múltiple es debido a que se planea usar la ganancia conceptual de Hake y el Factor de Concentración en las futuras implementaciones para evaluar el aprendizaje de los estudiantes y para ello se requieren preguntas de este estilo.

El test de MRU y MRUA tiene 28 preguntas de opción múltiple y usa reactivos de dos test diferentes: la Evaluación Conceptual de Fuerza y Movimiento (conocido como FMCE por sus siglas en inglés) de Thornton y Sokoloff [16] y el Test para Evaluar el Entendimiento de Gráficas de Cinemática de Beichner [17]. En este caso no fue necesario modificar ninguna pregunta, solo se combinaron los reactivos de ambos test. En el caso del FMCE solo se usaron las preguntas que corresponden a Cinemática y no involucran el concepto de Fuerza.

4. *Implementar la secuencia en el aula. Recolección de datos mediante narración de la implementación por parte del docente y recolección de hojas de trabajo.*

Para el análisis de los resultados, debido a que se sigue una investigación narrativa para evaluar la calidad del material, los test y la secuencia didáctica, se requiere de descripción detallada del docente sobre la implementación y evidencia por medio de videos y fotografías. Los grupos participantes cuentan con el mismo profesor.

El profesor participante en el proyecto tiene experiencia trabajando con ILD desde el 2007 y en los últimos años con simulaciones interactivas PhET, pero esta es la primera ocasión en la que usa la combinación de la metodología ILD con demostraciones usando simulaciones.

La implementación se llevó a cabo en dos grupos de preparatoria de tercer semestre del Colegio de Ciencias y Humanidades (llamados CCH) de la UNAM. Los grupos son mixtos y están formados por aproximadamente 30 estudiantes, cuya asistencia es muy irregular, ya que el sistema del CCH así lo permite. En general se tienen de 10 a 20 estudiantes por sesión, que no necesariamente son los mismos en todas las sesiones, lo que complicó un poco el análisis, ya que no todos los alumnos contestaron los test, y hubo pocos alumnos que acudieron a todas las sesiones que se necesitaron para completar las ILDs.

El aula cuenta con pizarrón blanco, plumones, cañón y computadora personal para la implementación. Una sesión tiene una duración de 2 horas.

Una sesión antes de iniciar el tema los estudiantes responden el pre-test en la plataforma virtual Moodle, o en el salón se les envía a sus celulares las preguntas utilizando un router y la app eClicker presenter que se ejecuta en un dispositivo con iOS. Después los estudiantes participan en las actividades destinadas para abordar el tema, dentro de las cuales algunas sesiones son para el uso de las ILD, por ejemplo, en el caso de vectores fueron las dos últimas, y en el caso de MRU y MRUA fueron las sesiones de inicio. Cada demostración de las ILD siguió los ocho pasos como la metodología lo especifica. Las hojas de predicción/resultados fueron impresas y entregadas a los estudiantes el día de la implementación. La computadora y el cañón fueron colocados en el centro del aula y la proyección de la simulación se hizo sobre el pizarrón blanco como se muestra en la Imagen 6. En esta imagen además se aprecia como en el paso cuatro, donde se les pide a miembros de los equipos que digan cual es la predicción más común, los estudiantes tenían la posibilidad de dibujar en el pizarrón sobre la proyección de la simulación, de manera que fuera más sencillo el contrastar ideas.



FIGURA 6. Alumnos participando en la ILD.

Al terminar todo el tema, los estudiantes vuelven a contestar el test ahora en forma de post-test, de nuevo en la plataforma virtual Moodle o en eClicker. Las sesiones que complementaron las ILD para abordar el tema completo en estos grupos en particular fueron explicaciones en pizarrón, resolución de ejercicios y análisis de movimientos con Tracker<sup>4</sup> (Windows), VidAnalysis (Android), Vernier Video Physics (iOS), para iOS y Android adicionalmente se utiliza la app Vernier Graphical Analysis, para el caso de MRU y MRUA.

5. *Análisis de los resultados.*

Después de la implementación, en una entrevista no estructurada con una duración de 2:30 horas, el docente narra su experiencia en el aula usando anotaciones, las fotografías y algunos videos para sustentar su experiencia en la implementación en el aula.

<sup>4</sup> Tracker es un editor de video de acceso libre que realiza las gráficas de movimiento de los objetos grabados para su análisis.

Se incluyó un cuestionario de 3 preguntas con escala de Likert para los estudiantes donde debían seleccionar un número de 0 a 5, donde 0 significa una opinión negativa y 5 es una muy buena impresión, después de la implementación. Las preguntas fueron:

- ¿Qué te pareció la estrategia didáctica de ILD?
- ¿Cómo calificas tu aprendizaje logrado?
- ¿Qué te pareció la actividad de aprendizaje de ILD con simulaciones?

Este pequeño cuestionario se incluyó para conocer en voz de los estudiantes su opinión sobre la metodología, debido a que uno de los intereses de esta investigación es el impactar no solo en el aprendizaje conceptual, sino también en la opinión y actitud sobre la Física en los estudiantes. A continuación, se presentan los resultados de esta primera implementación.

## **V. RESULTADOS**

El profesor comentó en la entrevista que al inicio de la actividad los estudiantes no participaban mucho, pues están acostumbrados a clases donde el profesor expone todo el tema y ellos solo toman nota, pero motivándolos e invitándolos, poco a poco, los estudiantes se notaban más activos. Se debe poner mucha atención en las primeras demostraciones, para verificar que los estudiantes realmente escriben sus predicciones en la hoja de trabajo, ya que en general al inicio algunos estudiantes están temerosos de poderse equivocar y que sus compañeros se den cuenta en la parte de la metodología donde comparten sus predicciones en una discusión grupal. Es una labor del profesor generar un ambiente favorable en el grupo para fomentar la participación y el mostrar a sus estudiantes que equivocarse es parte del proceso de aprendizaje. Se mostró cómo se va logrando una participación más activa por parte de los estudiantes en cada sesión que se sigue con ILD por medio de fotos y videos donde incluso los estudiantes se levantaban de sus lugares en equipos para en el pizarrón plasmar sus ideas y predicciones (Imagen 6). Por lo tanto, al continuar con más ILD para los siguientes temas del temario de mecánica, podría ser aún más beneficioso, favoreciendo no solo la parte conceptual, si no la actitudinal e incluso apoyar a mejorar habilidades más generales como comunicarse, pues se inicia con algunos alumnos con un “no sé cómo explicarlo...” y este tipo de metodologías ayudan a que los estudiantes puedan expresar sus ideas y después incluir lenguaje técnico y expresarse con coherencia.

Las simulaciones PhET cuenta con una aplicación para descargarse en teléfonos Android, el profesor compartió como después de la aplicación de las tres ILD gran cantidad de sus estudiantes las descargaron, sin que él se los pidiera como actividad parte de su clase, ya que las simulaciones usadas en las ILD no están disponibles en la aplicación, y ha visto como las utilizan en los temas posteriores como apoyo.

En la siguiente fase de este proyecto de investigación se desarrollarán más ILDs para otros temas de mecánica que cuenten con una simulación que permita hacer las demostraciones, con posibles modificaciones en algunos pasos de la metodología ILD para incluir el uso de las simulaciones en el celular.

El tiempo requerido para la implementación de la ILD de Vectores fue de 2 sesiones, la de MRU de 4 y la de MRUA de 6. Las ILD deben ser usadas en algunas de las sesiones de las asignadas para abordar un tema, por lo que las 4 sesiones que requirió MRU y las 6 sesiones de MRUA son excesivas. Se realizará un análisis de tiempo de cada demostración contenida en estas ILD y una reestructuración de algunas demostraciones para generar tres hojas de Predicciones/Resultados para los temas de MRU y MRUA, una sencilla y rápida, para aquellos cursos que no profundizan tanto y donde solo el análisis del movimiento a la derecha del punto de referencia sea necesario. Para los cursos que requieren profundizar, las hojas de trabajo se separaran en movimiento a la derecha del punto de referencia y en movimiento a la izquierda.

En el cuestionario Likert, se obtuvieron los siguientes resultados:

- ¿Qué te pareció la estrategia didáctica de ILD? Obtuvo una calificación promedio de 4.7, que muestra que a los estudiantes les gustó mucho la estrategia.
- ¿Cómo calificas tu aprendizaje logrado? Obtuvo un puntaje de 3.7, los estudiantes entendían lo que estaban haciendo, pero admiten que pueden aprender más del tema, esto a través de más práctica en dinámicas activas y apertura de su parte, ya que al principio se observaba cierta renuencia en participar sobre todo en el paso de predicciones, pero conforme se iban sintiendo más cómodos con la actividad seguían los ocho pasos del a ILD participando activamente.
- ¿Qué te pareció la actividad de aprendizaje de ILD con simulaciones? Obtuvo un 4.2, lo que significa una opinión positiva por parte de los estudiantes, que se incrementa notablemente al combinar estas actividades con las actividades de laboratorio. En el caso de MRU y MRUA se notó una participación más activa y positiva en los estudiantes en la resolución de ejercicio y en especial en el laboratorio con el análisis de movimiento usando Tracker o alguna de las apps antes mencionadas, donde los alumnos conectaron muy bien lo visto en las ILD con las actividades que desarrollaban. Lo más notorio fue el uso del concepto de sistema de referencia en la creación de los videos para el análisis y en la explicación de los mismos, algo con lo que generaciones pasadas



habían tenido problemas. Comentario de “como lo vimos en la simulación...” durante el resto de las sesiones de MRU y MRUA muestran como las simulaciones usadas en la metodología ILD es un buen puente entre el contenido conceptual, las actividades experimentales, la resolución de ejercicios y la descripción de fenómenos en la vida real.

Con respecto al test de evaluación, el profesor participante observó que el contestar este tipo de test se les complicó a los estudiantes, ya que era la primera vez que participaban en este tipo de investigaciones y en las asignaturas de física no son muy comunes los test conceptuales, considerando las preguntas como “capciosas”, además el profesor observó cierto rechazo escuchando comentarios de “son demasiados exámenes” por parte de los estudiantes. A pesar de que se les comento el objetivo de los mismos, una herramienta para evaluar la eficiencia de la estrategia a través de su aprendizaje logrado, y no una prueba para asignarles una calificación, los estudiantes se mostraron renuentes. Parte del proyecto también es analizar la actitud y habilidades que genera el uso del ILD y simulaciones, por lo que se trabajan en estrategias dentro de la secuencia didáctica para que las herramientas de evaluación no se vean como una actividad ajena o extra a la dinámica de clase, para no generar rechazo por parte de los estudiantes.

## VI. CONCLUSIONES

Las Clases Demostrativas Interactivas, mejor conocidas como ILD son una metodología basada en el aprendizaje activo de la física que favorece el aprendizaje conceptual de los estudiantes. Combinado con simulaciones interactivas como las PhET permiten ser un puente conceptual entre actividades de laboratorio, resolución de ejercicios y explicación de fenómenos de la vida real. Hacen falta más herramientas de análisis para poder demostrar las ventajas que ofrece la combinación de las simulaciones y las ILD. Observaciones en el aula muestran una actitud más activa y positiva de los estudiantes, pero se trata de un proceso, pues el cambio de ser alumnos receptores, como están acostumbrados en las clases tradicionales, que aún son muy frecuentes en la formación de los alumnos actuales en nuestro país, a las clases activas donde se requiere que los estudiantes reflexionen, describan, discutan, argumenten y observen, no se da desde un principio. En esta actividad donde los estudiantes siguieron en tres ocasiones una metodología activa en tres diferentes temas nos sugiere que se puede lograr aún más al construir todo un curso siguiendo esta metodología. Aún falta construir mejores herramientas para la evaluación del aprendizaje y las actitudes de los estudiantes, pero en este primer acercamiento se observaron buenos resultados en el desenvolvimiento de los estudiantes en las actividades posteriores a la implementación, mejoras en la actitud y en

el manejo de conceptos que sugieren un mayor entendimiento conceptual.

La estructura de las hojas de predicción/resultado deben mejorarse para convertirse en actividades que se realicen en una o dos sesiones del tema. Para no saturar a los estudiantes de test para evaluar su aprendizaje, actitud y habilidades, se buscarán estrategias que permitan implementar los test dentro de la secuencia didáctica de una forma más complementaria a las actividades.

Como se comentó al inicio de este artículo, el trabajo desarrollado al momento es solo una fracción de camino que se tiene que seguir para desarrollar un curso que involucre el uso de ILD y simulaciones. Los resultados encontrados al momento son positivos y fomentan la continuación del trabajo. Agradecemos a la institución CCH, estudiantes y profesores que apoyaron para esta primera implantación.

## REFERENCIAS

- [1] OCDE (2016) *Programa para la evaluación internacional de alumnos (PISA) 2015 – Resultados México* descargado el 19/03/17 de <https://www.oecd.org/pisa/PISA-2015-Mexico-ESP.pdf>
- [2] Alzagary, G.; R. Carreri, R. y Marino L. (2010). *El Software De Simulación En Física: Herramienta Para El Aprendizaje De Contenido*, Congress on technology in Education and Education in Technology TE&ET.
- [3] Schewartz, S. y Pollishuke M. (1998). *Aprendizaje Activo, Una Organización de la Clase Centrada en el Alumnado*, Narcea, España.
- [4] Meltzar D. y Thomton R. (2011), *Resource Letter ALIP-1: Active-Learning Intruction in Physics*, American Journal of Physics, 80(6), 478-496.
- [5] Michael J. (2006). *Where`s the evidence that active learning works?* en *Advances in Physiology Education*, 8, 159-167
- [6] Dudareva, I., Paulins, P., Bruneniece, A., & Salszirnīs, A. (2012). How can it be? Teaching/learning physics by interactive demonstration. *The World Conference on Physics Education*, (pág. 27). Istanbul / Turkey.
- [7] Sokoloff, D., & Thornton, R. (2006). *Interactive Lecture Demonstrations Active Learning in Introductory Physics*. Oregon: The physics suite.
- [8] López, D. (2015) *Implementación de una Estrategia Activa Complementada con TIC para la Enseñanza de Circuitos Eléctricos en Nivel Bachillerato*. Tesis de Maestría, Instituto Politécnico Nacional, CICATA-Legaria, México.
- [9] Blanco, M.; (2011). Investigación narrativa: una forma de generación de conocimientos. *Argumentos*, Septiembre-Diciembre, 135-156.

- [10] Esquembre, F. (2005). *Creación de Simulaciones interactivas en Java, Aplicación a la Enseñanza de la Física*. Person, España.
- [11] Santos, G., Otero, R., y Fanaro, M. (2000). *¿Cómo usar Software de simulación en clases de Física?* Enseñanza de la Física, 1(17), 50-60.
- [12] Giacosa, N., Giorgi S. y Concari S. (2009). *Applets en la Enseñanza del Electromagnetismo y la Óptica*, Third National Congress of Industrial Engineering, pp. 1-18, Argentina.
- [13] Podolefsky, N., Moore, E. y Perkins, K. (2014). *Implicit scaffolding in interactive simulation: Design strategies to support multiple educational goals*.
- Descargado de <http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1306/1306.6544.pdf>
- [14] Nguyen, N. y Meltzer, D. (2003) *Initial understanding of vector concepts among students in introductory physics courses*. En Am. J. Phys. 71 (6), 630-638
- [15] Barniol, P. y Zavala, G. (2014). *Test of Understanding of Vectors: A Reliable Multiple-Choice Vector Concept Test*. Physical Review Special Topics-Physics Education Research, 10, 010121
- [16] Thornton, R., y Sokoloff, D. (1999). *Force and Motion Conceptual Evaluation (FMCE)*. Recuperado el 2016, de PhysPort: <https://www.physport.org/assessments/>
- [17] Beichner, B. (2010). *Test of Understanding Graphs in Kinematics*. Recuperado el 2016, de PhysPort: <https://www.physport.org/assessments/>