

## El Laboratorio Virtual en las Prácticas de Física

Miguel A. Ré<sup>a,b</sup>, Lucía E. Arena<sup>b</sup>, María F. Giubergia<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Facultad Regional Córdoba, Universidad Tecnológica Nacional, Maestro López y Cruz  
Roja Argentina, Ciudad Universitaria, 5010 Córdoba, Argentina  
[mgl.re33@gmail.com](mailto:mgl.re33@gmail.com), [fernanda.giubergia@gmail.com](mailto:fernanda.giubergia@gmail.com)

<sup>b</sup> Facultad de Matemática, Astronomía y Física, Universidad Nacional de Córdoba, Haya de  
la Torre y Medina Allende, Ciudad Universitaria, 5010 Córdoba, Argentina  
[re@famaf.unc.edu.ar](mailto:re@famaf.unc.edu.ar), [arena@famaf.unc.edu.ar](mailto:arena@famaf.unc.edu.ar)

**Resumen.** Se presenta la propuesta, desarrollo e incorporación de trabajos prácticos para Física con el Laboratorio Virtual Basado en Simulación (LVBS). Las prácticas desarrolladas están orientadas a los primeros cursos de nivel universitario, con una posible simple extensión al nivel del colegio secundario. La integración del LVBS con las TIC permite ampliar los horarios disponibles para los estudiantes, permitiendo repetir o revisar resultados obtenidos en la clase práctica dentro y fuera del ámbito edilicio de la Facultad. Las prácticas desarrolladas han sido utilizadas en el curso de Física I en la Facultad Regional Córdoba de la Universidad Tecnológica Nacional. Se presenta su evaluación tanto en el aspecto disciplinar como en la valoración hecha por los estudiantes participantes.

**Palabras Clave:** laboratorio virtual, simulaciones, aprendizaje, Física.

### 1 Introducción

El Ciclo General de Conocimientos Básicos (CGCB) tiene importancia en la formación de los futuros ingenieros al constituir una etapa de carácter estratégica en el mejoramiento de los procesos de enseñanza y aprendizaje. Se pretende aquí una formación básica sólida que facilite la culminación de los estudios de grado, incluyendo nuevas estrategias pedagógicas para superar las dificultades en los primeros años de estudio. Se parte del reconocimiento de la responsabilidad universitaria para crear condiciones que aumenten la retención de estudiantes.

En el CGCB los contenidos de Física (conjuntamente con los de Matemática) son fundamentales y predominantes, lo que hace necesario el esfuerzo por mejorar los procesos de aprendizaje. Para la mejora de estos procesos consideramos la concurrencia de tres aspectos: el disciplinar, el pedagógico y el tecnológico. Nuestro trabajo se enmarca en el esquema que denominamos Conocimiento Tecnológico, Pedagógico, Disciplinar (CTPD o *Technological Pedagogical Content Knowledge – TPACK*) [1], que considera las tres fuentes actuando conjuntamente.

La irrupción de las TIC en todos los contextos socio-culturales ha cambiado dramáticamente rutinas y prácticas en muchas de las actividades laborales humanas. Los entusiastas de la tecnología han visualizado frecuentemente cambios similares en los procesos de enseñanza y aprendizaje. Sin embargo en el ámbito educativo la realidad está retrasada respecto de las expectativas. Sin duda confluyen distintos

factores, uno de los cuales se argumenta en TPCK es la tendencia de considerar aisladamente el aspecto tecnológico.

A la idea original del conocimiento disciplinar como base para la enseñanza se agregó posteriormente la consideración de los aspectos pedagógicos [2] aunque separados estos de los disciplinares, suponiendo que las mismas metodologías sirven a las distintas disciplinas. Este esquema no fue exitoso demandando la mezcla de ambos conocimientos en lo que Shulman [3] denominó Conocimiento Disciplinar Pedagógico (*Pedagogical Content Knowledge*). A todo esto el aspecto tecnológico, aunque presente en la forma de libros, pizarrón y demás dispositivos, resultó transparente y no fue tomado en consideración. Es con la aparición de las denominadas nuevas tecnologías que este tercer ingrediente comienza a ser tomado en cuenta, inicialmente en forma aislada como ocurrió con los elementos anteriores. Sin embargo en el esquema TPCK se propone su integración dando lugar a metodologías que yacen en la intersección de los tres tipos de conocimiento.

Así nuestra respuesta al desafío: ¿cómo podemos incorporar estas nuevas tecnologías a nuestras clases de Física? la damos en el contexto del TPCK.

La Física en tanto ciencia fáctica requiere de la práctica experimental para su aprendizaje. En palabras de Richard Feynman [4]

“El principio de la ciencia, casi su definición es: el juez de todo conocimiento es el experimento. El experimento en sí mismo ayuda a producir las leyes científicas dándonos pistas. También es necesaria la imaginación para generar desde estas pistas las grandes generalizaciones.”

Con la inclusión del laboratorio de Física en el proceso de enseñanza se pretende, de acuerdo con la Asociación Americana de Profesores de Física [5,6], lograr los siguientes objetivos

- 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.

Consideramos que podemos contribuir al logro de estos objetivos mediante trabajos prácticos basados en simulaciones de experimentos en Física.

Conviene agregar aquí que además de las dificultades intrínsecas al proceso de aprendizaje se suman las que surgen de infraestructuras deficientes, el escaso tiempo disponible para el desarrollo de los contenidos programados en los cursos, lo que limita la cantidad de prácticas experimentales que pueden llevarse a cabo. Así la práctica experimental se convierte en una valla a superar con más o menos dificultad pero sin un aporte significativo al aprendizaje [7].

## **2 El Laboratorio Virtual Basado en Simulaciones**

La así llamadas nuevas tecnologías o TIC ofrecen alternativas muy positivas para el desarrollo de métodos didácticos novedosos. Como contribución al logro de los objetivos perseguidos por la práctica experimental pueden complementarla mediante:

- La asistencia por computadora (TPELAC): la computadora cumple el doble rol de instrumento de medición y de sistema de análisis de datos.
- Control remoto (TPELR): se establece una conexión remota con los instrumentos de medición.
- La práctica virtual basada en simulaciones (TPELVBS): en un programa de simulación se rescatan los aspectos esenciales de un fenómeno o proceso.
- La filmación de Vídeos Experimentales (TPVE): se filma una experiencia y los estudiantes toman mediciones desde el video generado.
- Modelación: se otorga libertad en la formulación de los modelos, analizando las consecuencias de las alternativas.

En este trabajo presentamos nuestro desarrollo de LVBS. Definimos el LVBS como una simulación en computadora que permite que las funciones esenciales de las prácticas experimentales puedan desarrollarse en un programa de computación. No incluimos el requisito de que los datos obtenidos sean indistinguibles de los obtenidos en una práctica de realidad material. De esta forma las actividades prácticas generadas plantean un problema cuya resolución se obtendrá de las mediciones en el programa de simulación [8].

Dada la existencia de una gran cantidad de programas de simulación que reproducen la situación de un experimento de laboratorio, nuestro esfuerzo se ha orientado al desarrollo de las actividades prácticas incluyendo o adaptando programas ya existentes. En este sentido Internet es una fuente inagotable y sólo se requiere del criterio del docente para evaluar la calidad y adecuación de los programas a los objetivos disciplinares y didácticos. Los prácticos desarrollados se alojan en los servidores de la Facultad. Hemos considerado como requisito general de estos programas que puedan ejecutarse de manera remota o puedan descargarse para su ejecución local sin más requisito que la instalación de JAVA. Esta elección posibilita la ejecución de los programas fuera del ámbito edilicio de la Facultad en los horarios que el estudiante elija.

Los laboratorios desarrollados se presentan en una estructura de Objeto de Aprendizaje [9] siguiendo un patrón de diseño [10] que hemos generado a fin de que los LVBS presenten el mismo esquema al estudiante. El patrón de construcción propone tres actividades o etapas para completar la práctica:

- Revisión de conceptos (etapa preliminar): incluye textos con información relevante relativa a la experiencia que se va a desarrollar. En general los textos se seleccionan de la bibliografía disponible y/o se generan ad-hoc atendiendo a las necesidades específicas de la experiencia. También se incluye en esta sección una encuesta previa al desarrollo de la experiencia para registrar los conocimientos previos del estudiante.
- Experimento (trabajo práctico): se accede al “dispositivo experimental” y a la guía de actividades elaborada para el trabajo práctico. Se utilizaron programas del proyecto Physlets y del proyecto Phet. Estos programas pueden ejecutarse en línea o descargarse para su ejecución local y son de uso libre. La guía de trabajos prácticos (incluida en el OA) presenta al estudiante las actividades a realizar en la experiencia:
  - un reconocimiento de la página (del instrumental a utilizar).
  - la experiencia propuesta
  - la determinación de valores que permitan completar la actividad.

- Cierre y resumen (etapa final) presenta actividades conexas al trabajo práctico que se acaba de completar, ofreciendo al estudiante la oportunidad de efectuar una exploración individual. La actividad se completa con la presentación de un informe de laboratorio. En esta sección se ofrece un esquema orientador para la confección de dicho informe. Se incluye además una encuesta a ser completada con posterioridad al desarrollo de la experiencia a fin de evaluar los avances logrados con la actividad desarrollada.

### 3 Aspectos didácticos-pedagógicos

Los problemas que se presentan en el CGCB tienen como consecuencia dificultades en la formación de los futuros ingenieros lo que hace necesaria su superación. Consideramos que la implementación de los LVBS contribuyen, a partir de su carácter complementario de la práctica de laboratorio de realidad material, a la superación de los problemas mencionados.

El carácter interactivo que ofrecen las prácticas virtuales, y las actividades basadas en TIC en general, permite plantear estrategias pedagógicas innovadoras. Tomando como referencia la participación del alumno las TIC permiten pasar de actividades netamente receptoras, donde sólo se recibe información, a actividades participativas y colaborativas con sus pares y/o docentes. A partir de este carácter participativo se busca que el estudiante se involucre interactivamente (*interactive engagement*) [11] en el proceso. Debemos distinguir aquí entre problemas enriquecidos con medios, ilustrando o reforzando lo que se describe en una clase, y problemas centrados en los medios, en los que el estudiante usa los recursos para la resolución de un problema.

Además de contribuir a los objetivos planteados para la práctica experimental en el laboratorio de enseñanza, con el LVBS proponemos:

- Encontrar sentido lógico a las relaciones entre representaciones matemáticas. En general en Física representamos la información de un sistema físico de maneras diversas: mediante una descripción en palabras, usando ecuaciones, generando gráficos, tablas, diagramas y otras más. Ocurre que para muchos estudiantes existen dificultades para generar o interpretar estas representaciones y más aún para relacionarlas entre sí.
- Entender las ecuaciones como relaciones físicas entre medidas. Se espera trascender la concepción de las ecuaciones como un mero medio de cálculo de una magnitud a partir de otras.
- Construir modelos mentales de sistemas físicos. Se pretende la generación de una representación mental a partir de su interacción con el medio, la lectura de textos, la interpretación de imágenes y combinaciones de estos elementos. Se integran aquí información del exterior, conocimientos previos y expectativas del sujeto.
- Proporcionar experiencias de aprendizaje activas. Se pretende mayor eficacia en el aprendizaje permitiendo que los estudiantes controlen el proceso y puedan verificar sus propuestas.

- Fomentar la interacción entre los estudiantes, fundamentalmente en la explicación y descripción de los fenómenos y leyes que los rigen.
- Favorecer el proceso de enseñanza-aprendizaje mediante herramientas que son de uso diario y que tienen un alto grado de motivación para los alumnos.

**Tabla 1:** ventajas y desventajas de los LVBS desde la perspectiva de la trilogía docente, alumno, contenido

	<b>Docente</b>	<b>Alumno</b>	<b>Objeto de estudio</b>
<b>favorables</b>	El laboratorio virtual es menos costoso en tiempo y requerimientos de infraestructura	Los alumnos pueden modelar con parámetros más fácilmente controlables	Los fenómenos simulados, facilitan el diseño de situaciones problemáticas disciplinares en ciencias con dificultades en la obtención y el análisis de los datos experimentales.
	Son versátiles para el diseño de prácticas constructivistas de resolución de problemas experimentales.	Resulta altamente motivador poder confrontar sus conocimientos teóricos a partir de una tecnología que les es muy conocida y de uso diario y que está a medio camino entre lo puramente experimental y la ejercitación en problemas de lápiz y papel	Pueden utilizarse como un paso previo, en la etapa del diseño y la conceptualización, a los TPLT
	Permite dedicar un importante tiempo al análisis de resultados	Les permite repetir los experimentos y trabajar a distancia con mayor interacción.	
<b>Desfavorables</b>	Es necesario contar con personal especializado para el diseño y/o la adecuación del <i>software</i>	Existe el peligro de olvidar que se simulan <i>fenómenos</i> de la naturaleza con variables controladas	Se pierden los aprendizajes vinculados a la puesta a punto del equipamiento o el desarrollo de habilidades y destrezas del uso del instrumental de laboratorio en los TPLE

Desde una perspectiva clásica de la trilogía alumno, docente, contenido, encontramos un número importante de beneficios por el uso de los LVBS como apoyo. Algunos de ellos se detallan en la Tabla 1: fundamentalmente apuntan al menor costo en infraestructura y tiempo y a la versatilidad para el diseño y adecuación de las prácticas. Por otro lado una de las dificultades más notables consiste en lo que llamaremos reduccionismo de las prácticas experimentales de

laboratorio de realidad material 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. Como dificultades destacamos, entre otras, que no permiten desarrollar las habilidades y destrezas en el uso del instrumental de laboratorio aunque facilitan el abordaje y aprendizaje de modelos y estructuras mentales.

#### 4 Laboratorios implementados

En el desarrollo de nuestro proyecto hemos implementado cuatro LVBS orientados al curso de Física I, cuyo tema principal es la Mecánica. Hemos elegido como ejes para el diseño de las prácticas la fundamentación empírica de la dinámica [12,13] y el movimiento oscilatorio armónico [14,15].

Dos opciones podemos reconocer para la formulación de la dinámica como continuación de la cinemática en un primer curso de Física: a partir de la conservación del momento o partiendo de las así llamadas leyes de Newton. Diversos criterios llevan a concluir que la primera aproximación es la más conveniente [16]. Para fortalecer los conceptos involucrados se implementaron dos LVBS: la definición operativa de la masa inercial y la determinación de la ley de fuerzas en una interacción a partir del estudio del movimiento. El diseño experimental elegido es el propuesto en el texto de Ingard y Kraushaar [17] que se ilustra en la figura 1.

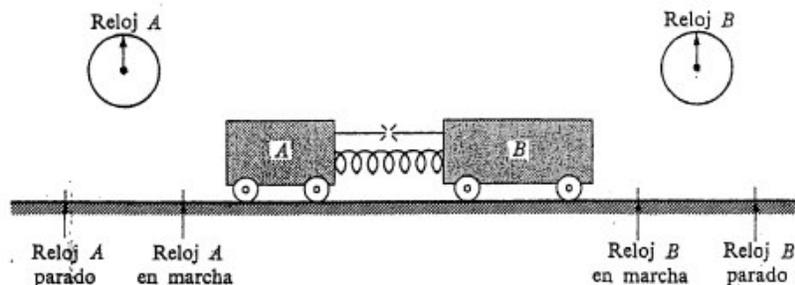
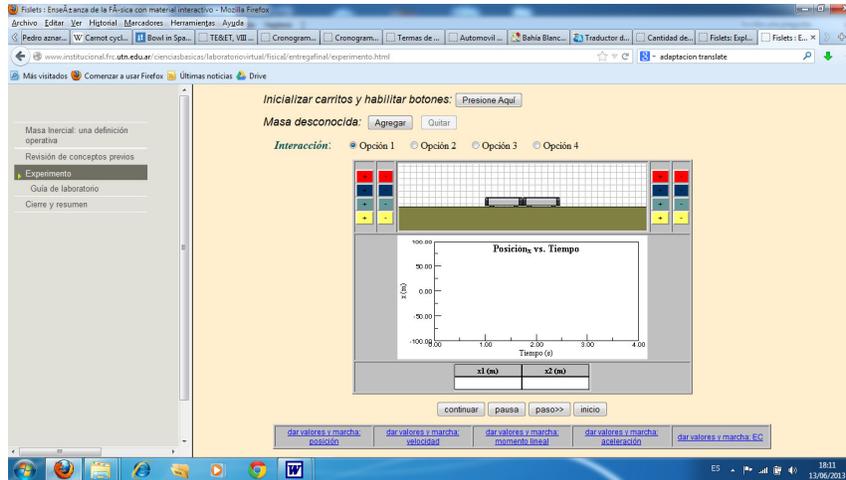


Fig. 1: Diseño experimental para la definición operacional de la masa inercial como propuesto en Ingard y Kraushaar.

La experiencia se basa en la medición de las velocidades finales de dos carros que interactúan mediante una colisión explosiva. Para la implementación del LVBS hemos elegido y modificado un programa del proyecto *Physlets* [18] desarrollado en el Davidson College. A la animación original, que incluye una única interacción entre los carros, le hemos agregado otras interacciones para completar la práctica correspondiente a la definición de masa inercial y también para realizar la práctica de determinación de la ley de fuerzas en la interacción. El entorno para ambas

experiencias (el “equipo experimental” es el mismo en ambos casos) se ilustra en la figura 2. La guía de actividades para cada experiencia está incluida en la misma página.

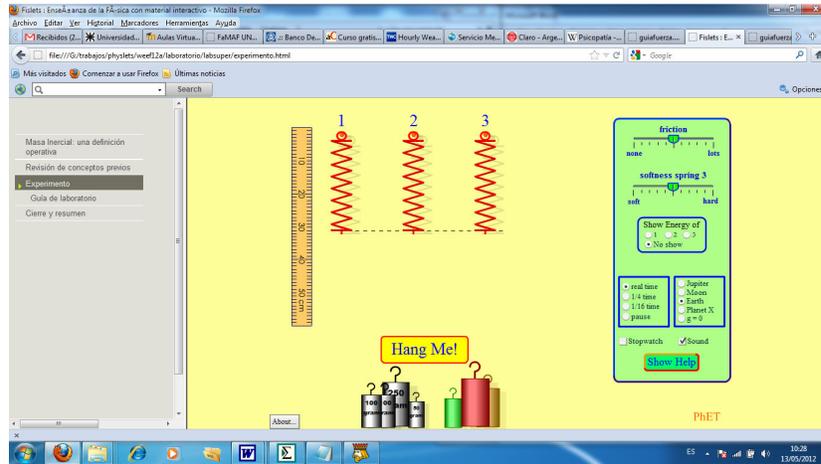
Para la discusión del movimiento oscilatorio hemos desarrollado otros dos LVBS. Para estas experiencias hemos recurrido a dos simulaciones incluidas en el proyecto



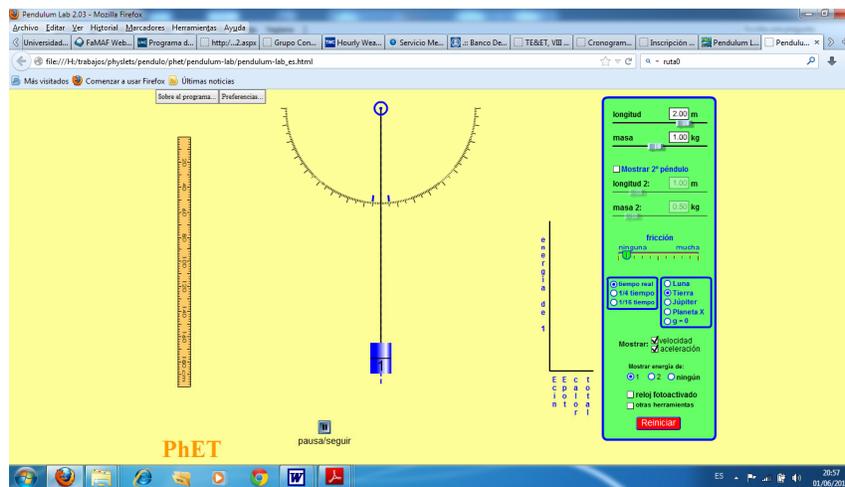
**Fig. 2:** Entorno para la experiencia de LVBS para la definición operacional de masa inercial. Modificado de la exploración 7.10 en Physlets.

Phet [19] de la Universidad de Colorado. Las simulaciones corresponden a dos experiencias clásicas en el curso de mecánica: la oscilación de resortes con un peso suspendido de los mismos y las oscilaciones de un péndulo. Los entornos para estas experiencias se muestran en las figuras 3 y 4. En este caso las simulaciones fueron incluidas directamente ya que las mismas se adaptaban a los requerimientos pedagógicos disciplinares.

En cada práctica se propuso a los estudiantes dos cuestionarios breves: uno a completar previo a la experiencia y otro con posterioridad a la misma a fin de evaluar los resultados obtenidos con las prácticas.



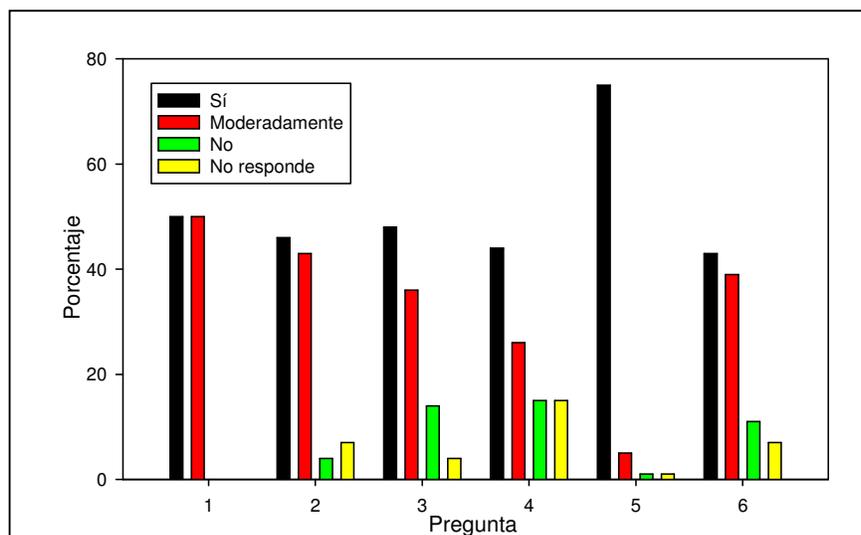
**Fig. 3:** Entorno para la experiencia de LVBS para el estudio del principio de superposición y la fuerza elástica. La simulación ha sido tomada del proyecto Phet.



**Fig. 4:** Entorno para la experiencia de LVBS para el estudio de las oscilaciones del péndulo. La simulación ha sido tomada del proyecto Phet.

## 5 Resultados obtenidos

Para evaluar los resultados obtenidos con las prácticas desarrolladas se propuso a los estudiantes completar un cuestionario antes realizar la experiencia y otro luego de completada la misma. Los cuestionarios constan de pocas preguntas y fueron preparados para cada experiencia. Aunque equivalentes algunas preguntas del cuestionario posterior en cada práctica fueron modificadas.



**Fig. 5:** Resultados de la evaluación de la encuesta de apreciación de los LVBS. Porcentaje de respuestas a:

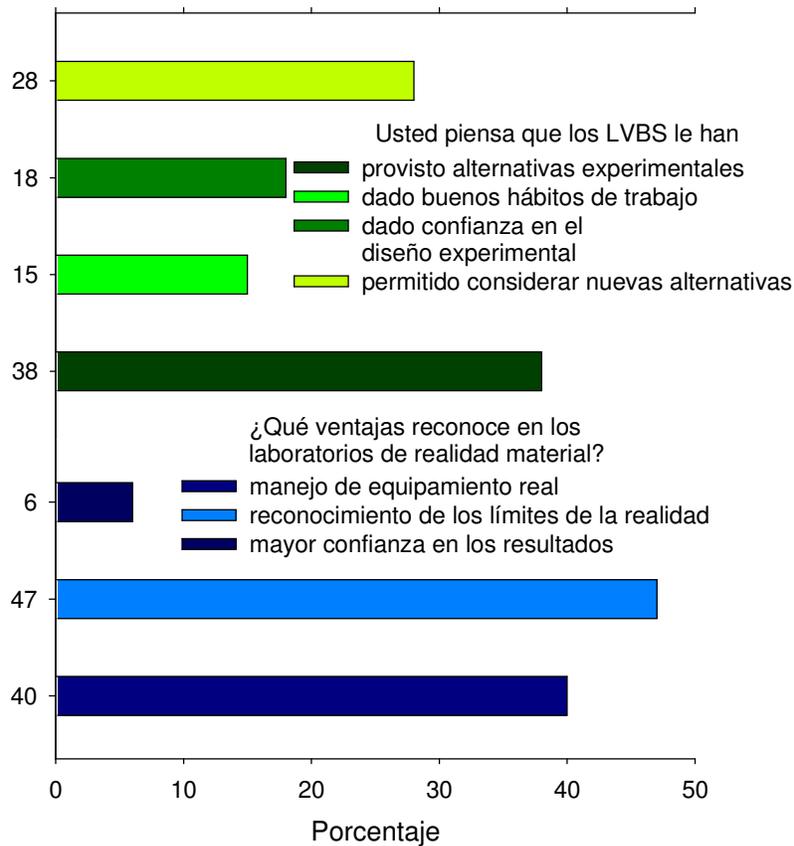
1. ¿Piensa Ud. que los LVBS lo han ayudado en la comprensión de los fenómenos involucrados?
2. ¿Piensa Ud. que el entorno de LVBS es apropiado y que contribuye al desarrollo de habilidades experimentales?
3. ¿Los LVBS lo han alentado a profundizar en el conocimiento?
4. ¿Encuentra Ud. muy diferentes las actividades de los LVBS de las desarrolladas en el laboratorio de realidad material?
5. ¿Cree Ud. que los LVBS son un buen complemento en su proceso de aprendizaje?
6. ¿Considera Ud. conveniente o significativo incluir LVBS en otros cursos de su carrera?

Se consideró el número de respuestas correctas en los cuestionarios previo y posterior a cada práctica. Se encontró en general una mejora luego de cada práctica, dada por un incremento en el porcentaje de respuestas correctas.

También se presentó a los estudiantes una encuesta de valoración de las prácticas realizadas. Las respuestas obtenidas se incluyen en las figuras 5 y 6 en términos

porcentuales. En la primera encuesta, cuyos resultados se incluyen en la figura 5, se solicita la opinión acerca de las prácticas desarrolladas. Las preguntas formuladas se incluyen en el gráfico. Puede apreciarse aproximadamente un 50% de respuestas o valoraciones positivas. Un porcentaje aún mayor se obtiene si consideramos la opción moderadamente.

En la figura 6 se incluyen los resultados de una segunda encuesta en la que se pregunta a los estudiantes acerca de las ventajas o desventajas que aprecian en la realización de prácticas basadas en LVBS. Puede concluirse que en opinión de los estudiantes el tener nuevas alternativas es el aspecto más importante. Por otra parte los estudiantes consideran que el reconocimiento de los límites que impone la realidad es la principal contribución de los laboratorios de realidad material.



**Fig. 6:** Resultados de la encuesta de apreciación de los LVBS. Porcentaje de las respuestas obtenidas. Para estas preguntas se permitió selección múltiple.

## 6 Discusión y Conclusiones

Se ha descrito un conjunto de cuatro LVBS para las prácticas del curso de Física I en una carrera de ingeniería. Los LVBS se han diseñado, implementado y verificado. El diseño experimental reproduce en cada caso las propuestas tradicionales en una práctica de laboratorio de realidad material. Cabe aclarar que la práctica para caracterización de fuerzas no está muy difundida en los laboratorios de realidad material debido a la dificultad de su implementación y/o el costo del equipamiento requerido. Ésta es una de las formas en las que los LVBS ofrecen la oportunidad de plantear nuevos problemas a los estudiantes a fin de obtener una visión de los conceptos fundamentales de la Física. Las prácticas se orientan con una guía de laboratorio en la línea de orientación a la experiencia [20] bajo un esquema de compromiso interactivo.

Los LVBS han sido ensayados en el curso de Física I de la Facultad Regional Córdoba de la Universidad Tecnológica Nacional con resultados satisfactorios. La mayoría de estas actividades se desarrollaron en los laboratorios de Computación de la Facultad, una facilidad general. La actividad fue supervisada por un profesor. El desempeño de los estudiantes fue evaluado a partir del informe de laboratorio que cada grupo debía presentar.

De las opiniones recogidas de los estudiantes resulta extendida la apreciación que los LVBS los ayudaron a comprender aspectos de la teoría no entendidos completamente en las clases ordinarias.

Los resultados obtenidos nos alientan a continuar y profundizar en esta línea de trabajo, extendiéndolo a otros cursos.

## Agradecimientos

Los autores agradecen el financiamiento de este proyecto a través del PID TEUTNCO0002065 otorgado por la Universidad Tecnológica Nacional.

## Referencias

1. Koehler, M., Punya M.: Technological Pedagogical Content Knowledge, (2006), Teachers College Record 108(6), 1017-1054, [http://punya.educ.msu.edu/publications/journal\\_articles/mishra-koehler-tcr2006.pdf](http://punya.educ.msu.edu/publications/journal_articles/mishra-koehler-tcr2006.pdf).
2. Shulman L. S.: Those who understand; Knowledge growth in teaching. Educational Researcher, **15** (2), 4-14, (1986).
3. Shulman L. S.: Knowledge and teaching: Foundations of the new reform. Harvard Educational Review, **57** 1), 1-22 (1987).
4. Feynman, R. P.: The Feynman Lectures on Physics, Addison-Wesley, Reading MA (1963).
5. American Association of Physics Teachers: Goals of the Introductory Physics Laboratory, Am. J. Phys **66**, 483 (1998).

6. AAPT Physics Education (2014) "AAPT Recommendations for the Undergraduate Physics Laboratory Curriculum", [https://www.aapt.org/Resources/upload/LabGuidlinesDocument\\_EBendorsed\\_nov10.pdf](https://www.aapt.org/Resources/upload/LabGuidlinesDocument_EBendorsed_nov10.pdf).
7. González M., Arranz G., Portales R., Tamayo M. y González A.: Development of a virtual laboratory on the Internet as support for physics laboratory training, *Eur. J. Phys.* **23**, 61 (2002).
8. Cramer P. G., De Meyer G.: The philosophy of the Virtual Laboratory, (1997) [http://www.vlabs.net/philos/vlart\\_g.html](http://www.vlabs.net/philos/vlart_g.html).
9. González C. S.: Diseño Educativo de Programas Formativos a Través de Materiales Educativos Reutilizables: Prototipo de Patrones de Objetos de Aprendizaje, Guadalajara, Jalisco Mex., Centro Universitario de Ciencias Económico Admistrativas. Maestría en Tecnologías Para el Aprendizaje (2006).
10. Jones R., Boyle T.: Toward an Instructional Design Model Based on Learning Objects, *Educational Technology Research and Development*, **55**, 671-681 (2007).
11. Hake R.: Intercative engagement vs. traditional methods. Survey of mechanics test data for introductory Physics, *Am. J. Phys.* **66**, 64 (1998).
12. Ré, M., Giubergia, M., ARENA, L.: Implementación y evaluación del laboratorio virtual en la enseñanza de la Física, caso de estudio: el concepto de masa en física clásica. Uruguay. Montevideo. 2011. 6ta Conferencia Latinoamericana de Objetos de Aprendizaje y Tecnologías para la Educación. Universidad de la República – Uruguay. [http://laelo2011.seciu.edu.uy/publicacion/laelo/laelo2011\\_submission\\_90.pdf](http://laelo2011.seciu.edu.uy/publicacion/laelo/laelo2011_submission_90.pdf).
13. Ré M., Giubergia M.: Virtual Laboratory for a First Experience in Dynamics, *iJES* **2** (3), 27-32 (2014)
14. Ré, M., Brito, J., Giubergia, M.: El laboratorio virtual en un objeto de aprendizaje: principio de superposición y fuerza elástica. *World Engineering Education Forum*. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. (2012). <http://weef2012.edu.ar/papersFinal/information.php?doc=117>.
15. Ré, M.: Estudio Comparativo de una Práctica de Laboratorio: el Péndulo, IX Congreso TEyET, Chilecito, La Rioja (2014). [http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/38623/Documento\\_completo.pdf?sequence=1](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/38623/Documento_completo.pdf?sequence=1)
16. Desloge E. A.: The empirical foundation of classical dynamics, *Am. J. Phys.* **57**, 704-706 (1989).
17. Ingard U., Kraushaar W.; *Introduction to mechanics, matter and waves*, Addison-Wesley, 1964.
18. Christian W., Belloni M.; *PHYSLETS, teaching Physics with interactive curricular material*, 1<sup>st</sup> ed., Pearson Education, (2001).
19. <http://www.phet.colorado.edu/en/simulations>
20. K. Chang, Y. Chen, H. Lin and Y. Sung, : Effects of learning support in simulation-based Physics learning, *Computers & Education* **51**, 1486-1498 (2008).