



Una formación de calidad  
en ingeniería para el futuro

Centro de Convenciones Cartagena de Indias  
15 al 18 de Septiembre de 2015

# DESARROLLO DE HABILIDADES CIENTÍFICAS A TRAVÉS DE PRÁCTICAS EXPERIMENTALES MEDIADAS POR TIC PARA ESTUDIANTES DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD SAN BUENAVENTURA

Óscar Yesid Mariño Beltrán

Universidad de San Buenaventura  
Bogotá, Colombia

## Resumen

Este trabajo muestra los avances de una propuesta metodológica para el desarrollo de prácticas de laboratorio en un curso introductorio de física mecánica para ingeniería haciendo uso de un software de análisis de video. El objetivo fue comparar una práctica experimental del curso de Física mecánica (caída libre) como tradicionalmente se aplica, con la presentación de la situación mediada por la herramienta de análisis de video y modelación *Tracker* en su versión 4.86 (*Open Source Physics*). Se seleccionaron dos grupos ofertados por la universidad para el segundo semestre del 2014, un grupo control que desarrollo la práctica de laboratorio de manera tradicional y un grupo experimental que lo hace a través de análisis de video y modelación. Para realizar la comparación, se tomó como referencia las habilidades matemáticas y científicas que proponen los documentos de ACOFI (Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería), enmarcados en los componentes de comprensión de la ciencia y sus métodos, y de comprensión de fenómenos cotidianos. Como recurso para evaluar y analizar el impacto de cada metodología en los estudiantes, se aplicaron matrices de evaluación (rubricas). Los resultados muestran que hay diferencias importantes a favor de las prácticas mediadas por el análisis de video, en habilidades tales como: comparación de un movimiento real con el modelo teórico, construcción de gráficas y modelos matemáticos, y en análisis del movimiento e interpretación de resultados.

**Palabras clave:** habilidades científicas; TIC; matrices de evaluación

## **Abstract**

*The purpose of this research is to show the progress of a methodological approach that seeks to carry out some experiments as a part of an introductory Newtonian mechanics course for Engineers by using a technique known as Video analysis software (Tracker video analysis and modeling tool version 4.86 - Open Source Physics). The main goal was to compare a free fall experiment by using this method to the same experiment yet when it is carried out under traditional lab conditions. Two groups of students were allowed by the San Buenaventura University to be part of this research during the second semester in 2014. On the one hand a control group which carried out the experiment as it is usually done in the laboratory and on the other hand, the experimental group which did the experiment taking into account the technique proposed in this paper. Furthermore, mathematical and scientific skills are taken from the documents by ACOFI (Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería), in order to be the base line to compare the results obtained by each group involving the understanding of science and their methods as well as the comprehension of daily phenomena. In both cases, a set of rubrics were constructed so as to assess and analyze each method. The results reveal that there are some significant differences between these methods in favour of the experiment that implemented the video analysis technique specifically in terms of skills such as comparing a real motion to its theoretical model, constructing graphs and mathematical models as well as analyzing a motion and interpreting their results.*

**Keywords:** *scientific skills; rubrics, ICT; video analysis and modeling*

## **1. Introducción**

Los avances tecnológicos actuales exigen que las universidades formen ingenieros que sean competitivos en el ámbito nacional e internacional. El objetivo de formación en ingeniería está enfocado en capacitar a los estudiantes para enfrentar los desafíos que les presentan los actuales procesos de globalización (Brunner, 2000). Esto lleva a replantear el por qué y cómo la enseñanza de los cursos introductorios desde las ciencias básicas promueve ambientes de aprendizaje acordes a las necesidades de la sociedad. Surge entonces una preocupación por mejorar los procesos de enseñanza y aprendizaje de la física, con la finalidad de cumplir con ese objetivo de formación (Jesick, et al., 2011).

Existe una finalidad específica para los cursos de física. Desde ACOFI se hace una revisión con el propósito de tener elementos para mejorar la calidad de la educación superior y de las pruebas ECAES. El objetivo de la enseñanza de la física como ciencia básica para las carreras de ingeniería es el de contribuir a la formación de pensamiento lógico-deductivo, proporcionar elementos para conocer y modelar fenómenos de la naturaleza, y desarrollar la capacidad de su empleo en la ingeniería. Así mismo, debe estar orientada hacia la comprensión de los fenómenos naturales y sus relaciones a través de técnicas analíticas y experimentales (ACOFI, 2010). Son estas técnicas eje principal de la propuesta metodológica.

Se considera entonces que un ambiente de aprendizaje en un curso introductorio de física son las prácticas experimentales. Tradicionalmente, se presenta mediante el uso de guías de laboratorio controladas (Strong, Neher, & Goldschvartz, 1965), tomando como referente el método científico. Sin embargo, desde hace algunos años la investigación en educación en ciencias ha estado enfocada en reflexionar sobre el papel de las prácticas en la enseñanza y aprendizaje de la física (Zacharita, 2011; Heron y Meltzer, 2005). De estas reflexiones se ha determinado que su finalidad apunta a las habilidades científicas a desarrollar en los estudiantes.

Desde la Asociación Americana de Profesores de Física (AAPT, 1998), se propone que dentro de los objetivos de las prácticas experimentales estén: el retomar la idea de las habilidades científicas de experimentación, el aprendizaje conceptual, la comprensión de los principios básicos de la disciplina y el aprendizaje en colaboración. Así mismo, tener presente que las prácticas de laboratorio (*Workshop Physics*) deben acercar al estudiante a un sentido más crítico de los fenómenos físicos y a una capacidad de observación que lo identifique con la realidad (Laws, 1997).

Las habilidades científicas que se analizaron en este trabajo están enmarcadas de acuerdo a los lineamientos, estudios e investigaciones realizadas por la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería ACOFI. En sus documentos se establecen las habilidades que los estudiantes de ingeniería deben desarrollar a lo largo de su carrera profesional. Se resalta que al ingeniero del futuro se le exigirá una fuerte base científica y analítica que le permita ejercer con eficacia sus habilidades para identificar, formular y solucionar problemas. Así mismo, debe ser capaz de utilizar la tecnología para dar respuesta a los retos a situaciones problema (ACOFI, 2007). Es posible establecer a partir de la propuesta de ACOFI que el uso de recursos tecnológicos puede ser un eje que articula las prácticas experimentales con las habilidades científicas.

Cada vez más hay un interés por vincular las TIC en los procesos de enseñanza y aprendizaje. Las actuales innovaciones pedagógicas que articulan prácticas experimentales, sean enfocadas por utilizar recursos como el análisis y modelación mediante el seguimiento por video. Estos programas permiten realizar mediciones que con solo el experimento, no se podrían hacer. En la actualidad existe una variedad de oferta de programas que permiten hacer un seguimiento de un experimento en física. De acuerdo a las investigaciones revisadas, se encontró que muchas de ellas utilizan un programa que se denomina TRACKER, que es de libre acceso y con una plataforma amigable.

Tracker es una herramienta gratuita de análisis y modelado a partir de un video, basado en el marco (OPS) Java Open Source Physics. Está diseñado para ser utilizado en la enseñanza de la física (Brown, 2009). El programa permite a los usuarios, entre otras cosas, superponer modelos de partículas dinámicas en un videoclip. A partir del video de un experimento los estudiantes pueden, calibrar la escala de medida y definir un sistema de coordenadas. Así mismo, es posible definir expresiones de fuerzas teóricas y las condiciones iniciales para una simulación dinámica.

Esta herramienta tecnológica ha sido utilizada desde hace algunos años como recurso y soporte innovador para mejorar los procesos de enseñanza y aprendizaje de la física (Sokoloff, et al., 2007). Experiencias de análisis de cinemática de movimientos en una y en dos dimensiones (Sirisathitkul, et al., 2013), de movimientos rotacionales (Eadkhong, et al., 2012) (Wee, et al., 2011), son algunos ejemplos de experimentos propuestos a través de este programa que involucra a los estudiantes directamente en el desarrollo de modelos físicos. Es por esto, que para el trabajo metodológico se ha utilizado el software Tracker.

En este punto es importante establecer que mecanismos de evaluación se ajustan a esta metodología y que permitan asociar la práctica experimental, el desarrollo de habilidades científicas y uso de herramientas tecnológicas. Surge desde la investigación en didáctica de las ciencias las rúbricas o matrices de evaluación.

Las rúbricas son consideradas como herramientas de evaluación que identifican criterios que se deben tener en cuenta para la presentación de un trabajo o proyecto. Son una guía para la evaluación del aprendizaje de los estudiantes que les permite conocer cómo se evaluará un trabajo, un experimento o proyecto. Además, definen el nivel de desarrollo esperado del estudiante a partir de unos criterios que se establecen con ayuda de una escala numérica relacionada directamente con una descripción cualitativa de dicho nivel.

Uno de los mejores trabajos presentados acerca de cómo utilizar las rúbricas o matrices de evaluación para identificar el nivel de desarrollo de habilidades científicas a partir de experiencias de laboratorio lo presenta la Dr. Eugenia Etkina y los miembros de *Rutgers University Physics* (Murthy, et al., 2004). Sus investigaciones muestran resultados y hallazgos fundamentados a partir de las evidencias mostradas por las rúbricas en diferentes niveles de escolaridad (Etkina, 2002). Este trabajo fundamenta la evaluación haciendo uso de las matrices de evaluación.

## 2. Metodología

La metodología que se utilizó para la investigación fue un estudio de caso donde se identifican las siguientes etapas:

### **Etapas No. 1 Diseño de una práctica experimental modelo**

Se diseñó una práctica de laboratorio modelo teniendo en cuenta las siguientes características

- Realizar la misma práctica programada en el curso de física mecánica referente a caída libre, utilizando el programa TRACKER (versión 4.86) y realizar su respectivo análisis de acuerdo a las habilidades que se quieren observar.
- Construcción de la matriz de evaluación para identificar las habilidades científicas a medir con los estudiantes a través de la práctica y el informe de laboratorio. La figura No. 1 muestra la primera parte de la rúbrica diseñada.

MATRIZ DE EVALUACIÓN  
PRÁCTICA DE LABORATORIO - CURSO DE FÍSICA MECÁNICA 2014-2

	Habilidad científica	No se identifica 0.0 a 1.0	Inadecuada 1.1 a 2.9	Necesita mejorar 3.0 a 3.9	Adecuada 4.0 a 5.0
1	Es capaz de presentar el esquema y los detalles del procedimiento experimental de forma clara y completa	No presenta el esquema y/o el procedimiento experimental. Si lo presenta es muy confuso y poco claro.	Presenta un esquema pero no se identifica. Presenta el procedimiento experimental, pero faltan detalles importantes. Se necesita un gran esfuerzo para comprenderlo.	Presenta un esquema y se identifica. Presenta un procedimiento experimental, pero con omisiones menores y detalles confusos. Se necesita un poco de esfuerzo para comprenderlo.	Se presenta el esquema y el procedimiento experimental de forma clara y completa. No se necesita de esfuerzo para comprenderlo.
2	Es capaz de utilizar el equipo disponible para realizar las mediciones	Al menos una de las medidas elegidas no se pueden hacer con los equipos disponibles.	Todas las Mediciones elegidas se pueden hacer, pero no se dan Detalles acerca de cómo se hace.	Todas las mediciones elegidas se pueden hacer, pero los detalles sobre la forma en que se realizan son vagas o incompletas.	Todas las mediciones elegidas se pueden hacer y todos los detalles sobre la forma en que se hicieron son claras y completas.
3	Es capaz de decidir las cantidades físicas que se van a medir e identificar las variables independientes y dependientes	No identifican las cantidades físicas relevantes a medir	Solo algunas cantidades físicas relevantes a medir se identifican	Se identifican las cantidades físicas relevantes. Sin embargo, no se identifican las variables independientes y dependientes.	Se identifican las cantidades físicas relevantes, las variables independientes y dependientes

Figura No. 1 Modelo de matriz de evaluación

## Etapa No. 2 Aplicación de la práctica experimental modelo

En esta etapa se aplicó la práctica experimental modelo a un grupo de física mecánica (curso introductorio de física programado para estudiantes de segundo semestre). Este curso fue ofertado para el segundo semestre de 2014 (grupo experimental) con las siguientes características:

- 24 estudiantes de ingeniería
- La práctica caída libre con el *montaje phywe caída libre* de acuerdo al plan de estudios.
- Los estudiantes ya tenían la base teórica sobre cinemática en una dimensión
- Se organizaron en grupos de 4 estudiantes
- Los estudiantes recibieron una capacitación sobre el manejo del programa Tracker
- Para la práctica de laboratorio por grupos debían disponer de una cámara de video (se utiliza cámara de celular) y un computador con el programa previamente instalado.
- La práctica de laboratorio se evaluó mediante el informe de laboratorio tal y como se realiza de manera tradicional, aplicando la matriz de evaluación diseñada en la etapa 2.

## Etapa No. 3 Análisis y conclusiones

A partir de las matrices de evaluación y de los informes de laboratorio se realizó un análisis estadístico de la información recolectada para determinar elementos que permitan medir el desarrollo de habilidades científicas. Este análisis se hizo comparando los informes de laboratorio entregados por los estudiantes de un grupo control del segundo semestre de 2014.

### 3. Resultados

En el análisis de datos se presentan evidencias acerca del desarrollo de habilidades científicas a partir de la práctica y el informe. Para esto se analizaron los datos cuantitativos por medio de estadísticas descriptivas con el fin de determinar diferencias estadísticamente significativas entre los promedios de los puntajes obtenidos en los informes de laboratorio con ayuda de las matrices de evaluación.

El interrogante que se tenía desde el principio estaba enmarcado en determinar cómo desarrollar habilidades científicas en estudiantes de ingeniería a través de las prácticas experimentales. Con la aplicación del programa tracker en las prácticas de laboratorio, como recurso para análisis de video, se centró el análisis de datos y resultados en las siguientes las habilidades que presenta la matriz de evaluación diseñada.

#### **Habilidad de utilizar el equipo disponible para realizar las mediciones**

Esta habilidad se midió para el grupo control, solo teniendo presente la forma en que realizo la práctica con el equipo phywe para caída libre y la forma en que se describió el procedimiento en el informe. Para el grupo experimental se tuvo en cuenta tanto el manejo y manipulación del equipo phywe para caída libre, como el manejo del programa TRACKER 4.86 (análisis de video). En la Figura No. 2 se puede observar que para ambos grupos la habilidad se encuentra en un nivel medio de desarrollo en su gran mayoría. Sin embargo, hay que tener en cuenta que el grupo experimental tuvo que aplicar el programa a la práctica y eso se tuvo en cuenta a la hora de la evaluación. El hecho de manejar el programa por parte del grupo experimental, obligo a un análisis más significativo del equipo, ya que se tuvo que ajustar para poder realizar la grabación del video, y esto hizo que cada grupo interactuara más con el kit phywe.

#### **Habilidad de decidir las cantidades físicas que se van a medir e identificar las variables dependientes e independientes**

Dado que el experimento se encuentra en la temática de cinemática en una dimensión, las variables que se analizaron fueron la altura (desplazamiento), la rapidez de caída, el tiempo, y la aceleración, en este caso la aceleración gravitacional. En la Figura No. 3 se puede observar que para ambos grupos la habilidad se encuentra en un nivel medio de desarrollo. Esta evidencia es muy pareja para ambos grupos, dado que en la guía de la práctica de laboratorio se identifican claramente las variables a medir. Sin embargo cabe resaltar que algunos grupos del grupo experimental se preguntaron sobre otras variables, dado que el programa de análisis de video permitía analizarlas.



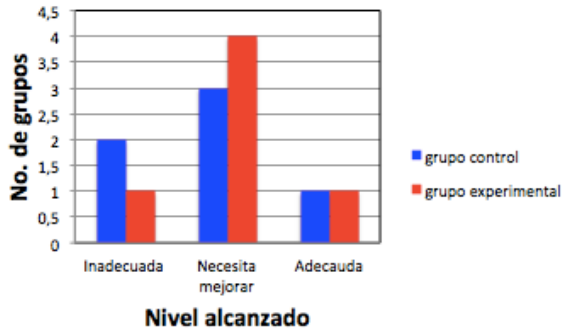


Figura No.2 Habilidad de utilizar el equipo disponible. Comparación grupo control y experimental

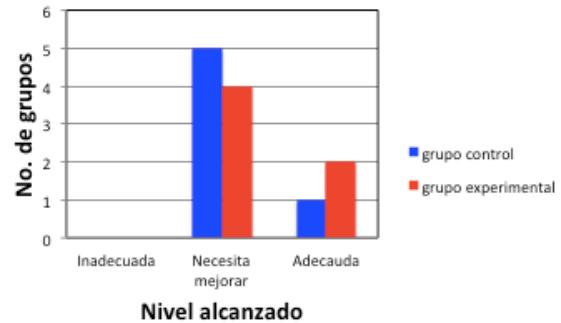


Figura No.3 Habilidad de decidir las cantidades físicas. Comparación grupo control y experimental

### Habilidad de registrar y representar datos de una manera significativa

Dado que el grupo control debía realizar las tablas y gráficas, estas últimas a mano en la práctica de laboratorio, además realizar la regresión, fue una limitante a la hora de presentar los datos en el informe de laboratorio, ya que en algunos casos no presentaron de manera correcta las tablas y las gráficas. El grupo experimental, a parte que tomo los datos como lo hizo el grupo control, ya tenía una predicción del comportamiento y utilizo las tablas y gráficas que proporcionaban el programa TRACKER. Esto hizo que la evaluación presentara mejores resultados. En la Figura No. 4 se puede observar que el grupo experimental, la mitad de los grupos utilizaron los recursos tecnológicos disponibles para mejorar el registro y presentación de los datos. Es importante destacar que en el grupo control, el único grupo que demostró el manejo de la habilidad, se apoyó del programa Excel para presentar parte de los resultados y gráficos.

### Habilidad de analizar los datos de una manera adecuada

En este punto la diferencia entre los grupos fue muy significativa. El hecho de tener un apoyo tecnológico para analizar datos y variables, en forma instantánea, permitió al grupo experimental tener herramientas para sacar mejores y más fundamentadas conclusiones. En la Figura No. 5. se puede observar una marcada diferencia entre el grupo control y el grupo experimental, el análisis de datos con la información que podía sustraer del programa TRACKER, les permitió a los grupos fundamentar mejor sus resultados y conclusiones.

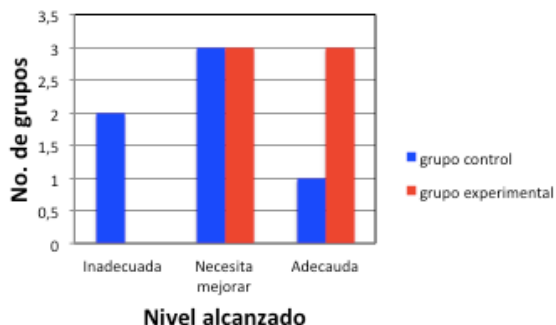


Figura No.4 Habilidad de registrar y representar datos. Comparación grupo control y experimental

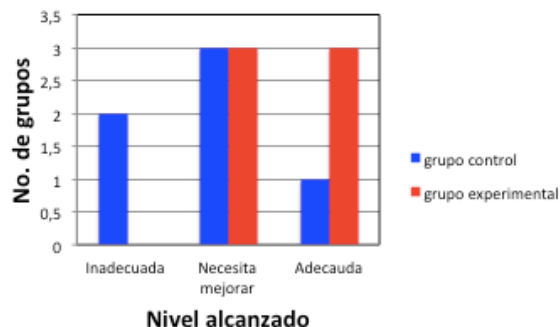


Figura No.5 Habilidad de analizar los datos de una manera adecuada. Comparación grupo control y experimental

### Habilidad de comparar los resultados y asociarlos a un modelo matemático o teórico.

Al igual que la Habilidad de analizar datos, el compararlos y asociarlos a un modelo matemático con ayuda de un recurso tecnológico marco la diferencia. El tener la posibilidad de manipular en tiempo real las variables y ajustarlas a un modelo, les permitió determinar si las mediciones realizadas estaban correctamente tomadas y podían dar fiabilidades de las mismas, ya que el modelo matemático lo respaldaba. En la Figura No. 6 se muestra este punto, ya que el impacto de una herramienta tecnológica, puede ser significativa a la hora de analizar, registrar, presentar y comparar resultados de un experimento. Se puede ver que hay diferencias que se fundamentan en la ayuda de las TIC para los procesos de enseñanza y aprendizaje.



Figura No. 6 Habilidad comparar resultados y asociarlos a un modelo matemático. Comparación grupo control y experimental

## 4. Conclusiones

### Desde las prácticas para el desarrollo de habilidades

Dentro de la investigación se buscaba fundamentar de manera formal y a través de una intervención pedagógica herramientas que permitieran promover el desarrollo de habilidades científicas en estudiante de ingeniería. Se encontró que, si bien las prácticas de laboratorio tienen un papel fundamental en la formación de ingenieros, el éxito de estas radica en cómo articular recursos tecnológicos a las prácticas de



laboratorio. Es evidente que en la formación de profesionales calificados, el acercarlos al uso de recursos basados en el manejo de programas por computador, es un valor agregado que fundamenta y puede articular procesos de enseñanza y aprendizaje.

Encontramos cada vez más estudiantes con unas habilidades para el manejo de tecnologías que facilitan la medición y el análisis de variables físicas. Esto hace que las prácticas de laboratorio sean mejor comprendidas y más eficaces, de acuerdo a su papel dentro del currículo de cada curso. En cuanto a las habilidades científicas a desarrollar, es claro que el ingeniero debe analizar los fenómenos físicos que lo rodean, y que ese análisis se fundamenta en una medición, registro y presentación de datos, al igual que el comparar dicha información con lo que presenta la teoría, y esto se puede reforzar con las TIC en el aula y en los laboratorios.

Es importante aclarar, que el laboratorio tradicional, no debe dejarse de lado, ya que la medición directa, con instrumentos y con la manipulación de equipos, es otro tipo de habilidad que hace una formación completa del ingeniero, y esta investigación no pretende desconocer esto, simplemente se busca articular herramientas que permitan prepara profesionales con todas las competencias posibles.

### **Desde la evaluación como evidencia real de un proceso**

A través de la investigación se puede ver que un recurso como las matrices de evaluación para evaluar procesos y productos que los estudiantes desarrollen a lo largo del curso, permite realizar una evaluación completa y con elementos que soporten una verdadera retroalimentación.

Al grupo control y el grupo experimental, se evaluó con el mismo instrumento, y posteriormente se les entregó los resultados y la calificación del informe de laboratorio, junto con la matriz de evaluación. Esto permitió a cada grupo conocer su estado real y determinar en qué puntos debía mejorar para obtener los resultados deseados en posteriores prácticas.

### **Desde los programas de video análisis**

El uso de programas de análisis de video como Tracker, mostro la variedad de posibilidades que se tienen para mejorar los procesos de registro, presentación y análisis de variables que intervienen en un fenómeno físico. Cantidades que en situaciones normales, son muy difíciles de medir y que presentan incertidumbres y errores, se hacen más sencillas de ver y analizar a partir de la manipulación de un video, de asociar a un modelo matemático y a identificar la dependencia de diferentes variables de manera instantánea, permite hacer laboratorios más eficientes. Es importante ver que para futuras investigaciones, es posible aplicar en el aula y para explicaciones teóricas este tipo de programas de video, ya que acerca al estudiante al análisis de experiencias reales, y eso permite mejorar la atención y disposición que ellos tienen acerca de la física.

## 5. Referencias

### Artículos de revistas

- AAPT. (1998). Goals of the Introductory Physics Laboratory. *American Journal of Physics*, 65, 483-485.
- Etkina, E., Van Heuvelen, A., Brookes, D.T. & Mills, D. (2002). Role of experiments in Physics Instruction – A Process Approach. *The Physics Teacher*, 40, 351-355.
- Eadkhong, T., Rajsadorn, R., Jannual, P., & Danworaphong, S. (2012). Rotational dynamics with Tracker. *European Journal of Physics*, 33, 615-622.
- Jesick, B. K., Borrego, M., Beddoes, K., Hurtado, M., & Rajendran, P. (2011). Mapping global trends in engineering education research. *The international journal of engineering education*, 27 (1), 77-90.
- Laws, P. (1997). Promoting active learning based on physics education research in introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 65 (1), 14-21.
- Sirisathitkul, C., Glawtanong, P., Eadkong, T., & Sirisathitkul, Y. (2013). Digital video analysis of falling objects in air and liquid using Tracker. *Revista Brasileira de ensino de Física*, 35 (1), 1504.
- Sokoloff, D., Laws, P., & Thornton, R. (2007). RealTime Physics: active learning labs transforming the introductory laboratory. *European Journal of Physics*, 83-84.
- Zacharias, C., & Georgios, O. (2011). Physical versus virtual manipulative experimentation in physics learning. *Learning and Instruction*, 21, 317-331.

### Libros

- Strong, J., Neher, H., & Goldschvartz, R. (1965). *Técnicas de física experimental*. Buenos Aires, Argentina: Eudeba.

### Fuentes electrónicas

- Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería ACOFI. (2007). *Ingeniero colombiano del año 2020. Retos para su formación. Foros preparatorios- XXVI Reunión Nacional*. Bogotá, Colombia: ACOFI. Consultado el 15 de mayo de 2014 en [http://www.acofi.edu.co/portal/documentos/EL\\_INGENIERO\\_COLOMBIANO\\_DEL\\_2020.pdf](http://www.acofi.edu.co/portal/documentos/EL_INGENIERO_COLOMBIANO_DEL_2020.pdf)
- Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería ACOFI. (2010). *Revisión y consolidación de la fundamentación conceptual y especificaciones de prueba correspondientes al examen Examen de Calidad de la Educación Superior para Ingeniería*. Bogotá, Colombia: ACOFI. Consultado el 15 de mayo de 2014 en [http://www.acofi.edu.co/portal/documentos/ECAES\\_440\\_ENTREGA\\_15\\_JULIO\\_INTRODUCCION\\_SECCION\\_1.pdf](http://www.acofi.edu.co/portal/documentos/ECAES_440_ENTREGA_15_JULIO_INTRODUCCION_SECCION_1.pdf)
- Brown, D. (2009) *Video Modeling with Tracker*. Paper presented at the American Association of Physics Teachers AAPT Summer Meeting, Ann Arbor. Consultado en 18 de marzo de 2014 en [https://www.cabrillo.edu/~dbrown/tracker/AAPT\\_video\\_modeling\\_2009.pdf](https://www.cabrillo.edu/~dbrown/tracker/AAPT_video_modeling_2009.pdf)
- Brunner, J. J. (2000). *Globalización y el Futuro de la educación: tendencias, desafíos, estrategias*. Seminario sobre Proyecciones de la Educación en América Latina y el

- Caribe, Unesco (pág. 1). Chile. Consultado el 3 de marzo de 2014 en <http://www.schwartzman.org.br/simon/delphi/pdf/brunner.pdf>
- Murthy, S., & Etkina, E. (2004). Development of physics Abilities in a large Class. Proceedings of the 2004 Physics Education Research Conference . in press. Consultado el 4 de abril de 2014 en [http://www.researchgate.net/profile/Eugenia\\_Etkina/publication/237431474\\_Development\\_of\\_Scientific\\_Abilities\\_in\\_a\\_Large\\_Class/links/0deec53091dbd0b8cb000000.pdf](http://www.researchgate.net/profile/Eugenia_Etkina/publication/237431474_Development_of_Scientific_Abilities_in_a_Large_Class/links/0deec53091dbd0b8cb000000.pdf)
  - Wee, L. K., & Lee, T. L. (2011). Video Analysis and Modeling Tool for Physics Education: A workshop for Redesigning Pedagogy. 4th Redesigning Pedagogy International Conference. Singapore. Consultado el 23 de abril de 2014 en <http://arxiv.org/pdf/1207.0220.pdf>

### Sobre los autores

- **Óscar Yesid Mariño Beltrán:** Licenciado en Física, Especialista en Física, Magister en educación de la Universidad de los Andes. Profesor Titular Área de Ciencias Básicas.

---

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2015 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)