

# Ley de fuerzas desde el movimiento: un experimento en el Laboratorio Virtual

Miguel A. Ré<sup>1,2</sup>, María F. Giubergia<sup>2</sup> y Lucía E. Arena<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Matemática, Astronomía y Física – Universidad Nacional de Córdoba

<sup>2</sup>Facultad Regional Córdoba – Universidad Tecnológica Nacional

[mre@frc.utn.edu.ar](mailto:mre@frc.utn.edu.ar), [mfergiu@yahoo.com.ar](mailto:mfergiu@yahoo.com.ar) y [arena@famaf.unc.edu.ar](mailto:arena@famaf.unc.edu.ar)

## Resumen

El trabajo presentado en esta comunicación se desarrolla bajo la premisa de que los laboratorios virtuales basados en simulaciones (LVBS) cooperan con los procedimientos didácticos tradicionales de enseñanza, complementándolos sin suplantarlos. En particular, facilitan el abordaje de conceptos que, por su complejidad, requieren la implementación de experimentos complicados o el uso de cálculo avanzado para el nivel educativo de los alumnos.

Se presenta aquí un diseño de trabajo práctico de laboratorio virtual basado en simulaciones (LVBS) para un primer curso de Física universitaria, en el que el tema central es el estudio de la Mecánica. El problema a resolver es la caracterización de la fuerza de interacción entre dos objetos a partir del estudio del movimiento. Para la implementación del laboratorio se adaptó un programa de simulación (del proyecto Physlets) desarrollado en JavaScript en un esquema de Objeto de Aprendizaje.

El diseño se completa con una guía de actividades para orientar el trabajo del alumno. Se ha evaluado el desempeño del programa a partir de los objetivos disciplinares perseguidos. Se ha comenzado además la etapa de evaluación por expertos. Simultáneamente se está llevando al aula para evaluar el aprendizaje logrado por los alumnos.

**Palabras claves:** simulaciones, física, enseñanza, laboratorio virtual

## Introducción

Las nuevas tecnologías (NTICs) en su permanente evolución abren nuevas perspectivas en el ámbito de la enseñanza.

Podemos mencionar, tomando como referencia la participación del alumno, el pasaje de actividades netamente transmisoras, en las que se entrega información, a actividades interactivas con fuerte participación del alumno e incluso actividades colaborativas, compartiendo los conocimientos. Se logra así generar actividades facilitadoras para la adquisición de habilidades y conocimientos. Sin duda estas nuevas posibilidades reclaman una modificación de los paradigmas tradicionales en cuanto a los roles de docente y alumno. Dentro de las posibilidades mencionadas podemos redefinir el carácter de los experimentos de laboratorio con nuevas ventajas y desventajas (Nickerson, et al 2007), en especial para enseñar ciencias fácticas. Así, complementarios a los trabajos prácticos de laboratorio tradicionales (TPLT), se rescatan los trabajos prácticos con mediación de las NTICs como asistidos por computadora, remotos o laboratorios virtuales basados en simulación (LVBS).

Cada una de estas formas de abordar los fenómenos experimentales reflejan una metodología de trabajo importante para el avance en el desarrollo de las ciencias y para la enseñanza y el aprendizaje de las mismas. Cabe mencionar además que para determinados tópicos una técnica puede ser más adaptable que las demás. En el caso de los LVBS, que se estudian en este trabajo, proveen un entorno de ensayo más simple que el del laboratorio propiamente dicho.

El abordaje de la Física, como ciencia fáctica requiere de la práctica experimental para el estudio de fenómenos y procesos que son los que fundamentarán los conceptos. Los objetivos perseguidos con la inclusión de la práctica experimental en el proceso de aprendizaje pueden resumirse en las conclusiones del Comité de Laboratorios de la

Asociación Americana de Profesores de Física (AAPF 1998):

- Desarrollar el arte de la experimentación.
- Desarrollar habilidades experimentales y analíticas.
- Lograr un aprendizaje conceptual.
- Comprender las bases del conocimiento en Física.
- Desarrollar habilidades para el trabajo en colaboración.

Claramente las simulaciones por computadora son aplicaciones de especial interés para enseñar Física, contribuyendo al logro de los objetivos enunciados, porque ellas pueden soportar fuertemente modelos de contorno que involucran conceptos y procesos físicos (Jimoyiannis y Komis, 2001).

En experiencias preliminares realizadas con LVBS, trabajando sobre los conceptos de masa inercial y movimiento oscilatorio armónico, se han encontrado resultados muy favorables desde la perspectiva del docente tales como que el laboratorio virtual es menos costoso en tiempo y requerimientos de infraestructura y permite dedicar un importante tiempo al análisis de resultados finales. Este análisis puede verse dificultado en las metodologías tradicionales por el cálculo o el análisis matemático complejo en los trabajos prácticos de lápiz y papel.

También debemos mencionar las limitaciones presupuestarias, de equipamiento o recursos humanos en los laboratorios de enseñanza para los cursos de Física General. Encontramos así que aún cuando la gran mayoría de los profesores de Física consideran que su enseñanza debe basarse fuertemente en la práctica experimental desarrollada por los propios alumnos, los TPLT que se llevan a cabo en un curso son pocos y escasamente aprovechables. Así en la realidad de la docencia universitaria, no sólo de nuestro país (González et al. 2002), los TPLT en muchas ocasiones resultan una valla a superar con más o menos esfuerzo, pero sin un aporte significativo al aprendizaje.

En esta comunicación se presenta un trabajo práctico de LVBS diseñado siguiendo los

lineamientos generales presentados en (Ré et al. 2011).

El trabajo práctico se desarrolló en un esquema de Objeto de Aprendizaje, definido como un recurso digital reusable, representativo de aspectos de la "realidad" y significativo para el sujeto de aprendizaje. Se incorporó el "equipo de laboratorio" en una estructura abarcadora que incluye la guía de laboratorio y actividades previas y posteriores a la experiencia.

### **Trabajo práctico de simulación.**

Existe una importante oferta de *software* y de gran variedad (Cova et al. 2008) que permiten el diseño y realización de experiencias basadas en LVBS para diversas disciplinas científicas y en particular para ciencias fácticas como la Física. Consecuentemente nuestra línea de trabajo no propone en esta instancia el desarrollo de nuevo *software*, sino la adaptación de *software* ya existente, acorde a los requerimientos de la actividad planificada. El programa elegido, del proyecto *Fislets* (Esquembre et al. 2004), ya fue utilizado con anterioridad en el diseño de otra actividad práctica: definición operativa de masa inercial. Además de la adaptación del programa, se confeccionó la guía de actividades para la realización del práctico y un cuestionario de evaluación de la actividad, agregados como apéndice al presente manuscrito.

### **Determinación de la ley de fuerzas.**

Un primer curso de Física en una carrera de ciencias o ingeniería tiene como principal objeto de estudio a la Mecánica, y dentro de ésta el estudio de la Dinámica. Los conceptos de masa inercial y fuerza están en el núcleo de la Dinámica y una buena definición de los mismos es de gran importancia para el desarrollo del resto del curso y cursos posteriores (ver por ejemplo Ingard y Kraushaar 1991). Con esta actividad práctica completamos la actividad iniciada con la definición operativa de masa inercial. En este caso se le propone al alumno determinar la ley

de fuerzas subyacente al experimento de colisión explosiva utilizado en dicha práctica. Se agregan en este caso nuevas interacciones, cuya determinación y análisis son parte de la actividad programada. Asimismo permite ampliar el trabajo práctico destinado a la definición de masa inercial, permitiendo comprobar la independencia de la definición de la interacción subyacente.

El trabajo práctico consistirá en la determinación de la dependencia de la fuerza con la distancia de separación de los carritos interactuantes.

### **Aspectos didáctico-pedagógicos.**

Desde una perspectiva clásica de la trilogía alumno, docente, contenido, el uso de los LVBS como apoyo didáctico tienen un importante número de beneficios: fundamentalmente apuntan al menor costo en infraestructura, tiempo y recursos humanos; y a la versatilidad para el diseño y adecuación de las prácticas. Por otro lado señalamos que una de las dificultades más notables consiste en lo que llamaremos reduccionismo de las prácticas experimentales de laboratorio a las simuladas. Debe siempre considerarse que los LVBS son un soporte alternativo, motivador y versátil para apoyar el aspecto experimental de las ciencias fácticas. Destacamos también que no permiten desarrollar las habilidades y destrezas en el uso del instrumental de laboratorio aunque facilitan el abordaje y aprendizaje de modelos y la conformación de estructuras mentales.

Una situación que encontramos en el *software* disponible en general es la inclusión de gran cantidad de texto explicativo con el objetivo de hacerlo autocontenido. Sin embargo el desarrollo, en general, de estos textos está en la línea de pasos guiados, un esquema de trabajo que no arroja los mejores resultados (Chang 2008). Tomando en cuenta los resultados mencionados consideramos conveniente sustituir dicho texto por una guía de actividades en el esquema centrado en los medios (Esquembre, 2004), en que se plantea al estudiante la resolución de un problema a

través de la experimentación. En el apéndice A se adjunta la guía elaborada para la actividad.

Las prestaciones de las NTICs en la enseñanza en general son muchas y variadas, con un crecimiento constante y cada vez con mayor rapidez. En particular, en aplicaciones diseñadas para las Ciencias Naturales constituyen una herramienta valiosa para la representación de fenómenos y la descripción del proceso de modelado. Consideramos que la mayor ventaja la brinda la posibilidad de interacción que permite al estudiante la formulación y verificación de modelos constituyéndose en facilitadores de la construcción de conocimiento.

Por supuesto que la utilidad de una herramienta en el proceso de enseñanza-aprendizaje dependerá de las adecuaciones didácticas que se realicen. Así, aún cuando se cuenta con mucho *software* para la implementación de LVBS, no necesariamente este cumplirá con las condiciones necesarias que faciliten un tratamiento constructivista del tema de interés. Este es un aspecto importante a considerar en el diseño de la guía de actividades.

El *software* utilizado fue sometido a diferentes modelos de evaluación con resultados muy favorables, tanto en la calidad técnica, como en la educativa. En cuanto a lo educativo, aspectos como el contenido, la creatividad, las simulaciones propiamente dichas, y los modelos subyacentes, y los objetivos fueron adecuados para favorecer la construcción de los procesos y conceptos.

### **Adaptación del *software*.**

Una vez seleccionado el programa con el cual trabajar se procedió a su modificación para adaptarlo a los objetivos perseguidos.

Técnicamente el *software* es sencillo, pero con gráficos claros y de fácil interpretación; desarrollados en JavaScript que, dado que se ejecutan en una máquina virtual, pueden utilizarse

desde cualquier programa de navegación. Además el tiempo de respuesta es bueno permitiendo un trabajo interactivo sin mayores inconvenientes. También permite la introducción de botones para la selección de opciones, lo que permitió modificar los modos de ingreso de los valores para la realización de la experiencia.

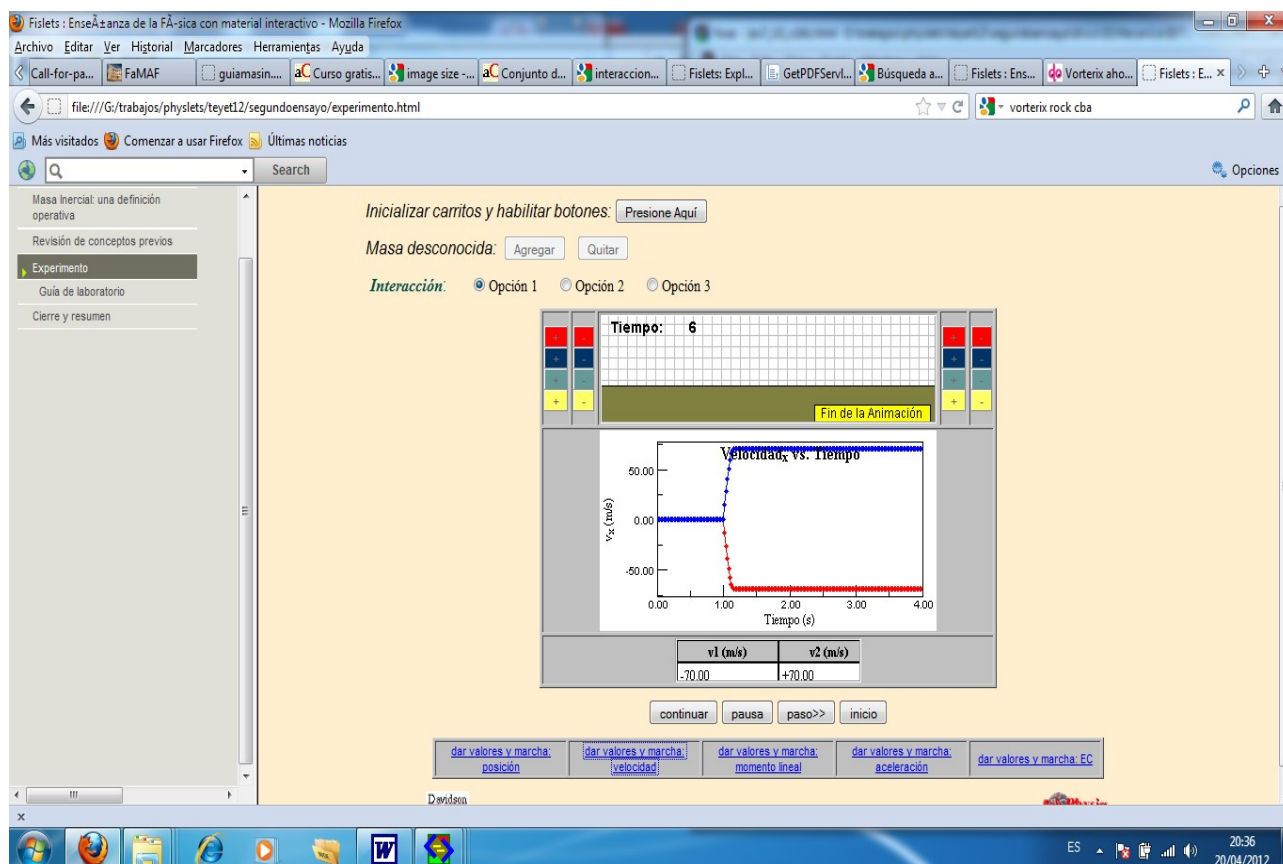
Se eliminó el texto presente en el programa original, en el esquema de pasos guiados. Se incluyeron los botones necesarios para la operación del programa desde el dispositivo de señalamiento y en una forma más simple.

La carga de masa en los carros se puede realizar de manera gráfica y modificar en el transcurso de la experiencia. Se agregó además la generación de una masa incógnita (a partir

de la generación de un número aleatorio). Se agregaron además distintos modelos de interacción entre los carritos, indicados por opciones.

En la figura 1 se ilustra la pantalla correspondiente al experimento para la determinación de fuerzas. Este diseño es una modificación del utilizado para la definición operativa de masa inercial. Las opciones de interacción agregadas corresponden a una interacción elástica tres de ellas y una interacción  $1/d^2$  (tipo electrostática o magnetostática) de tipo repulsiva. Asimismo esta inclusión amplía la experiencia de definición operativa de masa inercial, al permitir la verificación de que la definición de masa es independiente de la interacción establecida.

Figura 1: pantalla del LVBS diseñado para la determinación de la fuerza



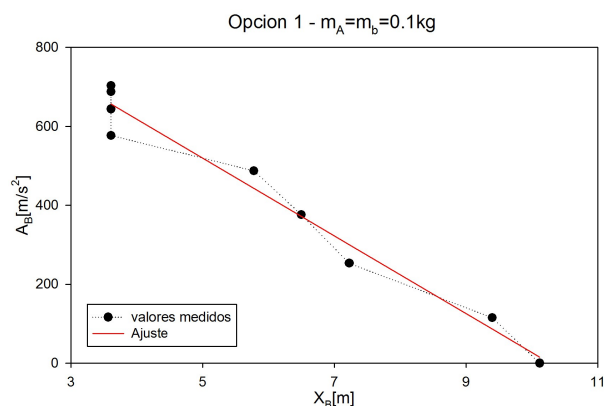
## Discusión y conclusiones.

Se ha completado el diseño de un trabajo práctico basado en un LVBS para la

determinación de la ley de fuerzas en la interacción entre dos cuerpos a partir del estudio del movimiento. El trabajo práctico se ha diseñado para implementar en un primer curso de Física universitaria (con la Mecánica como área de estudio). A pesar de su importancia, este problema no es usualmente abordado en los cursos universitarios. Una causa probable es la dificultad que tiene el planteo de este tipo de problemas en forma analítica o en la práctica experimental de realidad material. El programa, aunque sencillo en su interfaz gráfica, se muestra eficiente y con buena velocidad de respuesta. En nuestro diseño de LVBS hemos adoptado la aproximación basada en teoría, de manera tal que los resultados responden a los modelos considerados: interacción elástica (tres opciones) y repulsiva  $1/d^2$  (como en repulsión eléctrica o magnética opción 3). No se incluye la generación de errores en los resultados. De todas maneras la resolución con que se presentan los cálculos produce una dispersión de valores, como se ilustra en la figura 2.

Figura 2: resultados de la experiencia para la Opción 1 de interacción.

Esta actividad práctica completa la desarrollada en un práctico previo para la definición operativa de masa inercial, conformando un conjunto de trabajos de laboratorio iniciales para el estudio de la



dinámica.

El diseño del LVBS se ha efectuado en un esquema de Objeto de Aprendizaje, tomando como definición del mismo: Recurso digital reusable, representativo de aspectos de la

"realidad" y significativo para el sujeto de aprendizaje. El recurso será autocontenido y versátil para su combinación o integración con otros recursos (OA). Asimismo se genera una propuesta de patrón de diseño con el objetivo de homogeneizar la presentación de las distintas actividades de tipo virtual que se presenta a los alumnos.

Al momento de elevar esta comunicación el diseño se somete a la evaluación de expertos para la consideración del diseño didáctico e informático, aguardándose su respuesta. También se prevé llevarlo al aula a la brevedad. El momento de hacerlo está determinado por el desarrollo del curso en el que se implementa.

Cabe destacar que, en nuestra consideración, la implementación de LVBS constituye una actividad complementaria y no sustitutiva de prácticas tradicionales de laboratorio, a las que consideramos insustituibles en un curso de Física. Sin embargo señalamos también que los trabajos prácticos usando LVBS ofrecen posibilidades nuevas para el proceso de aprendizaje y no constituyen sólo un paliativo.

## Apéndice A.

### Guía de trabajos prácticos.

#### Determinación de ley de fuerzas.

#### Experiencia de choque explosivo.

En la opción "Experimento" aparecerá ante Ud. Un diagrama similar al ilustrado en la figura.

Le proponemos las siguientes actividades.

##### 1) Reconocimiento de la página.

Utilice algunos minutos para familiarizarse con la página del programa (el dispositivo experimental es el utilizado en el práctico para una definición operativa de masa inercial). Podemos reconocer cinco sectores importantes:

- a) Inicializar carritos y habilitar botones.

Mediante esta opción se da comienzo o se reinicia la ejecución del programa. Permite cargar

los carritos con masas calibradas en proporciones fijas. Los botones marcados con el símbolo “+” permiten cargar los carritos y los botones con el símbolo “-” los descargan. Las masas asociadas a los diferentes colores mantienen una relación fija y cada color corresponde a un valor distinto.

b) Masa aleatoria.

Permite agregar o quitar una masa de valor indeterminado al carrito de la derecha. (Esta opción no será usada en este ejercicio).

c) Interacción.

Mediante esta opción Ud. puede utilizar distintos tipos de interacción entre los carritos. En este trabajo práctico utilizaremos las cuatro opciones.

d) Gráficos – 1

Se representan los carritos que van a participar de la colisión explosiva. A ambos costados del dibujo se encuentran los botones que permiten cargar o descargar los carritos con “masas calibradas”. Los colores corresponden a distintos valores de masa que están en proporciones fijas. Puede utilizar la calibración obtenida en el práctico de definición operativa de masa inercial.

e) Gráficos – 2

Se representan gráficamente los resultados de la simulación. La función que se grafica en función del tiempo depende de la opción elegida en la línea inferior. En este práctico trabajaremos con dos opciones: posición vs. tiempo y aceleración vs. tiempo. Para completar la actividad deberá construir una tabla que le permita poner en correspondencia los valores de aceleración y posición (a un mismo tiempo) para uno de los carritos.

Con el botón derecho del *mouse* ubicado sobre la ventana gráfica puede transferir los resultados de la simulación a una ventana independiente en la que puede leer los valores del registro. A tal fin aumente el tamaño de la ventana y posiciones el *mouse* en el punto cuyas coordenadas quiere determinar. Oprimiendo cualquier botón del *mouse*

puede leer las coordenadas en esquina inferior izquierda.

Esta ventana permanecerá abierta durante todo el tiempo de ejecución del programa. Le sugerimos practicar con esta posibilidad antes de comenzar con el trabajo práctico propiamente dicho.

f) Línea de opciones.

Permite seleccionar la función a graficar en la simulación.

2- Ejercicio – primera parte: registro de datos (a repetir con cada opción de interacción).

Para responder experimentalmente a estas preguntas usaremos los resultados de la segunda ley de Newton y la discusión en la clase teórica para relacionar la posición de un dado carrito y la separación entre ambos. En el apartado revisión de conceptos previos se han agregado algunos textos que le ayudarán a revisar estas ideas.

a) Construya una tabla de valores con tres entradas:  $t$ ,  $a$  y  $x$  (para uno de los carritos).

3- Ejercicio – segunda parte: determinación de la ley de fuerzas.

a) A partir de la tabla generada en la actividad anterior construya un gráfico a vs.  $x$ .

b) Proponga una ley de dependencia de la fuerza con la separación de los carritos y compare con los resultados del gráfico.

4- Ejercicio – verificación: dependencia de la fuerza con la masa inercial.

a) ¿Depende la fuerza de interacción de la masa inercial de los carritos? Para responder la pregunta repita alguna de las experiencias anteriores modificando el valor de masa inercial de uno o ambos carritos.

Concluida la actividad confeccione un informe con los resultados obtenidos siguiendo el esquema de informe de laboratorio sugerido y contemplando los puntos de cada una de las actividades desarrolladas.

## Agradecimiento

Los autores agradecen el financiamiento de este proyecto a través del PID UTI 1400 otorgado por la Universidad Tecnológica Nacional.

## Referencias.

American Association of Physics Teachers (1998) "Goals of the Introductory Physics Laboratory", *Am. J. Phys* **66**, 483.

Chang Kuo-En, Chen Yu-Lung, Lin He-Yan y Sung Yao-ting (2008), "Effects of learning support in simulation-based physics learning", *Computers & Education* **51**, 1486.

Ángela Cova, Xiomara Arrieta y Víctor Riveros (2008), "Análisis y comparación de diversos modelos de evaluación de software educativo", *Revista Venezolana de Información, Tecnología y Conocimiento*, **5**, 45 y referencias allí citadas.

Esquembre Francisco, Martín Ernesto, Christian Wolfgang y Belloni Mario (2004), "Fislets, Enseñanza de la Física con material interactivo", Pearson, Prentice Hall, España.

<http://webphysics.davidson.edu/Applets/Applets.html>.

González Manuel, Arranz Gloria, Portales Raúl, Tamayo Miguel y González Alberto (2002) "Development of a virtual

laboratory on the Internet as support for physics laboratory training", *Eur. J. Phys.* **23**, 61.

Ingard Uno y Krausharr William (1991) "Introducción al estudio de la mecánica, materia y ondas", Reverté, España.

Jimoyiannis Athanassios y Komis Vassilis (2001), "Computer simulations in physics teaching and learning: a case study on students' understanding of trajectory motion", *Computers & Education* **36**, 183.

Nickerson Jeffrey V., Corter James E, Esche Sven K. y Chassapis Constantin (2007), "A model for evaluating the effectiveness of remote engineering laboratories and simulations in education", *Computers & Education* **49**, 708.

Ré Miguel, Arena Lucía y Giubergia Ma. Fernanda (2011), "Incorporación de TICs a la enseñanza de la Física. Laboratorios virtuales basados en simulación", presentado en VI TEYET.

También enviado para su publicación en *Revista Iberoamericana de Tecnología en Educación y Educación en Tecnología*.