

# Revista cubana de Física

*IV Taller Iberoamericano enseñanza  
de la física universitaria*

Sociedad Cubana de Física  
Facultad de Física, Universidad de La Habana



## Instrucciones a los autores

1. Los manuscritos enviados a la RCF son contribuciones originales que no están bajo la consideración de otra revista. Deben ajustarse a las instrucciones y formato de la plantilla que se proporciona, a descargar del sitio [www.fisica.uh.cu/biblioteca/revcubfi/index.htm](http://www.fisica.uh.cu/biblioteca/revcubfi/index.htm) usando cualquier versión de Microsoft Office Word. Hay un formato para artículos/revisiones y otro para divulgación, con instrucciones que difieren, contenidas en el cuerpo de la plantilla, **que debe ser leído detenidamente** para evitar retrasos posteriores. *Los manuscritos que no se ajusten a las especificaciones de la plantilla serán devueltos sin iniciar proceso.*
2. También es posible solicitar el envío de la plantilla por correo electrónico al editor correspondiente.
3. La revista publica artículos de tres categorías (a) de revisión, conciliados previamente con el Consejo Editorial, con una extensión máxima de 10 páginas; (b) de investigación, con un máximo de 6 páginas; (c) de divulgación, con extensión no mayor de 6 páginas.
4. Se aceptan artículos en español e inglés.
5. El procedimiento de arbitraje consta de un sólo paso. El Comité Editorial, oído el criterio de los árbitros, aceptará o rechazará el artículo de forma definitiva. En caso de aceptación, y de acuerdo al arbitraje, el artículo podrá ser remitido al autor para correcciones.
6. Enviar el manuscrito, preferentemente por correo electrónico, a [rcf@fisica.uh.cu](mailto:rcf@fisica.uh.cu) o por correo ordinario (en este caso dos copias + copia en formato electrónico en diskette ó CD) a la dirección que aparece mas abajo:  
Editor Revista Cubana de Física  
Facultad de Física  
Universidad de la Habana  
San Lázaro y L, La Habana 10400  
Cuba.



La Revista Cubana de Física (*RCF*), publica artículos originales de investigación, revisión y divulgación en el campo de la Física.

**Editor**

María Sánchez Colina  
Facultad de Física,  
Universidad de la Habana 10400  
San Lázaro y L, Vedado  
Ciudad de la Habana. Cuba  
maruchy@fisica.uh.cu

**Editores asociados**

Víctor Fajer Ávila  
Ernesto Altshuler  
Augusto González  
Oscar Díaz Rizo  
Roberto Mulet  
Arnaldo González

**Edición formato electrónico**

Arnaldo González  
arnaldo@fisica.uh.cu

<b>Conferencia homenaje al profesor Marcelo Alonso, C. Carreras</b> .....	3	telices y R. Ortiz Pérez .....	51
<b>Red latinoamericana de educación en física (LAPEN) y la enseñanza moderna de la física, C. Mora,</b> 7		<b>Un estudio sobre el groupware; propuesta de fundamentación teórica para el diseño de actividades colaborativas usando moodle, O. Pérez, N. Rangel A. González y T. Fagúndez</b> .....	58
<b>Tutorial interactivo para introducción a la teoría y práctica de mediciones, R. Camero, M. Zapata-Torres, O. Calzadilla y F. Ángeles</b> .....	11	<b>Propuesta de modelo educativo virtual, J. Fuentes, O. Calzadilla Amaya y A. Pérez Perdomo</b> .....	59
<b>Perspectivas de trabajo para un planteamiento integrado del experimento y la simulación en la enseñanza de la física, A. Hurtado Márquez, C. Lombana, O. Ocaña, M. Fonseca</b> .....	15	<b>Una propuesta didáctica en la enseñanza de la estática utilizando apoyos tecnológicos, L. Ceciliano, O. E. Varón y E. Herappe</b> .....	64
<b>Libro de texto de física para el nuevo programa de formación de médicos latinoamericanos, M. A. Capote, M. A. González y E. Sanguinetti</b> .....	18	<b>Una escoba para barrer algunos preconceptos y presentar el concepto de torque, M. Fonseca, A. Hurtado Márquez</b> .....	69
<b>Detectores y medidas de radiación en el laboratorio docente de energías renovables, V. Tricio y L. Rodríguez</b> .....	22	<b>Presentación del sitio virtual “conceptos obsoletos en física”, Nelson Arias Ávila y Friedrich Herrmann</b> .....	72
<b>Las animaciones interactivas y el laboratorio de física, A. González Arias y J.I. Iñiguez</b> .....	27	<b>La física y sus modelos; las simulaciones como herramienta didáctica, P. A. Lonngi Villanueva, M. D. Ayala Velázquez</b> .....	76
<b>La cámara digital en un experimento casero: determinación de la viscosidad del aceite, C. Carreras, M. Yuste y J.P. Sánchez</b> .....	30	<b>La importancia del trabajo experimental en física: un ejemplo para distintos niveles de enseñanza, C. Carreras, M. Yuste y J.P. Sánchez</b> .....	80
<b>Lupita: banco óptico virtual, M. Hdez. Calviño</b> ....	34	<b>Ordenadores, vídeos y simulaciones durante el estudio del movimiento browniano, R. Valdés Castro y V. Tricio</b> .....	84
<b>Un curso en línea de óptica (física III) en la UPITA I.P.N. en plataforma informática blackboard, A. Aburto, y N. Espinoza</b> .....	38	<b>Aprendizaje de la física cuántica mediante miniproyectos y simuladores computacionales sobre la plataforma Moodle, R. Ortiz y A. Franco</b> .....	89
<b>Errores conceptuales sobre fuerza y su impacto en la enseñanza, César Mora y Y. Benítez</b> .....	41	<b>Estudio de una gota de lluvia de masa variable con la ayuda de software de cálculo y simulación, A. Hurtado Márquez, M. Fonseca</b> .....	94
<b>Actividades experimentales en física general con fotografía y vídeo digitales, R. Valdés y V. Tricio</b> .....	46	<b>El uso de las TIC's en la enseñanza a distancia: el proceso de virtualización de la UNED, C. Carreras, M. Yuste y J.P. Sánchez</b> .....	97
<b>Simulaciones computacionales de electromagnetismo como potenciadoras de aprendizaje desarrollador en estudiantes de ingeniería, C. Álvarez Martínez de San-</b>			

## IV Taller Iberoamericano de enseñanza de la física universitaria

Facultad de Física, Universidad de La Habana, Cuba, 29 de enero - 2 de febrero de 2007.

**No. de participantes:** 120

**Conferencias:** 11

**Presentaciones orales:** 44

**Carteles:** 66

Sesionaron dos grupos de trabajo.

Uso de las plataformas.

Una mesa redonda.

Un Taller sobre simulaciones.

### Tema central del evento

El uso de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TICs) en la enseñanza de la física.

### Temas tratados

- Uso de las plataformas para la elaboración de cursos para Internet.
- Desarrollo de recursos pedagógicos utilizando las nuevas tecnologías informáticas y de comunicaciones (TIC).
- Las TICs en los laboratorios docentes.
- Temas de Física.
- Física para otras especialidades.

Todos los temas expuestos de una forma u otra estaban relacionados con las TICs.

### Tópicos de física de enseñanza

- Uso de los sensores on-line.
- Aplicación en los laboratorios, tanto en la forma presencial, como en las simulaciones.

Dos de las conferencias estaban dirigidas a la extensión y la proyección de las ciencias hacia la sociedad:

- El Centro Cultural de Ciencia y Tecnología de la Habana Vieja.
- Presentación del DVD "2005, el año de la Física"

Otra de las conferencias especial se realizó en homenaje al ilustre profesor: Marcelo Alonso

### Grupos de trabajo

- Laboratorios on-line. Como resultado de este grupo de trabajo se ha comenzado una colaboración internacional en beneficio del proceso de Enseñanza-Aprendizaje en el laboratorio docente para la aplicación de los sensores on-line.
- Las plataformas y TICs. Abrió un espacio para la colaboración en el empleo de estas tecnologías en el ámbito universitario, creándose un sitio en el portal de la Universidad de La Habana para ello.



### Patrocinadores

- Universidad de La Habana, Cuba
- Sociedad Cubana de Física
- Universidad Nacional de Educación a Distancia, España
- Universidad de Burgos, España
- Fundación Eduard Job, Alemania
- Centro Latino Americano de Física
- International Center for Theoretical Physics, Italia
- Ministerio de la Ciencia Tecnología y Medio Ambiente, Cuba
- CICATA-LEGARIA, Instituto Politécnico Nacional, México

### Resumen

El Taller ha abierto posibilidades de colaboración entre profesores de diferentes países en el desarrollo de la Enseñanza de la Física y especialmente del empleo de las Tecnologías de la Información y las comunicaciones.

Se abrió un espacio en el sitio Aula en Red de la Universidad de La Habana soportado por la plataforma Moodle, para el intercambio de experiencias en la enseñanza de la Física entre los participantes y nuevos interesados.

Estos aspectos pueden ser de alta relevancia para mejorar la calidad de la Enseñanza de la Física y aumentar el intercambio y la divulgación de las experiencias alcanzadas.

### Aciertos del taller

El lugar elegido, los salones del Capitolio Nacional resultó un marco ideal para el desarrollo de las actividades del IV Taller, lográndose un ambiente favorable para el intercambio de opiniones entre los participantes.

A esto último contribuyó también el personal especializado de la agencia Empresa de Convenciones del Capitolio de La Habana.

En esta ocasión se pudo reunir a un número mayor de participantes en las actividades sociales (brindis, comidas, café, etc.) del evento lo que contribuyó a aprovechar el tiempo para compartir ideas y proyectos.

Haber entregado el Libro de Actas y Resúmenes antes que se acabe el Taller.

### **Necesidades para próximas ediciones**

En próximas ediciones tener posibilidad de Conexión a Internet para los participantes.

**Próxima convocatoria:** DENTRO DE DOS AÑOS!!! ENERO 2009.

### **Participantes por países**

Cuba	73
Alemania	1
Brasil	3
Colombia	7
Costa Rica	1
Ecuador	3
España	6
Italia	1
México	23
Venezuela	2
<b>Total</b>	<b>120</b>



## Conferencia homenaje al profesor Marcelo Alonso

C. Carreras

Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED), España;  
ccarreras@ccia.uned.es

Recibido el 1/09/2007. Aprobado en versión final el 15/09/2007.

**Sumario.** El 11 de noviembre de 2005 falleció el profesor Marcelo Alonso, físico cubano, residente y nacionalizado en EE.UU., que participó en el II Taller Iberoamericano de Enseñanza de la Física Universitaria (2000). A raíz de su estancia en La Habana, facilitó el establecimiento de relaciones entre la Sociedad Cubana de Física y la American Physical Society. En este IV Taller queremos rendir homenaje a su figura, aportando datos profesionales y algunos recuerdos personales.

**Abstract.** Professor Marcelo Alonso, cuban physicist, resident and nationalized in USA, died on November 11th 2005. After his stay in Havana during the 2nd Ibero-American Workshop on Teaching of Physics at the University (2000), he facilitated the establishment of relationships between the Cuban Physical Society and the American Physical Society. In this 4th Workshop we want to pay homage to his figure, supplying his professional data and some personal memories.

**Palabras clave.** Biografías, homenajes 01.60.+q

### 1 Introducción

Por mis relaciones profesionales, no exentas de amistad, me he ofrecido al Comité Organizador de este IV Taller para exponer, en este sencillo homenaje de la física cubana a Marcelo Alonso, los trazos más destacados de su trayectoria científica y humana, siendo consciente de que hay muchos otros físicos, cubanos y españoles, que podrían hacer esta presentación mejor que yo, pero no con más cariño. Al redactar estas líneas he pretendido dejar constancia tanto de su actividad profesional, tan dilatada y fértil, como de las gestiones realizadas por un grupo de profesores españoles, Manuel Yuste, Verónica Tricio, Federico García Moliner,... y yo misma, que fueron decisivas para su regreso afectivo a La Habana, de la que estuvo alejado cuatro décadas. Así mismo, quiero también dejar constancia del papel que jugó la Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED) en este propósito y de la vinculación que mantuvo con ella desde entonces.

### 2 Su vida profesional

**La etapa cubana.** Marcelo Alonso nació el 6 de febrero de 1921 en la calle San Lázaro de la Ciudad de La Habana, muy cerca de la famosa escalinata de su Universidad. Su madre, Dolores Roca Fernández, nacida en Oriente (Cuba), era hija del ingeniero de minas catalán Tirso Roca. Su padre, Marcelino Alonso, procedente de Asturias (España), se dedicaba a los negocios textiles y tenía una tienda en la calle Amargura de La Habana Vieja. Tuvo un solo hermano, Manolo, que falleció muy joven, a los 17 años de edad (ver fotografías de la Fig. 1).

Estudió en la Universidad de La Habana (UH), donde en el curso 1941-42, con poco más de 20 años, se graduó en Ciencias Físico-Matemáticas. Animado por su profesor de Física Teórica, Enrique Badell, se fue a ampliar sus estudios en la Universidad de Yale, donde siguió los cursos impartidos por los profesores Henry Margenau y Leigh Page. En 1945 tradujo el texto de Física Teórica de éste último para ser utilizado en la UH.

De regreso a Cuba compaginó su actividad universitaria con la de profesor de Física de enseñanza secundaria, para la que escribió textos en colaboración con su colega Virgilio Acosta. En mayo de 1949 obtuvo la plaza de Profesor Agregado de la Cátedra de Física Teórica de la UH, pasando a ser Titular de la misma en 1957, cuando falleció el profesor que la ocupaba, Miguel Ángel Maseda.

Durante todos estos años realizó frecuentes viajes al extranjero para ampliar su formación en el diseño de reactores nucleares y en el manejo de radioisótopos, ya que a partir de 1950 éstos empiezan a utilizarse en Cuba para el tratamiento del cáncer, uso auspiciado por la Comisión Nacional de Aplicaciones de la Energía Atómica a Usos Civiles, creada en 1947.

La formación adquirida le permitió organizar un laboratorio de investigación sobre estos temas adscrito a la Cátedra, por lo que, cuando se creó en 1955 la Comisión de Energía Nuclear cubana, Marcelo fue nombrado Secretario de la misma. En 1957 Marcelo propuso la creación de un Instituto de Estudios Nucleares en la UH, que tuviese un laboratorio con un acelerador de partículas y un pequeño reactor nuclear. Debido a su elevado coste, el proyecto quedó postergado.

Al triunfo de la revolución cubana, en enero de 1959, Marcelo continuó en su Cátedra y volvió a plantear su proyecto al entonces Ministro de Industria y Energía, Ernesto Che Guevara. Ante la imposibilidad económica de llevarlo a cabo, Marcelo aceptó, a sugerencia del Che, el puesto de Asesor Científico de la Comisión Interamericana de Energía Nuclear que le había ofrecido la OEA, marchando a EE.UU. en abril de 1960. Al finalizar su estancia, su esposa y él decidieron no regresar a Cuba, comenzando así la segunda y más conocida etapa de su vida profesional.

**La etapa norteamericana.** Siendo profesor del Departamento de Física de la Universidad de Georgetown (Washington, D.C.), publicó en 1967, en colaboración con el profesor Edward J. Finn, un famosísimo libro de Física General para alumnos de ciencias e ingeniería, conocido entre los estudiantes como “el Alonso-Finn”, el cual ha sido traducido a trece idiomas y del que se han vendido millón y medio de ejemplares. Está, sin duda, entre los textos de Física más difundidos internacionalmente.

De profesor de la Universidad de Georgetown se trasladó al Instituto Tecnológico de Florida, donde ejerció como Investigador Científico Principal hasta su jubilación.

Marcelo recorrió los cinco continentes impartiendo conferencias en universidades, centros de investigación, institutos de enseñanza secundaria, asociaciones científicas y culturales, y un largo etcétera. Publicó más de un centenar de trabajos sobre enseñanza de la Física, desarrollo científico y tecnológico y sobre temas energéticos. Por todos estos motivos fue frecuentemente invitado como Asesor de organismos internacionales para temas de educación, de planificación energética y de política

científica y tecnológica. Entre los cargos que ocupó, cabe destacar los siguientes: Director de Ciencia y Tecnología de la OEA, Secretario Ejecutivo de la Comisión Interamericana de Energía Nuclear, Miembro de la Academia Internacional de la Energía Nuclear y Vicepresidente para Investigación del Instituto Tecnológico de Florida.

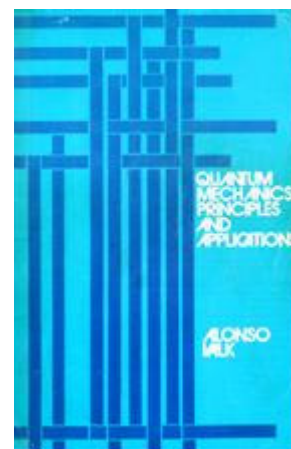


**Figura 1.** Fotografías de Marcelo con sus padres, Marcelino y Lolita, y su hermano Manolo (izquierda), y a la edad de 5 años, en 1926 (derecha).



**Figura 2.** Portadas de su famoso libro: “Física” (Vol. 1: Mecánica; Vol. 2: Campos y Ondas; Vol. 3: Fundamentos cuánticos y estadísticos). M. Alonso y E. Finn. Addison-Wesley Publishing Company (1967).

**Figura 3.** Portada del libro: “Quantum Mechanics, Principles and Applications”. Alonso & Valk. Addison-Wesley, Reading, MA (1973).



Cuando le sorprendió la muerte, se encontraba entusiasmado con la traducción al castellano de su libro sobre Mecánica Cuántica (Fig. 3), proyecto en el que se había embarcado un año antes con el profesor Jesús Martín, de la Universidad de Salamanca, coordinador



del mismo. El libro saldrá publicado gracias al trabajo de varios físicos españoles y al apoyo de la Fundación “Duques de Soria” y de la citada Universidad.

Ha sido un trabajador infatigable hasta sus últimos momentos.

### 3 Mis recuerdos personales

Conocí personalmente a Marcelo en septiembre de 1997 con ocasión de su asistencia a la XXVI Reunión Bial de la RSEF (Real Sociedad Española de Física) y al 7º Encuentro Ibérico de Enseñanza de la Física, que se celebró en Las Palmas de Gran Canaria (España).

Unos meses antes, en el otoño de 1996, Marcelo entró en contacto con el profesor Yuste y conmigo porque, junto con el profesor Octavio Calzadilla de la UH, estábamos organizando el I Taller Iberoamericano de Enseñanza de la Física Universitaria, que se celebraría en enero de 1997 en la Facultad de Física de la UH. Él nos manifestó su enorme interés por asistir, ya que el Taller se iba a celebrar en lo que había sido la Escuela de Física donde él había estudiado y comenzado su carrera profesional. Los profesores cubanos tenían también mucho interés en que él asistiera, dada su enorme popularidad entre los profesores latinoamericanos a los cuales iba dirigido dicho Taller. Por cuestiones diplomáticas (Marcelo se había nacionalizado norteamericano), nos pidieron que le invitáramos nosotros directamente. Debido a un incidente en las relaciones entre EE.UU. y Cuba, Marcelo desistió de acudir, pero siguió interesándose por el desarrollo del Taller, del cual hizo anuncios en inglés en cinco revistas científicas norteamericanas. Ese primer encuentro fallido no enfrió nuestras relaciones y, un poco antes de la Bienal de Las Palmas, pasó por la UNED para hacernos la primera de una amplia serie de visitas posteriores, en las que impartió conferencias y seminarios, grabó programas para la televisión educativa de la UNED y, sobre todo, nos deleitó con su amena charla y nos distinguió con su amistad, de la que nos sentimos muy orgullosos.

Durante nuestras largas discusiones en Las Palmas puedo asegurar que contribuimos a hacerle cambiar de opinión sobre la realidad cubana y le animamos a que participara en el II Taller que celebraríamos en el año 2000. Su despedida fue la siguiente: *Carmen, nos veremos en La Habana. O cambian ellos o cambio yo.* Su opinión debió de cambiar porque el 22 de enero del año 2000, en la salida del aeropuerto José Martí de La Habana, Carlos Trallero (profesor de la UH), Manuel Yuste y yo estábamos esperando la llegada del vuelo procedente de Miami que traía, 40 años después, a un Marcelo radiante, más habanero que nunca.

Su estancia durante el Taller fue enormemente gratificante para él, para los profesores de Física de la UH y para todos los asistentes al mismo, por lo que yo, como profesora de la UNED, me siento muy satisfecha del papel jugado por mi universidad, que fue quien oficialmente cursó la invitación. Su conferencia en el Salón de Ac-

tos de la Facultad de Física, abarrotado, fue muy emotiva (Fig. 4). Los que le conocíamos bien, nos dimos cuenta de que le costó comenzar a hablar, y cuando lo hizo, su voz sonó ligeramente emocionada.



**Figura 4.** Marcelo en el Salón de Actos de la Facultad de Física de la UH impartiendo la conferencia: “Dinámica no lineal en los cursos introductorios de Física”.



**Figura 5.** Participantes del II Taller (2000) en la escalinata de entrada a la Facultad de Física de la UH.

Recorrió las calles de La Habana buscando sus recuerdos: la casa donde nació, el local del negocio familiar, los restaurantes, los monumentos, etc., y visitó a las personas con las que había mantenido relación cuarenta años antes. Su estancia fue tan gratificante que a partir de entonces se preocupó de facilitar las relaciones entre la Sociedad Cubana de Física y la American Physical Society (APS), promoviendo el encuentro entre sus respectivos Presidentes unos meses después, lo que dio lugar a la celebración de la VIII Inter-American Conference on Physics Education en la ciudad de La Habana en julio de 2003, auspiciada conjuntamente por ambas Sociedades.

Regresó a La Habana en diciembre del mismo año 2000 con motivo de un encuentro internacional sobre Mecánica Cuántica, y de su familiarización sobre los progresos en el campo de la Física en Cuba dejó constancia en su artículo “Physics in Cuba” en el Forum on International Physics de la APS (diciembre 2002, pp. 4 y 5).

Marcelo me expresó en repetidas ocasiones su agradecimiento por haberle incitado a volver a su Cuba natal.

#### 4 Sus relaciones con España, la RSEF y la UNED

Viajero infatigable, amante de la cocina española, siempre dispuesto a participar en cualquier actividad relacionada con la Física, fue un asiduo colaborador de la RSEF: miembro del Consejo de Redacción de la Revista Española de Física (REF) durante el periodo 1997-2000, conferenciante invitado en las Reuniones Bienales de 1997 (Las Palmas de Gran Canaria) y 1999 (Valencia),... Prestó un inestimable apoyo a todas las actividades del Grupo Especializado de Enseñanza de la Física de la RSEF. La primera fue el curso de actualización para profesores de enseñanza secundaria: *¿Somos muy conservadores en la enseñanza de la Física?* (Fig. 6), que impartió el 8 y 9 de marzo de 1999 en la UNED (en el nº 2 (1999) de 100cias@uned (págs. 15-20), revista que edita la Facultad de Ciencias de la UNED, se recogen sus opiniones en una extensa entrevista realizada por el profesor J. Javier García Sanz).

A partir de entonces, siempre que pasó por España participó en cursos de verano, en seminarios, en conferencias, etc. La televisión educativa de la UNED grabó en todas las ocasiones las conferencias impartidas por Marcelo:

En el año 2002, en la Facultad de Ciencias, sobre la figura de *“Enrico Fermi, el último físico universal”* (Ver [mms://teleuned.uned.es/teleuned2001/ciencias/cien-marcelo-alonso-20020225.wmv](http://mms://teleuned.uned.es/teleuned2001/ciencias/cien-marcelo-alonso-20020225.wmv)), en cuyo marco el Presidente de la RSEF, Gerardo Delgado Barrio, le entregó una placa en reconocimiento a su permanente disponibilidad para colaborar con los físicos españoles.

Durante su última visita a España, en la primavera del año 2005, impartió otra conferencia sobre “La Física de

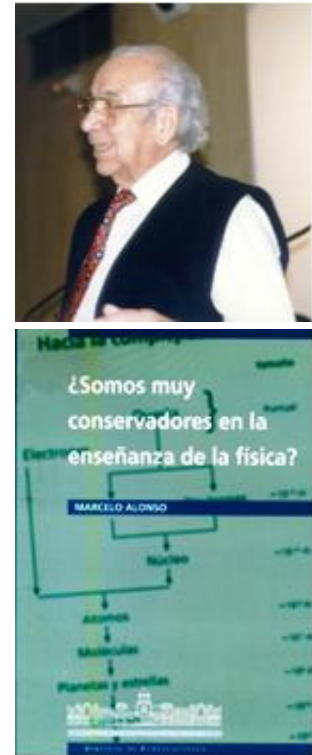
los seres vivos”, sobre la que la TV-Educativa de la UNED realizó un programa emitido el 2 de abril de 2005 por TV-2 (Ver [mms:// teleuned.uned.es/2001/ciencias/cienfisicase-resvivos-20050303.wmv](http://mms://teleuned.uned.es/2001/ciencias/cienfisicase-resvivos-20050303.wmv)).

**Figura 6.** Marcelo impartiendo el Seminario en la UNED. *Abajo:* portada del libro “¿Somos muy conservadores en la enseñanza de la física?” por Marcelo Alonso, Servicio de Publicaciones de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (1998)

Con otra de sus conferencias, *“La revolución conceptual de la Física del siglo XX”*, el 28 de octubre de 2004 el Grupo Especializado de Enseñanza de la Física de la RSEF inició las actividades del Año Mundial de la Física en el Instituto de Enseñanza Secundaria “Cervantes” de Madrid, con gran asistencia de profesores y estudiantes.

En definitiva, Marcelo derrochó entusiasmo por la Física, fue un excelente conversador y se mostró siempre muy afectuoso y simpático con todo el mundo. Quienes pudimos disfrutar de su amistad y compañía le echamos y le echaremos mucho de menos.

¡Hasta siempre, Marcelo!





## Red latinoamericana de educación en física (LAPEN) y la enseñanza moderna de la física

César Mora

Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada – Unidad Legaria. Instituto Politécnico Nacional. Av. Legaria 694, Col. Irrigación, Del. Miguel Hidalgo, C. P. 11,500 México, Distrito Federal.  
cmoral@ipn.mx

Recibido el 1/06/2007. Aprobado en versión final el 15/06/2007.

**Sumario.** En este trabajo se presentan las primeras actividades de la *Red Latinoamericana de Educación en Física* (LAPEN) organizada por representantes de Brasil, Cuba, México, Argentina, Colombia, Uruguay, Perú y España. Estas actividades incluyen Seminarios, Congresos, Programas de posgrado en Física Educativa y diversas publicaciones. La creación de LAPEN ha sido inspirada y patrocinada por miembros de la *International Commission of Physics Education* (ICPE) perteneciente a la *International Union of Pure and Applied Physics* (IUPAP). La organización de LAPEN tuvo lugar durante la *Primer Reunión Internacional sobre la Enseñanza de la Física y la Especialización de Profesores* (RIEFEP 2005) realizada en Matanzas, Cuba en Noviembre de 2005, en el marco de la celebración del año mundial de la Física. La creación de LAPEN también fue avalada por la Asamblea General de la IX Conferencia Interamericana sobre Educación en Física realizada en San José, Costa Rica del 3 al 7 de Julio de 2006, y posteriormente fue aprobada por el ICPE-IUPAP durante la *International Conference on Physics Education 2006* en Tokio, Japón del 13 al 18 de Agosto. LAPEN es una red de redes académicas para mejorar la educación en Física; finalmente discutimos el panorama actual de enseñanza de la Física en nuestra región.

**Abstract.** In this work we present the first activities of the *Latin-American Physics Education Network* (LAPEN) organized by representatives of Brazil, Cuba, Mexico, Argentina, Colombia, Uruguay, Peru and Spain. These activities include Seminars, Congress, Postgraduate Programs on Physics Education and several publications. The creation of LAPEN has been inspired and warranted by members of the *International Commission of Physics Education* (ICPE) of the *International Union of Pure and Applied Physics*. LAPEN was constituted in the *International Meeting on Teaching Physics and Training Teachers* (RIEFEP 2005) which was held in Matanzas, Cuba in November 2005. The creation of LAPEN was also warranted by the General Assembly of the IX Inter-American Conference on Physics Education held in San José, Costa Rica from 3 to 7 July 2006, and later by the ICPE-IUPAP in the *International Conference on Physics Education 2006* in Tokyo, Japan. LAPEN is a network of academic networks in order to improve the physics education; finally we discuss the current overview of teaching physics in our region.

**Palabras clave.** Física Educativa 01.40.–d, ayudas educativas 01.50.–i, métodos de enseñanza 01.40.gb

### 1 Introducción

Desde hace varios años se ha considerado la posibilidad de estructurar redes para la educación en física en nuestra región, pero tal como señaló Halpern<sup>1</sup> es muy difícil mantener la comunicación entre los miembros de la red y lograr la consolidación final. Al menos para Latinoamérica no se ha contado con redes significativas, que

puedan enlazar a maestros, alumnos, físicos, especialistas de otras disciplinas, etc. Ya en otro lugar señalamos el desarrollo y desaparición de diversas redes de colaboración académica<sup>2</sup>, desafortunadamente hasta nuestros días no se había logrado estructurar una red para especialistas en la enseñanza de la física en nuestra región.

El vertiginoso desarrollo de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC's) nos ha facilitado el camino para convocar y lograr reunir a físicos que in-

vestigan los procesos educativos de su disciplina. Es importante señalar que en diferentes regiones del mundo tales como Asia, Europa, Sudáfrica y Medio Oriente, con el auspicio de la UNESCO y del ICPE-IUPAP se han formado redes académicas para la enseñanza de la física.

Entre algunas de las redes más activas tenemos a la *African Network on University Teaching of Physics and Chemistry*, PENThai (*Physics Education Network of Thailand*), AraPEN (*Arab Physics Education Network*), AsPEN (*Asian Physics Education Network*) y a EUPEN (*European Physics Education Network*) que promueven congresos, cursos de actualización, redes locales y publicaciones.

## 2 Origen de LAPEN

En la víspera del *Año Mundial de la Física 2005*, en el seno del ICPE-IUPAP con la representación latinoamericana de los doctores Mauricio Pietrocola de Brasil y Eduardo Moltó de Cuba, se concibió la idea de estructurar una red colaborativa para la educación en física siguiendo el ejemplo de otras regiones del mundo<sup>3</sup>. Se consideró que era de suma importancia diseñar una red de especialistas en la enseñanza de la física que promoviera proyectos educativos con el objetivo de mejorar la educación de la física en todos los niveles educativos.

La siguiente fase del proyecto LAPEN tuvo lugar durante la Asamblea de la *Reunión Internacional sobre Enseñanza de la Física y la Especialización de Profesores 2005*, en la ciudad de Matanzas, Cuba del 8 al 11 de noviembre de 2005, en donde con la representación de delegados de Argentina, Brasil, Colombia, Cuba, España, Perú, México, Uruguay y Venezuela se decidió conformar la red LAPEN, con la estructura de una red de redes para Latinoamérica. Se presentó también la propuesta de elaborar los estatutos de la red, patrocinar una revista sobre enseñanza de la física, y se aprobó que el órgano de gobierno de la red estuviera conformado por un presidente, un vicepresidente y un secretario ejecutivo y representantes locales de los diferentes países miembros de la red.

Otra fase importante, fue la presentación del proyecto LAPEN a la Asamblea General de la IX Conferencia Interamericana sobre Educación en Física en la ciudad de San José, Costa Rica del 3 al 6 de julio de 2006, en su momento los doctores M. Pietrocola, E. Moltó y C. Mora solicitaron el aval del Comité Interamericano de Educación en Física (IACPE) para el reconocimiento de la red y su presentación ante el ICPE-IUPAP, lo cual se realizó en la Asamblea General de la *International Conference on Physics Education 2006*, en la ciudad de Tokio, Japón del 13 al 18 de agosto, en donde finalmente fue reconocida como una red oficial para la enseñanza de la física en la región de Latinoamérica. La siguiente fase de LAPEN es de consolidación y de formación de redes en la región.

## 3 Actividades de LAPEN

LAPEN ha contribuido en las siguientes actividades:

1) La estructuración y patrocinio del primer programa de posgrado en línea sobre enseñanza de la física en México. El Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada del Instituto Politécnico Nacional en la Ciudad de México, buscó la asesoría de LAPEN para el diseño de una Especialidad, Maestría y Doctorado en Ciencias en Física Educativa utilizando Ambientes Virtuales de Aprendizaje. El funcionamiento de este programa de posgrado es a través de redes de colaboración académica en física, y permite la participación de docentes de diversos países en la dirección de tesis de posgrado, asimismo contempla la posibilidad de tener alumnos en el extranjero, sin necesidad de realizar estancias de estudio en México. El objetivo de este programa es formar especialistas de alto nivel en investigación de los procesos educativos de la física, y promover la formación de grupos de investigación en México y en países participantes en LAPEN.

2) El diseño de la revista *Latin American Journal of Physics Education* (LAJPE) en formato electrónico. Desde el inicio de LAPEN, se contempló la idea de tener un órgano informativo periódico que difundiera a la comunidad académica los resultados de investigaciones educativas en física, en la modalidad de artículos, memorias, ensayos, tesis, libros y promover reuniones académicas y cursos de formación y actualización para maestros de física. Debido a los elevados costos en la producción y distribución de una revista impresa para nuestra región, se optó por un formato digital que incluya una versión para imprimir. Es importante destacar que el Comité Científico Asesor y el Comité Editorial está constituido por eminentes especialistas en la materia.

3) Promoción de cursos de formación y actualización de profesores de Física. Con el auspicio de la UNESCO y el ICPE-IUPAP desde noviembre de 2004 se han patrocinado cursos sobre aprendizaje activo de la física, esto sucedió primero en el 2006 en Marruecos y Nueva Delhi, ahora se tiene la meta de organizar un taller sobre óptica y fotónica para profesores de secundaria en la ciudad de Sao Paulo, Brasil para julio de 2007, la estrategia es formar formadores, esto es, se pretende que los asistentes a los talleres puedan ser promotores del aprendizaje activo de la física en sus países, inicialmente con equipo de laboratorio de bajo costo, y extender las temáticas de los talleres a diferentes ramas de la física, así como diseñar materiales propios.

## 4 Tendencias actuales en la educación en física

Es importante tener un panorama actual sobre la educación en física en nuestra región, para tener un mejor impacto como red de colaboración académica. Recientemente, Redish, Ogborn y Laws señalaron las directrices y el futuro inmediato de la educación en física<sup>4</sup>.

También, habiendo realizando un inventario de conferencias interamericanas, talleres iberoamericanos e internacionales sobre enseñanza de la física organizados en la región, podemos señalar cinco líneas principales de trabajo:

1. Investigación en Física Educativa (aprender qué aprenden los alumnos).
2. Opciones curriculares (investigación basada en materiales).
3. Replanteamiento de metas (el currículo escondido).
4. Enseñar a los alumnos a pensar (aprender a aprender).
5. Uso de Tecnologías de la Información y la Comunicación.

La investigación en Física Educativa es un área interdisciplinaria de estudio que incluye tanto a físicos como a investigadores educativos. Las metas son: utilizar la aproximación científica para ayudarnos a conocer realmente qué es lo que sucede en nuestras aulas, cómo se puede perfeccionar la enseñanza de la física, y cómo tener un mejor entendimiento de las metas reales para nuestros alumnos. Para ello se cuenta con herramientas observacionales que incluyen: entrevistas a alumnos, respuestas escritas, tareas, exámenes y trabajo on-line. Tests antes y después de los cursos, tales como los Inventarios del Concepto de Fuerza, videograbación de trabajo grupal de los alumnos.

En las opciones curriculares: investigación basada en materiales, tenemos que es una investigación que ayuda a entender las dificultades de los alumnos, y que ayuda a crear curricula que ayudan a los alumnos a aprender física más efectivamente. Los materiales más utilizados son textos sobre talleres de física, prácticas de laboratorio (aprendizaje activo), tutoriales de física y textos basados en investigación.

En lo relacionado al currículo escondido se estudia el por qué y cuáles conceptos son importantes, ya que sin un buen entendimiento de los conceptos básicos, los alumnos no pueden entender la física que hay detrás de un resultado. Un problema muy generalizado en la enseñanza de la física es la memorización de fórmulas y definiciones sin tener un entendimiento conceptual, lo que se ha comparado con aprender un lenguaje memorizando el texto sin conocer su significado.

Los conceptos son importantes pero no suficientes; lo que se requiere es que los alumnos aprendan a pensar en una forma científica, lo que involucra preocuparse al respecto, desarrollar una fuerte intuición física, razonar matemáticamente y resolver problemas complejos. Esto nos lleva a la necesidad de tener una teoría del pensamiento y aprendizaje, para entender la forma en que los alumnos piensan lo que observamos en el aula y cómo podemos ayudarlos, eso ayudará a fijar las metas para dar clases más efectivas y para tener mejores instrumentos de evaluación.

Finalmente, en los últimos años se ha tenido un incremento del uso de las Tecnologías de la Información y la Comunicación, pero parece que en la mayoría de los

casos se ha realizado en una forma empírica y desordenada<sup>5</sup>. Sigue pendiente el desarrollo de modelos educativos para la física virtual<sup>6</sup>. Este último punto es el que presenta el mayor porcentaje de incursiones por los maestros de nuestra región.

## 5 Conclusiones

A pesar de que vivimos en la era de la información y la comunicación, la enseñanza de la física en nuestra región está en pleno desarrollo. El trabajo latinoamericano en la física educativa se ha caracterizado básicamente por ser aislado, y con una fuerte influencia de la escuela española de enseñanza de las ciencias. No obstante que desde hace más de cincuenta años se han estructurado redes académicas, ninguna de ellas, al tiempo presente, han tenido un impacto significativo en la investigación educativa del proceso de enseñanza aprendizaje de la física.

Es una realidad que la educación en física está siendo afectada grandemente por las TIC's y las tecnologías avanzadas; la universidad tradicional está enfrentando su más grande transformación en la era digital. En la Conferencia Interamericana de Educación en Física de 1987 se trató de impulsar la creación de redes académicas interamericanas para la enseñanza de la física, y a más de veinte años de la propuesta, ninguna red se logró consolidar y satisfacer las necesidades latinoamericanas. Halpern<sup>1</sup> señaló que para conformar y consolidar redes en Educación en Física se tiene que considerar lo siguiente:

- Cualquier red debe basarse en objetivos claros y consistentes, compartidos por sujetos dedicados y apoyados por sus instituciones.
- Para ser exitosa, una red debe estructurarse a través de nodos para servir como mensajeros y también como receptores de ideas y comunicaciones.
- Las metas de las redes deben seguirse a través del uso de estrategias convincentes.
- Los propósitos de la red deberán comunicarse eloquentemente a agencias potenciales donadoras de fondos, y también para el público en general, y ser convincentes.
- Evitar el desarrollo de posibles cismas, reales o percibidos. Se debe, por tanto, hacer lo posible por equilibrar el acceso a oportunidades y recursos para asegurar el éxito de ideas sólidas e iniciativas sin hacer caso de su punto de origen, se debe ser realista en las expectativas.

Siguiendo estas recomendaciones, tres de los países más importantes de la región serán los nodos principales, esto son Cuba, México y Brasil; y se espera extender la red de nodos a grupos de investigadores en Argentina, Colombia, Perú, Venezuela, Uruguay, Costa Rica, hasta abarcar toda la región.

Por otro lado, se está trabajando en un programa de formación y actualización de profesores de física para los niveles medio superior y superior mediante cursos virtuales ofrecidos en el *Campus Virtual* del Instituto Politécnico Nacional de la ciudad de México, así como en la organización de eventos nacionales e internacionales

sobre la enseñanza de la física. Además, se contará con un órgano de difusión masiva que será la edición de la LAJPE en formato electrónico para publicar los trabajos de investigación que se realicen en nuestra región. Otro punto importante para fortalecer las redes es el aspecto económico; puesto que LAPEN ha sido reconocida por el ICPE, ahora se tiene la posibilidad de solicitar financiamiento de la IUPAP así como de la UNESCO para la realización de programas de capacitación de profesores, etc. Finalmente, se ha programado tener Asambleas Generales de LAPEN durante las Conferencias Interamericanas, con el fin de renovar y ampliar los nodos de gobierno de la red.

## Agradecimientos

Este trabajo fue realizado mediante el proyecto de investigación SIP-20071481 del Instituto Politécnico Nacio-

nal, C. Mora es becario EDI-IPN, COFAA-IPN y del Sistema Nacional de Investigadores nivel I.

## Referencias

1. T. Halpern. Cooperative networks in physics education, Proceedings of the Inter American Conference on Physics Education, Oaxtepec, México, Julio de 1987.
2. C. Mora. Memorias del IX Taller Internacional sobre Enseñanza de la Física, La Habana, Cuba, enero de 2006.
3. P. Jolly. Acta de la Asamblea del ICPE-2005, Nueva Delhi, India, agosto de 2005
4. T. Hyodo. Proceedings of the International Conference on Physics Education ICPE-2006, Tokio, Japón, 13-18 julio de 2006.
5. J. Tiffin y L. Rajasingham. En busca de la clase virtual, Barcelona, Paidós, (1997).
6. J. Cabero. El ciberespacio: el no lugar como lugar educativo, en SALINAS, J. y otros: Edutec 95. Redes de comunicación, redes de aprendizaje, Palma de Mallorca, Servicio de Publicaciones de la Universidad de las Islas Baleares, (1996).



## Tutorial interactivo para introducción a la teoría y práctica de mediciones

R. Camero†, M. Zapata-Torres, O. Calzadilla<sup>a</sup> y F. Ángeles

CICATA ALTAMIRA, Instituto Politécnico Nacional, Altamira, México; gabriela\_camero@hotmail.com, mzapatat@ipn.mx, angeles\_escalona@hotmail.com

a) Facultad de Física, Universidad de La Habana, Cuba; calza@fisica.uh.cu

†autor para la correspondencia

Recibido el 1/06/2007. Aprobado en versión final el 15/06/2007.

**Sumario.** El presente trabajo describe el desarrollo de una aplicación multimedia interactiva, para la enseñanza del proceso de medición de magnitudes físicas en el nivel medio. Se pretende que este material sea una guía de apoyo didáctico dentro del aula, que propicie en los estudiantes el desarrollo de las habilidades requeridas para efectuar adecuadamente mediciones directas e indirectas, identificar posibles fuentes de error y reportar los valores respetando el número de cifras significativas y la incertidumbre asociada. La aplicación multimedia, diseñada con Macromedia Authorware y Macromedia Flash, guía a los estudiantes hacia el aprendizaje de conceptos de medición a través de recursos didácticos, como mapas conceptuales, lecturas, imágenes, videos demostrativos y actividades interactivas. En la sección de Laboratorio Virtual se incluyen simuladores para realizar mediciones “virtuales” de longitudes con reglas graduadas y vernier.

**Abstract.** This work describes development of multimedia software to teaching measurement process of physical measures in middle high school. This material help teachers and students to develop the required capabilities for making right direct and indirect measurements, identifying possible errors sources and reporting values with uncertain. Software was designed with Macromedia Authorware and Macromedia Flash. This software includes measurement concepts which are explained using conceptual maps, lectures, images, pictures, videos and interactive learning activities. In Virtual lab section, there are some simulations to make virtual lab practices to determinate length with rules and vernier.

**Palabras clave.** Laboratorio de Física en escuela secundaria 01.30.la, teoría del aprendizaje 01.40.Ha, computadoras en educación 01.50.Lc.

### 1 Introducción

En México la calidad de la educación media no es satisfactoria, principalmente en materias como física donde se requiere el manejo de pensamiento lógico y formal por parte de los estudiantes adolescentes<sup>1</sup>. Ante esta situación, se han empezado a implementar programas orientados al uso de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC's) en la enseñanza, en estos programas se considera que los materiales multimedia representan una alternativa viable para atender las necesidades de aprendizaje de jóvenes y adultos que cursan la

educación media, ya que asignan una mayor participación, estandarizan contenidos y promueven el autoaprendizaje<sup>2,3</sup>. Adicionalmente, gran cantidad de escuelas cuentan con aulas de medios, pero aun existe una carencia de materiales didácticos al alcance de los profesores y estudiantes<sup>4</sup>.

El proceso de enseñanza-aprendizaje dirigido a formar la habilidad de medir, comienza desde los primeros grados de escuela al enseñar el redondeo, la graficación y algunos términos estadísticos, como el promedio. En la materia de física a nivel medio, los cursos incluyen el tema de mediciones de magnitudes físicas de mayor im-

portancia (longitud, tiempo, masa) para el individuo, así como sus unidades de medida y las conversiones mutuas de unidades homogéneas. Al terminar su formación, se esperaba que un estudiante manejara de manera práctica los conceptos de error en la medición, incertidumbre, precisión, exactitud y cifras significativas, sin embargo, existe la costumbre por parte de los profesores de abordar estos temas sin el rigor necesario, permitiendo a los estudiantes realizar y reportar mediciones inadecuadamente<sup>5</sup>. Esta costumbre queda tan arraigada en los estudiantes, que una vez que cursan materias universitarias de ingeniería y ciencias, continúan teniendo dudas y realizando omisiones acerca de cómo reportar y manipular resultados experimentales<sup>6</sup>.

Si un objetivo de los cursos de física a nivel medio es introducir a los estudiantes en el conocimiento del mundo físico, y este se fundamenta en experimentos y sus respectivas mediciones, es necesario que los estudiantes adquieran las habilidades necesarias para realizar correctamente el proceso de medición. La medición, como proceso, es un conjunto de actos experimentales dirigidos a determinar una magnitud física de modo cuantitativo, empleando los medios técnicos apropiados y en el que existe al menos un acto de observación<sup>7</sup>. Esta medición, expresada por medio de una cantidad numérica y la unidad de medida correspondiente, debe considerar elementos prácticos; ya que todo acto de medición es esencialmente inexacto y los valores obtenidos son números aproximados, relacionados a los instrumentos de medición, el estudiante debe manejar también el concepto de incertidumbre<sup>8</sup>.

Para que una habilidad tan general como medir magnitudes físicas se transforme en una capacidad en el estudiante deben sistematizarse un sinnúmero de acciones y habilidades más específicas. Los niveles de profundidad y asimilación de contenidos debieran entonces ser crecientes en orden de complejidad, empleándose actividades que promuevan una participación activa.

## 2 Desarrollo

**Aspectos Pedagógicos.** Un factor clave de éxito en el diseño de tecnología educativa es conocer las características generales de la población objetivo como edad, sexo, nivel de conocimiento, entre otras. Un segundo factor de interés en el diseño de tecnología educativa son los estilos de aprendizaje con los que los estudiantes perciben, interactúan y responden a los ambientes de aprendizaje<sup>9, 10</sup>.

En el desarrollo de este proyecto ambos factores fueron considerados al planear las actividades y el diseño de la presentación. En esta etapa se realizó una revisión de trabajos con objeto de identificar los aspectos pedagógicos más importantes en el desarrollo de la aplicación (contenidos teóricos, experiencias virtuales, tareas de desarrollo de destrezas y actividades sobre aprendizaje de procedimientos).

**Planeación de Contenidos y Actividades.** Se elabó

un conjunto de actividades y materiales didácticos basados en el Plan de Estudios de Física que se complementaron con libros de texto de bachillerato, licenciatura y maestría<sup>11-16</sup>. Algunos contenidos del curso de Diseño de Experimentos a nivel maestría se adaptaron al nivel requerido, explicando los conceptos sin ahondar en el tratamiento matemático. Los temas fueron reorganizados en cuatro bloques teórico-prácticos: “¿Qué es una medición?”, “¿Cómo se realiza una medición?”, “¿Cómo registrar una medición?” y “¿Cómo analizar una medición?” y dos bloques experimentales: “Experimentos en el aula” y “Laboratorio virtual”.

**Desarrollo de Contenidos y Actividades.** A partir de los temas se elaboró una serie de mapas conceptuales que integran los contenidos con el propósito de mostrar a los estudiantes una idea general del material incluido en el tutorial. Las explicaciones de los contenidos se desarrollaron a partir de resúmenes elaborados previamente, en ellas se desarrolló cada uno de los subtemas de forma breve, clara y sencilla. En las explicaciones se intercalaron preguntas sencillas para que la participación del usuario sea frecuente. Después de cada concepto importante se incluyeron actividades para manejar, clasificar, manipular, organizar y aplicar la información proporcionada por el sistema.

Para la parte experimental se diseñaron prácticas experimentales que pueden ser realizadas en el salón de clases. Posteriormente se procedió a la implementación de actividades para llevar a cabo con los simuladores diseñados previamente. Los simuladores fueron desarrollados utilizando el software multimedia Macromedia Flash MX, esta etapa se basó en un prototipo inicial, elaborado previamente, que en este proyecto se ha ampliado a tres simuladores: “Aprendiendo a Medir”, “¿Qué es más exacto?” y “Mediciones con Vernier”

**Integración de Contenidos y Actividades.** La integración de los contenidos, mapas conceptuales, prácticas de experimentos y simuladores se realizó con Macromedia Authorware, un software de creación de programas con capacidades interactivas, que permite generar ejecutables que incorporan todo tipo de archivos multimedia como imagen, sonido, animaciones, etc. Este software también ofrece la opción de generar los archivos Web requeridos para la inserción del tutorial en plataformas didácticas, como Moodle o Blackboard.

## 3 Discusión de resultados

Se obtuvo una aplicación multimedia de software educativo, denominada “Tutorial interactivo para introducción a la teoría y práctica de mediciones”, que puede ser instalada en una computadora personal o en Internet. La aplicación guía de manera sistemática a los estudiantes hacia el estudio de las propiedades físicas y su medición enfatizando la importancia de medir y encontrar patrones específicos que conduzcan a entender la necesidad de sistemas internacionales de medición. El menú principal, el estudiante tiene la opción de elegir dos tipos de



contenidos: Teóricos o Experimentales.

Los bloques de contenidos teórico-prácticos realizan una introducción a las propiedades físicas y sus medidas. Los contenidos se encuentran distribuidos en cuatro secciones, cada una aborda un aspecto diferente del proceso de medición. En la figura 1 se muestra la pantalla de contenidos Teóricos. Al escoger en el menú una de estas cuatro secciones aparece un mapa conceptual con conceptos básicos. Cuando el estudiante presiona sobre uno de los conceptos subrayados tendrá acceso a la explicación del tema con sus respectivos ejemplos y actividades. Las preguntas dirigidas a los estudiantes están orientadas a la reflexión, creatividad y aplicación de sus competencias verbales y abstractas. Para cada respuesta existe una retroalimentación.

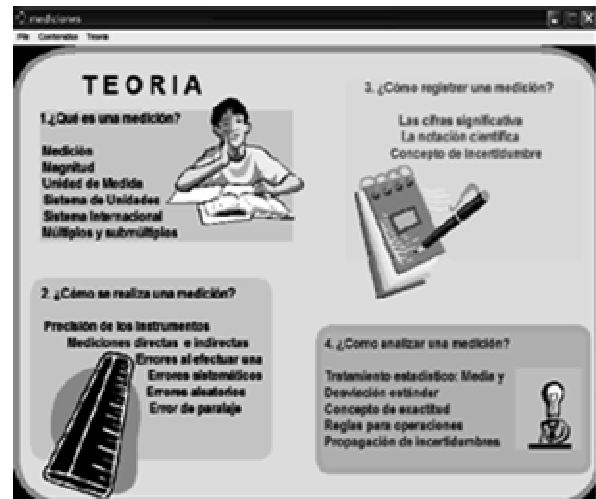
En la sección ¿qué es una medición? se explican los conceptos de medición, magnitud, unidad de medida y el sistema internacional de unidades enfatizando su carácter decimal y resolviendo, entre otros, ejercicios sobre múltiplos y submúltiplos a partir de ejemplos prácticos obtenidos de la vida cotidiana. Para la segunda sección, ¿Cómo se realiza una medición? además del mapa conceptual inicial se muestran ilustraciones y videos con diferentes tipos de instrumentos de medición. Se incluye una actividad donde los estudiantes deben identificar mediciones directas e indirectas de acuerdo al instrumento que se utilice e identificar los tipos de errores (sistemáticos, aleatorios o de paralaje) cometidos por el usuario del instrumento.

En la sección ¿Cómo registrar una medición? se deben tomar lecturas de los instrumentos presentados previamente, determinando el número de cifras significativas y la incertidumbre asociada. El estudiante también puede tener acceso a situaciones en las que debe emplear la notación científica para escribir diversos valores asociados a magnitudes macro y microscópicas. Finalmente, en ¿Cómo analizar una medición?, se explica el tratamiento estadístico requerido para reportar magnitudes directas, ejemplificando mediante curvas de distribución la media y la desviación estándar asociada a una medición. Se introduce el concepto de exactitud y confiabilidad, y la determinación de magnitudes indirectas, en este caso se especifica el tratamiento que se debe seguir al realizar operaciones aritméticas básicas.

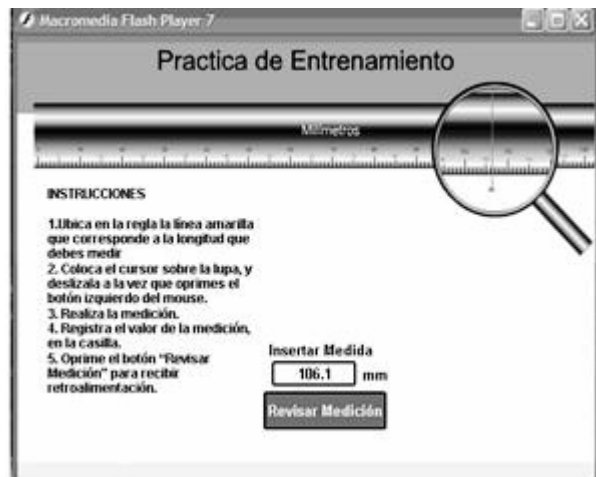
Cuando el profesor explica los temas guiándose en este tutorial, los estudiantes que al final de la clase tengan dudas, pueden repetir las actividades tantas veces como sea necesario, teniendo la certeza que poniendo atención a las explicaciones podrán mejorar su comprensión de la materia. A diferencia de los libros de actividades, que sólo muestran algunos ejercicios resueltos, adicionales a los ejemplos, en el tutorial todos los ejercicios presentan la resolución y retroalimentan al estudiante. Conforme el estudiante avanza, responde preguntas lógicas que poco a poco lo van conduciendo a un aprendizaje significativo.

En el bloque Experimental, se incluyen Actividades de Laboratorio Virtual, en las que varios simuladores diseñados previamente son presentados. La sección de si-

mulaciones presenta los procedimientos para realizar mediciones de longitudes con diferentes instrumentos. La longitud, que es una de las magnitudes fundamentales, es necesaria para la determinación de otras magnitudes derivadas, por lo que manejar adecuadamente los instrumentos de medición de longitud más comunes, es indispensable para determinar propiedades físicas diversas.



**Figura 1.** En los contenidos “Teóricos” se presentan los contenidos teóricos, con sus explicaciones, mapas conceptuales, ejemplos y actividades prácticas. Están distribuidos en cuatro secciones ¿Qué es una medición?, ¿Cómo se realiza una medición?, ¿Cómo registrar una medición? y ¿Cómo analizar una medición?



**Figura 2.** En la actividad “Aprendiendo a Medir” los estudiantes practican las mediciones con reglas graduadas en milímetros y centímetros, además realizan mediciones con un vernier. Una línea amarilla indica la longitud que se debe medir. Si la medición es correcta, el estudiante es felicitado, y se le invita a continuar midiendo. Cuando la medición este fuera del rango aparece en mensaje de error indicando la medida correcta y posteriormente se solicita realizar una medición diferente con el mismo instrumento con el que se falló.

Se inicia con la actividad “Aprendiendo a Medir” en

la que el estudiante realiza una practica de entrenamiento. En la pantalla aparece una regla graduada en milímetros y sobre ella una línea amarilla que indica la longitud que se debe medir. Si la medición es correcta aparece otra línea, para realizar una nueva medición en centímetros, en caso de ser correcta se solicita una nueva medición con el vernier. En caso que la medición este fuera del rango aparece en mensaje de error indicando la medida correcta y posteriormente solicita realizar una medición diferente con el mismo instrumento con el que se falló. En la figura 2 se muestra una pantalla de este simulador. Una vez concluida esta parte, el estudiante tiene la opción de elegir una de las seis frutas mostradas en la pantalla para ser medida. Una vez que el estudiante escogió el objeto a medir, podrá mover el vernier y la lupa para medir la longitud e introducir el valor estimado. El simulador dará retroalimentación al estudiante al indicar si la medida es correcta o incorrecta. Para cada objeto, incluyendo las frutas, se genera una medida aleatoria que permite que la longitud sea diferente al repetir la práctica.

Para desarrollar en el alumno el concepto de error e incertidumbre en la medición existe la actividad “¿Qué es más exacto?” donde el objeto es medido con una regla graduada en milímetros, en centímetros y un vernier. El software solicita realizar las mediciones tres veces con cada instrumento. Al terminar las mediciones el promedio y la desviación estándar son desplegadas en la pantalla, con lo que el estudiante compara los tres instrumentos y realiza sus propias conclusiones acerca del error que existe y su dependencia respecto al instrumento de medición. El propósito es mostrar al estudiante que el valor reportado va a ser determinado por la exactitud del instrumento con que se mida.

Para los estudiantes que no están familiarizados con el uso del vernier se diseñó el tutorial “Mediciones con Vernier” que puede tomarse previo a la realización de la primera práctica. Este simulador explica detalladamente como se utiliza el instrumento.

## 4 Conclusiones

El desarrollo de una aplicación multimedia para la enseñanza de la física a nivel medio básico proporciona a los estudiantes la oportunidad de participar en situaciones de aprendizaje interactivas. El diseño de la aplicación guía de manera sistemática a los estudiantes hacia su aprendizaje, utilizando diversos recursos di-

dáticos. Además, propicia en el estudiante la observación, el pensamiento analítico y la clarificación de conceptos.

## Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por SIP-IPN y bajo el proyecto SEPSEByN-2003-C01-14

## Referencias

1. J. Hernández, Problemas y políticas de la educación básica, editado por E. Manteca, pp. 118-128 (SEP, México, 2000)
2. T. Rojano, Rev. iberoam. educ., 33, 135 (2003).
3. M. Santillán; Rev. Mex. Inv. Ed, 11( 28), 7 (2006) .
4. A. Ávila, Materiales Educativos Multimedia: Disponibilidad y acceso en educación secundaria, VIII Congreso de Educación a Distancia, Córdoba, pp. 215-218 (2004).
5. E. Fernandez,; Teaching Statistics in Secondary School. An overview: from the curriculum to reality. The 6th International Conference on Teaching Statistics, South Africa, pp.1-5 (2002).
6. L. Kirkup; Reforming the teaching of uncertainty to undergraduate science and engineering students. Proceedings of the Metrology Society of Australia, Melbourne, pp..21-25 (2004).
7. J. Herrera; Rev. Eureka. Enseñ. Divul. Cien. ISSN: 1697-011X. 2(2), 163, (2005).
8. A. Pontes, J. Gavilán, M.Obrero, y A. Flores. Rev. Eureka. Enseñ. Divul. Cien. ISSN: 1697-011X. 3(2), 251, (2006).
9. A. Lozano, Estilos de aprendizaje y enseñanza, pp. 51-69 (Trillas, México, 2000)..
10. J. Niedo y B. Macedo; Un currículo científico para estudiantes de 11 a 14 años, cap. 3, I.S.B.N: 84-7666-079-0 (OEI-UNESCO, España. 1997). .
11. C. Gutiérrez y V. Serrano; Introducción a las Mediciones. Prácticas de Laboratorio, pp. 12-220 (IPN, México, 2004),.
12. R. Resnick, D. Halliday. Física. Vol. No. 1. pp. 3-7 (CECSA, México, 2004).
13. A. Máximo, B. Alvarenga. Física General. pp. 9-22 (Oxford, México, 2005).
14. P. Bevington y D. Robinson, Data Reduction and Error Anal. for the Phys. Sci.. pp. 1-60 (McGraw-Hill, USA, 1992).
15. S. Rabinovich; Measurement Errors and Uncertainty. Theory and Practice, (Springer-Verlag, USA, pp.31-65 2000).
16. L. Kirkup y R.B. Frenkel; An Introduction to Uncertainty in Measurement. pp. 35-52 (Cambridge University Press, USA, 2000).



# Perspectivas de trabajo para un planteamiento integrado del experimento y la simulación en la enseñanza de la física

A. Hurtado Márquez<sup>a</sup>, C. Lombana<sup>a</sup>, O. Ocaña<sup>a</sup>, M. Fonseca<sup>b</sup>

Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá-Colombia; fisinfor@udistrital.edu.co

<sup>a</sup>Proyecto Curricular de Licenciatura en Física; ahurtado@udistrital.edu.co<sup>†</sup>

<sup>b</sup>Proyecto Curricular de Tecnología/Ingeniería Mecánica; mfonseca@udistrital.edu.co

<sup>†</sup> Autor para la correspondencia

Recibido el 1/06/2007. Aprobado en versión final el 15/06/2007

**Sumario.** Normalmente se muestran las bondades del uso de diferentes herramientas informáticas: sistemas de adquisición de datos, software de cálculo y/o software de simulación, en los procesos de enseñanza y aprendizaje de la Física. Hacer una aproximación a una propuesta metodológica que integre estos aspectos no es nada sencillo. Sin embargo, pretendemos en el presente artículo, mostrar algunas reflexiones y perspectivas al respecto, logradas por el grupo de investigación, en la elaboración y ejecución del proyecto de investigación: Integración del experimento tradicional, el experimento computarizado y la simulación como alternativa para la enseñanza y aprendizaje de la Física.

**Abstract.** The kindnesses of using different computer tools are usually shown: systems of data acquisition, calculation software and/or simulation software, in the processes of teaching and learning Physics. Making an approach to a methodological proposal that integrates these aspects is not easy. However, in this article we try to show some reflections and perspectives, achieved by the investigation group, in the elaboration and execution of the investigation project: Integrating the traditional experiment, the computerized experiment and the simulation as alternative for teaching and learning Physics.

**Keywords.** Teaching methods and strategies, 01.40.gb, Computers in experimental physics, 07.05.-t.

## 1 Introducción

El uso de las nuevas tecnologías de la información y la comunicación han traído nuevos esquemas pedagógicos y didácticos con los cuales se puede abordar la teoría y la experimentación en el campo de la enseñanza - aprendizaje de la Física.

Por eso, uno de los objetivos importantes del grupo de investigación FÍSICA E INFORMÁTICA (Fisinfor), ha sido buscar alternativas metodológicas que pueden ser insertadas integralmente en el trabajo de aula, en la solución de situaciones problemáticas que involucren el uso de la experimentación con ayuda o no del computador y simulación<sup>1</sup>.

La experiencia en el grupo de investigación, desde

una perspectiva didáctica y pedagógica, ha permitido mostrar que los docentes y estudiantes deben agruparse con el fin de desarrollar un trabajo colectivo, que permita mayor solidez y coherencia en las propuestas de solución, bien sean ellas de carácter teórico, experimental convencional, simulado o experimental asistido por computador. Todo lo anterior, orientado hacia la mejor conceptualización de las teorías físicas en forma integral.

## 2 Planteamiento integrado del experimento y la simulación

Una manera posible de enfrentar un trabajo integrado en el que los estudiantes puedan llevar a cabo una conceptualización adecuada y pertinente de los diferentes ele-

mentos de la teoría Física y lograr así un aprendizaje significativo, basados en la integración del experimento y la simulación, podría darse considerando los siguientes pasos<sup>2</sup>:

*a. Planteamiento de situaciones problemáticas:* Puede provenir de una propuesta elaborada por parte de un docente o grupo de docentes o surgir de una discusión previa con sus estudiantes o de propuestas formuladas por ellos a partir de inquietudes que se concreten en algún problema particular. Después de hacer el planteamiento se debe realizar una *revisión teórica* por parte del docente y los estudiantes, para tener la suficiente información que sea soporte para abordar su solución. Así el docente detecta que elementos teóricos poseen los estudiantes y cuáles requieren revisión o elaboración durante el trabajo a realizar.

*b. Revisión Material Experimental:* Debe hacerse un inventario muy minucioso de dispositivos y elementos de laboratorio (equipos y manuales) y a la vez de software (de simulación o de adquisición de datos, según sea el caso) que permita delinear un acercamiento a la situación problemática planteada. Esta actividad debe ser el resultado de un trabajo en donde participen docentes, estudiantes, auxiliares de laboratorio y personal de apoyo que desarrolla tareas de ensamble, diseño y construcción de pequeños dispositivos mecánicos o eléctricos.

*c. Apropiación en el manejo de Instrumentación:* De manera rigurosa y continua tanto estudiantes como profesores deben familiarizarse con las características, las posibilidades y el uso adecuado de los equipos convencionales y/o computarizados, con el fin de ver sus ventajas, desventajas y así direccionar la solución a la situación planteada. En otras palabras, se debe hacer una alfabetización informática y tecnológica en grupos de discusión y disertación respecto de las posibilidades de uso de los materiales y equipos disponibles.

*d. Áreas Disciplinarias Complementarias:* De manera conjunta y después de haber manipulado los equipos tradicionales y los automatizados y haber conseguido una alfabetización tecnológica y computacional, se decide en común acuerdo explorar otras áreas de la Física, la tecnología, la epistemología, la didáctica y la pedagogía que permitan complementar la solución a la situación planteada, dada desde la Física y un acercamiento a las formas metodológico – didácticas de explicarlas y colocarlas en un contexto escolar a diferentes niveles.

*e. Prediseño de prácticas de Laboratorio:* Muchas de las situaciones problemáticas generalmente llevan un componente experimental y por ello se hace necesario diseñar y realizar experiencias pertinentes, las cuales después de ciertos refinamientos deben conllevar a dar solución a la situación planteada. A su vez se debe tener en cuenta si éstas pueden resolverse integralmente con material tradicional, computarizado o simulado. Para situaciones problemáticas que incluyan temas de Física Moderna o Cuántica, o donde los recursos tecnológicos de laboratorio no sean los más apropiados, se sugiere la solución vía simulación o programación.

De todas maneras hay que dejar abierta la posibilidad para que por grupos de estudiantes, con la respectiva asesoría del docente o docentes, se puede independientemente elegir la forma de estudiar el problema, que en general puede contemplar la solución teórica, la solución experimental, el montaje y equipos a utilizar bien sea con equipos convencionales o sistematizados, la solución simulada, con el uso de algún software existente o desarrollándolo cuando ello sea posible. Esto conllevará a que cada grupo asuma diferentes responsabilidades y a su vez diferentes formas de abordar un mismo problema; permite además el análisis y solución de diferentes variantes del problema objeto de estudio, o encargar a cada grupo partes diferentes y en general complementarias del problema.

*f. Realización de prácticas de laboratorio:* Aquí surge la necesidad de incentivar fuertemente el carácter científico que tiene el proceso de la experimentación. Cada grupo de estudiantes montará, diseñará y ejecutará los desarrollos experimentales requeridos para resolver algunos de los problemas planteados; para cada una de las prácticas escogidas deberá realizar todos los estudios y análisis pertinentes, en algunos casos mediante la experimentación sistematizada, en otros no sistematizados y en otros mediante la simulación.

*g. Revisión y análisis de resultados:* La puesta en común de resultados es uno de los puntos bien interesantes. En consenso entre todos los estudiantes y los profesores se discuten los resultados obtenidos en cada grupo y se hacen los respectivos análisis y ajustes, contrastando las ventajas y desventajas de las diferentes formas de abordar el problema.

*h. Elaboración de material didáctico:* Dentro del marco de la innovación pedagógica se hace necesario que cada grupo dentro de su propia autonomía presente los resultados al grupo, sus criterios pedagógicos y didácticos para mostrar el desarrollo y solución de la situación problemática.

Por las socializaciones realizadas por el grupo de investigación y los estudiantes que elaboraron trabajos de grado en esta línea, se pudo detectar que con el diseño de unos formularios o unas pequeñas guías escritas que contengan algunos criterios básicos o sugerencias para desarrollar las prácticas de laboratorio o para avanzar en la conceptualización de los elementos fundamentales de la teoría, labor que requiere mayor asesoría por parte de los docentes y mayor esfuerzo por parte de los estudiantes inmersos en la propuesta, se logran mejores resultados en el aprendizaje de la Física.

*i. Implementación del material Didáctico:* Poner a prueba los resultados y el material diseñado, permite validar en gran parte lo desarrollado en la solución de la situación problemática. El material didáctico elaborado debe ser tal que pueda ser aplicado a los diferentes niveles para los que fue diseñado: Básica Primaria, Básica Secundaria o Universitario, lo cual requiere de una estructura metodológica coherente para ser elaborado.

Algunas de las experiencias señaladas fueron aplica-

das a los estudiantes de la Licenciatura en Física, de la Universidad Distrital. Esta implementación fue seguida con algún rigor y mostró el interés e impacto que se genera sobre los estudiantes.

*j. Divulgación de resultados:* Este paso es de vital importancia, ya que permite mostrarse a sí mismo y a otros, el impacto que puede tener una propuesta, que metodológicamente es una opción para probar si la integración entre diferentes aspectos de la disciplina, la didáctica, las nuevas tecnologías, entre otros, para lograr mayor solidez en la conceptualización y estructuración de la teoría en los estudiantes. La divulgación se puede realizar de diferentes maneras entre las que contamos con la escritura de los trabajos de grado por parte de los estudiantes, la asistencia a eventos nacionales e internacionales y la publicación en revistas indexadas<sup>2,3</sup>. Cada grupo de estudiantes debe elaborar un artículo que lo acerque a una publicación de carácter científico y en donde se deben mostrar esencialmente los siguientes aspectos: Problema estudiado, elementos básicos de análisis, resultados obtenidos sustentados desde la disciplina y aproximaciones a una propuesta de enseñanza de los mismos a diferentes niveles de enseñanza.

Los pasos anteriores no son un algoritmo pedagógico o didáctico, son tan sólo una propuesta de trabajo en el aula, que se ha incorporado y con ello mejorado la metodología en los espacios académicos de la Licenciatura en Física, es así como, en los cursos de Física Recreativa (Primer Semestre), Mecánica Clásica I y II (Segundo y Tercer Semestre respectivamente), Mecánica de Fluidos (Cuarto Semestre), Vibraciones y ondas (Quinto Semestre), Seminario de didáctica I y II (Sexto y Séptimo Semestre respectivamente), Tecnología e informática para la educación (Séptimo semestre) que impartimos los diferentes docentes del grupo, se pretende que los estudiantes al finalizar el curso, consigan el aprendizaje significativo, es decir, tengan la habilidad de interpretar y usar el conocimiento en situaciones no idénticas a aquellas en las que fue inicialmente desarrollado.

### 3 Conclusiones

Aunque las perspectivas de trabajo en el aula, al tratar de integrar el experimento convencional y/o computarizado

con la simulación son buenas, resulta arriesgado predecir en qué dirección se moverá la informática como elemento fundamental en el avance de la ciencia, mientras la investigación en la enseñanza de la Física muestra que los avances tecnológicos no conllevan necesariamente a una mejora en el aprendizaje.

Algunas tecnologías de punta, como la realidad virtual, el modelado en tres dimensiones y el reconocimiento de voz, ya se están implementando y forman parte de la modalidad on – line y de las aplicaciones del uso de las nuevas tecnologías de la comunicación y la información. Creemos que es poco probable que estas tecnologías tengan algún impacto significativo en la educación y en especial en la enseñanza de la Física si no se hace un esfuerzo en los planes y desarrollos curriculares en las áreas de ciencias. Para que las nuevas tecnologías sustentadas en la computación tengan un impacto duradero y significativo en la enseñanza de la Física, por encima de los avances en software educativo, hardware o algoritmos, deberán generarse nuevas concepciones didácticas y pedagógicas acordes con el uso de las mismas.

### Agradecimientos

Agradecemos: A la Facultad de Ciencias y Educación, a la Facultad Tecnológica y al Centro de Investigaciones y Desarrollo Científico de la Universidad Distrital, por el apoyo a los miembros del grupo Física e Informática

### Referencias

1. Hurtado, A, *Experimento y simulación Opciones didácticas en la enseñanza-aprendizaje de la física*, Fondo de publicaciones Universidad Distrital Francisco José de Caldas, p.191-195, Nov. (2006).
2. Hurtado Alejandro et.al, *Aproximación a una propuesta didáctico-experimental que e integre nuevas tecnologías en la enseñanza de las oscilaciones de un sistema masa-resorte*, Rev. Colombiana de Física ISSN 0120-2650, vol. 34-1 pp. 90-94 (2003).
3. Hurtado Alejandro y otros, *La Simulación y experimento como opciones didácticas integradas para la conceptualización en Física*, Rev. Colombiana de Física ISSN 0120-2650, Vol. 38, 2 pp. 749-752, (2006).



## Libro de texto de física para el nuevo programa de formación de médicos latinoamericanos

M. A. Capote, M. A. González<sup>a</sup> y E. Sangüinety<sup>b</sup>

Subdirección Docente, Escuela Latinoamericana de Medicina, Cuba; marco@elacm.sld.cu

a) Departamento de Física, Escuela Latinoamericana de Medicina, (fallecido).

b) Departamento de Física, Escuela Latinoamericana de Medicina; esangui@elacm.sld.cu

†autor para la correspondencia

Recibido el 15/06/2007. Aprobado en versión final el 30/06/2007.

**Sumario.** En el presente trabajo se exponen los objetivos y procedimientos seguidos por un colectivo de profesores de la Escuela Latinoamericana de Medicina, para confeccionar el Libro de Texto de Física para el Nuevo Programa de Formación de Médicos Latinoamericanos. Se explica cómo fueron seleccionados los temas de la Física que tributan a las Ciencias Básicas Médicas y las Ciencias Clínicas. Por último se presentan la estructura del texto y los contenidos por temas, así como algunos recursos didácticos utilizados para introducir contenidos de las Ciencias de la Vida y las Matemáticas que resultaron imprescindibles para facilitar la comprensión y motivación de los estudiantes.

**Abstract.** In this work we explain the objectives followed by a group of professors from the Latinoamerican Medical School to make the physic book to the Latinoamerican Medic New Program Formation.

**Palabras clave.** Libros de texto para no graduados 01.30.mp, métodos de enseñanza 01.40.gb

### 1 Introducción

La enseñanza de la física constituye una herramienta esencial para la comprensión y posible explicación de los cuerpos y fenómenos presentes en la naturaleza. A partir de sus leyes, principios, categorías y conceptos pueden ser estudiados los sistemas y los cambios que se producen en estos, tanto en el micro, macro como en el megamundo.

Los seres vivos no son una excepción en este caso. La física se convierte en una herramienta muy útil para los biólogos, médicos, biofísicos, fisiólogos, anatomistas, etc., porque permite dar respuesta a un conjunto de fenómenos que ocurren en los diferentes organismos vivos.

Para estudiar esta importante ciencia deben utilizarse medios de enseñanza que faciliten la motivación y comprensión de los alumnos. Uno de ellos lo constituye el libro de texto. En Cuba existen antecedentes de libros de Física enfocados hacia las Ciencias de la Vida<sup>1</sup>, ejemplo

de ello el que utilizan los estudiantes de la Escuela Latinoamericana de Medicina<sup>2</sup>, pero no se contaba con uno que respondiera a los objetivos y contenidos del programa de Física aprobado para el curso Premédico del Nuevo Programa de Formación de Médicos Latinoamericanos (NPFML).

Por otra parte resulta muy costoso adquirirlos en el mercado internacional y es difícil que se adapten específicamente al programa antes mencionado.

Son estas las razones por las que los compañeros del Ministerio de Educación de Cuba y los principales dirigentes del Nuevo Programa de Formación de Médicos Latinoamericanos (NPFML), teniendo en cuenta nuestra experiencia en la aplicación de este tipo de programa, nos pidieron confeccionar el Libro de Texto de Física que utilizarían los estudiantes de este proyecto.

Por lo que nos propusimos los siguientes *objetivos*:

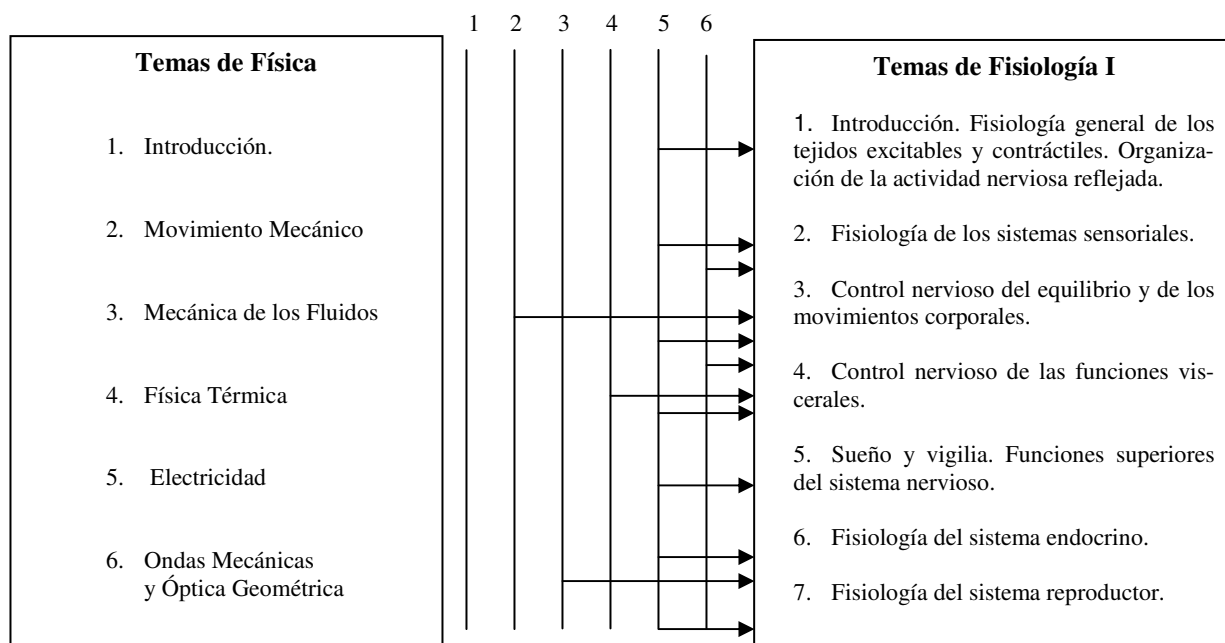
1. Analizar los enlaces lógicos estructurales entre los objetivos, temas y contenidos de la Física y las Ciencias

Básicas Médicas y Clínicas para la selección de los objetivos, capítulos y contenidos del libro.

2. Destacar el enfoque interdisciplinario entre las ciencias física y médica en los diferentes capítulos del

libro.

3. Fundamentar la propuesta a partir de los resultados del proyecto de investigación pedagógica desarrollado por el departamento de física de la ELAM.



**Figura 1.** Esquemas lógicos estructurales entre las asignaturas Física y Fisiología I. Entre los dos recuadros se ilustran las líneas de enlace lógico de los 6 temas de Física y con flechas se señala a los temas de Fisiología I que estos aportan conceptos, leyes, métodos, etc.

## 2 Características del texto

La confección del libro de texto responde al sistema de medios de enseñanza que ha sido concebido, para el logro de un desarrollo didáctico en la asignatura Física del Nuevo Programa de Formación de Médicos Latinoamericanos.

Consideramos importante que para la aplicación de la concepción docente-educativa del programa, el estudiante utilizaría en la clase un libro de texto que le permitiera desarrollarse de forma independiente, pero que a su vez se mantenga orientado hacia el logro de los objetivos propuestos.

Fue intención del colectivo de autores que los alumnos contaran con un texto orientado hacia las Ciencias de la Vida<sup>3</sup>, (Biología, Biofísica, Medicina, etc.) y que permitiera dar cumplimiento a los objetivos instructivos y educativos del proyecto.

El presente libro de Física va dirigido a estudiantes del curso Premédico. Se confeccionó a partir de la experiencia acumulada por el colectivo de profesores del Departamento de Física de la Escuela Latinoamericana de Medicina, al impartir durante ocho cursos esta asignatura y cumple con los requisitos que se nos orientaron.

Los criterios seguidos para elegir los objetivos, capítulos y contenidos básicos a incluir se fundamentaron en el análisis de enlaces lógicos estructurales entre los obje-

tivos, capítulos y contenidos de esta asignatura y las de Ciencias Básicas Médicas y Clínicas que se imparten en la carrera de medicina en Cuba<sup>4</sup>.

Los resultados obtenidos fundamentaron la inclusión de capítulos que ya no presentan gran interés para los físicos, tales como, la óptica geométrica, la mecánica de los fluidos y la acústica, así como, la reducción al mínimo del material histórico y de aquellas áreas de la física contemporánea, tales como la física de altas energías y la astrofísica, que tienen un escaso impacto en las ciencias médicas. En la figura 1, que presentamos a continuación se ilustra cómo se establecieron los enlaces lógicos entre los temas y contenidos de las asignaturas Física y Fisiología I.

De esta manera definimos y calculamos el índice de aseguramiento informativo que brinda la asignatura Física a las ciencias básicas y el índice de utilización de información que reciben las diferentes asignaturas de la carrera de medicina en Cuba<sup>5</sup>. El resultado de este trabajo fue un texto que está estructurado en seis capítulos: *Introducción*, *Movimiento mecánico*, *Mecánica de los fluidos*, *Física térmica*, *Electricidad*, y *Ondas mecánicas y óptica geométrica*. En ellos se abordan los contenidos físicos mínimos necesarios para que los alumnos puedan enfrentar el estudio futuro de las ciencias básicas y clínicas.

En la Tabla I se relacionan los capítulos de libro de texto con los contenidos de cada uno. El libro cuenta

con recuadros médicos en los cuales aparecen muchos ejemplos que vinculan la física con la medicina. Esto contrasta con el empleo habitual de modelos aplicados a perfiles ingenieros<sup>6</sup>. De este modo, problemas de cuerpos rígidos se han tomado para explicar fenómenos y estructuras biomecánicas presentes en el cuerpo humano, los campos eléctricos uniforme, los potenciales y la capacidad eléctrica facilitan el análisis físico que se realiza de las membranas celulares, y leyes como las de Boyle-Mariotte y Dalton se refieren específicamente a fenómenos relacionados con la respiración pulmonar, asimismo, aparece reflejado el aporte que ha hecho la física al diseño y construcción de equipos médicos. Todo ello constituye un cambio en el enfoque tradicional de la asignatura.

Los recuadros médicos se ilustran en el libro a través del símbolo del microscopio. La figura 2 es un ejemplo relacionado con el capítulo 3, “Mecánica de los Fluidos”, y se le presenta un ejemplo al estudiante de la importancia que tiene el concepto gasto para el estudio del sistema circulatorio de los hombres y mujeres.

El uso de las matemáticas se ajusta a los requerimientos del curso y de los estudiantes. El tratamiento de las ecuaciones de la física matemática se hace a partir del conocimiento del álgebra elemental que debe saber un bachiller<sup>7</sup>. Hemos incluido en algunos epígrafes recuadros matemáticos que ayuden a recordar aspectos de esta ciencia y que son de utilidad para comprender los conceptos y leyes tratados en el libro.

Los recuadros matemáticos al igual que los médicos se simbolizan, pero esta vez con un profesor que señala hacia una pizarra con un puntero. En la figura 3 se presenta un ejemplo relacionado con el concepto cifra significativa.

El *aporte* esencial del trabajo que se presenta, está dado por la significación social que representa hoy en día la formación de médicos, con profundos valores humanos, para América Latina y otras regiones del Mundo<sup>8</sup>.

La presencia del Libro de Texto da crédito al desarrollo sostenible del Proyecto Educativo de la asignatura, ahorrando recursos y moneda libremente convertible.

La Editorial Pueblo y Educación hizo todo el proceso editorial de este libro. Fue impreso en la empresa gráfica de Villa Clara “Enrique Núñez Rodríguez” en el mes de diciembre de 2005. La presente edición fue de 4 050 ejemplares. En estos momentos circula por el país una edición de 20 000 ejemplares.

### 3 Conclusiones y recomendaciones

- La confección de este texto se hizo a partir del análisis de los enlaces lógico-estructurales entre los objetivos, capítulos y contenidos la asignatura Física y las Ciencias Básicas y Clínicas de la carrera de medicina en Cuba.

- En el trabajo realizado se tuvo en cuenta el enfoque interdisciplinario de la Física con las Ciencias de la Vida.

- Este trabajo es uno de los resultados más importantes del proyecto de investigación pedagógica del Departamento de Física de la ELAM<sup>9</sup>.

- Los cambios en los contenidos y el desarrollo de la instrumentación en las ciencias son vertiginosos. Por lo que recomendamos que este libro debe ser sometido a un proceso de validación y posterior perfeccionamiento.



En el sistema circulatorio uno de los parámetros más importantes a tener en cuenta es el gasto cardiaco, o sea, qué volumen de sangre es impulsado por el corazón por unidad de tiempo. Del valor del gasto cardiaco depende la adecuada oxigenación de todos los tejidos del organismo.

Veamos ejemplos de gasto cardiaco en diferentes condiciones:

1. Adulto medio (70 kg) descansando: **5 L/min**
2. Adulto medio de pie o caminando suave: **7 L/min**
3. Adulto medio durante ejercicio intenso: **25 L/min**
4. Deportista entrenado en ejercicio intenso: **35 L/min**

**Figura. 2** Ejemplo de recuadro médico en el capítulo 3 del libro de texto.



Al realizar mediciones el valor de la magnitud medida depende de la menor división de la escala del instrumento. Por ejemplo, al medir tiempo con un cronómetro si la escala del instrumento aprecia sólo hasta las décimas de segundo, como en el ejemplo anterior, los valores deben reportarse en las tablas que se elaboren de la forma siguiente: 11.2 s; 11,5 s; 11,0 s etc.

Al conjunto de Cifras exactas más la dudosa del siguiente orden (entero o decimal), se les llama: “Cifra significativa”.

**Figura 3.** Ejemplo de recuadro matemático relacionado con el concepto cifra significativa

### Agradecimientos

A la MSc. Silvia Nancy Álvarez Cárdenas por dedicar parte de su tiempo a la revisión de este trabajo. Al MSc. Miguel Ángel Alfonso González por haber sido el promotor principal de este trabajo. A los profesores del Departamento de Física de la Escuela Latinoamericana de Medicina.

**Tabla I**



Relación de los capítulos y los contenidos del libro de texto de física del Nuevo Programa de Formación de Médicos Latinoamericanos	
CAPÍTULO	CONTENIDOS
1. Introducción	La ciencia y sus métodos.
	La física. Problemas actuales, relación con la medicina.
	Magnitudes físicas y sus mediciones.
2. Movimiento mecánico	Conceptos básicos de la cinemática.
	Movimiento rectilíneo uniforme. Representación gráfica.
	Movimiento rectilíneo uniformemente variado. Representación gráfica.
	Caída vertical de los cuerpos.
	Leyes del movimiento.
	Tipos de fuerzas.
	Momento de una fuerza.
	Trabajo mecánico.
	Energía. Energía mecánica.
	Ley de conservación de la energía mecánica.
	Potencia y eficiencia.
3. Mecánica de los fluidos	Presión y densidad.
	Fluidos en reposo.
	Fluidos en movimientos estacionarios. Principio de conservación de la masa. Ecuación de continuidad.
	Presión en un fluido ideal en movimiento. Ecuación de Bernoulli.
	Viscosidad. Fluidos reales.
4. Física térmica	Presión en un fluido real en movimiento. Ecuación de Poiseuille.
	Temperatura. Escalas termométricas.
	Calor. Formas de transferencia de calor.
	Fase. Equilibrio de fase. Cambios de fase.
	Interacción de los átomos y las moléculas.
	Difusión.
5. Electricidad	Leyes de los gases.
	Ley de Dalton.
	Carga eléctrica. Ley de conservación de la carga eléctrica.
	Ley de Coulomb.
	Campo eléctrico. Intensidad del campo eléctrico. Fuerza eléctrica. Principio de superposición.
	Energía potencial eléctrica. Potencial eléctrico. Diferencia de potencial.
	Dipolo eléctrico. Momento dipolar. Superficies equipotenciales.
Condensadores. Tipos de condensadores.	

6. Ondas mecánicas y óptica geométrica	Ondas mecánicas. Movimiento Ondulatorio.
	Sonido. Generalidades.
	El oído y su respuesta. Volumen del sonido.
	Ultra e infrasonido.
	Naturaleza de la luz.
	Reflexión de la luz.
	Refracción de la luz.
	Ángulo crítico y reflexión total interna.
	Dispersión y prismas.
	Lentes.
	El ojo humano como sistema óptico.
	Trastornos por refracción del ojo humano.
	Apreciación del color.

## Referencias

1. J Kane, y, M Sternheim., Física, 2da Ed, Editorial Reverté, S. A. España (1998).
2. M Alfonso. y coautores, *Física. Curso Premédico*. Editorial Pueblo y Educación, Cuba (2005).
3. A. González, El tránsito desde la Ciencia básica a la Tecnología: la Biología como modelo, *Revista Iberoamericana de Educación*, N° 18, 91-106 (1998).
4. J. C. Torres, Indicadores cuantitativos de los enlaces lógicos entre las asignaturas Física y Fisiología I y II. Trabajo presentado en el Primer Taller Científico Pedagógico de la ELAM (2003).
5. J. C. Torres, Utilización de los contenidos de Física en los temas y clases de las asignaturas Fisiología I y II en la carrera de medicina, XVI Forum de Ciencia y Técnica de la ELAM (2003).
6. S. MacDonald, y D. M. Burns, Física para las ciencias de vida y de la salud; Fondo Educativo Interamericano, Caracas, Venezuela (2002).
7. MINED, Física Octavo grado, Programa. Pueblo y Educación, La Habana. Cuba, (1990).
8. M. Castilla y coautores, Programas Curso Premédico, ELAM, La Habana, Cuba (2005).
9. J. C. Torres y coautores, Proyecto de Investigación Pedagógico, ELAM, La Habana, Cuba (2004).



## Detectores y medidas de radiación en el laboratorio docente de energías renovables

V. Tricio†<sup>a</sup> y L. Rodríguez<sup>b</sup>

a) Departamento de Física, Facultad de Ciencias, Universidad de Burgos, España;  
vtricio@ubu.es

b) Departamento de Física, Escuela Politécnica Superior, Universidad de Burgos, España;  
lrcano@ubu.es

†autor para la correspondencia

Recibido el 1/06/2007. Aprobado en versión final el 15/06/2007.

**Sumario.** Los actuales estudios universitarios incorporan en el primer ciclo asignaturas optativas que incluyen prácticas de laboratorio. Para estas asignaturas, diferentes a una Física General, se pueden hacer los laboratorios de manera alternativa a la tradicional. Éste es el caso de la asignatura optativa *Energías Renovables*, dentro de los currícula docentes de Ingeniería y de Ciencias, para la que hemos diseñado varias experiencias. Destacamos una nueva experiencia, “*Detectores de radiación y medidas*”, para realizar tanto en el laboratorio como en el aula. En dicha experiencia, los alumnos utilizan algunos instrumentos de uso común en las medidas de radiación solar, conocen unidades y magnitudes de uso habitual en óptica y aprenden a manejar datos diarios de radiación solar global de una estación meteorológica para que los analicen e interpreten.

**Abstract.** The high education studies incorporate at the moment in the first cycle optative subjects that include laboratory practices. For these subjects, different from General Physics, the laboratories can be done of alternative way to the traditional one. In curricula educational of Engineering and Sciences, Renewable Energies is an optative subject, reason why we have designed and prepared the experience, “Radiation indicators and measures”, that can be made so much in the laboratory as in the classroom. In this experience, the students use some instruments of use common in the measures of solar radiation, they know units and magnitudes habitual use in optics and learn to handle daily data of global solar radiation of a weather station so that they analyze them and they interpret.

**Palabras clave.** Laboratorio docente 01.30L, Experimentos y aparatos 01.50.Pa, Unidades 06.20fa

### 1 Introducción

Hasta hace pocos años, el Laboratorio de Física en los estudios de primer ciclo universitario incluía experimentos preparados, que fundamentalmente estaban destinados a comprobar los casos sencillos de comportamiento de las leyes físicas que se enseñaban en las áreas temáticas de mecánica, termodinámica, óptica y electromagnetismo, se concebía por tanto las prácticas de laboratorio de Física como tradicionalmente es una asignatura de Física General. Sin embargo las asignaturas de Física que se ofertan en los planes de estudio actuales disponen de una mayor flexibilidad, sobre todo cuando se trata de

asignaturas optativas para las titulaciones. En algunas titulaciones de los planes de estudio vigentes actualmente el Laboratorio de Física en los estudios de primer ciclo universitario forma parte de asignaturas optativas, distintas a una asignatura troncal de Física y también distintas a las asignaturas de Física de los planes de estudio anteriores al año 2000.

Eso permite diseñar los laboratorios de manera alternativa o complementaria a la tradicional; éste es el caso del Laboratorio de la asignatura Energías Renovables, que el Departamento de Física viene impartiendo en diversas titulaciones de Ingeniería y de Ciencias de la Universidad de Burgos.

La asignatura *Energías Renovables* está actualmente incorporada como optativa a los currícula docentes del primer ciclo de las titulaciones de Ingeniería Técnica de Obras Públicas (Construcciones Civiles, Transportes y Servicios Urbanos), Ingeniería Técnica Industrial (Electrónica Industrial, Mecánica), Ingeniería en Organización Industrial y en una Licenciatura (Licenciado en Química). Y son numerosos los alumnos que un año tras otro la eligen.

Para dicha asignatura habíamos preparado hace siete años (año 2000) un programa docente “como aparece en la ref.[1]” destinado inicialmente a la formación de ingenieros y arquitectos en el campo de las energías renovables, que se ha ido desarrollando en estos últimos años e incorporando contenidos específicos de interés para cada una de las titulaciones, citadas en el párrafo anterior, a las que va dirigida la asignatura. Para el cumplimiento de los créditos prácticos también se habían concebido<sup>1,2</sup> una serie de experiencias de laboratorio que, en la medida de lo posible, cubrían los aspectos más notables de aquellas energías renovables susceptibles de ser tratadas en un laboratorio de física.

## 2 El laboratorio docente de energías renovables

De entre las experiencias de laboratorio que se propusieron destinadas inicialmente a la formación de ingenieros y arquitectos<sup>1</sup>; la Tabla I muestra el título genérico que las identificaba.

<b>Tabla I</b> Selección de prácticas docentes, año 2000
<p><b>*Prácticas Programadas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>*Preparación de superficies para absorción solar</li> <li>*Análisis de un colector plano</li> <li>*Propiedades ópticas de superficies selectivas</li> <li>*Características de un aerogenerador</li> <li>*Estudio de un sistema pasivo</li> <li>*Características de un generador fotovoltaico</li> <li>*Diseño de un concentrador solar</li> <li>*Motor térmico con energía solar</li> </ul>
<i>Año 2000</i>

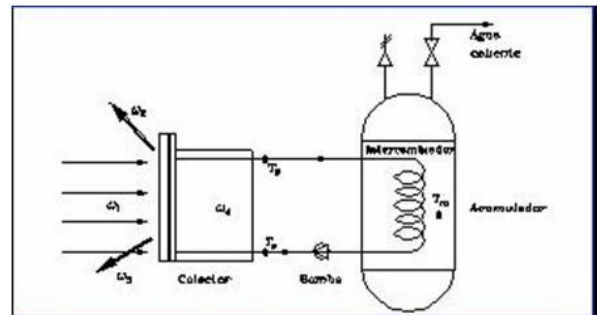
En los años posteriores al 2000 el Laboratorio docente de Energías Renovables (LER) ha ampliado los espacios destinados a los alumnos y también su oferta de prácticas de laboratorio. En Fig. 1 se muestra una vista parcial del Laboratorio que el Departamento de Física tiene en uno de los edificios de la Escuela Politécnica Superior (EPS). Cerca de veinte montajes experimentales se tienen hoy preparados; con ellos los estudiantes que eligen la asignatura optativa de *Energías Renovables* pueden realizar varias experiencias seleccionadas por el profesor para completar los créditos prácticos de la asignatura.

Las prácticas de laboratorio pretenden cubrir los aspectos (<http://www2.ubu.es/fisica/docencia.shtml>) más relevantes de la asignatura, es decir los contenidos de los bloques principales de la propuesta docente prevista.

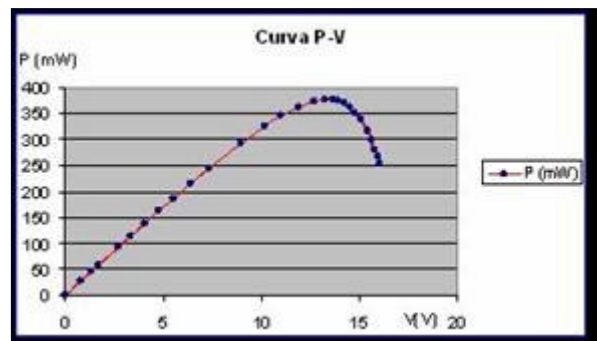
Fomentan la destreza del alumno en el manejo de instrumentación científico – técnica, la comprensión de los fenómenos involucrados, la interpretación de resultados; así como el trabajo en grupos reducidos. La realización de las prácticas es una actividad obligatoria. Con ellas se pretende que el alumno pueda realizar medidas experimentales en el laboratorio y que tenga conocimiento de la instrumentación básica necesaria para la comprensión de la asignatura. Cada alumno experimenta con diversos sistemas de energía renovables (eólica, fotovoltaica, fototérmica...).



**Figura 1.** Vista parcial laboratorio docente de ER.



**Figura 2.** Esquema de un montaje para estudios de colectores planos.



**Figura 3.** Curva característica del panel fotovoltaico de estudio.

**Medidas de radiación en las prácticas preparadas.** Una gran mayoría de las experiencias precisa del uso de fuentes de iluminación sustitutivas de la fuente solar y que se comportan, para las necesidades de las experiencias realizadas, adecuadamente bien como simulador solar. En Tabla II muestra los títulos de una selección de las experiencias que necesitan el uso de fuentes de simulación solar y medidas de radiación, al menos en alguna de las fases del desarrollo de la experiencia. En el curso académico 2005-2006 las pudieron realizar los alumnos matriculados en el primer ciclo de las Titulaciones de Obras Públicas y de Licenciado en Química.

En varias de las experiencias de la Tabla II la medida de la radiación es imprescindible para obtener alguno de los resultados analíticos parciales o finales del experimento. Este es el caso de las siguientes, en las que, esquemáticamente, se han incluido cuatro apartados que tienen relación con ello.

### Casita con muro Trombe

**Resumen:** Una maqueta de una vivienda unifamiliar construida a escala, que incorpora un muro Trombe en su pared sur, sirve para analizar los sistemas pasivos de calentamiento y refrigeración solar.

**Objetivo:** la medida de la radiación sí es objetivo específico

**Manipulación:** Como simulador se emplea una lámpara halógena y se determina la irradiancia sobre la vivienda mediante un piranómetro. Se determinan las curvas de calentamiento y enfriamiento del interior del habitáculo, a distintos valores de los parámetros influyentes de radiación incidente sobre la cara sur.

**Material:** Lámparas halógenas (500W y 1.000W). Piranómetro portátil de lectura digital.

### Estudio de módulos fotovoltaicos I

**Resumen:** Un panel fotovoltaico constituido por dos pequeños módulos de 18V cada uno, es el elemento básico para estudios de conversión directa de energía solar en eléctrica.

**Objetivo:** la medida de la radiación incidente sí es objetivo específico.

**Manipulación:** Se trata de iluminar la superficie con radiación adecuada, por ejemplo una lámpara halógena y determinar la irradiancia mediante un piranómetro que incide sobre el panel fotovoltaico. Se determinan las propiedades características del panel, y se analizan los resultados para distintos valores de los parámetros influyentes de radiación incidente sobre la cara sur y cuando sus módulos están conectados en serie, en paralelo, o en serie-paralelo.

**Materiales:** Lámpara halógena (500W). Piranómetro portátil de lectura digital.

### Colector plano

**Resumen:** El colector plano es el dispositivo básico en la calefacción de edificios y en la producción de agua caliente sanitaria y para el desarrollo de esta práctica se construyó un colector solar plano a escala reducida en el que la superficie captadora es intercambiable. La Fig. 2 muestra un esquema del montaje preparado para estudiar

un sistema solar plano y analizar el comportamiento del colector y del sistema conjunto en varias experiencias.

**Objetivo:** la medida de la radiación incidente sí es objetivo específico. Medir la energía reflejada por la superficie puede ser objetivo.

**Manipulación:** Como simulador se emplea una lámpara halógena y se determina la irradiancia  $I_m$  sobre el colector mediante un piranómetro. Se obtendrán el rendimiento instantáneo  $\eta$  y la recta característica utilizando el valor de esa medida, de acuerdo a la ecuación (1). El sistema de almacenamiento de agua con intercambiador de calor permite determinar la eficiencia del intercambiador y del sistema conjunto.

$$\eta = \frac{G_C C_P (T_s - T_e)}{I_m} = F_R \alpha \tau - \frac{F_R U_C (T_e - T_a)}{I_m} \quad (1)$$

**Material:** superficies captadoras (negra y selectiva). Lámpara halógena (500W). Piranómetro.



Figura 4. Experiencia con célula electrolítica solar.

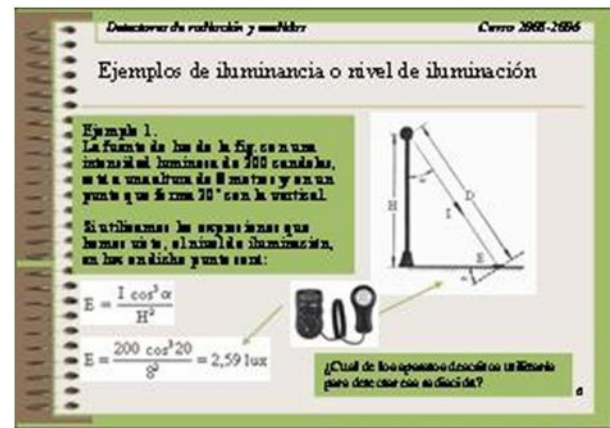


Figura 5. Una diapositiva del Pre-Lab.

### Estudio de un generador solar fotovoltaico

**Resumen:** Un panel fotovoltaico se utiliza como generador solar; se analiza su comportamiento y se compara con respecto a las indicaciones dadas por el fabricante.

**Objetivo:** la medida de la radiación incidente sí es objetivo específico.

**Manipulación:** Se determinan las curvas características de un panel fotovoltaico para distintas condiciones de irradiancia, para lo que se precisa realizar la medición de la radiación que incide sobre el panel fotovoltaico. En la Fig. 3 se muestra una de estas curvas. En la determinación de la eficiencia de conversión energética es preciso conocer el valor de la potencia de radiación incidente.

**Material:** Lámpara halógena (1000W). Piranómetro portátil de lectura digital.

### **Estudio de una celda electrolítica solar**

**Resumen:** La utilización de una celda solar como fuente de energía productora de electricidad, es de utilidad inmediata, por ejemplo, en un proceso electrolítico para producción de hidrógeno con aplicaciones docentes.

**Objetivo:** la medida de la radiación incidente sí es objetivo específico.

**Manipulación:** La Fig. 4 muestra una fotografía del montaje experimental en el que el hidrógeno producido actúa como vector energético. Se determina la intensidad de corriente eléctrica para diferentes condiciones de iluminación del panel, a partir de la que se producirán diferentes volúmenes de hidrógeno.

**Material:** Lámpara halógena (500W). Luxómetro

## **3 Experiencia práctica. Detectores de radiación y medidas**

La relación de experiencias en el apartado anterior tiene en común que se necesita calcular la radiación. En el contacto con los estudiantes durante la realización de las prácticas, hemos detectado que para ellos, tanto la fuente, y la medición, como el aparato de medida los emplean sólo como meros vehículos para cumplir con los objetivos señalados, los usan sin más, es decir, de manera rutinaria e irreflexiva. Así que nos propusimos la tarea de diseñar y preparar una nueva experiencia para realizar tanto en el laboratorio como en el aula con el propósito inicial de que los alumnos “interiorizaran” la importancia de estos elementos y de las mediciones realizadas en el Laboratorio de Energías Renovables.

### **Descripción de la experiencia**

**Motivación:** Sin embargo, las medidas de radiación, en sí mismas, son muy importantes no sólo para los alumnos de la licenciatura en Química sino también para los de Ingeniería. Efectivamente en los objetivos marcados para la asignatura está indicado (ver <http://www2.ubu.es/fisica/docencia.shtml>) que el alumno de la asignatura *Energías Renovables* conozca y aplique los “métodos de medida”. Por lo tanto está justificado que la experiencia se oriente a la formación de todos los estudiantes.

**Resumen:** Se utilizan distintas fuentes luminosas y se emplean distintos instrumentos de medida, para describir sus características y fundamentos físicos y poder compararlas. Para cada pareja fuente-detector se realizan mediciones de la radiación en distintas condiciones experimentales. Los resultados obtenidos para las distintas medidas se analizan con respecto a los parámetros influyen-

tes, tanto geométricos como físicos.

<b>Tabla II</b>				
Selección de prácticas docentes, año 2006				
<i>Prácticas Preparadas</i>				
Título genérico	Experiencias prácticas	Fuente de iluminación		Medidas radiación
			Tipo lámpara	
	método			
Conversión fototérmica. Colectores planos	Recta característica. Calentamiento de un líquido. Análisis del colector. Rendimiento.	si	halógena	si
Conversión fototérmica. Sistemas pasivos	Casa con muro Trombe. Calentamiento y refrigeración solar.	si	halógena	si
Conversión directa energía solar en eléctrica	Estudio de una celda solar. Estudio de una celda electrolítica solar. Producción de hidrógeno	si		si
Diseños de sistemas	Análisis y diseño de sistemas fotovoltaicos			históricos
Sistemas de concentración solar	Concentrador parabólico	si		opcional
Motor térmico con ES	Motor Stirling	si	halógena	opcional

**Objetivo:** la medida de la radiación incidente sí es objetivo específico.

**Fases:** Pre-lab previo. Una explicación introductoria sobre la radiación y espectro electromagnético y algunas fuentes de radiación, centrada en los conceptos, magnitudes y unidades utilizadas en ER se les ofrece a los estudiantes (puede ser en el aula o en el laboratorio antes de iniciar la experiencia. La Fig. 5 muestra una de las diapositivas del Pre-lab elaborado. Posteriormente se hacen las mediciones en el laboratorio.

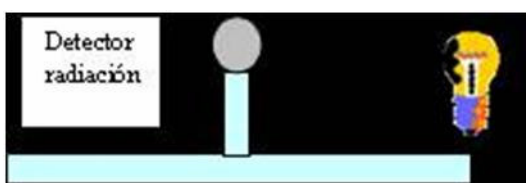
**Manipulación en el laboratorio:** Se determinan las magnitudes y unidades más destacadas de las fuentes y los detectores. Se hacen las mediciones de la experiencia (Fig. 6) con distintas fuentes y detectores y en distintas

condiciones geométricas. Se determinan y comparan las medidas obtenidas.

*Método:* La realización de la práctica se separa en varias partes:

1. Reconocimiento de los detectores y de las magnitudes características leídas
2. Determinación de la radiación
3. Determinación de las relaciones entre las magnitudes y unidades
4. Comprobación de la ley fotométrica de la distancia
5. Comparación con valores obtenidos a partir de otras fuentes (solar, iluminarias...)

*Material:* Diversas fuentes de radiación luminosa (Lámpara halógena 500W, lámparas incandescentes de 25, 40 y 100W, 1 lámpara fluorescente, fuente solar). Diversos aparatos de medida (fluxómetro, piranómetro, termopila de Moll, luxómetro).



**Figura 6.** Esquema del montaje experimental.

## 4 Conclusiones

Una experiencia en la que los detectores de radiación sean los elementos principales, puede cubrir la doble función de ampliar la oferta de formación experimental y atender al interés general de la formación de los alumnos

de la asignatura *Energías Renovables*. Es decir, se trata de ayudar y orientar a los alumnos en un aprendizaje para resolver tareas relacionadas con sus competencias específicas.

En esta práctica, con el título “*Detectores de radiación y medidas*”, los alumnos utilizan algunos instrumentos de uso común en las mediciones y aplicaciones de la radiación solar y conocen unidades y magnitudes de uso habitual en óptica; que cada vez más los van a necesitar en su vida profesional.

Otras posibilidades añadidas son que también aprenden a manejar datos que se les proporcionan -no medidos por ellos- con el objetivo de que los analicen e interpreten, como sucede con los datos diarios de radiación solar global y velocidad de viento de una estación meteorológica o con los datos de “clima” que se seleccionan en una práctica de simulación por ordenador de las incluidas en la Tabla II.

## Referencias

1. Luis R. Rodríguez Cano y Verónica Tricio Gómez. *Las energías renovables en la Ingeniería*. Actas II Taller Iberoamericano de Enseñanza de la Física Universitaria. Volumen II. Coordinadores: O. Calzadilla, C. Carreras, J. P. Sánchez, V. Tricio, M. Yuste. ISBN 84-362-4805-8, (UNED, 2002), pp. 703-709
2. L. Rodríguez Cano, V. Tricio Gómez. *Recursos Energéticos y Energías Renovables en estudios de ingeniería*. Energías renovables y desarrollo sostenible. Editores: A.López, E. López, F. Casares, R. López. ISBN 84-7801-636-8, (Universidad de Córdoba, 2002), pp. 1288-1294.



## Las animaciones interactivas y el laboratorio de física

A. González Arias† y J.I. Iñiguez<sup>a</sup>

Dpto. Física Aplicada, Universidad de La Habana, Cuba; arnaldo@fisica.uh.cu

a) Dpto. de Física Aplicada, Universidad de Salamanca 37071, España; nacho@usal.es

†autor para la correspondencia

Recibido el 1/06/2006. Aprobado en versión final el 1/12/2006.

**Sumario.** En un trabajo previo se analizó el papel que podrían representar las animaciones interactivas en la secuencia comprensión-memorización-apropiación de un determinado objeto de estudio. A continuación se presentan varias animaciones no relacionadas a aspectos conceptuales, sino a la preparación previa de las prácticas de laboratorio. Se concluye que es posible elaborar animaciones simples, que sirvan de material auxiliar para la preparación previa de las prácticas, utilizando programas comerciales que no requieren del dominio de lenguajes de programación. El motor de las animaciones, de formato .swf, está incorporado en cualquier navegador de la red. Este formato es también compatible con las versiones más recientes de Power Point.

**Abstract.** In a previous paper we analyzed the role that interactive animations might play in the comprehension - memorization - appropriation sequence of a given study item. In the following, we present several animations not related to theoretical aspects, but to the previous preparation of laboratory exercises. We concluded that it is possible to develop simple animations, as an auxiliary teaching material, using commercial software without need of mastering any programming language. The animation motor of the .swf animations is incorporated in any web navigator. This format is also compatible with the more recent versions of Power Point.

**Palabras clave.** Audio and visual aids, educational, 01.50.F-; computers laboratory use 01.50.Lc

### 1 Introducción

En un trabajo presentado previamente en la Reunión Internacional sobre la Enseñanza de la Física y la Especialización de Profesores<sup>1</sup> se mostraron ejemplos de animaciones en formato .swf aplicadas a la enseñanza, desarrolladas utilizando un programa comercial del sitio <http://www.swishzone.com><sup>2</sup>. Este programa no requiere del conocimiento adicional de lenguajes de programación como Java, C++ o Visual Basic y posee muchas instrucciones pre-establecidas para facilitar el diseño de la animación. Quizás la mayor ventaja del formato .swf es que permite reducir el tamaño y ganar en rapidez de descarga, pues utiliza como motor de animación el Macromedia Flash, usualmente integrado al Internet Explorer o a cualquier otro navegador, y no requiere de programas

secundarios para ser visualizado. Una ventaja adicional es que las animaciones se pueden incrustar directamente en las versiones más recientes de Power Point.

Para incrustar las animaciones active: *ver / barras de herramientas / cuadro de controles / más controles / Shockwave Flash Object /*. Arrastre la cruz que aparece hasta dibujar un cuadrado. Párese sobre el cuadrado y ejecute */mouse derecho / propiedades* y añada el nombre del archivo .swf en *movie*. La animación aparece después de oprimir por primera vez el botón que muestra la presentación. Si se escoge "true" en "embed movie" el archivo .swf se incorpora a la presentación. También deben estar activadas las instrucciones "playing" y "loop". Se puede redimensionar la animación después de colocada.

En el mencionado trabajo se trató de analizar el papel que podrían representar las animaciones interactivas en

la secuencia comprensión / memorización / apropiación de un determinado objeto de estudio, sobre la base de la teoría del aprendizaje de Gagné<sup>3</sup>. Se llegó a la conclusión de que las animaciones interactivas eran simplemente una herramienta más en manos del profesor para facilitar el recorrido de la secuencia de Gagné, sin que existiera fundamento alguno en la literatura que justificara considerarlas como preponderantes en el proceso de aprendizaje, y mucho menos como sustitutos totales o siquiera parciales de otros medios educativos. Sin embargo, también se concluyó de que pueden resultar de gran valor para ayudar a transformar al estudiante de física universitaria en el autodidacta en que debe llegar a convertirse todo profesional competente, y que su utilidad parece ser mayor durante lo que hemos denominado “etapa de comprensión de Gagné”; (motivación, comprensión y adquisición del conocimiento).

Las animaciones mostradas estaban dedicadas a esclarecer aspectos teóricos-conceptuales controvertidos o complejos, y estaban orientadas hacia estudiantes que comienzan el estudio de la Mecánica en diversas especialidades de Ciencias de la Vida y de la Tierra. Se decidió hacer énfasis en estos aspectos porque el estudiante promedio de estas carreras usualmente no presenta un interés marcado por la asignatura, la mayor parte de las veces porque le resulta difícil -por no decir imposible- establecer una relación entre los ejemplos mecánicos sencillos y las posibles aplicaciones a las asignaturas específicas de su especialidad. A veces descubrir esta relación resulta difícil incluso para el profesor que no posee -ni tiene por qué poseer- todos los conocimientos necesarios. Por ejemplo, en Mecánica se introduce el concepto de energía, que después se utilizará para estudiar las leyes de la Termodinámica -otra asignatura- de donde se derivará la energía libre parcial molar que finalmente tendrá una aplicación más directa en Química Física al introducirse los potenciales químicos y todas sus posibles aplicaciones químicas y bioquímicas.

En lo que sigue se muestran algunas animaciones no relacionadas a aspectos teórico-conceptuales de la asignatura, sino a la preparación previa indispensable de algunos ejercicios prácticos del laboratorio de Mecánica.

## 2 Animaciones interactivas en el laboratorio

Durante muchos años el método de trabajo en los laboratorios de servicio externo de la Facultad de Física ha contemplado la preparación previa de la práctica mediante el estudio del fundamento teórico, instrumentación a utilizar, técnicas operatorias y normas elementales de seguridad. El estudiante debe demostrar su conocimiento previo mediante una evaluación inicial al comienzo de la actividad, que puede ser oral o escrita, y que forma parte de la evaluación final de la misma. Acorde a lo expresado en la introducción, y -siguiendo la clasificación de Gagné- con el fin de coadyuvar en la motivación, comprensión y adquisición del conocimiento

durante la preparación previa, se crearon varias animaciones relacionadas a éstas prácticas.

Se trató en todo momento de seguir criterios muy bien establecidos en el campo de la redacción, muchos de ellos sin duda también aplicables a la elaboración de presentaciones animadas. Según Vivaldi,<sup>4</sup> la escritura científica se caracteriza por ser *breve, clara y sencilla, concisa*.

- *Breve* significa que se debe decir sólo lo necesario.
- No añadir información superflua.
- *Clara y sencilla* que es necesario huir de lo enrevesado, de lo complicado, de lo rebuscado.
- *Concisa* que hay que usar solamente las palabras indispensables para expresar una idea, y quitar todo lo que sobre.

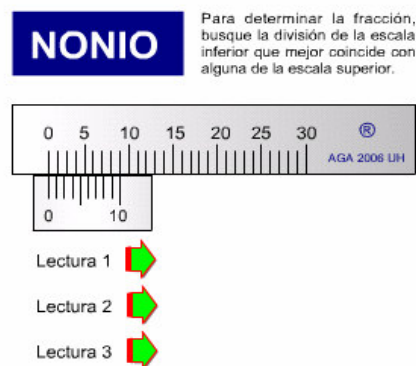


Figura 1. Animación del nonio. Vista inicial.

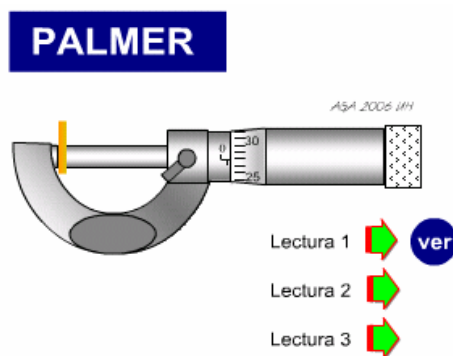


Figura 2. Animación del Palmer.

En la figuras 1 y 2 se muestran dos de esas animaciones, creadas para ilustrar la lectura correcta del Nonio y del Palmer. Al seleccionar una lectura del Palmer, el mango retrocede junto con el vástago y la escala gira en consonancia hasta alcanzar un determinado valor, que después es posible comprobar oprimiendo el botón correspondiente. En el Nonio la regla móvil se desliza hasta alcanzar la lectura deseada, que también es posible comprobar en forma similar.

En ambos casos sería muy sencillo añadir muchas más lecturas, pero tres diferentes parecen suficientes para ejemplificar el uso del instrumento sin violar el criterio de brevedad. -El uso del instrumento se aprenderá realmente en el laboratorio, no en la animación-. Por similar



razón no se ha añadido, por ej., un Pie de Rey al nonio. El consumo de memoria de almacenamiento es prácticamente nulo: 8 y 29 kilobytes respectivamente. Estas animaciones se han comenzado a utilizar recientemente, por lo que no ha sido posible evaluar su efectividad como material auxiliar para la preparación de las prácticas.

### 3 Conclusiones

Es posible elaborar animaciones simples en formato

.swf, que ilustren aspectos esenciales de determinadas prácticas de laboratorio y sirvan de material auxiliar para su preparación previa, utilizando programas comerciales que no necesitan del conocimiento adicional de lenguajes de programación. El motor de animación está incorporado en cualquier navegador de la red y el consumo de memoria de almacenamiento es prácticamente nulo. Adicionalmente, este formato es compatible con las versiones más recientes de Power Point.

### Referencias

---

1. A. González Arias, Las Animaciones Interactivas y el Aprendizaje de la Física en el Nivel Universitario, RIEFEP, Nov. 2005, Matanzas, Cuba, ISBN-959-16-0362-2 (2005)
2. David Michie, Hung-HSin-Chang, Roger Onslow, Gus Nalwan, Cameron Browne; SWiSH max de la SWiSHzone.com Pty Ltd, 2004-09-10
3. Gagné R., Las condiciones del aprendizaje, Ed. Aguilar, Madrid, (1970)
4. G. Martín Vivaldi Curso de Redacción, Ed. Paraninfo, Madrid, (1969)



## La cámara digital en un experimento casero: determinación de la viscosidad del aceite

C. Carreras, M. Yuste y J.P. Sánchez

Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED), España;  
ccarreras@ccia.uned.es

Recibido el 20/07/2007. Aprobado en versión final el 15/09/2007.

**Sumario.** Se propone la utilización de una cámara digital en un experimento casero para determinar la viscosidad del aceite. La utilización de la fotografía digital y de los programas de ordenador adecuados permite estudiar el movimiento de una gota de agua en el interior del aceite con gran precisión, lo que conduce al conocimiento de la viscosidad de éste último.

**Abstract.** We suggest the use of digital camera to determine oil viscosity in a low cost experiment. The digital picture of the movement of a water drop into olive oil is analyzed by computer in order to determine water drop velocity and oil viscosity.

**Palabras clave.** Uso de la computadora en el laboratorio 01.50.Lc, Viscosidad de líquidos 66.20.+d, Física General 01.55.+b.

### 1 Introducción

En los problemas de hidrodinámica que se plantean en los cursos de bachillerato e, incluso, en el primer año de universidad los líquidos son tratados como ideales: incompresibles, sin viscosidad y sin tensión superficial. Sin embargo, nos parece que es muy interesante presentar los fenómenos relacionados con estas magnitudes desde las primeras etapas del aprendizaje. Al hacerlo surgen dificultades experimentales y teóricas, algunas de las cuales pueden ser solucionadas con el empleo de la fotografía digital y el análisis de las figuras obtenidas con el ordenador, como ya ha sido realizado con éxito por otros autores<sup>1,2</sup>. En lo que sigue, vamos a describir un experimento clásico de viscosidad en el que se pueden utilizar estas técnicas.

### 2 La viscosidad de los fluidos

La experiencia cotidiana nos enseña que unos líquidos fluyen mejor que otros. Esta diferencia en el fluir tiene

que ver con la viscosidad  $\eta$ , que es la resistencia que encuentran las moléculas de un fluido al moverse en su seno y que varía con las diferentes condiciones físicas a que está sometido (temperatura, presión,...). En el caso del aire, por ejemplo, la viscosidad fue estudiada experimentalmente nada menos que por Maxwell, y el propio Millikan la utilizó en su famoso experimento de la gota de aceite con el que determinó la carga elemental del electrón.

En el laboratorio de estudiantes se suele realizar un experimento ideado por Stokes para determinar la viscosidad de los líquidos. Consiste en analizar el movimiento de una esfera de acero en su seno cuando cae debido a la fuerza de la gravedad. Según la teoría, si el cuerpo desciende a una velocidad  $v$  experimenta una fuerza de frenado,  $F_\eta$ , debida a la viscosidad, que viene dada por la siguiente expresión:

$$F_\eta = 6\pi\eta rv$$

donde  $r$  es el radio de la esfera. Este experimento se suele hacer con glicerina debido a que este líquido tiene una viscosidad considerable, lo que hace que el movi-

miento de la bola de acero sea suficientemente lento para poder determinar su velocidad, que está relacionada directamente con la viscosidad.

Para simplificar el razonamiento vamos a suponer que la esfera ejecuta un movimiento vertical, por lo que utilizaremos en su descripción solamente la coordenada  $z$  con el origen en el fondo del recipiente que contiene el fluido (ver Figura 1).

Cuando la esfera está sumergida en el líquido, sobre ella actúan las siguientes fuerzas: el empuje de Arquímedes  $m_b g$  hacia arriba, su peso  $m_b g$  hacia abajo y, si se mueve a la velocidad  $v = dz/dt$  (hacia arriba o hacia abajo), la fuerza de rozamiento viscoso, que se opone a su avance. La segunda ley de Newton permite establecer la ecuación diferencial que regula su movimiento:

$$m_b \frac{d^2 z}{dt^2} = -m_b g + m_b g - 6\pi\eta r \frac{dz}{dt}$$

donde  $m$  es la masa de fluido desalojado por la esfera y  $g$  la aceleración de la gravedad. Esta ecuación es fácil de resolver y su solución es:

$$z(t) = h + \beta(1 - e^{-\alpha t}) \quad ; \quad v(t) = -\alpha\beta(1 - e^{-\alpha t})$$

donde  $h$  es la altura a la que se encuentra la esfera en reposo en el instante inicial. Los parámetros  $\alpha$  y  $\beta$  que aparecen en la solución se definen de la siguiente manera:

$$\alpha = \frac{9\eta}{2r^2\rho_b} \quad ; \quad \beta = \left(1 - \frac{\rho}{\rho_b}\right) \frac{g}{\alpha^2}$$

donde  $\rho$  y  $\rho_b$  son las densidades del líquido y de la esfera, respectivamente.

El parámetro  $\beta$ , que es positivo cuando la densidad del líquido es menor que la de la esfera y negativo en caso contrario, define el sentido del movimiento. El parámetro  $\alpha$ , que es proporcional a la viscosidad del líquido e inversamente proporcional al cuadrado del radio de la esfera, gobierna el régimen del movimiento: si es muy pequeño (líquido poco viscoso o esfera de radio muy grande) la velocidad varía fuertemente con el tiempo; si es muy grande (líquido muy viscoso o esfera de pequeño radio) el término exponencial decrece rápidamente y el movimiento es prácticamente uniforme, siendo su velocidad casi constante:  $v = -\alpha\beta$ . La medida de la velocidad  $v$  permite determinar la viscosidad  $\eta$  del fluido:

$$\eta = -\frac{2}{9} \left(1 - \frac{\rho}{\rho_b}\right) \frac{g\rho_b r^2}{v} \quad (1)$$

El experimento de Stokes se puede realizar en casa con el siguiente material:

- Una botella de aceite de oliva de un litro, con las paredes planas, lisas y transparentes.
- Dos cuentagotas.
- Un cronómetro.
- Una jeringa de plástico aforada de 5 ó 10 cm<sup>3</sup>.
- Una cámara fotográfica digital.
- Un ordenador con software de tratamiento de imágenes y programa de gráficos.

El modo de operar es el siguiente:

1. Se disponen la botella y el cronómetro (éste último en

marcha) de manera que puedan ser fotografiados con la cámara.

2. Se deposita una gota de agua sobre la superficie del aceite. Si no logra romper la tensión superficial del líquido, con el otro cuentagotas se deposita un poco de aceite sobre ella hasta que penetre en el aceite y descienda como una gota perfectamente esférica.
3. Durante el descenso se pueden tomar varias instantáneas con la cámara fotográfica para ser analizadas después con el ordenador. Por este procedimiento se pueden determinar simultáneamente la posición de la gota y el instante de tiempo al que corresponde.
4. Con el ordenador se procede al análisis de los resultados y al cálculo de la viscosidad.

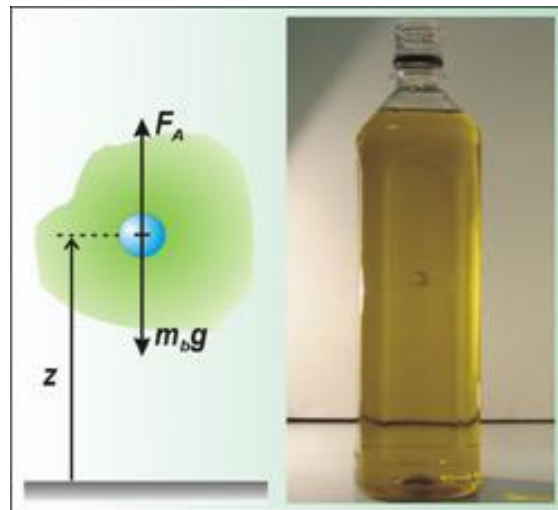


Figura 1. Esquema del experimento.



Figura 2. Instantánea de una gota de agua descendiendo.

### 3 Resultados obtenidos

a) *Constancia de la velocidad v:*

En la Figura 2 se muestra una instantánea de la gota de agua descendiendo en el aceite. A partir de cinco instantáneas similares se ha obtenido la gráfica  $z(t)$  que se muestra en la Figura 3.

Como puede verse, la variación es perfectamente lineal y la velocidad  $v$  puede ser determinada con una incertidumbre inferior al 1%.

b) *Determinación de  $\rho$  y  $r$ :*

Para determinar la viscosidad del aceite mediante la fórmula (1) necesitamos conocer, además de la velocidad de la gota, su radio  $r$  y la densidad  $\rho$  del aceite. Esta última es fácil de determinar mediante una balanza casera ya descrita precedentemente<sup>3</sup> y cuya fotografía puede verse en la Figura 4.

La densidad obtenida para el aceite utilizado con respecto a la del agua es  $\rho/\rho_b = 0,92$ , con una incertidumbre del 1%.

La determinación del radio  $r$  resulta más problemática. Lo ideal sería poder hacerlo a partir de la fotografía digital, pero nuestro sistema no nos proporciona la suficiente precisión. Por esta razón hemos utilizado un método más tradicional, que consiste en medir el volumen ocupado por un número elevado de gotas, para lo cual utilizamos el cuentagotas y la jeringa aforada. Al hacerlo se obtiene una determinada dispersión en los valores del radio de la gota, dispersión que llega a ser del 6%, como puede verse en la Tabla I. Esto significa que podemos definir una gota estándar de un determinado radio medio.

Tabla I Determinación del radio de las gotas.		
Volumen (cm <sup>3</sup> )	Nº de gotas	$r$ (mm)
5	91	2,36
7	107	2,50
7	107	2,50
8	137	2,41
8	146	2,36
9	158	2,39

Como ya hemos visto que la velocidad se mide con muy buena precisión gracias a la cámara fotográfica y al cronómetro, si hacemos la medida con diferentes gotas debemos obtener una dispersión en los valores de la velocidad que esté en consonancia con la dispersión en los valores de los radios. Es lo que observamos en el diagrama de la Figura 5. La dispersión es próxima al 10% y de ella se puede deducir un valor medio que corresponderá a la velocidad que llevaría la gota estándar.

En las medidas realizadas se han obtenido los siguientes valores medios para el radio  $r$  y la velocidad  $v$ :

$$r = 2,42 \text{ mm} \quad ; \quad v = -0,010 \text{ m s}^{-1}$$

A partir de estos valores obtenemos la viscosidad del aceite de oliva, que resulta ser:

$$\eta = 0,10 \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-1} \quad (10\% \text{ de incertidumbre})$$

que está en buen acuerdo con el valor que se obtiene en los laboratorios profesionales<sup>4</sup>.

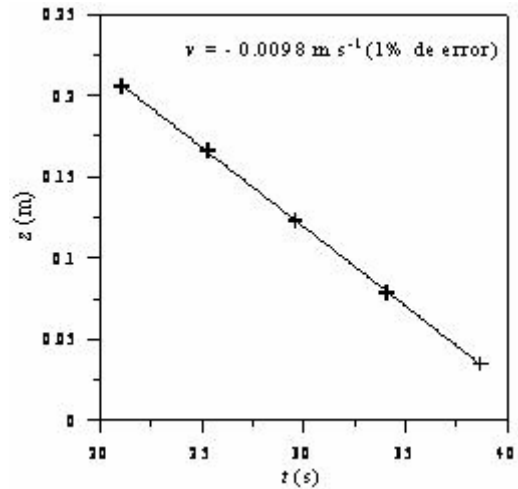


Figura 3. Gráfica de  $z(t)$  en el descenso de una gota de agua sumergida en aceite.

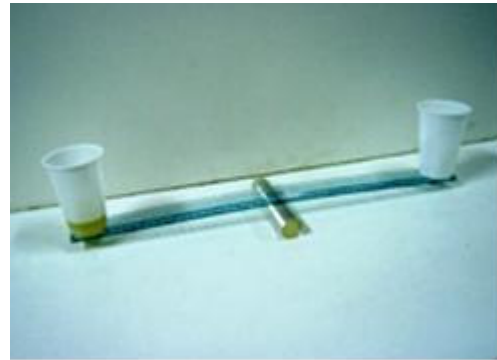


Figura 4. Balanza para determinar la densidad del aceite.

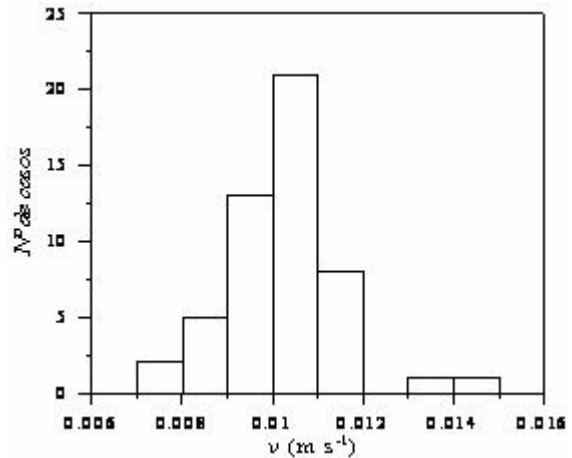


Figura 5. Diagrama de dispersión de la velocidad.

### 3 Conclusiones

Hemos visto que la utilización de la cámara fotográfica digital permite obtener instantáneas del movimiento, que pueden ser analizadas para calcular con mucha precisión la velocidad. Como estos recursos de las nuevas tecnologías de la información son cada vez más abundantes,

resulta necesario estudiar la manera de adaptarlos para mejorar el trabajo experimental de los estudiantes. Es de señalar que, en el experimento de Stokes, para obtener una medida fiable de la viscosidad en los laboratorios convencionales de alumnos es necesario trabajar con líquidos muy viscosos, como la glicerina, y utilizar recipientes de uno o dos metros de altura con el fin de conseguir una medida precisa de la velocidad. En el experimento propuesto, se puede utilizar un líquido mucho menos viscoso, el aceite de oliva, y la dimensión del “viscosímetro” (la botella de aceite) se reduce notablemente.

## Referencias

1. R. Valdés, V. Tricio, J. Curbelo y A. Cubas. Resúmenes de las comunicaciones de la XXIX Reunión Bienal de la Real Sociedad Española de Física. Vol. 1, pp. 154-155 (2003).
2. R. Valdés y V. Tricio. 100cias@uned, N° 8, pp.144-152 (2005).
3. M. Yuste, C. Carreras y J.P. Sánchez. Libro de Actas del III Taller Iberoamericano de Enseñanza de la Física Universitaria, pp. 535-541 (2005).
4. Handbook of Chemistry and Physics, 58th edition, CRC Press, Ohio, Cleveland, USA (1977).



## Lupita: banco óptico virtual

M. Hernández Calviño

Facultad de Física, Universidad de La Habana, Cuba; mhernan@fisica.uh.cu

Recibido el 1/06/2007. Aprobado en versión final el 15/06/2007

**Sumario.** El trabajo describe las posibilidades de empleo del programa denominado *LUPITA: Banco óptico virtual* en la enseñanza, tanto en nivel medio como universitario, del comportamiento de sistemas ópticos formados por lentes convergentes y divergentes. Para realizar los cálculos, el programa utiliza el modelo simple de las lentes delgadas. Se describen con cierto detalle las opciones del Menú Principal, para demostrar que es un programa de simulación amistoso con el usuario y que emula razonablemente las facilidades de trabajo de un banco óptico real. Se sugieren algunos experimentos virtuales que podrían ser realizados mediante su uso, así como aquellas modalidades docentes donde podría ser más eficaz su empleo. Desde hace dos años se utiliza regularmente con buenos resultados en la enseñanza práctica de la óptica geométrica en la Facultad de Física de la Universidad de La Habana. El desarrollo de este programa no tiene fines lucrativos y está a la disposición de alumnos y profesores que deseen utilizarlo.

**Abstract.** This paper describes the employ facilities of the software package named *LUPITA: Virtual optical bench* in teaching, at senior or college level, the behaviour of optical systems built of convergent and divergent lenses. The software uses the wells know formula of thin lenses to make all calculations. The Main Menu is described, in order to demonstrate that the program is user friendly and reasonable emulates the working facilities of a real optical bench. Some virtual experiments that can be done with the aid of LUPITA and the teaching modalities of its use are also suggested. By two years, the program has been successfully employed at the Optical Lab at the Faculty of Physics, University of Havana as an aid in doing practical works. The development of this software had not lucrative purpose and is shared free and available for any student or professor interested in use it.

**Palabras clave.** Computers optical 42.79.Ta, teaching methods 01.40.gb

### 1 Introducción

Desde la década de los ochenta en que los ordenadores personales (PC) comenzaron a ser utilizados masivamente, numerosos programas de modelación o simulación de fenómenos físicos han aparecido en el mercado o han sido desarrollados por instituciones educativas, para ser utilizados en la enseñanza de las Ciencias Naturales y la Ingeniería. Los primeros programas en aparecer en el mercado, fueron los simuladores de circuitos como *MicroCap*, *CircuitMaker* y otros donde se simula el comportamiento estacionario y transitorio de un circuito, mediante la solución numérica de las ecuaciones que lo caracterizan. Estos programas de forma general constan de un editor de circuitos, donde es posible incluir diver-

sos tipos de componentes provenientes de una biblioteca predefinida y un núcleo de simulación (en este caso Spice, un programa originalmente desarrollado para Mainframes y posteriormente adaptado para PC). La idea se extendió a otros campos de la Física, donde aparecieron programas para calcular la distribución de campo eléctrico, magnético o temperatura en un dominio con una geometría general y donde el usuario especifica las propiedades eléctricas, magnéticas o térmicas del dominio y las condiciones de frontera.

En Cuba también varios trabajos han sido realizados en este sentido<sup>1,2</sup>. Sin embargo, la óptica geométrica nunca había sido objeto de atención y solo recientemente apareció un trabajos<sup>3</sup> donde se incluyen prácticas simuladas de óptica geométrica. Sin embargo, la estructura de las prácticas virtuales que allí aparecen es muy rígida, en

el sentido de que solo es posible estudiar el comportamiento de una sola lente (convergente o divergente), por lo que son muy pobres los experimentos virtuales que pueden realizarse.

Inspirado en la generalidad que tienen los programas de simulación eléctrica, el objetivo principal de este trabajo fue desarrollar un programa donde fuera posible simular el comportamiento óptico de un sistema formado por varias lentes y donde el usuario tuviera razonablemente las mismas libertades que cuando trabaja con un banco óptico real. El programa fue desarrollado utilizando LabVIEW, un potente lenguaje visual y gráfico orientado al desarrollo de instrumentos virtuales y con numerosas facilidades para crear la interfaz de usuario.

## 2 Modelo físico y matemático de lupita

LUPITA modela las lentes de una forma muy sencilla, utilizando el modelo de las lentes delgadas y aplicando sucesivamente la conocida Ley de Descartes<sup>4</sup> a partir de un objeto ideal en forma de flecha, para encontrar las sucesivas imágenes reales o virtuales. En este sentido, cada lente es simplemente caracterizada por su tipo (convergente o divergente) y por su distancia focal que se supone igual para ambos focos. Al tomar esta decisión, se tuvo en cuenta que es un programa para uso docente y que se pretende pueda ser utilizado tanto en el nivel superior como el medio (preuniversitario, enseñanza profesional, etc.), donde solo se imparte la teoría de las lentes delgadas. Sin embargo, aún utilizando este modelo sencillo, puede simular sistemas ópticos complejos formados por varias lentes convergentes y/o divergentes y colocadas en cualquier orden

## 3 El menú principal y la pantalla de usuario de lupita

La Figura 1 muestra el aspecto que tiene la pantalla de usuario de LUPITA. En la parte superior aparece el Menú Principal con las opciones *Archivo*, *Editar*, *Componentes*, *Ver*, *Análisis* y *Ayuda*. La mayor parte de la pantalla la cubre el área de trabajo o lo que constituye propiamente el banco óptico virtual. La línea recta horizontal, simula el rail del banco óptico donde los diferentes componentes pueden ser colocados y desplazados. Tiene una longitud equivalente de 1,5 m y los componentes pueden ser colocados con una precisión de 2 mm. Para desplazar un componente se puede utilizar el ratón o las teclas del cursor. Cada componente tiene asociado un pad o círculo de color (verde o rojo). Cuando se hace click en dicho pad, el componente cambia a color azul para indicar que ha sido seleccionado y entonces puede ser arrastrado con el cursor o mediante las teclas  $\rightarrow$  y  $\leftarrow$ . En la parte inferior aparece la ventana donde se muestra el nombre del archivo que ha sido cargado o donde se va a almacenar la configuración actual (en este caso *Demo.LTA*) y dos botones que cambian radicalmente el modo de trabajo de LUPITA. En el *Modo Configu-*

*rar* es posible añadir o suprimir componentes, editar sus parámetros, cambiar el aspecto de la pantalla y almacenar o recuperar archivos. En el *Modo Animación* solo es posible desplazar los componentes, ya que el Menú Principal queda deshabilitado.

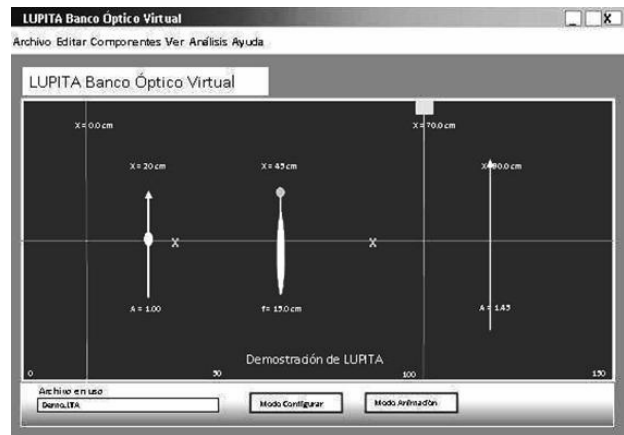


Figura 1. Aspecto que presenta la pantalla de usuario de LUPITA



Figura 2. Ventana de edición de componentes

La opción *Componentes* del Menú Principal permite añadir lentes convergentes o divergentes y cursores. Cuando se añade una lente, por omisión ésta tiene una distancia focal de 10 cm. Los cursores aparecen como una línea vertical con un pad de arrastre en la parte superior y son sumamente útiles para medir distancias o marcar la posición que ocupaba una lente o una imagen. Una lente convergente puede ser convertida a divergente o viceversa, simplemente seleccionándola y utilizando la opción *Intercambiar* pueden ser colocados en el banco óptico, lo que es más que suficiente en la mayoría de las aplicaciones. Adicionalmente, en este sub-menú hay opciones que permiten *Remover* un componente del banco, *Mover el Objeto* hacia el infinito por la derecha o por la izquierda y *Reiniciar la Configuración*. Cuando se ejecu-

ta esta última acción, todos los componentes son removidos del banco y el objeto se coloca en su posición inicial. *Tipo*. Hasta diez componentes diferentes pueden ser colocados en el banco óptico, lo que es más que suficiente en la mayoría de las aplicaciones. Adicionalmente, en este sub-menú hay opciones que permiten *Remover* un componente del banco, *Mover el Objeto* hacia el infinito por la derecha o por la izquierda y *Reiniciar la Configuración*. Cuando se ejecuta esta última acción, todos los componentes son removidos del banco y el objeto se coloca en su posición inicial.

La Figura 2 muestra la ventana que aparece cuando hay un componente seleccionado y se invoca la opción *Editar*. El aspecto de esta ventana es contextual, es decir, depende del tipo de componente seleccionado para editar. En el recuadro superior aparece el tipo de componente, en este caso una lente convergente. A continuación aparecen dos recuadros que contienen la distancia focal actual en cm. y el poder de convergencia en dioptrías. Cualquiera de los dos valores puede ser cambiado utilizando los botones o escribiendo en el recuadro. El otro parámetro se actualiza automáticamente. El siguiente recuadro permite asignar diferentes colores a la lente. Esto es muy útil porque LUPITA colorea las imágenes producidas por cada lente con su color correspondiente, a fin de poderlas asociar e identificar fácilmente cuando hay varias de ellas presentes. Finalmente, marcando el recuadro *Inmovilizado*, evitamos que este componente pueda ser desplazado involuntariamente en posteriores manipulaciones. El pad de arrastre cambia de color verde a rojo para señalizarnos esta condición. Al hacer click sobre el botón *Aceptar*, cambian los parámetros y atributos del componente seleccionado y esta ventana desaparece.

La opción *Ver* del Menú Principal permite decidir si en la pantalla aparecerán las *Etiquetas* y la *Línea de Texto*. Al seleccionar *Etiquetas*, encima de cada componente aparecerá su coordenada X con relación al origen de coordenadas actual. Este valor se actualiza en tiempo real si el componente es desplazado y sirve para que el usuario pueda posicionar el componente en la coordenada requerida. En la parte inferior de cada lente aparecerá su distancia focal. En el caso de las imágenes, aparecerá su aumento con relación al Objeto. La *Línea de Texto* sirve para colocar en la parte inferior de la pantalla un texto alusivo a la configuración que se está simulando, por ejemplo "*Microscopio Simplificado*"

La opción *Análisis* permite mostrar todas las imágenes formadas o simplemente la última de ellas. También es posible *Eliminar* todas las imágenes para comenzar un nuevo estudio. Aquí hay disponible también dos opciones muy útiles *Excluir* e *Incluir* una lente. La primera opción y como su nombre lo indica, excluye la lente en cuestión del análisis, pero ésta permanece presente en el banco óptico. Para indicar que ha sido excluida, solo se muestra su pad de arrastre y su posición (si las etiquetas están visibles). Esta opción es muy útil cuando se desea mostrar el efecto que tiene la presencia o no de una lente en un sistema óptico complejo. La opción *Incluir* provo-

ca que la lente vuelva a ser tenida en cuenta durante el análisis. Finalmente la opción *Redefinir Origen X* permite cambiar el punto que se toma como origen de coordenadas. Para realizarlo, simplemente se selecciona un componente (lente o cursor) y se hace click en esta opción. A partir de ese momento, todas las coordenadas que se muestran estarán referidas a ese punto. Esta opción le permite al usuario colocar el origen de coordenadas en el punto más conveniente para mostrar las relaciones entre la distancia-objeto y la distancia-imagen.

La opción *Archivo* permite almacenar y recuperar todos los datos de una configuración y el status del programa, de forma tal que el usuario pueda crear ejemplos o demostraciones de antemano e invocarlas rápidamente o simplemente continuar el trabajo iniciado en otra sesión anterior. Finalmente, la opción *Ayuda* permite acceder en línea a un pequeño Manual de Usuario que explica todas las opciones mediante el uso de enlaces a temas relacionados. LUPITA es un programa compilado y provisto de un instalador, que permite instalarlo y ejecutarlo en PC que dispongan de Windows ME, 2000 o XP ocupando solamente 512 Kilobytes en el disco duro

Una de las características más útiles de LUPITA es que puede trabajar en el llamado *Modo Animación*, al cual se accede haciendo click en el botón de ese mismo nombre que se encuentra en la parte inferior de la pantalla. En este modo solo es posible desplazar el Objeto, las lentes o los cursores y el programa calcula y muestra continuamente en tiempo real la posición de todas las imágenes. Si las etiquetas están visibles, sus valores también son actualizados. De esta forma, toda vez que el banco óptico ha sido configurado y los parámetros de los componentes editados convenientemente, es posible entrar a este modo y estudiar el comportamiento del sistema óptico cuando se altera su geometría, lo cual puede ser utilizado por ejemplo para ilustrar el mecanismo de enfoque o de Zoom.

## 4 Ejemplos de sistemas ópticos sencillos que pueden ser estudiados mediante lupita

Como todo buen programa de simulación, las aplicaciones de LUPITA dependen mucho de las habilidades y la imaginación del usuario. Para ilustrar lo versátil que puede ser su uso, a continuación relacionamos algunas de estas posibles aplicaciones.

- Estudio de una lente individual (convergente o divergente). Se puede ilustrar la relación matemática entre distancia focal, objeto e imagen, la Ley de Newton, así como el aumento. Utilizando el *Modo Animación* se pueden estudiar todos los casos de formación de imágenes reales y virtuales.
- Estudio del principio de la lupa.
- Estudio del principio de la corrección de la miopía y la hipermetropía.
- Ilustración de los métodos utilizados para medir la distancia focal de una lente convergente o divergente.



- Estudio de sistemas ópticos simplificados del microscopio, telescopio, oculares, objetivos, Zoom u otros totalmente arbitrarios.

## 5 Modalidades docentes donde puede utilizarse lupita

El programa LUPITA puede ser utilizado en la enseñanza de la Óptica Geométrica de diversas maneras. A continuación relacionamos algunas de estas posibles modalidades:

- Para realizar prácticas totalmente virtuales, en centros donde no se dispone de bancos ópticos reales.
- Durante la realización de prácticas de laboratorio reales, como herramienta auxiliar para hacer comprobaciones teóricas o cálculos.
- Como apoyo durante las conferencias, ya sea como medio audiovisual o para hacer demostraciones de clase.
- Durante el trabajo independiente no presencial de los alumnos, en la realización de ejercicios de tarea o en la preparación teórica previa a la realización de una práctica de laboratorio.

## 6 Conclusiones

Se desarrolló un programa de simulación que emula el comportamiento de un banco óptico real. Por sus facilidades, el programa es muy versátil y amistoso con el usuario y permite estudiar el comportamiento de un sistema óptico arbitrario, que puede constar de hasta diez lentes. Utiliza para los cálculos, la Fórmula de Descartes para las lentes delgadas. Hasta donde se tiene conocimiento, no existe antecedente comercial en el extranjero o el país de un programa con tal generalidad.

El programa LUPITA puede ser utilizado en el nivel de enseñanza media, técnica o profesional y universitaria, para organizar prácticas virtuales y suplir las carencias de una base material de estudio inadecuada, en demostraciones de clase o en el trabajo independiente (no presencial) de los alumnos. Desde el punto de vista de su

programación, representa una aplicación novedosa del lenguaje *LabVIEW*, que usualmente es empleado en la creación de instrumentos electrónicos virtuales.

Desde hace dos años se emplea regularmente con buenos resultados en la enseñanza práctica de la óptica geométrica en la Facultad de Física de la Universidad de La Habana, según lo aprecian los profesores que lo utilizan. El programa está registrado en la Sociedad de Derecho de Autor, no tiene fines lucrativos y está a disposición de alumnos y profesores que deseen emplearlo.

## Agradecimientos

El autor desea expresar su agradecimiento a los profesores Armando Pérez Perdomo, Adriana Fornés y Teresita Molina del Colectivo de Óptica de la Facultad de Física de la Universidad de La Habana, por utilizar el programa en condiciones reales y por sus numerosos reportes y sugerencias que sirvieron para mejorarlo.

## Referencias

1. M. H. Calviño, C. Márquez, Utilización de LabVIEW en el desarrollo de programas destinados a la enseñanza de la Física General, Proc. II Taller Iberoamericano de Enseñanza de la Física Universitaria, Facultad de Física, Universidad de La Habana. (Enero de 2000).
2. M. H. Calviño, E. Larramendi, Estudio experimental de la conducción del calor en una barra metálica con la ayuda de una computadora personal, Proc. II Taller Iberoamericano de Enseñanza de la Física Universitaria, Facultad de Física, Universidad de La Habana, (Enero de 2000).
3. J. Vidal, A. Fornés, A. Pérez, M. Hernández, T. Molina y C. Drake, Propuesta de sistema interactivo de estudio en las prácticas de óptica de la Facultad de Física, Proc. VII Taller sobre la Educación Superior y sus perspectivas, Universidad 2004, IV Congreso Internacional de Educación Superior, C. Habana, Cuba, (Febrero de 2004).
4. Manuel F. Gran, Elementos de Física, Tomo II, Capítulo IV, Editora del Consejo de Universidades, (1967).



## Un curso en línea de óptica (física III) en la UPIITA I.P.N. en plataforma informática blackboard

A. Aburto<sup>ab</sup>, y N. Espinoza<sup>b</sup>

a) UPIITA, Instituto Politécnico Nacional de México, México D.F.; [aaburto@yahoo.com](mailto:aaburto@yahoo.com)†, [aaburto@ucaribe.edu.mx](mailto:aaburto@ucaribe.edu.mx)†

b) Departamento de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad del Caribe, Cancún Quintana Roo; [nelsy\\_e@hotmail.com](mailto:nelsy_e@hotmail.com)

† Autor para la correspondencia

Recibido el 1/06/2007. Aprobado en versión final el 15/06/2007.

**Sumario.** Reportamos un curso elemental de Óptica para Ingeniería montado en plataforma Blackboard, considerado por nuestro instituto como la “propuesta de estudio” 20061948. El curso es el consecuente de aquel en “Electricidad y Magnetismo” presentado en este mismo encuentro en ponencia aparte. Se aplica en las carreras de Ingeniero Biónico, Mecatrónico y Telemático de la Unidad Interdisciplinaria en Ingeniería y Tecnologías Avanzadas del Instituto Politécnico Nacional de México. Se montaron como materiales: i) Un Texto capturado en Word, cubriendo los conocimientos básicos en “Electricidad y Magnetismo Clásico” necesario en Óptica. ii) Una colección de Applets de Java y animaciones flash para reafirmación del conocimiento. iii) Una colección de presentaciones power point para exposición del contenido del curso. Imponemos un examen de control de conocimientos básicos previos al estudiante. Especial énfasis es hecho en el desarrollo de la formulación de Polarización de ondas monocromáticas planas con Algebra Lineal de los Vectores de Jones, el análisis de índices de refracción complejos, y la relación de estos últimos con el vector de onda complejo.

**Abstract.** We present an elementary course of Optics for engineers, where we use the Informatics Platform Blackboard, this course is an educational research, and it is registered in our institute. This is the consequence of the Basic course of Electricity and Magnetism of the Curriculum of Telematic, Mechatronic and Bionic Engineering of the Unidad Interdisciplinaria en Ingeniería y Tecnologías Avanzadas of Instituto Politecnico Nacional. The foundation materials in this project are: i) One Text captured in Word, covering basic knowledge in Classic Electricity and Magnetism needed in Optics. ii) A set of simulation of Java Applets and Flash Animations, for the refinement of knowledge. iii) The exposition of the course with a set of Power Point Presentation. We are imposing an initial exam of basic knowledge of students. Emphasis is done in development of Polarized formulation of Monochromatic Waves in Jones Linear Algebra, complex index of refraction, and their relation with complex Wave Vectors.

**Palabras clave.** Education, 01.40.-d, Educational aids, 01.50, Computers as educational aids, 01.50.H, Curricula and evaluation, 01.40.G

### 1 Introducción

En México se ha aplicado con éxito la Plataforma Blackboard para la enseñanza de Ciencias Básicas de Ingeniería y de la Didáctica de las Ciencias Básicas, dos ejemplos de ello son:

1. El ITESM Campus Estado de México.
2. El CIIDET de Querétaro.

Estas Instituciones han aprovechado extensivamente las bondades de esta plataforma. Nuestro instituto ha adquirido la renta de licencia de software con un costo que representa una erogación importante.

Es notable el esfuerzo que hace la Dirección de Tecnología Educativa del Instituto Politécnico Nacional, al brindar capacitación a los docentes que conduzca, en particular, al uso eficiente de este importante instrumento. En este trabajo nos permitimos presentar la aplica-

ción de este recurso en un curso curricular clásico de ingeniería en nuestra Unidad Responsable. Creemos que esto permite coadyuvar aunque sea modestamente, al cumplimiento de una de las metas más importantes de esta administración: Un Nuevo Modelo Educativo de nuestro Instituto.

## 2 Antecedentes

Tratamos de dar una propuesta inicial, para la elaboración de materiales didácticos útiles en nuestra tarea de docencia.

Hemos abierto colaboración con profesores Cubanos del ISPJAE de la Habana, y esta relación nos permitió involucrarnos en un Proyecto Alfa A de la Unión Europea, el proyecto de la "Red EVALU", que fue aprobado y apoyado económicamente, para desarrollarse durante el período enero 2003 diciembre 2004, donde nos dedicamos a crear "objetos de aprendizaje" para compartir en el proyecto, y que permitiera mas tarde, la presentación de las bases de una Universidad Virtual en Ciencias Básicas, una de las metas fundamentales de esta Red.

Durante todo este tiempo, tuvimos la posibilidad de encontrarnos con materiales didácticos sea en forma de sitios WEB, sea en forma de simuladores de Applets de Java o de Animaciones Flash, o simplemente de colecciones de solucionarios de problemas, incluso de software de creación de evaluaciones. Todo lo anterior no hubiera sido posible realizarlo, sin el apoyo de los medios computacionales que nos ha ofrecido nuestra inserción en la Unidad de Tecnología Educativa de la UPIITA. Esta inserción nos dio también la oportunidad de aprovechar el apoyo de la Dirección de Tecnología Educativa que nos ha posibilitado el adiestramiento pertinente.

## 3 Desarrollo

Dadas las condiciones enumeradas en los antecedentes, procedimos a proponer a la Dirección de Tecnología Educativa del IPN, el proyecto de curso de OPTICA a insertarse en el programa de Ambientes Virtuales de Aprendizaje que hace uso de la Plataforma Blackboard.

Al contar ya con el libro en Word y el solucionario de problemas para Electricidad y Magnetismo, teníamos la base para efectuar una reafirmación pertinente de los conocimientos de base para desarrollar el curso de Óptica.

Para desarrollar debidamente el curso de Óptica, nos vimos en la necesidad de crear una colección de presentaciones Power Point, para impartir nuestros cursos presenciales, estas presentaciones conforman el cuerpo de base del nuevo curso.

Nuestra participación como ponentes en el Ciclo de Conferencias "Un viaje a través de la Física" organizado por el "Museo Universum" de la Universidad Nacional Autónoma de México, dedicado a profesores de enseñanza media, permitió reunir un buen número de software de Física en forma de Applets de Java y Animaciones

Flash, que nos han sido útiles para insertarlos en nuestro proyecto.

Decidimos por lo tanto, tratar de organizar parte de todo este material en un "proyecto AVA" de Óptica, que sirviera como alternativa a la enseñanza presencial, cuando ella ha fallado en la formación de nuestros estudiantes, es decir, como una alternativa para el rescate de alumnos.

El libro y el solucionario de problemas lo hemos anidado como "Materiales del Curso", su accesibilidad lo hicimos por medio de "Actividades", la razón de incluir estos materiales de Electricidad y Magnetismo Básico, es solidificar la base de conocimientos mínima que el estudiante debe tener para cursar Óptica adecuadamente. Aunado a este material hemos dado la entrada a "evaluaciones parciales" y a "respuestas de preguntas seleccionadas", añadiendo también las simulaciones con "Applets de Java".

## 4 Metodología

Hasta este momento hemos experimentado el curso de manera presencial y escolarizada. La metodología que hemos elegido es la siguiente:

1. Aplicación de un examen exploratorio del nivel del alumno en conceptos Físicos y Matemáticos indispensables para el seguimiento adecuado del curso.
2. Inserción del libro de Electricidad y Magnetismo en pequeños Archivos que puedan consultarse conforme avanza el curso, por medio de "Actividades" a Realizar en cada Capítulo, para asegurar el Marco Teórico de Base que servirá para el desarrollo adecuado del curso de la Óptica.
3. Puesta a disposición de Presentaciones Power Point tanto para Electricidad y Magnetismo Básico como para el desarrollo del curso en sí, que permitan al alumno contar con un instrumento marcando los conocimientos mínimos a adquirir, los cuales sean conducidos por medio de "actividades".
4. En cada Capítulo solicitar el uso por lo menos de una simulación en forma de un Applet de Java que involucre una observación o un cálculo por medio de tres "paros" por lo menos.
5. Implementar en cada Capítulo por lo menos de un foro de discusión aprovechando el modulo respectivo de la plataforma.
6. Aplicación en cada período de exámenes de un control que pueda calificarse por medio del modulo creador de evaluaciones de la Plataforma, que permita la calificación automática y el control del trabajo por medio de estadísticas.

## 5 Resultados

Hasta la fecha, hemos logrado anidar en la Plataforma los siguientes materiales:

1. El libro capturado en pequeños archivos en formato de Acrobat Reader.

2. El solucionario de problemas en formato de Acrobat Reader.

3. Las Presentaciones Power Point para todo el curso y que presentan en realidad un prontuario del mismo, usando como base la Bibliografía en Óptica [1,2,3,4] y partes de la Teoría del Sitio del Profesor Ángel Franco García, "Física con Ordenador" <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica>.

4. Para los primeros Capítulos hemos anidado las actividades programadas, estableciendo incluso el uso de Applets de Java.

5. Hemos anidado el examen de exploración de nivel de conocimientos previos que fue dado para la Red Alfa EVALU por parte de las Universidades Politécnica de Valencia y Politécnica de Valladolid, y que servirá como material de investigación docente en ese proyecto.

6. Hemos dotado al curso de una formulación asociada a los vectores de Jones tanto en base de polarización Cartesiana como en Base de polarización Circular (formulación que aparece en la monografía Ellipsometry and Polarized Light[4]).

7. Se analizan las ecuaciones de Fresnel tanto en términos del Índice de Refracción como en Términos de la Impedancia característica de los medios, y el Vector de Onda.

Hemos hecho uso extensivo de los Applets de Java de Walter Fendt ("Applets de Java de Física" <http://home.acity.de/walter.fendt/physfra/physfra.htm>), sobre todo para los temas de Principio de Fermat aplicado a las leyes de Reflexión y Refracción; los Applets de Ángel Franco en el sitio "Física con Ordenador" <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica>, en el estudio del Principio de Huygens-Fresnel: mientras que los Applets de Yves Cortial ("Cabry en Physique" <http://www.sciences.univ-nantes.fr>, Sciences Physiques en BTS), y de N. Cortial <http://nicole.cortial/physbts.html> del Lycee Clemenceau de Nantes, Francia, los usamos par el estudio de las Ecuaciones de Fresnel, Polarización de la luz, Difracción e Interferencia.

## 6 Conclusiones

1. Hemos aplicado la Plataforma Interactiva a un curso Presencial y Escolarizado, con la finalidad de evaluar la efectividad de la enseñanza por medio de este auxiliar didáctico tan interesante.

2. Antes de intentar usar este tipo de auxiliar didáctico, se hace necesario reunir una cantidad suficiente de objetos de aprendizaje que permitan asegurar el éxito.

3. La labor para los docentes se ve seriamente incrementada dado que es necesario realizar una planeación estratégica del curso.

4. La implantación de una Plataforma Interactiva es

todo un reto que vale la pena enfrentar, su aplicación en vista al perfeccionamiento de la enseñanza nos envía y obliga a la búsqueda no solo de modernización y globalización de la enseñanza, sino al encuentro de un Modelo Educativo pertinente y adecuado.

5. Este curso nos ha permitido plantear el proyecto del Curso de Electricidad y Magnetismo en Ambientes Virtuales de Aprendizaje, (que reportamos en este encuentro con otro trabajo), ya que es el antecedente de la implementación de los cursos de Teoría Electromagnética y Óptica. Debemos resaltar que hemos reunido material didáctico suficiente para plantearlo como un curso aparte, y con una estructuración lógica tal que sea realmente un antecedente para Teoría Electromagnética y la Óptica.

6. Pretendemos reformar los contenidos de un curso estándar de Óptica en Ingeniería, dando una visión dirigida hacia Óptica Electromagnética, introduciendo a los alumnos a los conceptos de Dispersión de la Luz, Índice de Refracción Complejo, Análisis de sistemas Ópticos por medio de la Formulación de Jones, Introducir los conceptos de Polarización de Ondas monocromáticas, y una formulación de Interferencia y Difracción mas cercano al nivel de enseñanza Europeo en Ingeniería (Nivel del Bachillerato Técnico Superior y el de las Escuelas de Preparación de Ingenieros en Francia).

## Agradecimientos

Agradecemos a la Comisión General de Año Sabático del I.P.N. por haber apoyado nuestro programa de año Sabático y por ende este trabajo. Asimismo el apoyo de la Secretaria de Investigación y Posgrado por el apoyo recibido para la realización de este proyecto. Asimismo agradecemos la ayuda de la Universidad del Caribe por el apoyo económico prestado para nuestra Instalación en la ciudad de Cancún, Quintana Roo, México, así como por la designación, como colaboradora de esta experiencia, de la Profesora Nelsy Espinosa, miembro del grupo docente del Departamento de Ciencias Básicas e Ingeniería de la Unicaribe

## Referencias

1. D.Halliday and R.Resnick. in "Physics for students of Sciences and Engineering Physics part II, Vol 2, pp. 1-630 (edited by " John Willey and Sons 1989).

2. J.P. Pérez, in "Optique, Fondements et Applications", DUNOD Paris 2000 Vol. 1, pp. 1-656 (edited by MASSON Paris 1996).

3. E.Hetch and A.Zajac, in "Optics", Vol 1, pp 1-570 (edited by Addison-Wesley Company 1974).

4. R.M.Azzam and N.M.Bashara, in Ellipsometry and Polarized Light, Vol 1, pp 1-120 (Edited by Nord Holland, 1975).



## Errores conceptuales sobre fuerza y su impacto en la enseñanza

César Mora<sup>a</sup> y Y. Benítez<sup>a,b</sup>

a) Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada – Unidad Legaria.  
Instituto Politécnico Nacional. Av. Legaria 694, Col. Irrigación, Del. Miguel Hidalgo,  
C. P. 11,500 México, Distrito Federal; [cmoral@ipn.mx](mailto:cmoral@ipn.mx)†

b) Facultad de Estudios Superiores – Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México.  
Estado de México, México; [ybenitez@servidor.unam.mx](mailto:ybenitez@servidor.unam.mx).

†autor para la correspondencia

Recibido el 1/06/2007. Aprobado en versión final el 15/06/2007.

**Sumario.** Se reportan los resultados de nuestra investigación sobre ideas previas del concepto de fuerza en alumnos de ingeniería, realizada mediante el análisis y desarrollo de Inventarios del Concepto de Fuerza (ICF). El aprendizaje de este concepto presenta diversas dificultades que conducen a errores conceptuales en diversas áreas de la física. Realizamos una clasificación del grado de comprensión de los alumnos de acuerdo a una escala del desarrollo histórico del concepto de fuerza. El interés principal estriba en comprender las causas de errores conceptuales en mecánica clásica para el diseño de estrategias didácticas.

**Abstract.** The results of our investigation are shown about previous ideas of the force concept in engineering students, carried out by means of the analysis and development of Force Concept Inventory (FCI). The learning of this concept presents several difficulties that lead to misconceptions on diverse areas of the physics. We carry out a classification of the grade of the student's understanding according to a scale of the historical development of the concept of force. Our main interest rests in understanding the causes of conceptual errors in classical mechanics for the design of didactic strategies.

**Palabras clave.** Errores conceptuales sobre fuerza 01.30.Os, Física Educativa 01.40.–d, enseñanza de la mecánica 45.20.D–.

### 1 Introducción

Diversos autores han mostrado cómo el concepto de fuerza puede contribuir a asimilar los contenidos de la mecánica<sup>1</sup>. El estudio de los errores conceptuales va aparejado al de las concepciones alternativas que llevan a cometerlos. Dichas concepciones no constituyen unas cuantas ideas dispersas sino que se hallan integradas en la mente formando esquemas conceptuales, dotados de coherencia interna. Estos esquemas no son vistos como errores o como algo negativo, sino como estructuras cognitivas que interactúan con la información que llega desde el exterior y que juegan un papel esencial en el aprendizaje<sup>2</sup>. Por otro lado, es interesante observar un

posible paralelo entre las ideas históricas y las de los alumnos<sup>3</sup>, pues ello puede arrojar luz sobre diversos obstáculos epistemológicos en el aprendizaje del concepto de fuerza en la mecánica clásica. Es importante considerar en nuestra investigación las ideas previas del concepto de fuerza en los alumnos mediante pruebas que analicen los Inventarios del Concepto de Fuerza (ICF). En este trabajo pues, presentamos los primeros resultados de nuestra investigación bibliográfica del desarrollo del concepto de fuerza, los diferentes niveles de clasificación epistemológica y, los estudios efectuados acerca de los ICF y su relación con el concepto de movimiento y energía.

## 2 Desarrollo

**2.1 Errores conceptuales, concepciones alternativas y sus causas.** La noción de “concepto” (del latín “*concipere*”, lo concebido) se refiere a un constructo mental para la clasificación de objetos individuales del mundo exterior e interior por medio de una abstracción, es un elemento básico del pensamiento, una idea que concibe o forma el entendimiento, es el pensamiento expresado con palabras<sup>4</sup>. Entonces, formar un concepto se refiere a tener una idea abstracta y general que permite pensar la realidad. Los empiristas piensan que el concepto emana de la experiencia y los racionalistas que proviene de la razón. Por otro lado, a las respuestas contradictorias con los conocimientos científicos vigentes, que se suelen dar de manera rápida y segura, se repiten insistentemente y se hallan relacionadas con determinadas interpretaciones de diversos conceptos científicos, se les denomina frecuentemente errores conceptuales (EC) y las ideas que llevan a cometerlos concepciones alternativas (CA), responden a la existencia de ideas científicas muy diferentes a las que se quieren enseñar. En la literatura los (EC) se conocen como: conceptos erróneos, nociones ingenuas, nociones pre-científicas, etc.

En nuestro estudio nos referimos a los EC sobre fuerza, sabemos que no es sencillo facilitarle al estudiante la adquisición de esquemas mentales certeros al respecto. No existe estrategia alguna de enseñanza que lo pueda impedir por completo. Es importante señalar que intervienen el método de estudio, el estado de ánimo y las circunstancias. El reto es ayudar al docente de manera directa o indirecta, para que sus estudiantes (y ellos mismos) tengan las herramientas necesarias para construir sus esquemas personales en el plano conceptual y mejoren su competencia cognoscitiva.

Aún cuando se realizan actividades prácticas para ilustrar el concepto de fuerza, muchos estudiantes no llegan a construir esquemas conceptuales y proposicionales correspondientes a lo que se considera aceptable por los científicos. Es probable que la existencia de EC dependa de falta de madurez, déficit de atención, baja inteligencia congénita, circunstancias o de la calidad del programa de enseñanza, los intentos de explicación de la existencia de éstos apuntan básicamente a varias causas, relacionadas entre sí:

a) Los “errores” constituyen ideas espontáneas o preconcepciones que los alumnos ya tienen como un aprendizaje previo.

b) La transmisión del conocimiento se pone en duda y evita una recepción significativa del mismo; es decir, que realmente el alumno utilice las herramientas de enseñanza-aprendizaje para lograr el aprendizaje significativo.

c) Existe la hipótesis de una perspectiva epistemológica evolutivo-constructivista<sup>5</sup> donde se habla de favorecer la evolución del concepto de fuerza.

d) En la gran mayoría de los textos de física:

- No se incluyen actividades que permitan poner de

manifiesto (directa o indirectamente) las posibles concepciones alternativas de los alumnos acerca de la fuerza.

- No se incluyen actividades ni se hacen referencias que lleven a analizar críticamente lo que dice el sentido común o la experiencia cotidiana acerca del concepto.

Para lograr un esquema conceptual correcto, no se puede pedir a los estudiantes que descarten los EC y los sustituyan por la definición admitida, es indispensable reconocer que el aprendizaje mecánico no es eficaz para reestructurar esquemas cognoscitivos preexistentes, la reestructuración conceptual conduce a suprimir los EC y a sustituirlos con conceptos válidos.

Tanto la existencia de los EC como la de las CA que llevan a los alumnos a cometer esos errores, es algo que ya se conocía desde hace mucho tiempo, Bachelard<sup>6</sup> señalaba “*me ha sorprendido el hecho de que los profesores de ciencias, más aún que los demás si cabe, no entienden que no se comprenda. No han reflexionado sobre el hecho de que los adolescentes llegan a clase con conocimientos empíricos ya constituidos; se trata pues, no de adquirir una cultura experimental, sino de cambiar de cultura experimental, de derribar los obstáculos ya acumulados por la vida cotidiana*”.

Es prudente señalar que dentro del proceso enseñanza-aprendizaje, el estudiante promedio muestra apatía, sumisión intelectual, resistencia al desarrollo de trabajos y tareas de investigación, dificultades para razonar, su lectura de comprensión sólo funciona en niveles de complejidad muy bajos y tiende a hacer trampa en los exámenes.

**2.2 Errores conceptuales sobre fuerza.** El concepto de *fuerza* -después del concepto de energía-, es uno de los conocimientos básicos en el estudio de la física clásica. Las fuerzas y las leyes que las describen junto con los principios de conservación del ímpetu y de la energía forman el marco teórico fundamental de la mecánica y sus aplicaciones en otras áreas del conocimiento científico. Sin embargo, indagaciones han mostrado que gran parte de los estudiantes llega al nivel superior con un buen número de EC acerca de la fuerza y de conceptos relacionados con ellas<sup>7</sup>. Un marco interpretativo de las concepciones de fuerza debe ser capaz de responder a preguntas como: ¿de dónde proceden?, ¿por qué unas son más persistentes que otras?, ¿sobre qué factores hay que incidir para favorecer un cambio conceptual?, ¿en qué momento?<sup>8</sup> Solano y otros<sup>9,10</sup>, adoptan un paralelismo entre las ideas históricas del concepto de fuerza y las de los estudiantes en donde involucra la Física de la Fuerza Impresa (FFI)<sup>11</sup>. Esta visión histórica evolutiva consiste en considerar un “salto” de la física aristotélica (más relacionada con el conocimiento cotidiano) hacia la física Newtoniana (conocimiento científico). En el artículo de Harres<sup>12</sup> se mencionan los niveles de evolución histórica de las ideas sobre fuerza y movimiento y sus características como: aristotélica, medieval inicial, medieval mixta, medieval preinercial e inercial. Se le llaman “*concepciones intermedias*” a todas aquellas ideas

de los alumnos situadas evolutivamente entre estos dos extremos.

Eckstein y Shemesh<sup>13</sup> realizaron estudios sobre el contexto de los conocimientos previos o concepciones alternativas de sentido común y contrastaron una convergencia entre el pensamiento de los estudiantes y el pensamiento científico actual<sup>14</sup>.

**2.3 Examen diagnóstico.** El examen diagnóstico sirve para detectar los EC y CA sobre fuerza y las ideas alternativas que llevan a cometerlos. Se requiere del diseño de estrategias para detectar y clasificar EC y CA con que los estudiantes llegan para descubrir los conocimientos o creencias que pueden obstruir o bloquear el aprendizaje, ya que el mayor obstáculo para ello no es la falta de conocimientos previos (preconceptos), sino la existencia de ellos. Para los estudiantes (y profesores) es más difícil “desaprender” un conocimiento incorrecto o incompleto que dominar un conocimiento nuevo, por lo que es importante descubrir, cuales son los preconceptos y EC que más probabilidades tienen de interferir con su aprendizaje. Las estrategias deberán diseñarse para revelar casos específicos de conocimiento incompleto o incorrecto, y actitudes o valores que puedan representar barreras para el aprendizaje. Para derribar los EC es necesario primero identificarlos, para ello se proponen las siguientes estrategias:

- Realización de examen diagnóstico al inicio del curso mediante una lluvia de ideas, un proyecto de investigación, ejercicios de aplicación, entrevistas clínicas, en las que se pide al alumno su opinión respecto de un problema determinado sobre fuerza, se le muestran dibujos que representan situaciones o fenómenos para que los comente, etc. Éste examen permite medir algún tipo de conocimiento, no es de acreditación, sino para identificar los EC.
- Identificar y clasificar los EC de acuerdo a alguna taxonomía.
- Clasificar los errores conceptuales de fuerza por grupos, incidencia, etc.
- Realizar un análisis e interpretación de resultados mediante la aplicación de técnicas estadísticas adecuadas.
- Los resultados del examen diagnóstico hablarán del grado de dificultad de cada reactivo con base en el número de respuestas correctas, resultado que a *posteriori* podría ser discutible y evaluable.
- Corroborar los procedimientos de análisis y retroalimentación mediante contestar las siguientes preguntas: ¿Qué preconceptos o EC tienen los alumnos sobre la fuerza que puedan interferir con el aprendizaje?, ¿en qué porcentaje están presentes?, ¿aproximadamente cuántos de los alumnos del grupo los tienen? y ¿qué tan arraigados se encuentran los EC en ellos?
- Aplicar durante el desarrollo del curso (o al final) la estrategia usada para verificar si algo ha cambiado y de qué forma lo ha hecho.

Un reactivo del examen para ejemplificar es el siguiente: Suponga que un camión de pasajeros choca de frente contra un automóvil compacto. Durante el choque:

- a) El camión aplica al auto una fuerza mayor que la que el auto aplica al camión.
- b) El auto aplica al camión una fuerza mayor que la que el camión aplica al auto.
- c) El camión aplica al auto una fuerza igual a la que el auto aplica al camión.
- d) El camión aplica una fuerza sobre el auto y el auto no aplica ninguna fuerza sobre el camión.
- e) No hay suficiente información como para poder dar una respuesta adecuada.

Este reactivo representa un problema de comprensión de la tercera ley de Newton. La respuesta correcta es el inciso (c). En comparación con el inciso (e) que es una situación típica en que la los alumnos comentan cosas como: “depende de la masa del camión” o “depende de si el auto estaba en movimiento o en reposo”, es donde inciden los EC más frecuentes.

Una vez aplicado el examen de diagnóstico se requiere del uso de las técnicas estadísticas para analizar las respuestas correctas/incorrectas y de ésta forma ayudar a los alumnos a cuestionar su propio conocimiento, sus creencias y sus actitudes, y desarrollar algún control sobre su pensamiento, lo cual representa un avance en el camino del autoaprendizaje. Sin embargo, existen algunas limitantes que no permiten a algunos profesores/alumnos reconocer la existencia de los EC y CA sobre fuerza tales como:

a) *El orgullo personal.* A nadie le gusta que le cuestionen sus EC y, sobre todo cuando estos tienen muchos años de existencia, “desaprenderlos” es un proceso difícil y en ocasiones penoso.

b) *El tiempo.* Los cambios de actitud, en ideas fundamentales y creencias toman lapsos considerables. Para muchos estudiantes, pasar de una visión aristotélica –y a veces mágica– del universo a una visión empírica y/o científica, es un proceso que requiere de más tiempo del que se dispone en un semestre.

c) *Las reformas académicas.* Para los niveles básicos son urgentes y deben poseer un seguimiento de continuidad del método de enseñanza-aprendizaje para verdaderamente lograr un aprendizaje significativo en los niveles superiores utilizando el básico como un puente.

Para que se den las condiciones para corregir los EC y las CA, Kuhn y Lakatos<sup>15</sup> nos dicen que a pesar de que existan las condiciones para un cambio conceptual, hay condiciones que aparentemente comunes en la mayoría de los casos:

a) *Debe existir una insatisfacción con las concepciones existentes.* Es improbable que científicos y alumnos hagan cambios radicales en sus conceptos a menos que perciban que pequeñas mudanzas no funcionan más.

b) *Una nueva concepción debe ser inteligible.* El individuo debe ser capaz de entender el nuevo concepto lo suficiente para explorar sus posibilidades.

c) *Una nueva concepción debe parecer inicialmente plausible.* Cualquier nuevo concepto adoptado debe por lo menos parecer tener la capacidad de resolver los problemas generados por sus predecesores.

d) *Una nueva concepción debe sugerir la posibilidad*

de un programa de investigación fructífero. El nuevo concepto debe tener el potencial de ser extendido a otras áreas, de abrir nuevas posibilidades.

**2.4 El inventario del concepto de fuerza.** El Inventario del Concepto de Fuerza (ICF) es un examen diagnóstico de opción múltiple desarrollado por Halloun, Hestenes, Wells y Swakhammer<sup>16</sup>, diseñado para monitorear los conceptos sobre fuerza y movimiento (mecánica newtoniana) de los alumnos, es una herramienta muy poderosa para la enseñanza y el aprendizaje de la mecánica. Hestenes and Halloun<sup>17</sup>, comentan que está “*diseñado para formar un juicio para comprender los conceptos básicos de la física Newtoniana. Puede ser usado con varios propósitos, el principal es para evaluar la efectividad de la instrucción*”. Los resultados de los ICF están tomados de las respuestas de los estudiantes mediante un examen de diagnóstico aplicado al principio y al final de un curso, reflejan las creencias y sentido común de los mismos. Los estudiantes tienden a incrementar el porcentaje de respuestas correctas en el examen final y su ganancia se mide mediante la fórmula:

$$G = \frac{\%Examen\ final - \%Examen\ inicial}{100 - \%Examen\ inicial}.$$

### 3 Discusión

La investigación sobre errores conceptuales y concepciones alternativas sobre fuerza tiene objetivos tales como indagar sobre ¿cómo se realiza la interacción entre el conocimiento previo de la fuerza y el nuevo conocimiento?, ¿por qué persiste el conocimiento previo?, ¿cómo cambiar los EC y las CA sobre fuerza por concepciones aceptadas en el contexto científico?, ¿cómo ocurre el cambio conceptual?, ¿cómo afectan éstos EC y CA la educación?

Los EC y CA afectan la mayoría de los campos científicos, obstaculizando el aprendizaje y la aplicación de los conceptos en la vida profesional y cotidiana. Podemos mencionar las siguientes características de los mismos<sup>18</sup>:

- Se repiten insistentemente a lo largo de los distintos niveles educativos sobreviviendo a la enseñanza de conocimientos que los contradicen.
- Se hallan asociados con frecuencia a una determinada interpretación sobre un concepto científico dado (gravedad, fuerza, ímpetu, etc.) diferente a la aceptada por la comunidad científica.
- Son respuestas que se suelen dar rápido y sin dudar, pensando en que son correctas.

Los autores en una perspectiva actual consideran que las ideas de los alumnos tienen implicaciones didácticas importantes, ya que cuando se examinan sus ideas sobre fuerza y movimiento, el sentido común posee una justificación diferente a la aristotélica.

Actualmente existen diversas herramientas (ICF) de evaluación que permiten analizar los EC y sus CA para poder ofrecer una mejor alternativa al proceso de enseñanza – aprendizaje.

### 4 Conclusiones

En este trabajo se ha recopilado y analizado información acerca de los EC y CA sobre fuerza que llevan a ellos. El problema de los errores conceptuales y las ideas alternativas que llevan a cometerlos, sigue siendo una línea de investigación en didáctica de la física, como lo demuestra la gran cantidad de estudios que se siguen realizando alrededor de estos temas, éstos errores tiene una fuerte implicación educativa, ya que el concepto de fuerza contribuye a asimilar los contenidos de la mecánica y éstos pasan a formar base de los conceptos de la física clásica en general.

El origen de las ideas alternativas sobre fuerza y su persistencia se pueden explicar en parte, si consideramos el papel determinante que tienen las experiencias físicas cotidianas, el lenguaje común y los medios de comunicación, la existencia de errores conceptuales en algunos libros de texto, una enseñanza de las ciencias inadecuada y otros aspectos de tipo metodológico. Para minimizar éstos EC es necesario profundizar la investigación alrededor del conocimiento de los profesores y alumnos y realizar una estructuración adecuada de las actividades de enseñanza. También es importante señalar que los seres humanos; de acuerdo a su formación, varía su conducta y la respuesta a los estímulos proporcionados para la adquisición de conceptos. Para el aprendizaje correcto del concepto de fuerza, la existencia de ideas alternativas afectan el concepto de la misma y se observa la necesidad de analizar, mejorar y plantear un modelo de enseñanza-aprendizaje basado en un cambio conceptual y metodológico, elaborar propuestas surgidas de la investigación didáctica y en la práctica diaria del aula para evaluar virtudes y limitaciones.

### Agradecimientos

Este trabajo fue realizado mediante el proyecto de investigación SIP-20071481 del Instituto Politécnico Nacional, y por la Cátedra de Investigación “Tecnología Informática para la Investigación Educativa y la Enseñanza de la Mecánica” de la FES-Cuautitlán UNAM a cargo de Y. Benítez., C. Mora es becario EDI-IPN, COFAA-IPN y del Sistema Nacional de Investigadores nivel I.

### Referencias

- N. Sanjay. Am. J. Phys. Vol. 72, No. 1, pp. 35 (2004).
- R. Driver. Enseñanza de las Ciencias. Vol. 4, No. 1, pp. 3. (1986).
- I. Solano, E. Jiménez, E. Marín. Enseñanza de las Ciencias. Vol. 2, No. 18, pp. 309. (2000).
- Microsoft Corporation. Microsoft Encarta. Diccionario. (2005).
- R. Porlán y J. B. S. Harres. Investigación en la Escuela, Vol. 39, pp. 17-26. (1999).
- G. Bachelard. La formation de l'esprit scientifique. París. Paper. (1938).



7. A. Lara. Escuela de Ingeniería Industrial. Universidad Panamericana. Campus Guadalajara. Tesis. (2006).
8. A. Berranoch. Enseñanza de las ciencias. Vol. 19, No. 1, pp. 123. (2001).
9. I. Solano, E. Jiménez, N. Marín. Enseñanza de las Ciencias, Vol. 15, No. 3, pp. 309-328. (1997).
10. I. Solano, E. Jiménez, N. Marín. Enseñanza de las Ciencias, Vol. 18, No. 2, pp. 171-188. (2000).
11. L. Peduzzi, y A. Zylberstajn. Enseñanza de las Ciencias, Vol. 15, No. 3, pp. 351-359. (1997).
12. J. B. S. Harres. Centro Universitário Univates. Brasil. Enseñanza de las Ciencias. Número extra. VII Congreso. (2005).
13. S. G. Eckstein, y M. Shemesh. Journal of research in science teaching. Vol. 30, No. 1, pp. 45-64. (1993).
14. D. Twigger, *et al.* International Journal of Science Education, Vol. 16, No. 2, pp. 215-229. (1994).
15. M. A. Moreira e I. M. Greca. Cambio conceptual: análisis crítico y propuestas a la luz de la teoría del aprendizaje significativo. Instituto de Física – UFRGS. Campus do Vale. pp 4. (2006).
16. V. P. Coletta and J. A. Phillips. Am. J. Phys. Vol. 73, No. 12, (2005).
17. I. Halloun and D. Hestenes. Am. J. Phys. Vol. 53. pp. 1056. (1985).
18. A. Carrascosa. Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias, Vol. 2, No. 2, pp. 183. (2005).



## Actividades experimentales en física general con fotografía y vídeo digitales

R. Valdés Castro<sup>a</sup> y V. Tricio<sup>b</sup>

Departamento de Física, Universidad de Burgos, España.

a) Escuela Politécnica Superior, Universidad de Burgos; [rvaldes@ubu.es](mailto:rvaldes@ubu.es)†

b) Facultad de Ciencias; [vtricio@ubu.es](mailto:vtricio@ubu.es)

†autor para la correspondencia

Recibido el 1/06/2007. Aprobado en versión final el 15/06/2007.

**Sumario.** Prácticamente desde su invención, la fotografía es utilizada en las investigaciones sobre Física y Astronomía. A partir de los años sesenta del pasado siglo esa tecnología ha sido empleada, más bien ocasionalmente, en la realización de mediciones durante la enseñanza de la Física. Desde hace unos años nosotros estamos utilizando los ordenadores y las cámaras digitales como equipos generales del laboratorio docente y empleándolos sistemáticamente para el planteamiento y la resolución de problemas experimentales. En nuestro trabajo presentamos un conjunto de actividades experimentales, concebidas gracias al uso de las técnicas fotográficas modernas. Mostramos el software *Análisis de Imágenes*, creado por nosotros para la realización de mediciones sobre fotos y vídeos. Abarcamos temáticas de mecánica, movimiento térmico, óptica, física de partículas y teoría de la relatividad. El material docente elaborado tiene utilidad para integrar a las clases de resolución problemas “teóricos” elementos de la actividad experimental. Los resultados de nuestra labor pueden ser de interés para la enseñanza a distancia.

**Abstract.** From its invention, photography is used for investigations on Physics and Astronomy. In the last century that technology occasionally was used for measurements in Physics education. Now we are using computers and digital cameras like general equipment in the laboratory and we are using them systematically for exposition and resolution of experimental problems. In our work we show a set of experimental activities using the modern photographic techniques. We show software *Análisis de Imágenes*, created by us for measurements on photos and videos. We have included thematic related to mechanics, thermal motion, optic, particles and relativity.

**Palabras clave.** Medios audiovisuales 01.50.F-, uso de computadoras en la enseñanza de Física 01.50.ht, Uso de computadoras en el laboratorio 01.50.Lc.

### 1 Introducción

La fotografía digital es, desde sus orígenes, una herramienta para las investigaciones científicas, la actividad periodística y la creación artística. Actualmente es un elemento más del consumo masivo (al menos en los países desarrollados), cuando la educación para todos se ha convertido en una aspiración de la sociedad. De ahí la necesidad de familiarizar a los estudiantes de los diferentes niveles de enseñanza, con los principios de funcionamiento y la utilización de esa nueva tecnología. Por otra parte, la fotografía digital es un medio didáctico que

permite agilizar el aprendizaje y tiene particular trascendencia para la educación a distancia.

En el caso de la enseñanza de la Física y especialmente de la formación universitaria, es prácticamente imposible concebir el laboratorio docente sin las cámaras digitales. Existen dos tendencias básicas en la utilización de fotografía digital:

- La ilustración de los conceptos expuestos en libros o por el profesor en el aula.
- La familiarización de los estudiantes con elementos de la actividad investigadora contemporánea.

Es precisamente en esta última tendencia, relacionada

con la resolución de problemas, la realización de mediciones, los cálculos analíticos y numéricos, la emisión de suposiciones, el diseño de experimentos, etc., en la que centramos nuestra atención.

Con el fin de hacer mediciones sobre fotografías y vídeos hemos confeccionado y utilizamos el programa *Análisis de Imágenes (PAI)*. Se trata de un software que permite medir distancias, intervalos de tiempo e intensidad de la luz. Ello permite plantear y solucionar de forma novedosa, problemas relativos a diferentes temáticas del curso de Física General: mecánica, movimiento térmico, óptica, física de partículas y teoría de la relatividad. Hemos preparado dieciséis problemas experimentales acompañados de las fotografías o vídeos correspondientes. A continuación describimos el software *Análisis de Imágenes* y resumimos el contenido de las actividades experimentales concebidas.

## 2 Medios utilizados para realizar las actividades experimentales

La Fig. 1 muestra las dos ventanas principales de nuestro software *Análisis de Imágenes* mientras se usaba en la realización de experiencias concretas<sup>1, 2</sup>. El sistema consta de dos módulos principales. Uno lo denominamos Posición y Tiempo y es especialmente útil para la realización de actividades relativas a la mecánica, movimiento térmico y Física de las partículas elementales. Puede ser utilizado con las normas PAL y NTSC. El otro módulo, lo llamamos Posición, Intensidad y Color de la Luz que, claro está, se usa en mediciones ópticas. Los botones de control permiten seleccionar fotogramas de vídeos, medir intervalos de tiempo entre fotogramas, determinar las coordenadas de puntos sobre una imagen e insertar automáticamente en una hoja de *Microsoft Excel* los resultados de las mediciones. El software cuenta con un explorador de páginas Web que posibilita a los alumnos acceder al planteamiento de los problemas y hallar artículos que orientan cómo solucionarlos.

Para tomar fotografías y vídeos de unos dos minutos de duración, utilizamos la cámara digital *Sony DSC – W5*. Con esta cámara es posible hacer secuencias de 16 fotogramas de objetos en movimiento (modo continuo o de disparos múltiples). La superposición de los fotogramas permite conformar una sola imagen de tipo estroboscópico, sin necesidad de oscurecimiento y de lámparas intermitentes. La cámara brinda la posibilidad de regular el tiempo de exposición y la abertura del diafragma. Ello tiene especial interés para obtener imágenes nítidas de objetos en movimiento. El procesamiento del material fotográfico lo realizamos con herramientas generales como *Adobe Photoshop* y *Adobe Premiere*.

La mayoría de las instalaciones experimentales usadas para hacer las fotografías incluye una regla. Ello tiene como objetivo contar con un patrón de longitud conocida, que permita determinar la escala de la imagen utilizada en las mediciones.

## 3 Resumen de actividades experimentales preparadas

Presentamos a continuación catorce actividades que abarcan diversas temáticas de Física General.

**Medición del radio de la Tierra.** Se utilizan una fotografía de Egipto tomada por un satélite de la NASA y el método de Eratóstenes para calcular el radio de la Tierra. Con el programa *Análisis de Imágenes* se mide la distancia entre Asuán y Alejandría, cuyas posiciones han sido indicadas en la foto. Conociendo las latitudes de cada una de las ciudades mencionadas, se halla el radio de la Tierra.

**Medición del tiempo de exposición de una cámara.** Realizamos una secuencia de fotogramas de la caída libre de un cuerpo. En cada fotograma la imagen del móvil es una traza cuya longitud depende del tiempo de exposición. Midiendo la longitud de las trazas y el intervalo de tiempo entre los disparos estroboscópicos, se calcula el tiempo de exposición de la cámara. Para la realización de esta experiencia conviene utilizar tiempos de exposición del orden de  $1/30 - 1/25$  s.

**Conservación de la energía mecánica.** Se utiliza la fotografía estroboscópica de media oscilación de un péndulo simple de unos 30 cm de longitud. Con ella es posible medir el desplazamiento de la carga colgada, realizado durante el lapso (0,04 s) entre dos disparos estroboscópicos sucesivos. Se puede considerar que en ese tiempo el movimiento de la pesa es prácticamente rectilíneo uniforme. Ello permite hallar la energía cinética de la pesa en el tramo de recorrido analizado. Si se mide la altura de la pesa respecto a determinado nivel de referencia, se halla la energía potencial correspondiente. Determinando las energías cinética y potencial de la carga en dos posiciones distintas, se comprueba la conservación de la energía mecánica atendiendo a los límites de las incertidumbres experimentales.

**Conservación del momentum lineal.** Los alumnos estudian el choque inelástico de dos pelotas de goma en el plano. La fotografía estroboscópica de las bolas permite determinar la velocidad de cada una. Las pelotas tienen la misma masa. De este modo, midiendo solamente velocidades, se comprueba la conservación de la cantidad de movimiento del sistema dentro de los límites de las incertidumbres experimentales. Por otra parte, también es posible determinar que la energía mecánica no se conserva en este caso y que aproximadamente el 50% de ella se transforma en energía interna del sistema.

**Estudio de la caída de un proyectil considerando la resistencia del aire.** Se analizan las fotos estroboscópicas de la caída de una bolita de poliestireno de 14 mm de diámetro y de una pelota de ping-pong. Se utilizan distintos modelos para describir el movimiento observado: caída libre, movimiento con resistencia del aire proporcional a la velocidad y al cuadrado de la misma. La masa de los móviles y el coeficiente de resistencia frontal medio son dados. La comparación de los gráficos

experimentales de posición y tiempo, con la representación gráfica de la solución numérica las ecuaciones diferenciales de movimiento permiten esclarecer que el modelo más adecuado para describir la caída de la pelotita de poliestireno y de la pelota de ping – pong es el que considera la resistencia del aire dependiente del cuadrado de la velocidad.

**Tiro oblicuo de un proyectil.** Es examinada la fotografía estroboscópica del movimiento de una pelotita de poliestireno lanzada con un ángulo respecto a la horizontal. Se comparan la trayectoria experimental, con las predicciones hechas a través de la solución numérica de las ecuaciones diferenciales que describen el movimiento considerado. Para resolver las ecuaciones diferenciales, las condiciones iniciales se hallan a través de mediciones sobre la fotografía. Considerando la incertidumbre de la medida de las condiciones iniciales (coordenadas y velocidad), se hacen tres predicciones teóricas: la trayectoria de alcance máximo, la de alcance mínimo y la de alcance medio. La trayectoria experimental queda entre las dos primeras y muy cercana a la última. La experiencia pone de manifiesto la significativa sensibilidad del sistema de ecuaciones diferenciales a las condiciones iniciales<sup>2</sup>.

**Oscilaciones armónicas.** Con el programa Análisis de Imágenes los estudiantes examinan un vídeo del movimiento de un péndulo simple. Las mediciones del tiempo y de la posición de la carga colgada, permiten construir el gráfico de elongación respecto al tiempo y comprobar que el modelo de oscilaciones armónicas es adecuado para describir fenómenos reales.

**Estudio del movimiento browniano.** Los alumnos utilizan vídeos del movimiento de partículas brownianas para comprobar la fórmula de Einstein y estimar el número de Avogadro. También comprueban que los desplazamientos brownianos responden a una distribución normal.

**Comprobación de la ley de Malus.** Se utiliza una secuencia fotográfica de la imagen de una fuente de luz polarizada. La luz se hace pasar a través de un polarizador. Variando en un valor constante el ángulo entre el eje del polarizador y el eje de polarización de la luz incidente se obtiene la secuencia de fotogramas. La intensidad de la luz es medida con el programa Análisis de Imágenes. Así se obtiene una muestra de puntos experimentales a la que se ajusta plenamente la ley de Malus.

**Determinación del ancho de una rendija de difracción.** Utilizando la aproximación de Fraunhofer los alumnos calculan el ancho de una rendija. Para ello, miden la distancia entre dos mínimos de difracción del mismo orden. Esta experiencia esboza el camino de posibles aplicaciones de la difracción.

**Calibración de una red de difracción.** El uso de redes de difracción en espectrometría requiere el calibrado de las mismas. Utilizando la fotografía de un patrón de difracción obtenido con un láser de He-Ne, los estudiantes determinan la constante y el período de la red con que fue obtenida la imagen.

**Estudio de la difracción de electrones.** Si en un

tubo de rayos catódicos se hace incidir el haz de electrones sobre un blanco con polvo de grafito, es posible observar un patrón de difracción. La ley de Bragg permite calcular las distancias entre los planos atómicos paralelos que determinan el patrón. Los anillos de difracción se detectan con una pantalla fluorescente y son fotografiados. El diámetro de los anillos depende de la longitud de onda de los electrones que interactúan con el grafito. Calculando dicha longitud y midiendo el diámetro de los anillos de difracción, con la ley de Bragg se determina la distancia interplanar correspondiente. Para realizar las mediciones los alumnos cuentan con una secuencia de fotogramas que contienen patrones de difracción, obtenidos con distintos potenciales de aceleración de los electrones. Ello permite utilizar la regresión lineal durante los cálculos, cuyos resultados son coherentes con al ley de Bragg.

**Estudio de la traza de un positrón.** Se analiza la fotografía de la huella que en la cámara de Wilson deja una partícula cargada, al atravesar una varilla de plomo en un campo magnético homogéneo de inducción conocida. Observando la foto, los alumnos hallan el sentido del movimiento de la carga y, con la ley de Lorentz, el signo de la misma. La energía de la partícula se aporta como dato, obtenido mediante el conteo de la cantidad de ionizaciones (número de gotas) en la traza. Midiendo el radio de la trayectoria registrada, es posible calcular el impulso de la partícula. Sobre esta base y con la fórmula relativista correspondiente, se determina la energía cinética. Este resultado experimental se compara con el obtenido de hallar teóricamente la energía cinética que tendría un electrón de carga positiva en las condiciones indicadas. Razonamientos similares condujeron al descubrimiento del positrón hacia 1932.

**Estudio de un par electrón – positrón.** Es analizada la fotografía de las trazas de un par electrón – positrón, generado cuando un fotón  $\gamma$  atraviesa una varilla de plomo en la cámara de niebla. La energía del fotón y la inducción del campo magnético exterior son conocidas. Los estudiantes deben precisar qué traza corresponde al electrón y cuál al positrón, comprobar que toda la energía del fotón se transfiere al par electrón – positrón y estimar el impulso que recibe el núcleo del átomo de plomo al ocurrir la desintegración.

## 4 Dos ejemplos ilustrativos

**Medición de la longitud de onda de líneas espectrales.** Utilizando lámparas habituales en los laboratorios docentes de Física, hemos obtenido las fotografías de espectros de diferentes elementos. En calidad de espectrógrafo (Fig. 2) se puede utilizar el montaje siguiente. Sobre un banco óptico se fija una varilla que sostiene la regla patrón  $R$ . A la distancia de aproximadamente 1,40 m es colocada una red de difracción  $d$ , con aproximadamente 600 líneas por milímetro y previamente calibrada. Justo detrás de la red, rozándola con su objetivo, se ubica la cámara fotográfica  $CF$ . Entre la regla y la red

se sitúa la lámpara espectral  $L$ , a más de un metro de distancia de la segunda.

Empleando una instalación semejante se obtienen imágenes que permiten calcular, con un error del orden o inferior al 1%, la longitud de onda de las líneas espectrales visibles de átomos como los de hidrógeno, helio, mercurio y cadmio. La figura 3 corresponde al espectro visible del hidrógeno<sup>1</sup>.

Utilizando las fotos realizadas, los estudiantes pueden abordar problemáticas como las siguientes:

-¿Cómo medir la cantidad de líneas por milímetro que tiene una red de difracción?

-¿Qué procedimiento seguir para hallar la longitud de onda de las líneas espectrales grabadas por la cámara digital?

Comprender a fondo la solución de estos interrogantes es una tarea compleja para los alumnos que se inician en la Física. Por eso conviene organizar una secuencia de actividades, que orienten la atención de los estudiantes hacia elementos claves de la metodología de medición<sup>4</sup>.

Algunas actividades son:

La cámara fotográfica es un componente esencial de la instalación utilizada para medir la longitud de onda de las líneas espectrales.

-Describe en un esquema cómo se forman en la cámara la imagen del espectro y de la regla patrón.

-¿Qué importancia tiene colocar el objetivo de la cámara lo más cerca posible de la red?

-En el espectrógrafo descrito la red de difracción se coloca aproximadamente a 1 m de la lámpara. La medición de las longitudes de onda se realiza utilizando la aproximación de Fraunhofer. ¿Con qué error puedes suponer paralelos los rayos de luz procedentes de la lámpara?

Los estudiantes preparan la respuesta a las problemáticas y tareas enunciadas, basándose en documentos preparados al efecto y a los que acceden utilizando el explorador del programa Análisis de Imágenes.

**Estudio de la distribución de la intensidad de la luz en patrón de difracción de Fraunhofer.** El análisis teórico de la difracción de la luz por una rendija rectangular, de conformidad con la aproximación de Fraunhofer, permite determinar que la intensidad del patrón varía según la expresión

$$I = I_0 \left( \frac{\sin \alpha}{\alpha} \right)^2 \quad (1)$$

donde  $I_0$  es la intensidad de la luz en el centro del máximo de orden nulo,  $\alpha = \frac{\pi b}{\lambda L} x$ ,  $b$  es el ancho de la rendija,

$\lambda$  la longitud de onda de la luz,  $L$  la distancia desde la fuente de luz hasta la pantalla y  $x$  la distancia desde un punto del patrón hasta el centro del máximo. La fórmula anterior tiene sentido cuando  $L$  es suficientemente grande.

En nuestra experiencia empleamos un láser de He-Ne para obtener el patrón de difracción, que fotografiamos en blanco y negro. La fotografía en blanco y negro per-

mite eliminar errores en la medición de la intensidad de la luz, que en una imagen a color introducirían los filtros de la cámara digital. El esquema de la instalación experimental utilizada corresponde al de la Fig. 3. Proponemos que los alumnos solucionen tareas como las siguientes:

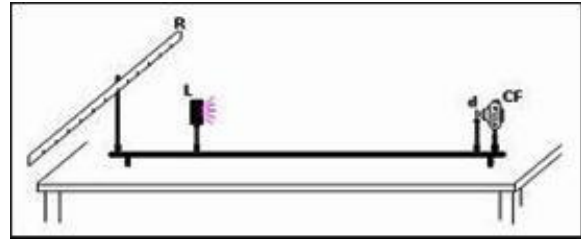


Figura 2. Espectrógrafo sencillo.

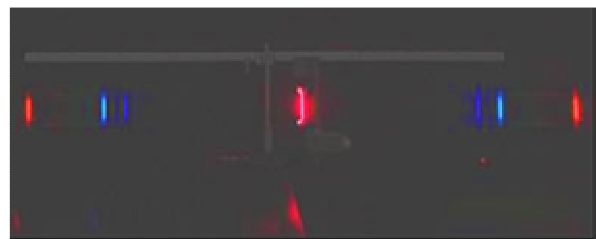


Figura 3. Montaje fotográfico con las líneas espectrales del hidrógeno.

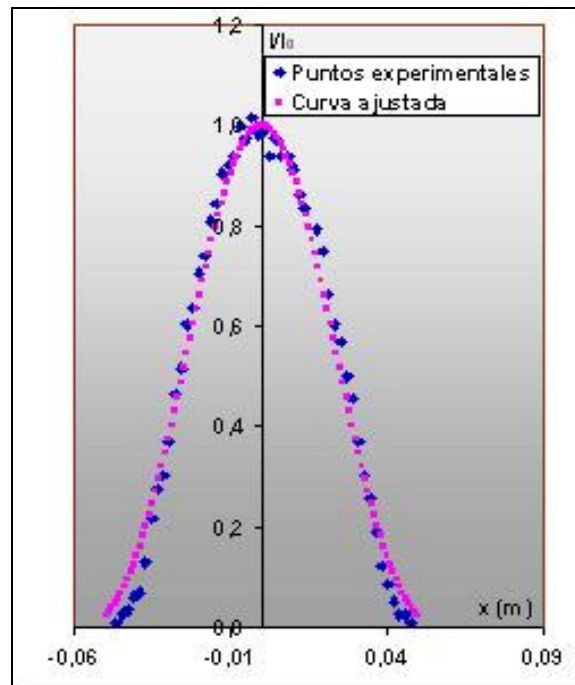
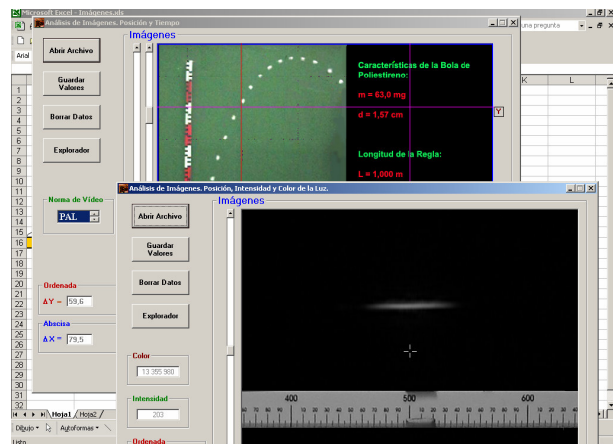


Figura 4. Gráfico de  $I/I_0$  respecto a  $x$ .

1. Construye el gráfico experimental de la intensidad relativa  $I/I_0$  respecto  $x$ , para el máximo de orden nulo.
2. Ajusta a los puntos experimentales la curva teórica

- representativa de los valores de esa intensidad relativa.
3. Calcula el ancho de la rendija de difracción utilizada en el experimento.
  4. ¿Qué ley de distribución propondrías para caracterizar la variación de la intensidad de la luz en la dirección perpendicular a la que ocurre la difracción?



**Figura 5.** Ventanas principales del software “Análisis de Imágenes”.

Las mediciones hechas con el software *Análisis de Imágenes* y con la fotografía del patrón, ponen de manifiesto que la aproximación de Fraunhofer es adecuada para describir los datos experimentales (Fig. 4). Por otra parte también es posible fundamentar experimentalmente

el carácter gaussiano de la distribución de fotones en el haz del láser de *He-Ne*.

## 5 Conclusiones

La utilización combinada de la fotografía digital y los ordenadores en la realización de mediciones, abre claras perspectivas a la tendencia didáctica de familiarizar a los estudiantes con elementos de la actividad investigadora contemporánea y a la educación a distancia.

## Referencias

1. R. Valdés, V. Tricio, J. A. Curbelo y A. Cubas, La fotografía digital y el ordenador en la resolución de problemas, Libro de Actas: XXIX Reunión Bienal de la Real Sociedad Española de Física, Vol. I, julio (2003).
2. R. Valdés y V. Tricio, Experiencias de elaboración y uso de la fotografía digital en la resolución de problemas docentes de física, Revista 100cias@uned, N°8, pp. 144-152 (2005).
3. R. Valdés y V. Tricio, The computer means and the study of the movement of bodies submerged in a fluid. An application of didactic ideas; Proceedings International conference on Education IADAT 2004. Innovation, Technology and Research in Education, Bilbao, July (2004).
4. C. Carreras y M. Yuste, Una forma sencilla y natural de iniciar a los estudiantes en la Óptica Cuántica: obtención y análisis de algunos espectros atómicos; Óptica Pura y Aplicada, Vol. 21, pp. 167-177 (1988).



## Simulaciones computacionales de electromagnetismo como potenciadoras de aprendizaje desarrollador en estudiantes de ingeniería

C. Álvarez Martínez de Santelices y R. Ortiz Pérez<sup>a</sup>

Departamento de Física, Universidad de Camagüey, Cuba; [carlos.alvarez@reduc.edu.cu](mailto:carlos.alvarez@reduc.edu.cu)

a) Facultad de Electromecánica, Universidad de Camagüey, Cuba; [raul.ortiz@reduc.edu.cu](mailto:raul.ortiz@reduc.edu.cu)

Recibido el 1/06/2007. Aprobado en versión final el 15/06/2007.

**Sumario.** La investigación promueve el logro de aprendizaje desarrollador en los estudiantes en la asignatura Electromagnetismo en carreras de ingeniería, por medio de una adecuada estrategia de enseñanza-aprendizaje sustentada en la selección y empleo de simuladores computacionales que se acoplen suficientemente con los fundamentales estilos de aprendizaje de los mismos. El presente trabajo fundamenta la necesidad de incorporar simulaciones computacionales a conferencias, clases prácticas, la solución de tareas extraclase, etc. Devela la conveniencia de considerar los estilos de aprendizaje de los estudiantes de ingenierías al diseñar las estrategias de enseñanza-aprendizaje, muestra el procedimiento seguido al identificar dichos estilos de aprendizaje.

**Abstract.** The investigation promotes the achievement of learning development in students, in the subject Electromagnetism in engineering careers, by means of an appropriate teaching-learning strategy sustained in the selection and employment of computational pretendors that are coupled sufficiently with the fundamental learning styles of them. The present work stands out the necessity to incorporate computational simulations to conferences, practical classes, the solution of extra class tasks, etc. It also shows and proves the convenience of considering the learning styles of the students of engineering when designing the teaching-learning strategies, it additionally shows the procedure followed to identifying this learning styles.

**Palabras clave.** Electromagnetismo 81.70.Ex, simulaciones por computadoras 07.05.Tp

### 1 Introducción

“La búsqueda de la excelencia en las universidades tiene entre sus resultados, la calidad de sus graduados. En el caso de las ingenierías se desean egresados en cantidad y calidad capaces de solucionar los requerimientos actuales y futuros de la tecnología y el desarrollo acelerado de la ciencia.

En la formación del ingeniero actual se tendrán presentes las transformaciones tecnológicas de las últimas décadas, tales como: los descubrimientos en las ciencias básicas, que han ampliado enormemente el campo del conocimiento humano, el incremento continuo del ritmo de las innovaciones tecnológicas y los gastos en investigación y desarrollo, la decisiva influencia del progreso técnico para el logro de niveles duraderos de competi-

tividad internacional, la necesidad de cambios institucionales, sociales, políticos y aún culturales para que el progreso técnico se materialice. Todo esto hace más compleja la actividad de la enseñanza de la ingeniería pues tiene que capacitar al ingeniero para la continuidad y a su vez para el cambio”<sup>1</sup>.

Para los investigadores promover un aprendizaje desarrollador en estudiantes de ingenierías es viable con el empleo de una adecuada estrategia de enseñanza-aprendizaje asistida por la utilización de simuladores computacionales. Ello sería posible con una mayor personalización del proceso de enseñanza-aprendizaje mediante el acople del material de estudio a los principales estilos de aprendizaje de los educandos a través de una cuidadosa selección de simulaciones computacionales insertadas en actividades docentes presenciales, semi-

presenciales y a distancia.

Si consideramos que el estilo de aprendizaje es la forma en que un individuo aprende, y como las personas tienen diferentes estilos de aprendizaje, los cuales se reflejan en las diferentes habilidades, intereses, debilidades y fortalezas académicas, entonces por ser un proceso dirigido los estilos de aprendizaje se encuentran condicionados por la enseñanza y específicamente por las estrategias de enseñanza que desarrollan los profesores.

A los efectos de la presente investigación se asume la visión histórico cultural de L. Vygotsky<sup>2</sup> al conducirse un proceso de enseñanza aprendizaje desarrollador y su instrumentación es puesta en práctica a través del modelo de estilos de aprendizaje diseñado por el grupo de investigadores de la universidad Estatal de Carolina del Norte, Estados Unidos presididos por el profesor Richard M. Felder<sup>3</sup>, los mismos han sintetizado los resultados de varios estudios al formular un modelo de estilo de aprendizaje con dimensiones que deben ser particularmente pertinentes a la educación de la ciencia y en particular a la formación de ingenieros.

Las investigaciones de Felder<sup>4</sup> y sucesivas constataciones<sup>5</sup> de las mismas en varias universidades de los Estados Unidos de Norteamérica, Brasil, Jamaica, etc. y las evidencias obtenidas por los autores coinciden en identificar que de las ocho categorías de estilo de aprendizaje definidas por Felder, cuatro de ellas (intuitivo, verbal, reflexivo y secuencial), se atienden adecuadamente con métodos propios de la enseñanza tradicional, y se desatienden pedagógicamente a los estudiantes de estilos de aprendizaje sensorial, visual, activo y global.

Satisfacer las necesidades educativas y formativas de los estudiantes resulta una tarea profesionalmente compleja, particularmente en la enseñanza-aprendizaje de la asignatura electromagnetismo que exige un elevado nivel de abstracción y una sólida preparación conceptual, con habilidades matemáticas y experimentales que les permitan enfrentar la solución de problemas específicos de la asignatura y de la futura profesión. Los investigadores consideran que aprovechando las potencialidades de las TICs se viabilizaría tal propósito, es por ello que el presente artículo muestra una estrategia de enseñanza-aprendizaje asista por simulaciones computacionales insertadas en conferencias, clases prácticas, seminarios investigativos, prácticas de laboratorio virtuales y tareas extra-docentes.

## 2 Estrategia de enseñanza-aprendizaje

Preparar eficientemente para la vida social y profesional a los estudiantes de carreras de ingenierías ha de exigir de los profesores perfeccionar sus estrategias de enseñanza: trabajar por favorecer un mayor protagonismo de los estudiantes dentro y fuera de las clases, procurar atender a todas las necesidades educativas de los mismos, pero a la vez han de procurar modificar aquellos estilos de aprendizaje de sus estudiantes que no favorezcan el desarrollo profesional que debe caracterizar a un futu-

ro ingeniero.

### 2.1 Implementación de la estrategia de enseñanza-aprendizaje del electromagnetismo.

- Identificar los estilos de aprendizaje que caracterizan al profesor que impartirá la asignatura y el de cada uno de los estudiantes que la recibirá. Para ello se utiliza el cuestionario de Felder, R. & Soloman, B, publicado en <http://www.engr.ncsu.edu/learningstyles/ilsweb.html>.
- A partir del resultado individual, identificar los predominantes y los menos generalizados e identificar semejanzas y diferencias con el profesor.
- Identificar los fundamentales objetivos y habilidades que los estudiantes han de alcanzar por unidad o subunidad del contenido de la asignatura.
- Determinar la estrategia de enseñanza a seguir en cada unidad o subunidad de contenidos, atendiendo a los estilos de aprendizaje diagnosticados.
- Con vista a propiciar mayor eficiencia en la utilización de las simulaciones computacionales en la asignatura Electromagnetismo, el autor principal diseñó y elaboró la página Web "Laboratorios Virtuales de Electromagnetismo" (LAVE), la cual está disponible desde la Universidad de Murcia, España en el sitio <http://colos.fcu.um.es/LVE/index.htm> y en los servidores de las facultades de Ingeniería Mecánica, Eléctrica, Química e Informática de la universidad de Camagüey, Cuba.
- El profesor a partir de los identificados predominantes estilos de aprendizaje del colectivo de estudiantes, seleccionará las simulaciones computacionales, tomadas de la página Web LAVE en aquellas conferencias, clases prácticas, seminarios investigativos, laboratorios y al favorecer la comprensión y solución de tareas extra-docentes que contribuyan al logro de objetivos fundamentales de la asignatura.

### 2.2 Análisis de la implementación durante el curso escolar 2005-06.

El experimento se desarrolla en la carrera ingeniería mecánica de la universidad de Camagüey, Cuba, se escoge al grupo de segundo año de la referida carrera el cual cuenta con 19 estudiantes, al mismo le imparte la asignatura Electromagnetismo el autor principal de la presente investigación.

Al implementar la intervención de la estrategia se procedió a:

- Selección de los contenidos de Electromagnetismo que más inciden en la comprensión conceptual de los estudiantes cuando han sido presentados a la manera tradicional.
- Se escogen las conferencias, clases práctica y se implementan laboratorios virtuales en los cuales se insertarían las simulaciones computacionales seleccionadas, procurando satisfacer estudiantes sensorial, visual, activo y global mayoritarios en el grupo experimento (ver Tabla I).
- En las conferencias escogidas las simulaciones se emplean para cumplir la función didáctica de Experimento Demostrativo Frontal, ello responde a que las de-



mostraciones: a) ayudan a la comprensión de los conceptos científicos, para que sean adquiridos, siempre que sea posible, por vía de la experimentación, b) ilustran el método inductivo, ya que van desde el caso particular y concreto al mundo de las leyes generales, desarrollando la intuición del estudiante. Con ayuda de las demostraciones de aula los procesos inductivos y deductivos quedan integrados en un último proceso de enseñanza-aprendizaje, c) ayudan a establecer conexiones entre el formalismo de la física y los fenómenos del mundo real, d) permiten mantener una conexión cronológica entre teoría y experimentación, ya que la práctica de laboratorio por dificultades de organización no se suceden con los conceptos explicados en las clases teóricas. Las demostraciones de aula se insertan en los momentos oportunos, en los que el nuevo concepto físico se introduce o se explica, e) las demostraciones de aula tienen otras virtudes pedagógicas intrínsecas además del apoyo que suponen a la teoría, ya que motivan al estudiante promoviendo la interacción alumno-profesor, enriqueciendo el ambiente participativo y de discusión entre el profesor con los estudiantes, y de estos entre sí.

- La incorporación de laboratorios virtuales responde al criterio que considera que el laboratorio es el elemento más distintivo de la educación científica, considera tiene gran relevancia en el proceso de formación, en él se puede conocer al estudiante en su integralidad: sus conocimientos, actitudes y desenvolvimiento. El trabajo de laboratorio sirve para: a) motivar, mediante la estimulación del interés y la diversión, b) enseñar las técnicas de laboratorio, c) intensificar el aprendizaje de los conocimientos científicos, d) proporcionar una idea sobre el método científico, y desarrollar la habilidad en su utilización, e) des-arrollar determinadas "actitudes científicas", tales como la consideración de las ideas y sugerencias de otras personas, la objetividad y la buena disposición para emitir juicios apresurados.

- En las clases práctica previstas, se propicia que los estudiantes interactúen con la computadora situada en el aula, al solucionar la tarea indicada por el profesor, al hacerlo seleccionen en LAVE simulaciones o herramientas estadísticas para procesar e interpretar gráfica y analíticamente la respuesta considerada. Aquí se constató la diversidad de estilos que identifican a los estudiantes del experimento.

- En los seminarios investigativos, varios estudiantes al intervenir, emplearon simulaciones, textos o herramientas de la página Web LAVE.

### 2.3 Impacto de la estrategia en la comprensión conceptual de los estudiantes.

Para evaluar la calidad de la comprensión conceptual de los estudiantes actuales (grupo experimento), se comparan con los obtenidos por otro colectivo estudiantil (grupo control) de la misma carrera y cuyos miembros poseen características relevantes y significativas similares; el autor principal de esta investigación es quien les impartió la asignatura Electromagnetismo a ambos grupos de estudiantes. Se tuvo el cuidado de modificar so-

lamente los métodos y procedimientos empleados en las clases donde se insertaron los simuladores, igualmente se cuidó el nivel de dificultad de los instrumentos de evaluación utilizados para la medición deseada (ver tablas # 2 y 3).

Etapas	Contenidos	Inserción de simuladores computarizados acoplados a los estilos de aprendizaje			
		Sensoriales	Visuales	Activos	globales
1	Electrostática y corriente eléctrica	—	Demo (1)	TE (2)	—
2	Campo magnético y oscilaciones electromagnéticas	—	Demo (3)	TE (2)	S (1)
3	Óptica física	Lv (1)	Demo (2)	T(2)	T (1) S (1)

*Simbología utilizada: Lv.- Laboratorios virtuales, Demo.- experimentos demostrativos, T.- tarea en clase, TE.- Tareas extractase S.- Seminarios investigativos. (#).- Cantidad de actividades asistidas por simulaciones.*

Controles evaluativos	Por ciento de estudiantes que alcanzan las calificaciones indicadas.			
	5 puntos	4 puntos	3 puntos	2 puntos
1	0	31.6	21	47.4
2	10.5	57.9	15.8	15.8
3	42.1	36.8	15.8	5.3
4	45.8	36.8	5.3	0

Se aprecia que el por ciento de estudiantes que en el grupo experimento logra calificaciones de 4 y 5 puntos, como indicadores de calidad en la asimilación de los conocimientos, es superior a los obtenidos por el grupo control. Se evidencia la relación funcional entre la calidad del aprendizaje de los estudiantes y la progresiva y diversificada interacción de los mismos con las simulaciones computacionales.

### 2.4 Dificultades presentadas al implementar la estrategia.

- No se logra intervenir con las simulaciones computa-

cionales en todas las actividades docentes previstas y con la participación de estudiantes necesaria, lo que estuvo dado por descoordinaciones en la utilización del laboratorio de computación de la carrera.

- Disponer de una sola computadora en el aula especializada de Física en las clases práctica, lo cual limita el empleo de los recursos informático contenido en LAVE.
- No todos los estudiantes asumieron con la misma responsabilidad las tareas asignadas y cuya solución requería la utilización extra clase de las simulaciones computacionales.

### 3 Conclusiones

El salto cualitativo y cuantitativo logrado por los estudiantes en la asimilación de los conocimientos se correspondió con la satisfacción a sus principales estilos de aprendizaje al escogerse simulaciones computacionales que propiciaron acoplar los estilos de enseñanza con los estilos de aprendizaje.

Modificar las estrategias características de la enseñanza tradicionales mediante la inserción de simulaciones computacionales con capacidad para acoplarse con

los estilos de aprendizaje identificados como sensoriales, visuales, activos y globales, propicia mayor eficiencia en la asimilación de los conocimientos de Electromagnetismo en estudiantes de la carrera de ingeniería mecánica.

Se constató la favorable aceptación de la página Web “Laboratorios Virtuales de Electromagnetismo” toda vez que la misma garantiza los requerimientos cognitivos necesarios de estudiantes y profesores.

**Tabla III**

Resultado en la asimilación de conocimientos de los 19 estudiantes del grupo control en el curso escolar 2004-2005.

Controles evaluativos	Por ciento de estudiantes que alcanzan las calificaciones indicadas			
	5 puntos	4 puntos	3 puntos	2 puntos
1	5.3	21.1	26.3	47.4
2	10.5	26.3	36.8	26.3
3	26.3	31.6	26.3	15.8
4	31.6	26.3	31.6	10.5

### Referencias

<sup>1</sup> C. Álvarez, C. La sistematización de la actividad experimental virtual, una estrategia de enseñanza-aprendizaje del electromagnetismo. Tesis de maestría. CECEDUC, Universidad de Camagüey, Cuba (2005).

<sup>2</sup> L. Vygotsky. El Desarrollo de los Procesos Psicológicos Superiores. Cap. 6.: Interacción entre Aprendizaje y Desarrollo. Ed. Grijalbo. México. (1988).

<sup>3</sup> R. M. Felder. Learning and teaching styles in engineering education. Engr. Education, 78(7), 674–681 (1988).

<sup>4</sup> R.M. Felder, “On Creating Creative Engineers,” Eng. Ed., 77(4), 222–227 (1987).

<sup>5</sup> R. M. Felder and J. Spurlin. Int. J. Eng. Ed. Vol. 21, No.1, pp. 103-112, (2005).



# Un estudio sobre el groupware; propuesta de fundamentación teórica para el diseño de actividades colaborativas usando moodle

O. Pérez†, N. Rangel A. González y T. Fagúndez

Departamento de Física. Estudios Básicos, Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo, Venezuela; Final de Av. Universidad, Naguanagua, Edo. Carabobo, Venezuela, C.P.:2005; operez@uc.edu.ve

† Autor para la correspondencia

Recibido el 1/07//2007. Aprobado en versión final el 15/07/2007.

**Resumen.** Aprovechando el potencial comunicativo de Internet las posibilidades de interacción han avanzado vertiginosamente, lo que ha repercutido directamente en el apoyo al trabajo y a una mayor facilidad de coordinación de las actividades de grupo. Para ello es necesaria una infraestructura técnica que responda a los requerimientos de tales actividades. El trabajo que se presenta está ubicado en la línea de investigación del aprendizaje colaborativo, mediado por el ordenador en red. La investigación es del tipo cualitativa. Comprende una revisión bibliográfica sobre aplicaciones de groupware en la enseñanza con entornos colaborativos, sus herramientas, evaluaciones de estos entornos y en especial aquellos basados en moodle. La relevancia de esta investigación es fundamentar el diseño de un módulo educativo dirigido a estudiantes de física universitaria, bajo la plataforma que ofrece el aula virtual de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo en Venezuela, basado en entornos colaborativos, usando moodle.

**Abstract.** Taking advantage of the communicative potential of Internet the interaction possibilities improve dramatically. This improvement has a direct repercussion in the work aid and a better facility to the coordination of work, related in group activities. For this coordination is also required a technical infrastructure that supports the requirements of such activities. The work that is presented is positioned along to the lines of the investigation of collaborative learning with computer network mediation. The type of the investigation is a qualitative. It's comprised a bibliographic revision on applications of groupware in education with environments collaborative, their tools, and evaluations of these environments and in special those based on moodle. The relevance of this investigation is to find bases for the successfully design of an educational module directed to university physics' students, under platform offered for the virtual classroom of Engineering Faculty in the Universidad de Carabobo - Venezuela, based on environments collaborative, using moodle.

**Palabras clave.** Computadoras en la enseñanza de la física 01.50.H-, medios educacionales 01.50.-i, teorías de aprendizaje en la enseñanza de la física 01.40.Ha.

## 1 Introducción

A finales de la década de 1960 la informática se incorporó, a través de la comunicación por medio de redes, al ámbito educativo. Inicialmente las actividades se enfocaron sobre el carácter individual del aprendizaje, intentando establecer la relación ordenador-estudiante, la metáfora tutorial: el ordenador como tutor<sup>1</sup>. No fue sino

hasta finales de los años 80 que el ordenador incursiona en el aprendizaje colaborativo. La expresión aprendizaje colaborativo se refiere a metodologías de aprendizaje que incentivan la colaboración entre individuos para conocer, compartir y ampliar la información que cada uno tiene sobre un tema. Esto se logra compartiendo datos mediante espacios de discusión reales o virtuales. El aprendizaje colaborativo surge mayormente de ins-

tancias de trabajo en grupos o trabajo colaborativo. Para lograr colaboración se requiere de una tarea mutua en la cual los participantes trabajan juntos para producir algo que no podrían producir individualmente ([http://es.wikipedia.org/wiki/Aprendizaje\\_colaborativo](http://es.wikipedia.org/wiki/Aprendizaje_colaborativo)).

Los elementos básicos que caracterizan al trabajo colaborativo, deben estar presentes en los procesos grupales virtuales de las aplicaciones groupware, para garantizar resultados satisfactorios.

La indagación de virtualidades pedagógicas de la mediación tecnológica disponible ha orientado la búsqueda de nuevas formas para la enseñanza-aprendizaje, concretamente en el campo de la Física. En este contexto se propone la utilización de internet, a través del Aula Virtual de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo-Venezuela, mediante un módulo provisto de un entorno colaborativo como complemento de las clases presenciales de esta asignatura.

## 2 Entornos colaborativos (groupware)

En el campo de la informática, más allá de las grandes organizaciones, los primeros desarrollos de la tecnología estuvieron orientados a las actividades de interacción del ser humano con el ordenador, el ser humano como individuo mas no como grupo. A mediados de la década de los años 80, la constante preocupación de las empresas y organizaciones por incrementar su productividad y eficiencia hizo que el campo de la informática prestara atención a las actividades que se realizan en una oficina<sup>2</sup>, no desde el punto de vista de la actividad particular de un empleado (procesadores de palabras, hojas de cálculo, etc), sino más bien como grupos no muy grandes de personas trabajando para la consecución de metas comunes relacionadas con la organización<sup>3</sup>. Emergía así un nuevo campo para la investigación y el desarrollo dentro de la informática.

**2.1 Definición de Groupware.** El término “groupware” fue introducido en 1978 por Peter y Trudy Johnson-Lenz<sup>4</sup>. Definirlo no es sencillo, es un término que se refiere a la tecnología, a los sistemas que soportan la actividad de los grupos<sup>5</sup>. Es un recurso en red que presenta una estructura que facilita las interacciones de un grupo ofreciendo herramientas que permiten manipular los materiales de interés común<sup>1</sup>. Básicamente en los sistemas groupware el desarrollo del trabajo está constituido por el intercambio de información, su gestión y control, la notificación de toda clase de actuaciones, utilización del conocimiento almacenado en espacios compartidos, entre otras acciones.

**2.2 Tipos de grupos.** De acuerdo con la forma de interactuar los miembros de un grupo se les denomina: grupos electrónicos y grupos soportados electrónicamente. Los grupos electrónicos se podrían comunicar exclusivamente mediante ordenador; no conociendo personalmente un miembro a los otros miembros del grupo. Mientras que los grupos soportados electrónicamente lo hacen mediante el contacto personal además de

las comunicaciones electrónicas<sup>6</sup>. Groupware puede servir, tanto para encuentros de grupo cara a cara, como para grupos que no se encuentren en un mismo lugar geográfico<sup>7</sup>.

**2.3 Taxonomía de dos dimensiones (espacio/tiempo).** Esta taxonomía es la más comúnmente usada, se basa en el lugar y el momento en que la interacción ocurre. Como se vio en la sección 2.2. un groupware puede servir para interacciones *cara a cara*, como también, para interacciones entre personas que se encuentren ubicadas en diferentes lugares (grupos distribuidos). Asimismo, el groupware puede diseñarse para que la interacción se realice simultáneamente (interacción síncrona), denominado *groupware en tiempo-real*; o por el contrario, estar diseñado para que la interacción pueda producirse en momentos diferentes (interacción asíncrona), *groupware en tiempo-no-real*. En la Tabla I se muestra la matriz 2x2 que combina las cuatro categorías mencionadas<sup>8</sup>.

Espacio/tiempo	Mismo Tiempo	Diferente Tiempo
Mismo Lugar	Interacción Cara a Cara	Interacción Asíncrona
Diferente Lugar	Interacción Síncrona Distribuida	Interacción Asíncrona Distribuida

Espacio/tiempo	Mismo Tiempo	Diferente pero predecible	Diferente e impredecible
Mismo Lugar	Interacción cara a cara	Calendarios electrónicos	Espacios de reuniones
Diferente pero predecible	Teleconferencias Videoconferencias Conferencias de escritorio	Correo electrónico	Editores de grupo
Diferente e impredecible	Seminarios interactivos multiusuario	Tablón de anuncios	Manejo del flujo de trabajo

**2.4 Taxonomía por el tipo de aplicación.** Grudin<sup>6</sup>, basándose en lo predecible o no de las interacciones (de acuerdo con la herramienta característica de la aplicación), amplió la Matriz Groupware Espacio/Tiempo agregando las categorías “diferente pero predecible” y “diferente e impredecible”, generándose así una matriz 3x3, la cual se muestra en la Tabla II, definiendo la interacción mediante las herramientas tecnológicas allí indicadas.

**2.5 Taxonomía 3C.** En la interacción de grupo existen tres áreas claves: comunicación, colaboración, y

coordinación<sup>8</sup>. La taxonomía 3C, definida como el modelo 3C (Comunicación, Colaboración, y Coordinación), se basa en la concepción de que una tarea o labor realizada por varias personas en forma colaborativa, y donde cada una ejecute una acción definida y particular que conlleve al buen término de la tarea como conjunto, requiere de coordinación, y ésta a su vez sólo puede lograrse mediante la comunicación.

### 3 Herramientas del groupware

Estas herramientas son recursos que permiten al usuario: establecer la comunicación, integrarse a un grupo y construir en consenso una actividad, compartir datos o información. Dependiendo de las características de la actividad apoyada por estas herramientas, el grupo podría trabajar de manera síncrona o asíncrona. Los usuarios pueden estar distribuidos (ubicados en lugares geográficos diferentes), y ser de diferentes culturas. Entre estas herramientas las más comúnmente utilizadas son:

**3.1 Correo electrónico (e-mail).** Es un sistema de comunicación asíncrona, la herramienta dentro de las comunicaciones mediadas por ordenador que más se ha extendido. Mediante esta herramienta fue que la comunicación a través de redes tuvo su inicio en la década de 1960 en ordenadores conectados en tiempo real<sup>8</sup>.

**3.2 Calendarios electrónicos.** Se utilizan en el groupware para la planificación de las reuniones, organizan la agenda del grupo.

**3.3 Web conferencia.** Es una videoconferencia (conferencia apoyada por la tecnología de vídeo) que utiliza la World Wide Web, en donde cada participante se sienta frente a su propio ordenador, y es conectado a otros participantes vía Internet.

**3.4 Manejo de flujo de trabajo (workflow management).** El workflow management no es una herramienta de comunicación, pero la misma es parte integral de los sistemas groupware. La función principal de esta herramienta es coordinar el flujo de trabajo, en especial en lo que se refiere a las actividades asíncronas.

**3.5 Espacios de charla (chat).** Son espacios donde se establecen charlas escritas a través de internet entre dos o más personas en tiempo real. En la actualidad la mayoría de los Chat incorporan Web conferencias (comunicaciones de audio y de vídeo).

**3.6 Foros de Internet.** Es una aplicación Web, un espacio para la discusión. Tienen su inicio alrededor de 1996, después de los grupos de discusión y los sistemas de tablón de anuncios.

**3.7 Wiki.** Un wiki es un tipo especial de página Web, cuya característica fundamental es que es modificable por los usuarios.

### 4 Sistemas groupware en el ámbito educativo

Una característica importante de un sistema groupware en el ámbito educativo, es que debe proporcionar herramientas que ayuden a los participantes a compartir su conocimiento y capacidades, tanto el conocimiento de grupo como las experiencias individuales. Entre estos sistemas se encuentran: Synergeia, CSILE, CLARE, CoVis, DEGREE, Belvedere, Fle3, Knowledge Forum (KF), y Moodle, entre otros.

Algunos de estos sistemas están desarrollados bajo software libre, entendiéndose como este último aquel programa de computación cuya licencia garantiza al usuario acceso al código fuente del programa y lo autoriza a ejecutarlo con cualquier propósito, modificarlo y redistribuir tanto el programa original como sus modificaciones en las mismas condiciones de licenciamiento acordadas al programa original, sin tener que pagar regalías a los desarrolladores previos.

El Moodle está enmarcado dentro de esta filosofía, y ha venido siendo utilizado y evaluado satisfactoriamente en varias universidades de Europa y América

(<http://aprendeonline.udea.edu.co/lms/moodle/file.php/7/CalificacionPropuesta.pdf>; [www.efis.ucr.ac.cr/varioponencias/4uso%20de%20plataformas%20virtuales.pdf](http://www.efis.ucr.ac.cr/varioponencias/4uso%20de%20plataformas%20virtuales.pdf)). Es un sistema de gestión de la enseñanza, también denominado "Entorno Virtual de Enseñanza-Aprendizaje" (EVEA), diseñado para ayudar a los educadores a crear un ambiente de aprendizaje virtual. Fue creado por Martin Dougiamas, quien trabajó como administrador de sistemas en la Universidad Curtin en Australia, se basó en trabajos que afirman que el conocimiento se construye en la mente del estudiante en lugar de ser transmitido sin cambios a partir de libros o enseñanzas.

### 5 Moodle y su aplicación en el contexto donde se realiza la investigación

El contexto donde se realiza la investigación es la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo- Venezuela, tomando en cuenta específicamente a la población de profesores y alumnos del Departamento de Física de Estudios Básicos. Recientemente, se ha puesto en funcionamiento el Aula Virtual de Ingeniería, que es un Sistema para la Administración de Cursos en Internet (Course Management System). Este sistema ha sido creado utilizando Moodle, lo cual permite hacer uso de múltiples actividades y recursos, pudiendo de esta forma adaptarse a diferentes necesidades del aprendizaje. Los módulos que ofrece el sistema hacen posible diseñar un curso utilizando [www.efis.ucr.ac.cr/varioponencias/4uso%20de%20plataformas%20virtuales.pdf](http://www.efis.ucr.ac.cr/varioponencias/4uso%20de%20plataformas%20virtuales.pdf).

**5.1. Recursos basados en tecnologías transmisivas.** Permiten la transferencia de información. Entran aquí todos los textos, los accesos a otras páginas Web, gráficos, archivos de audio y vídeo, presentaciones multimedia, libros, entre otros

**5.2. Recursos basados en tecnologías interacti-**

**vas.** Determinado por el control de navegación sobre los contenidos. La navegación es no lineal.

**5.3. Recursos basados en tecnologías colaborativas.** Hay una mayor actividad por parte de los alumnos con un matiz fundamental: lo que se aprende, se aprende con otros. Los recursos, por tanto, están altamente orientados a la interacción y el intercambio de ideas y materiales tanto entre el profesor y los alumnos como de los alumnos entre sí.

Haciendo uso del “Aula Virtual de Ingeniería”, se plantea el aprovechamiento de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TICs) en la enseñanza de la física, con lo que se persigue aumentar el rendimiento mediante el aprendizaje colaborativo del tema Cinemática de la Partícula. No se pretende con ello innovar en el conocimiento disponible acerca de la física de partículas, sino investigar cómo la mejora de la práctica de colaboración, en una zona de conocimiento de bajo rendimiento, aumenta los índices de éxito académico.

## 6 Conclusiones

La revisión realizada para profundizar y conocer sobre el groupware, el moodle y el aprendizaje colaborativo, así como de sus aplicaciones en otras instituciones educativas, sirven de fundamento para tener la confianza para llevar a cabo la propuesta de realizar un diseño instruccional bajo esta plataforma educativa, para la enseñanza de la física. El diseño sobre esta plataforma educativa virtual, nos ofrece las posibilidades de obtener una potente herramienta que sirva de recurso para la creación de significados científicos de forma colaborativa por parte de los alumnos; además de representar una efectiva herramienta didáctica y de gestión, que enriquezca las clases tradicionales.

## Referencias

- 
- <sup>1</sup> Crook, Ch. Ordenadores y aprendizaje colaborativo. Madrid: Ministerio de Educación y Cultura; Ediciones Morata. (1998).
  - <sup>2</sup> McCarthy, J. The state-of-the-art of CSCW: CSCW systems, cooperative work and organization. *Journal of Information Technology*, 9, 73-83 (1994).
  - <sup>3</sup> Grudin, J. (Groupware and social dynamics: Eight challenges for developers. Association for Computing Machinery. *Communications of the ACM*, 37 (1), 92-105 (1994a).
  - <sup>4</sup> Grudin, J. CSCW Introduction. Association for Computing Machinery. *Communications of the ACM*, 34 (12), 30-34. (1991).
  - <sup>5</sup> Grudin, J. Computer-Supported Cooperative Work: History and Focus. *IEEE Computer*, 27 (5), 19-27. (1994b).
  - <sup>6</sup> Borghoff, U., & Schlichter, J., Computer-supported cooperative work : introduction to distributed applications. Berlin ; New York : Springer (2000).
  - <sup>7</sup> Ellis, C., Gibbs, S., & Rein, G. Groupware: Some Issues and Experiences. Association for Computing Machinery. *Communications of the ACM*, 34 (1), 38-58. (1991).

---

<sup>8</sup> Harasim, L., Hiltz, S., Turoff, M., y Teles, L. Redes de aprendizaje: guía para la enseñanza y el aprendizaje en red. Barcelona : Gedisa; EDIUOC. (2000).



## Propuesta de modelo educativo virtual

J. Fuentes Betancourt<sup>†</sup>, O. Calzadilla Amaya y A. Pérez Perdomo

Taller de Enseñanza de la Física Universitaria. Facultad de Física, Universidad de La Habana, Cuba; [jfuentes@fisica.uh.cu](mailto:jfuentes@fisica.uh.cu); [calza@fisica.uh.cu](mailto:calza@fisica.uh.cu); [aperez@uh.cu](mailto:aperez@uh.cu)

<sup>†</sup> autor para la correspondencia

Recibido el 1/06/2007. Aprobado en versión final el 15/06/2007.

**Sumario.** Este trabajo examina como se transforman la enseñanza y el aprendizaje con la introducción de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC), particularmente empleando cursos mixtos, implementados en la carrera de Física de la Universidad de La Habana. Se argumenta la necesidad de diseñar un Modelo Educativo Virtual, partiendo de una concepción teórica del aprendizaje, que retome y aproveche prácticas y experiencias didácticas que han demostrado su validez. Se presenta un análisis de los diferentes componentes que caracterizan el Modelo.

**Abstract.** This work examines like the teaching and the learning are transform with the introduction of the Information and Communication Technologies (ICT), particularly using the mixed method, implemented in the career of Physics of the University of Havana. One argues the necessity to design a Virtual Educational Model, leaving of a theoretical conception of the learning that recaptures and take advantage of the practical and didactic experiences that have demonstrated their validity. It is presented an analysis of the different components that characterize the Model.

**Palabras claves.** Education, 01.40.-d, Educational aids, 01.50.-i, Learning theory (physics education), 01.40.Ha

### 1 Introducción

La UNESCO en la Declaración Mundial sobre la Educación Superior para el Siglo XXI: Visión y Acción, aprobado en la Conferencia Mundial de la Educación Superior señaló que; “La educación superior debe hacer frente... a los retos que suponen las nuevas oportunidades que abren las tecnologías, que mejoran la manera de producir, organizar, difundir y controlar el saber y de acceder al mismo”. “En un mundo en rápido cambio, se percibe la necesidad de una nueva visión y un nuevo modelo de enseñanza superior, que debería estar centrado en el estudiante,..., así como una renovación de los contenidos, métodos, prácticas y medios de transmisión del saber...”. (UNESCO, 1998)<sup>1</sup>.

En efecto, en el periodo transcurrido desde la aparición de la mencionada Declaración, el desarrollo de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) ha confirmado que ante los docentes se abren nuevas perspectivas y posibilidades en el proceso de enseñanza

aprendizaje.

Se observa a menudo en la literatura que erróneamente se plantea la contraposición entre educación virtual y educación “tradicional”. Esto es resultado de identificar ésta última únicamente con conferencias magistrales donde al estudiante se asigna un rol pasivo. Se olvida que en la actualidad, buscando activar el proceso de aprendizaje y propiciar el estudio independiente, se emplean, cada vez más, distintas metodologías en actividades grupales, seminarios<sup>2,3</sup> o trabajos individualizados como las prácticas proyectos<sup>4</sup>, además de apoyarse en una amplia variedad de medios tecnológicos.

Del mismo modo, la educación virtual, seleccionando dentro del amplio espectro de posibilidades las tecnologías más convenientes a la filosofía educacional que la inspire, no rechaza la incorporación de elementos de la enseñanza tradicional, en los llamados cursos mixtos. Hay que señalar que en la educación virtual se hace cada vez más énfasis en un aprendizaje centrado en el estudiante, lo que se facilita con el empleo de las TIC.

En el caso de la enseñanza de la Física, para el aprendizaje de la cual está demostrado la importancia del trabajo experimental<sup>5</sup>, el empleo de las TIC lo concebimos como la posibilidad de brindar a los estudiantes recursos educativos de avanzada disponibles<sup>6</sup>, además de métodos tradicionales, sustentados ambos armónicamente en una concepción teórica del aprendizaje que nos permita no solamente la permanente adquisición de hábitos, habilidades y conocimientos, sino también valores educativos, ideológicos, culturales y psicológicos.

Esto nos llevó a familiarizarnos con la introducción de las Tecnologías de la Información y la Comunicación, inicialmente en algunos Temas y con posterioridad en cursos completos. La lógica de este desarrollo nos condujo a la necesidad de la formulación de un Modelo Educativo, sobre la base de nuestra propia experiencia y de la amplia consulta de fuentes especializadas, que sirviera de orientación para la elaboración de Planes de Estudios y Programas con el empleo de métodos educativos innovadores.

La presentación y estudio de los componentes de éste Modelo en su interrelación funcional es objetivo del presente trabajo.

## 2 El modelo educativo virtual; definiciones

**2.1 El modelo educativo virtual.** Los modelos nos ayudan a tener una imagen sobre nuestro entorno, nos permiten estudiar y obtener información del comportamiento del sistema en situaciones nuevas, nos ofrecen la posibilidad de comprender fenómenos que de otra manera nos serían incomprensibles. Al reducir un sistema complejo a sus elementos discretos o componentes, podemos, formulando las hipótesis basadas en el comportamiento conocido del sistema, construir un modelo que lo describa<sup>7</sup>. La elaboración de modelos en las ciencias exactas permite realizar predicciones cuantitativas<sup>7</sup>, mientras que en las ciencias sociales permite aumentar la potencialidad analítica y realizar predicciones cualitativas de gran importancia en el estudio del comportamiento de sistemas tan complejos, como los sociales.

Como características principales del modelo propuesto podemos considerar:

- Estar en correspondencia con una concepción científicamente fundamentada del proceso de aprendizaje, una Teoría del Aprendizaje.
- Concebir el proceso de aprendizaje, a partir de contenidos y actividades, apoyados en las TIC.
- No presuponer, necesariamente, la coincidencia espacial y/o temporal del profesor y de los estudiantes.
- Planificación rigurosa del proceso docente educativo y de los medios de comunicación que posibiliten la interacción del profesor con el estudiante y de los estudiantes entre sí.
- Excitar la actividad gnoseológica de los estudiantes.
- Propiciar la motivación en el estudiante y que éste aprenda de forma más activa, a través de la búsqueda

de información, su análisis crítico y las diversas actividades, prácticas y teóricas, que realiza de manera individual o en colaboración con otros.

- Aprendizaje centrado en el estudiante, orientado a propiciar su participación activa en la construcción del conocimiento, con la guía y asesoría del profesor.
- Emplear en todas las oportunidades posibles situaciones auténticas para aumentar la significación de lo que se aprende.
- Emplear la meta-cognición como factor regulador del aprendizaje.
- Sustentar el aprendizaje en las experiencias físicas, culturales y sociales comprendidas previamente.
- Emplear variantes alternativas de evaluación: basadas en desempeño de tareas y en el diálogo.

**2.2 Definición.** Considerando los presupuestos enunciados consideramos:

**Modelo Educativo Virtual:** *Diseño de una estrategia educativa, estructurada sobre la base de una Teoría del Aprendizaje, con el empleo de las TIC, caracterizada por: la interactividad entre los participantes en el proceso de enseñanza aprendizaje; llevar a un primer plano el aprendizaje significativo; la apropiación por el estudiante de los conocimientos, hábitos y habilidades, y de los procedimientos para la adquisición de nuevos conocimientos; que el estudiante establece y organiza sus tiempos de aprendizaje; no compartir los participantes necesariamente el mismo tiempo y/o espacio; que el profesor desarrolla su papel dirigente: seleccionando y ordenando correctamente las ideas, teorías y el método colaborativo virtual para que el estudiante construya su propio conocimiento, y de esta manera le sirva de por vida; basarse en una plataforma de aprendizaje de teleformación cooperativa.*

## 3 Componentes del Modelo Educativo Virtual

El modelo educativo virtual propuesto debe describir el complejo sistema enseñanza-aprendizaje con el uso de las TIC, para lo cual lo dividimos en los siguientes componentes o dimensiones que facilitan su análisis:

- Teoría del Aprendizaje
- Axiológico
- Tecnológico
- Comunicativo
- Evaluativo

**3.1 Componente Teoría del Aprendizaje.** Al introducir las TIC debemos tener presente que intercambiar información no conlleva implícitamente la adquisición de conocimientos y compartirlos, es por eso necesario que su empleo esté regido por una clara concepción teórica del aprendizaje.

El aprendizaje está presente allí donde la actividad del sujeto, el hombre, está orientada concientemente a: asimilar determinados conocimientos, hábitos, habilidades; formas de conducta y tipos de actividad; métodos o for-



mas de apropiarse del conocimiento<sup>8</sup>; métodos y formas de emplear el conocimiento adquirido en la solución de problemas nuevos (teóricos y prácticos) como norma de conducta.

Independientemente de que el rol del profesor se modifique con el advenimiento de las TIC, éste no puede perder de vista que el eslabón fundamental del proceso de enseñanza es la actividad gnoseológica de los estudiantes, así como que en la base del aprendizaje está el nivel de desarrollo, de los procesos psíquicos superiores, específicos de éste (lógica, memoria, atención autónoma, pensamiento, comprensión, percepción, imaginación, pensamiento, etc.); de la motivación, la voluntad y la subjetividad emocional del sujeto, así como de componentes de la actividad de enseñanza derivadas de estos.

La respuesta que demos al problema de explicar cómo es que el hombre aprende; desarrolla su comprensión de los fenómenos naturales y sociales; desde qué fases evoluciona y debido a qué causas; mediante cuáles mecanismos, nos conducirá a una determinada Teoría del Aprendizaje, que nos permitirá identificar los planteamientos esenciales del proceso de aprendizaje, contextualizarlos en las características de la ciencia que nos ocupa y esclarecer el papel que deben desempeñar en el proceso de enseñanza-aprendizaje, tanto los docentes como los estudiantes, en un ambiente permeado por las TIC, y tomar decisiones pedagógicas y didácticas en la enseñanza.

Nuestro modelo se sustenta en un enfoque teórico<sup>9</sup> del aprendizaje, donde prevalece la concepción constructivista, histórica cultural, y toma en cuenta las ideas del aprendizaje situado<sup>10</sup> y conversacional.

Este enfoque nos permitirá dar respuesta cabal a determinadas características que son inherentes al aprendizaje:

- Se determina no solamente por el nivel de desarrollo del conocimiento “autónomo”, aquello que el sujeto puede conocer y asimilar por sí mismo, sino también y por el nivel “receptivo” del conocimiento, esto es, aquello que el sujeto puede conocer y asimilar con ayuda de otra persona, que ya domina los conocimientos y habilidades correspondientes. (ZDP)
- Todo el proceso de aprendizaje tiene un carácter contradictorio dialéctico, donde el pensamiento del estudiante se mueve del fenómeno hacia el conocimiento de su esencia, interna, material, descubriendo las relaciones entre los fenómenos, las leyes del desarrollo de la naturaleza, la sociedad humana y el pensamiento.
- Está intimadamente ligado a la experiencia, al desarrollo y al entorno cultural; natural, histórico y social. Se ve influido por los cambios biológicos, físicos, psicológicos, de personalidad, de valores, etc.
- Es un cambio persistente, mensurable y específico en el comportamiento del sujeto y hace que el mismo formule un constructo mental nuevo o que revise uno previo.
- Es un indicador individual, de la velocidad y la calidad de la asimilación de conocimientos, hábitos y habili-

dades, actitudes y valores.

**3.2 Componente Axiológica.** En la concepción teórica del desarrollo histórico cultural del aprendizaje la sociedad desempeña un papel determinante en la formación de valores. En el proceso docente educativo se pone en contacto al estudiante con materiales en los cuales puede constatar por ejemplo; el carácter humanista de la obra de científicos de relevancia mundial y la actitud positiva del científico ante la sociedad el desarrollo sostenible y el medio ambiente.

El rápido desarrollo y empleo de las TIC, ha dado lugar a un apreciable incremento de la información. Ciertamente la Internet, y en particular, de la World Wide Web (Red Mundial), nos lleva a un mayor acceso a la información y potencialmente al conocimiento, pero no se puede negar la brecha existente en el acceso a las tecnologías digitales que acentúa la desigualdad entre los países del “sur” y el “norte” y no favorecen un diálogo creativo y multicultural, y nos impone sutilmente una sociedad global basada en el conocimiento sesgada por valores culturales globalizados ajenos a nuestra tradición e historia.

Esta es una realidad objetiva con la que tenemos que contar y contraponer a sus tendencias negativas una concepción filosófica marxista de la teoría de los valores. No perder de vista en el proceso de aprendizaje, la necesidad de insistir en el carácter objetivo de los valores históricos, sociales, científicos, morales, y culturales, analizados en contraposición de la dinámica globalizadora “occidental” al servicio de culturas y sociedades de consumo, ajenas a las culturas y necesidades de la gran mayoría de la población mundial. “Contribuir a proteger y consolidar los valores de la sociedad, velando por inculcar en los jóvenes los valores en que reposa la ciudadanía democrática y proporcionando perspectivas críticas y objetivas a fin de propiciar el debate sobre las opciones estratégicas y el fortalecimiento de enfoques humanista”<sup>1</sup>.

Quizás una de las oportunidades más importantes que ofrece la implementación del Modelo, además de su agradable y motivadora presentación instruccional, es el empleo de criterios de expertos, logrando así incrementar el rigor y la actualización de la información que debe ser científicamente fundamentada. Además en el caso de que puedan existir diversas opiniones sobre algún aspecto de la ciencia, es éticamente necesario presentar los distintos enfoques y teorías, argumentando cada uno de ellos. Este proceder propiciará la activación del pensamiento del estudiante, lo inducirá; a reflexionar sobre los fundamentos que los sustentan; a crear algo nuevo sobre la base de ciertos fundamentos, y lo más trascendente, apropiarse de un modo de pensar creador, riguroso y metódico, o sea un pensamiento científico.

Resulta vital mantener siempre en el foco de atención de los estudiantes la idea: “*el valor supremo es el hombre, la felicidad humana y la libertad alcanzable en la lucha contra todas las formas de opresión y mediante la edificación de la sociedad comunista*”.

**3.3 Componente Tecnológica.** Bajo la denominación de Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) se agrupan las tecnologías que permiten la adquisición, producción, almacenamiento, tratamiento, comunicación, registro y presentación de informaciones digitalmente, en forma de voz, imágenes y datos contenidos en señales de naturaleza acústica, óptica o electromagnética. Las TIC al incrementar estas posibilidades en la presentación de los materiales didácticos, añaden calidad al proceso de aprendizaje, y a la organización docente.

En nuestro caso después de analizar las características<sup>11</sup> de varias plataformas que se encuentran libres en Internet nos decantamos por la Plataforma Interactiva Moodle.

Esta plataforma interactiva es de libre acceso en Internet y tiene licencia GNU o sea, es software libre. Se declara basada en la teoría constructivista con un enfoque social, plenamente coincidente con la sustentación teórica de nuestro modelo. Es capaz de trabajar en diferentes idiomas y tiene listas de discusión que permiten con ayuda de una vasta comunidad internacional resolver los problemas que se afrontan en su montaje y explotación.

**3.4 Componente Comunicativo.** Consideraremos por comunicación, coincidiendo con Márquez Marrero, el proceso activo de carácter cognoscitivo y formativo, a través del cual se recibe y se trasmite información, entre el profesor y los estudiantes y de estos entre sí, que tiene como objetivo final la formación integral de estos últimos.

Podemos ver la comunicación desde dos puntos de vista. El primero la distribución y transmisión de materiales. El segundo, de gran importancia a los fines del aprendizaje: la interacción entre los participantes. Tanto uno como el otro punto de vista, pueden organizarse tanto en un modelo educativo presencial como en uno virtual.

Si bien es cierto que la tecnología de la información tiene el potencial de transmitir contenidos de alta calidad, es unánime el criterio que éstas no puede reemplazar al profesor. Estos ciertamente van dejando de ser comunicadores de información para pasar a ser procesadores del conocimiento, expertos en aprendizaje además de en el contenido. En su ayuda para cumplir eficientemente sus renovadas funciones viene la tecnología. El potencial del aprendizaje con el empleo de las TIC debe promover la innovación y la creatividad en la enseñanza tradicional. En que medida esto se alcance estará dado por el grado de integración que se alcance en la didáctica de ambos métodos.

Las herramientas de Internet permiten que un mayor número de estudiantes compartan experiencias de aprendizaje en tiempo real, a la vez que puedan mantener una interacción personal con su profesor u otro estudiante, sin que sea necesaria la coincidencia espacial ni temporal. Para que esto sea posible es necesario garantizar la

estabilidad de la conectividad a la red. La plataforma seleccionada cuenta con la posibilidad de que se realice la constante comunicación entre el profesor y los estudiantes y los estudiantes entre sí, así se evita la llamada “soledad del estudiante en el ciberespacio”. Ésta cuenta con el Chat, el Foro, correo interno y una mensajería instantánea que permiten dar respuesta a la necesidad de la comunicación.

**3.5 Componente Evaluativo.** Entenderemos por evaluación<sup>12</sup> en su concepción más general el conjunto de procesos sistemáticos de recogida, análisis e interpretación de información válida y fiable, que en comparación con una referencia o criterio nos permita llegar a una decisión que favorezca la mejora del objeto evaluado.

La dimensión evaluativa del modelo tenemos que considerarla en dos vertientes: Primero, la evaluación del aprendizaje de los estudiantes, la determinación del grado de asimilación por los estudiantes de los conocimientos, hábitos y habilidades en correspondencia con las exigencias del programa de estudio. Segundo, la evaluación del modelo, sus concepciones y su instrumentación, contrastar lo deseado con los que estamos obteniendo.

Los nuevos métodos pedagógicos también supondrán nuevos materiales didácticos. Estos deberán, preservar los principios básicos de la evaluación del aprendizaje: confiabilidad, calidad, objetividad, y autenticidad. Además de estar asociados a nuevos métodos de verificación del aprendizaje, que pongan a prueba no tanto la memoria sino también las facultades de comprensión, la aptitud y habilidades para la aplicación de los conocimientos, la competencia y la creatividad.

La evaluación del aprendizaje con el uso del modelo educativo virtual debe variar sustancialmente adquiriendo un carácter cualitativo integrador y garantizar la constante retroalimentación al estudiante acerca de sus éxitos y desaciertos. La evaluación debe plantearse en términos de comportamiento observable, determinar en que medida cada estudiante lo logró. Esta evaluación va a tener diferentes componentes, pues el uso de las plataformas interactivas le permite al docente planificar auto-evaluaciones que el alumno podrá ir realizando sistemáticamente cuando vaya venciendo los contenidos que le corresponden y le permitirán conocer como marcha el proceso de aprendizaje. Se debe prestar especial atención a este punto en el diseño de los cursos por los docentes.

La evaluación del modelo debe contemplar aspectos tales como: eficiencia y efectividad, en términos del aprendizaje y de satisfacción por parte de los estudiantes, retención y calidad del graduado. Para evaluar el Modelo de Educación Virtual es necesario establecer las bases conceptuales y el método que se empleará, que nos asegure la evaluación integral de cada curso.

La evaluación debe servir para obtener información valiosa, permanentemente con la mayor inmediatez posible, que permita verificar si estamos alcanzando los resultados deseados, realizar ajustes en los roles y el funcionamiento de los componentes del sistema, y asegurar

su optimización y desarrollo.

## 4 Conclusiones

Se presenta, basado en la experiencia desarrollada en el Taller de Enseñanza de la Física de la Facultad de Física, una propuesta de Modelo Educativo Virtual con el empleo de la modalidad de cursos mixtos, que aprovecha la experiencia acumulada en la introducción de recursos didácticos orientados a incrementar la motivación y la más activa participación de los estudiantes en la enseñanza presencial, y las posibilidades que se abren ante los docentes con la incorporación de las TIC al proceso educativo.

Se propone una definición del Modelo Educativo Virtual y se precisa que se entiende por Cursos Mixtos. Para su mejor comprensión se hace un análisis pormenorizado, del Modelo Educativo Virtual enfatizándose en la importancia de cada uno de los componentes del Modelo: Teoría del Aprendizaje, Axiológico, Tecnológico, Comunicativo y Evaluativo. El Modelo en su conjunto y los distintos componentes se conciben dentro de una concepción constructivista e histórico cultural del aprendizaje y emplea las ideas del aprendizaje situado y conversacional.

En la componente tecnológica a partir de las exigencias que pueden definirse para la selección de una plataforma, entre las muchas que actualmente se encuentran libres en Internet se justifica la selección de la plataforma Moodle y se describen las posibilidades que esta brinda para el diseño de cursos con diferentes tipos de recursos y actividades.

Los resultados del trabajo ofrecen un punto de partida para la modificación de los Planes y Programas de la Carrera de Física, sobre bases teóricas del aprendizaje y empleando las TIC.

## Referencias

1. UNESCO. Declaración Mundial sobre la Educación Superior para el Siglo XXI: Visión y Acción. (Conferencia Mundial de la Educación Superior, 9 de octubre de 1998).
2. J. Fuentes Betancourt, A. Pérez Perdomo, O. Calzadilla, O. Hidalgo "Empleo del tratamiento matricial en el curso de Óptica: Sistema de Lentes", RBEF, V. 27, No.3, pp.357-362, (2005).
3. J. Fuentes Betancourt, A. Pérez Perdomo, O. Calzadilla, O. Hidalgo, "Empleo del tratamiento matricial en el curso de Óptica: Capas delgadas antirreflectantes", RBEF, V. 27, No.4, pp 565-570, (2005).
4. Prácticas Proyectos: un enfoque integrador en el laboratorio de Óptica. Proc. VIII International American Conference of Physics Education,. O. Calzadilla, A. Pérez, A. Fornés, T. Molina, 7 al 12 de Julio (2003)
5. O. Calzadilla, A. Perez, T. Molina, A. Fornes, C.Alonso and I. Perez-Quintana, *Another way to improvement the didactic of docent labs: project practices as scientific research tasks*. II INTERNATIONAL GIREP Seminar on Quality Development in Teacher. Education and Training, University of Udine, Italy, 1 - 6 September (2003).
6. A. Fornes Coujil. A. Pérez Perdomo. M. Hernández Calviño. T. Molina Molina. J. César Drake. "Aportes de las TIC a la práctica docente en las universidades". IV Congreso Internacional de Educación Superior UH, Febrero (2004).
7. L. Mármol Amador y J. Fuentes Betancourt. "Ideal gas: Modelling in a computer" RBEF, V. 27, No.4, pp 565-570, (2005).
8. L.B. Itelson. La actividad docente. Sus orígenes, estructura y condiciones. Lteksipo sovriemienni problema psijologui abuchenia. Vladimir, (1972).
9. Bozhovitch L. I. On L. S. Vigotstky`s cultural-historical conception and its significance for the psychological study of personality. Vaprosy Psychology. 5. p. 108 (1988).
10. F. Díaz Barriga, Cognición situada y estrategias para el aprendizaje significativo. Rev. Electrónica de Investigación Educativa ISSN 1607-4041, 5 (2) (2003)..
11. J. Fuentes, O. Calzadilla, A. Pérez. Instrumentación del Modelo Educativo Virtual en la Facultad de Física de la Universidad de la Habana; Proc. IV Taller Iberoamericano de Enseñanza de la Física, ISBN 959-16-0485-8. Enero (2007).
12. Ma. José Rodríguez, *Aplicación de las TIC a la evaluación de alumnos universitarios*. Revista Electrónica Teoría de la Educación ISSN 1138-9737, No. 6 (2) (2005).



## Una propuesta didáctica en la enseñanza de la estática utilizando apoyos tecnológicos

L. Ceciliano†, O. E. Varón<sup>a</sup> y E. Herappe

Departamento de Metalmecánica. Instituto Tecnológico de Toluca. Av. Tecnológico S/N, Exrancho La Virgen, Metepec, México. C.P. 52140; lcecilianoh@yahoo.com.mx, eherappej@ittoluca.edu.mx.

a) Centro Universitario U.A.E.M. Atlacomulco. Km. 60 carretera Toluca-Atlacomulco. C.P. 50450, Atlacomulco, México. naveed7evm@yahoo.com.mx.

† Autor para la correspondencia

Recibido el 1/07//2007. Aprobado en versión final el 15/07/2007.

**Resumen.** En el presente trabajo, se propone la utilización del software educativo *Working Model*, como apoyo didáctico, para lo cual se elaboró un manual de prácticas de laboratorio para la materia de Estática, el cual abarca los siguientes temas: equilibrio de la partícula, momento de fuerza, análisis estructural, centros de masa y gravedad de un cuerpo rígido, fricción; con dicho material se pretende medir mediante criterios de evaluación establecidos, competencias conceptuales, procedimentales y actitudinales desarrolladas por los alumnos, y de esta manera aportar una solución en parte del problema de equipamiento de los laboratorios, brindando a alumnos y profesores un apoyo para cumplir con los objetivos de la parte experimental del programa correspondiente.

**Abstract.** The present work, intends the use of the educational software *Working Model*, like didactic support, for that which a manual was elaborated of practical of laboratory for the matter of Static, which embraces the following topics: balance of the particle, moment of force, structural analysis, centers of mass and graveness of a rigid body, friction; with this material it is sought to measure by means of established evaluation approaches, the conceptual, precedings, attitudeings competitions developed by the students, and this way to contribute a solution partly of the problem of equipment of the laboratories, offering students and professors a support to fulfill the objectives of the experimental part of the corresponding program.

**Palabras clave.** Didáctica 01.04, estática, 07.10h.

### 1 Introducción

El estudio de la física, en la mayoría de las ocasiones se concreta solamente a la exposición por parte del docente, utilizando como apoyo didáctico el gis y el pizarrón. En numerosas ocasiones, en las instituciones educativas no se cuenta con un espacio físico propio, ni con el equipo de laboratorio adecuado para impartir las materias de física con un enfoque experimental. Más específicamente en las carreras de ingeniería electromecánica y mecatrónica del Instituto Tecnológico de Toluca los estudiantes requieren una formación práctica. Por tal motivo, la materia de Estática que se encuentra situada en el

segundo semestre de la retícula de dichas carreras, cuenta para su impartición con cinco horas a la semana, tres de ellas con el objetivo de desarrollar los conceptos teóricos y las dos restantes, para la parte experimental, por esta razón, en éste trabajo se implementó a través del proyecto de residencias profesionales, la elaboración de materiales didácticos con ayuda de la infraestructura que existe en la institución, es decir: personal humano, soporte tecnológico como equipos de computo asociados al laboratorio de computación, así como el software correspondiente. Se utilizó como apoyo didáctico el software educativo *Working Model*, para la elaboración de un manual de prácticas de laboratorio para la materia de Estáti-

ca, así como los criterios de evaluación de los contenidos de las prácticas.

## 2 Objetivo

El presente trabajo tiene como objetivo la creación de un instrumento didáctico (manual de prácticas de laboratorio) que sirva de apoyo en el proceso de enseñanza-aprendizaje por competencias para un curso de estática, utilizando el software educativo *Working Model*.

## 3 Marco Teórico

El aprendizaje podría entenderse como un proceso del que resulta un producto, si dicho producto se mantiene de forma más o menos estable, el sujeto ha aprendido algo. El producto o fruto es lo que el sujeto hace, sabe o piensa como consecuencia de ese proceso de aprendizaje.

Dentro de los factores internos que intervienen en el aprendizaje, se encuentran:

- a). La maduración, es decir que el cuerpo tenga las condiciones necesarias tanto fisiológicas como neurológicas.
- b). Capacidades del sujeto que aprende, que pueden ser tanto intelectuales como físicas.
- c). El ambiente, que constituye el estado de disposición óptima hacia el aprender, en otras palabras, la motivación.

Otros factores que son externos al individuo, pero que tienen amplia relación en el aprendizaje, son las condiciones externas como la práctica, los medios disponibles, el lugar donde se desarrolla, los métodos que siguen<sup>1</sup>.

Estos factores dependen en gran medida del docente, en cuanto debe buscar las estrategias necesarias para lograr un aprendizaje que le permita al alumno apropiarse de los conocimientos, relacionarlos con los que adquirió anteriormente y los que vaya obteniendo en otras unidades de aprendizaje, así como ponerlos en práctica en situaciones concretas.

Es por ello, que analizando el papel del profesor dentro del proceso de la enseñanza se observan tres aspectos básicos: la planeación, que consiste en seleccionar los resultados que se busca alcanzar, los materiales en los que se apoyará el docente, así como la sistematización de las actividades; el segundo aspecto que se refiere a impartir la enseñanza; mientras que la importancia del tercero, radica en determinar si el alumno aprendió o bien si alcanzó los propósitos antes establecidos. No obstante, estos tres pasos se encuentran interrelacionados<sup>2</sup>.

El docente entonces, debe facilitar que el alumno maneje, organice, estructure y comprenda la información, para así tomar decisiones que puedan, por ejemplo en esta investigación, manipular la información recibida en el aula y resolver problemas de forma analítica y con ayuda del software educativo *Working Model*, considerando la nueva concepción del aprendizaje que concibe al individuo como un ser activo que construye sus propios cono-

cimientos del tipo declarativo, procedimental y actitudinal.

Específicamente, acerca de los contenidos declarativos se hace referencia al aprendizaje de datos, hechos o conceptos que exigen que el alumno comprenda y no solo memorice. Sobre los contenidos procedimentales, se relacionan con la forma de ejecutar con precisión; conocimiento y comprensión de los pasos necesarios para llegar a un resultado. Mientras que los contenidos actitudinales, como lo mencionan abarcan la valoración de las actitudes hacia el conocimiento<sup>3</sup>.

La enseñanza directa tanto del conocimiento como de la técnica a emplear; la promoción de la enseñanza reciproca; la práctica guiada; el dominio verbal de la estrategia y del conocimiento, llevará al profesor a promover la práctica independiente, lo que constituye por otra parte una estrategia de apoyo, que busca la sensibilización del estudiante frente al conocimiento al encontrar una utilidad práctica y la manipulación de conocimientos, así como el disminuir la ansiedad, ya que ésta, puede bloquear e interferir el aprendizaje, acercando al estudiante a los contenidos y prácticas, así como permitirle exponer sus dudas de manera personal al profesor, en el caso de alumnos que evitan preguntar durante la clase<sup>4</sup>.

Posteriormente viene el proceso de generalización, donde el profesor debe hacer consientes a los alumnos de los diversos contextos de aplicación del conocimiento que adquirieron, se da oportunidad de practicar con nuevos materiales y en diversos contextos<sup>2</sup>, es por ello que se debe considerar material que represente un recurso didáctico adecuado a la enseñanza, ya que no solo influye en ella, sino también en los resultados del aprendizaje, que abarcan también suministros, equipo, espacio, libros, personal y tiempo<sup>2</sup>.

De acuerdo a la evaluación del conocimiento, el uso de los materiales didácticos tiene gran relevancia, ya que no solo aporta al docente un producto observable y la oportunidad de prestar atención en el desempeño del alumno en cuanto a las competencias conceptuales, procedimentales y actitudinales, además apoya en el cumplimiento de la parte experimental necesaria en la enseñanza de ciencias duras; dando además, un eje de análisis sobre la reflexión y el pensamiento crítico del alumno, en éste caso de educación superior, acerca de la clarificación: centrar el problema, analizar argumentos, formular y clarificar preguntas de clarificación; de inferencia: deducir y juzgar deducciones; así como de estrategia y táctica: deducir sobre la acción<sup>4</sup>.

## 4 Marco metodológico

Se seleccionó un grupo de trabajo formado por un alumno y dos asesores.

Se analizó el programa de estudios de la materia de estática y se escogieron los temas de equilibrio de la partícula, equilibrio de un cuerpo rígido (momento de fuerza), centro de masa, análisis de estructuras y fricción para el desarrollo de las prácticas.

Posteriormente se eligió el paquete *Working Model*, como software educativo para la realización de las prácticas y se desarrollaron las presentaciones en *PDF* y en *Power Point* de los materiales correspondientes a la parte teórica de cada una de las prácticas, mediante un proyecto de residencia profesional.

Se elaboraron los criterios de evaluación por competencias para cada una de las prácticas.

## 5 Resultados

A continuación se presentan como resultados los contenidos de una de las prácticas que componen dicho manual.

### PRÁCTICA NO. 1.

#### EQUILIBRIO DE LA PARTÍCULA

*Objetivo.* Al término de la práctica el alumno será capaz de plantear y resolver problemas analizando el equilibrio de una partícula en un espacio dado, aplicándole diversas fuerzas a diferentes masas que se encuentran en diferentes campos gravitacionales, con ayuda del software *Working Model* y de forma analítica con el propósito de aplicar sus conocimientos y habilidades a situaciones concretas de la ingeniería.

*Introducción.* Se estudiarán las condiciones de equilibrio de la partícula en términos de los cuatro conceptos básicos que definen una magnitud vectorial, en nuestro caso particular una fuerza (punto de aplicación, magnitud, dirección y sentido), así como el principio de superposición para la obtención de una fuerza resultante y equilibrante para el caso cuando sobre la partícula actúa un sistema de  $N$  fuerzas<sup>5</sup>.

Además, los resultados obtenidos para una partícula pueden emplearse directamente en una gran cantidad de problemas relacionados con las condiciones de equilibrio o movimiento de cuerpos o sistemas reales y esto se podrá observar con ayuda del software.

*Material y equipo.* -Computadora personal. -Software *Working Model* (2D ó 3D) instalado. -Impresora. -Una partícula de masa de un kilogramo. -Hoja de cálculo o papel milimétrico (espacio de trabajo).

#### METODOLOGÍA DE LA PRÁCTICA

*Planteamiento del problema.* Analizar el equilibrio de una partícula en un espacio dado, aplicándole diversas fuerzas que actúan sobre diferentes masas las cuales se encuentran en diferentes campos gravitacionales (planetario, terrestre o vertical y antigravitacional) con ayuda del *Working Model*.

*Hipótesis.* El equilibrio de una partícula depende del campo gravitacional (peso) donde se encuentra.

Si una partícula no está en equilibrio existe una fuerza resultante que actúa sobre la partícula, entonces debe de existir una fuerza equilibrante que lleva a la partícula a su estado de equilibrio, sin importar en campo gravitacional en que esta se encuentre.

*Conocimientos aplicados.* Manejo de *Working Model*. Conceptos de magnitud vectorial, fuerza y campo gravitacional. Principio de superposición. Métodos para

obtener la resultante y equilibrante de un sistema de vectores.

#### DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

- *I.-Verificación de la hipótesis.*

Realiza las siguientes actividades:

Ya que tienes seleccionada una masa de un kilogramo, aplica a dicha masa una fuerza cuyas componentes sean:  $F_x = 0\text{ N}$  y  $F_y = 9.81\text{ N}$

Activa el comando arrancar cerciorándote que la masa esté en un campo gravitacional (vertical, utilizando en valor de  $g = 9.81 \frac{m}{s^2}$ ).

Observa que sucede después de esto con la masa y anota tus observaciones en tu reporte final de la práctica.

Aplica nuevamente otra fuerza a la masa cuyas componentes son  $F_x = -200\text{ N}$  y  $F_y = 200\text{ N}$

¿Hacia que dirección se desplaza la masa?

Anota tus observaciones en el reporte final de la práctica.

Ahora realiza tus cálculos y busca la fuerza equilibrante y escríbelos en el reporte final de la práctica.

Comprueba tus cálculos con el paquete y repórtalo en el reporte final de la práctica.

¿Se acepta o rechaza la hipótesis? explica tu respuesta sustentándola con los contenidos del apartado “conocimientos aplicados” de la práctica en tu reporte final.

- *II.-Realización de un ejercicio planteado por el alumno.*

Plantea una situación determinada aplicada a la ingeniería, con ayuda del paquete simula un cuerpo de masa arbitraria colocándolo en un campo gravitacional vertical, aplícale dos fuerzas arbitrarias diferentes (elija sus componentes rectangulares respectivas) y obtén la fuerza resultante que actúa sobre la masa de forma analítica y comprueba tus resultados con el paquete y reporta tus procedimientos utilizados en la obtención de resultados en el reporte final de la práctica.

En la Tabla I (criterios de evaluación) se observa que los criterios asociados a las competencias que se buscan desarrollar en el alumno son: utilización correcta del lenguaje matemático y científico, elaboración correcta de los cálculos con el paquete, en ambas actividades; secuencia lógica y congruencia de los conceptos y contenidos, éste último específicamente en el planteamiento del problema, forman parte de las competencias conceptuales, procedimentales, ya que constituyen conocimientos teóricos y prácticos que el alumno debe combinar para poder experimentar con la información que se le propone y con ello aceptar o rechazar una hipótesis, además de ser capaz de plantear una situación real lo cual forma parte de las competencias *del saber* y *saber hacer*. Los criterios específicamente procedimentales son: utilización correcta de los medios tecnológicos: *Working Model* y *Word*. Los criterios actitudinales, son complementarios a los dos restantes, ya que es necesario que el alumno aplique los conocimientos previos y los que va adquiriendo, para así formular un problema apegado a la

realidad, lo que busca que el alumno se comprometa con el conocimiento, encontrando una utilidad. Sobre la formación integral del alumno (ortografía, redacción), ésta propuesta da la oportunidad de valorarla, además de evaluar directamente los temas del programa.

<b>Tabla I</b> Criterios de Evaluación		
Hipótesis	Puntaje	Competencia
Ortografía (0 errores)	0.3	C/P
Ortografía (de 1 a 10 errores)	0.2	
Ortografía (11 errores o más)	0	
Redacción (0 a 5 errores)	0.3	C/P
Redacción (6 a 10 errores)	0.2	
Redacción (mas de 10 errores)	0	
Utilización correcta del lenguaje matemático (100% a 80%)	1.0	C/P
Utilización correcta del lenguaje matemático (menos del 80% al 60%)	0.8	C/P
Utilización correcta del lenguaje matemático (menos del 60% al 50%)	0.5	
Utilización correcta del lenguaje matemático (menos del 50%)	0	
Utilización correcta del lenguaje científico (100% a 80%)	1.0	C/P
Utilización correcta del lenguaje científico (menos del 80% al 60%)	0.8	
Utilización correcta del lenguaje científico (menos del 60% al 50%)	0.6	
Utilización correcta del lenguaje científico (menos del 50%)	0	
Utilización correcta del medio tecnológico (Working Model)	0.5	P
Utilización correcta del medio tecnológico (Word)	0.5	P
Contenido (60% o más de los temas)	0.2	C
Contenido (menos del 60% de los temas)	0	
Elaboración correcta de los cálculos	0.6	C/P
Comprobación de los cálculos con el paquete	0.4	C/P
Creatividad (que utilice una o más formas novedosas en la comprobación de la hipótesis)	0.2	C/P/A
TOTAL	5	
Planteamiento del problema	Puntaje	Competencia
Ortografía (0 errores)	0.3	C/P
Ortografía (de 1 a 10 errores)	0.2	
Ortografía (11 errores o más)	0	
Redacción (0 a 5 errores)	0.3	C/P
Redacción (6 a 10 errores)	0.2	
Redacción (mas de 10 errores)	0	
Utilización correcta del lenguaje matemático (100% a 80%)	1.0	C/P
Utilización correcta del lenguaje ma-	0.8	

temático (menos del 80% al 60%)		
Utilización correcta del lenguaje matemático (menos del 60% al 50%)	0.5	
Utilización correcta del lenguaje matemático (menos del 50%)	0	
Utilización correcta del lenguaje científico (100% a 80%)	1.0	C/P
Utilización correcta del lenguaje científico (menos del 80% al 60%)	0.8	
Utilización correcta del lenguaje científico (menos del 60% al 50%)	0.6	
Utilización correcta del lenguaje científico (menos del 50%)	0	
Utilización correcta del medio tecnológico (Working Model)	0.5	P
Utilización correcta del medio tecnológico (Word)	0.5	P
Contenido (60% o más de los temas)	0.2	C
Contenido (menos del 60% de los temas)	0	
Elaboración correcta de los cálculos	0.5	C/P
Comprobación de los cálculos con el paquete	0.2	C/P
Secuencia lógica y congruencia de los conceptos y contenidos	0.2	C/P
Aplicación correcta de los contenidos	0.1	C
Formulación correcta del problema (creatividad)	0.2	C/A
TOTAL	5	

## 6 Conclusiones

La utilización de medios tecnológicos tanto para la enseñanza como para la evaluación, brindan al profesor una herramienta valiosa para acercar al alumno a situaciones reales, tanto en la resolución de problemas como en la toma de decisiones, así como en la objetividad de la evaluación ya que da evidencias acerca de las competencias del alumno al final, pero también durante el proceso de enseñanza, lo que permite resolver dudas y aclarar los conocimientos.

Más específico, por parte de la materia se pretende que el alumno entienda y aplique los conocimientos teóricos (competencias conceptuales) contemplados en el programa del curso, que sea capaz de aplicarlos en la solución de problemas asociados a la ingeniería, en particular en el planteamiento del problema de la práctica y en general en la resolución y análisis de situaciones que se le presenten en las asignaturas subsiguientes de la especialidad, donde tendrá que aplicar los conocimientos previos (tanto procedimentales como conceptuales).

Para el profesor, se brinda una herramienta alternativa que complementa el software (*Working Model*), que posee objetivos, indicaciones y criterios de evaluación a través de competencias, lo cual puede complementar su actividad docente.

Se puede observar de la tabla I (Criterios de Evaluación), que la ponderación en los criterios de evaluación se realizó de tal manera que la distribución en porcenta-

jes queda del 70% asociada a la parte de la práctica donde pretende que el alumno entienda y aplique los conocimientos relacionados a los temas de la práctica, así como al manejo de los lenguajes científico y matemático, como la utilización correcta de los medios tecnológicos y de la creatividad del alumno para plantear propuestas y soluciones de los mismos asociados a su área del conocimiento ( competencias conceptuales, procedimentales y actitudinales ) y solamente el 30% a la parte asociada a la formación integral del alumno (ortografía, redacción) que seguimos considerando que es parte fundamental en formación del alumno, pero además en conjunto todas ellas nos permiten considerar que se pretende alcanzar una formación integral del alumno mediante el desarrollo de un trabajo multidisciplinario para lograr como producto final un aprendizaje significativo.

Así mismo que el alumno utilice nuevos medios tecnológicos, planteé metodologías y soluciones a diversas situaciones que se le presenten tanto, en el área de la ingeniería como en la vida cotidiana haciendo uso de su

creatividad (competencias actitudinales) y con esto que forme parte de la propuesta de solución del problema del equipamiento de los laboratorios de física en la institución.

## Referencias

1. C. Genovard y C. Chica, Guía básica para psicólogos, pp. 104-105 (Herder, Barcelona, 1983).
2. P. Airasian, La evaluación en el salón de clases, p. 6 (Mc Graw Hill, México, 2002).
3. F. Díaz Barriga y R. Hernández, Estrategias docentes para un aprendizaje significativo, pp 208-210 (Mc Graw Hill, México, 1998)
4. J. Beltrán y J.A. Bueno. Psicología de la educación, cap. 13 (Alfaomega, México, 1997).
5. R. C. Hibbeler, Mecánica Vectorial para Ingenieros “Estática” cap. 1 (Pearson Educación, México 2004).



## Una escoba para barrer algunos preconceptos y presentar el concepto de torque

M. Fonseca<sup>a</sup>, A. Hurtado Márquez<sup>b</sup>

Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá-Colombia, fisinfor@udistrital.edu.co

<sup>a</sup>Proyecto Curricular de Tecnología/Ingeniería Mecánica, mfonseca@udistrital.edu.co†

<sup>b</sup>Proyecto Curricular de Licenciatura en Física, ahurtado@udistrital.edu.co

† Autor para la correspondencia

Recibido el 1/06/2007. Aprobado en versión final el 15/07/2007.

**Sumario.** Si un cuerpo se corta verticalmente pasando por su centro de gravedad, parece sorprendentemente fácil suponer que sus partes tienen el mismo peso. Es necesario “sacrificar” una escoba para mostrar que el sentido común no está bien, para ver que la diferencia de pesos es más que el error del corte. El experimento sorprende a los estudiantes y los lleva a pensar en explicaciones alternativas dando oportunidad de presentar el concepto de torque. También presentamos otro ejemplo relacionado que atenta contra el sentido común.

**Abstract.** If a body is cut vertically passing through its center of gravity, it seems surprisingly easy to suppose that its parts have the same weight. It's necessary “to sacrifice” a broom to show that the common sense is not right, to see that the difference of weight is more than the error of cutting. The experiment surprises the students and leads them to think on alternative explanations, giving occasion to introduce the concept of torque. We also give another related example that attempt against the common sense.

**Keywords.** Demonstrations experiments, 01.50.My, Forces and torques, 45.20.da, Newtonian Mechanics, 45.20.D.

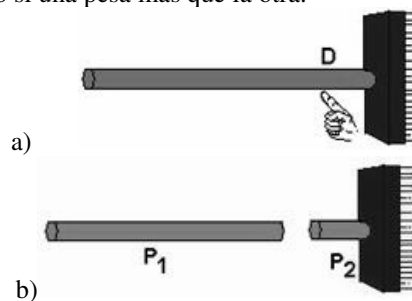
### 1 Introducción

Cuando se habla de equilibrio, típicamente, se recurre a los primeros conceptos de los cursos de mecánica Newtoniana, particularmente la estática, de allí creen que la sumatoria de fuerzas igual a cero es condición necesaria y suficiente para afirmar que un objeto está en equilibrio. Un experimento sencillo y bien casero pone en crisis el concepto de equilibrio y lleva a los estudiantes a preguntarse si éste requiere alguna otra condición. Problemas como éste y otros<sup>1</sup> han sido abordados y trabajados por el grupo de investigación tratando de indagar sobre los preconceptos que los estudiantes traen.

### 2 El experimento mental

Se pide a los estudiantes que imaginen una escoba, que

se coloca horizontalmente sobre un dedo, de manera que esté en equilibrio. Si ahora se cortara la escoba por ese punto y se pesan por separado las dos partes, y se pregunta que relación habrá entre las dos partes, si pesan lo mismo o si una pesa más que la otra.



**Figura 1.** a) Escoba en equilibrio horizontal sobre un dedo; b) escoba cortada para pesarse.

La mayoría de los estudiantes, responden que pesan lo mismo, y que si hay alguna diferencia se debe a un error de corte, que la diferencia entre las respectivas masas no pasará de un gramo o fracción. Es tal la seguridad que algunos dicen arriesgar su cabeza a que su respuesta es correcta. Algunos estudiantes, frente a una pregunta como esta, formulada por el profesor, no se atreven a responder pensando que en la pregunta hay alguna trampa, que la situación no puede ser tan fácil.

Buscando soportes bibliográficos, en Internet se encontró que alguien hizo una pregunta probablemente de una tarea buscando ayuda, y las respuestas (Yahoo Respuestas, <http://ar.answers.yahoo.com/question/>) no son acertadas y son parecidas a las de los estudiantes, citemos algunas de ellas: “si están en equilibrio, las dos partes pesarán igual!”, “Si está en EQUILIBRIO la escoba pesa lo mismo de ambos lados”, “Pesan lo mismo pues EXISTE EQUILIBRIO”, “Pesan igual no? no te olvides que están en equilibrio”, “Las dos partes pesarán igual, el centro de gravedad y centro de masas del conjunto escoba estará justo en un punto cuya vertical pasa sobre el punto de equilibrio”, “Si mantiene el equilibrio pesaran lo mismo”, “Tienen que pesar lo mismo para que queden en equilibrio”.

P1 (gramos fuerza)	P2 (gramos fuerza)
125	315
220	360
125	305
120	230
186	302

Esto lleva a los estudiantes a buscar explicaciones para el equilibrio complementarias.

### 3 Pedagogía de la experiencia

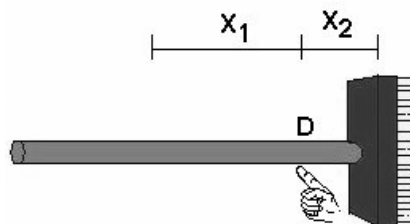
El experimento mental indaga sobre las concepciones y expectativas de los estudiantes, luego se pesa la escoba, se halla el punto de equilibrio (figura 1a), se corta la escoba en ese punto, se pesan las partes, se discuten los resultados versus las hipótesis iniciales.

Se invita a los estudiantes a hallar por el mismo método los nuevos puntos de equilibrio de cada una de las partes y hallen las distancias de estos puntos al punto donde se hizo el corte ( $x_1$  y  $x_2$ ; figura 2). Se presenta el concepto de Torque o Momento de fuerza. Los estudiantes hacen las operaciones y comprobaciones pertinentes: para este caso las condiciones de equilibrio son:

1. Que la sumatoria de fuerzas sea cero: el peso de la escoba (fuerza con que la tierra atrae la escoba) es contrarrestada por la fuerza que hace el dedo sobre la escoba (para que esta no caiga);  $F_{\text{dedo}} - \text{Peso}_{\text{escoba}} = 0$ .

2. Que la sumatoria de torques sea cero: En este caso  $x_1 \times P_1 - x_2 \times P_2 = 0$  es decir que los torques que

pueden hacer girar la escoba hacia la izquierda o hacia la derecha se equilibren  $x_1 \times P_1 = x_2 \times P_2$ .

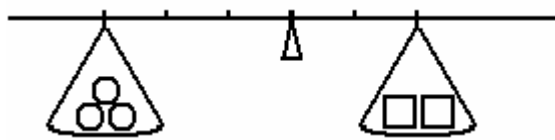


**Figura 2.** Distancias a los centros de masa de las partes de la escoba, convenientes y necesarias para calcular los respectivos torques o momentos de fuerza, que equilibran la escoba

Para concluir la experiencia se solicita a los estudiantes hacer un pequeño informe y que tienen la libertad de titular el informe como quieran, y los títulos dan cuenta de lo sorprendente y útil que ha resultado el experimento. Algunos de ellos son: “Equilibrio de una escoba”, “La escoba desequilibrada”, “Cuerpos en equilibrio”, “Errores comunes al pensar en equilibrio estático”, “Centro de masa de una escoba”, “El equilibrio no es como lo pintan”.

Y algunos comentan “Antes del experimento pensaba que ambas partes iban a pesar exactamente igual, sorpresa cuando el experimento mostró que no era así, recomiendo esta práctica, estoy seguro que muchas personas creen que los pesos son iguales”.

Ahora se plantea un ejercicio sencillo: En la figura 3 se muestra una balanza, supóngase que la barra está pivotada justo en el medio y es suficientemente larga, es decir, la barra sola estaría equilibrada. Si las canastillas tienen peso despreciable y tres (3) naranjas ubicadas a tres unidades de distancia (3 ud) equilibran a dos (2) bocadillos ubicados a dos unidades de distancia (2 ud). ¿Donde se deben ubicar dos (2) naranjas para que equilibren a tres (3) bocadillos ubicados a tres unidades de distancia (3 ud)?



**Figura 3.** Balanza en equilibrio

### 4 Conclusiones

Experiencias sencillas como esta desequilibran en los estudiantes algunos conceptos que según ellos el sentido común, la lógica son suficientes en el análisis de ciertas situaciones. La experiencia también es útil para presentar y definir el centro de masa y centro de gravedad de un objeto.

En la “web” también es posible encontrar lecciones y guías de laboratorio, y ejercicios complementarios (Tea-

ching Resources, episode 203: Turning effects., [http://www.iop.org/activity/education/Teaching\\_Resources/Teaching%20Advanced%20Physics/Mechanics/Statics/page\\_3802.html](http://www.iop.org/activity/education/Teaching_Resources/Teaching%20Advanced%20Physics/Mechanics/Statics/page_3802.html)) e interesantes tales como: ubicar el centro de masa de una persona (Center of gravity vs torque, [http://dev.physicslab.org/Document.aspx?doctype=5&filename=Compilations\\_NextTime\\_CenterGravityTorque.xml](http://dev.physicslab.org/Document.aspx?doctype=5&filename=Compilations_NextTime_CenterGravityTorque.xml)), hallar el peso de un brazo sin procedimientos tan extremos como el que se le aplicó a la escoba, como funcionan los móviles en los que el centro de masa esta fuera del objeto y por debajo del punto de apoyo. Ó la escoba inteligente (J.Ossandon, *escoba inteligente*, <http://www.profisica.cl>), que colocada horizontalmente sobre los dedos índices y observa que pasa al juntar los dedos lentamente, la escoba se las arregla para no caerse y mantener el equilibrio.

Esta estrategia ha sido utilizada permanentemente por el grupo de investigación Física e Informática en situaciones problemáticas similares<sup>2</sup>, buscando proponer nuevas opciones metodológicas para la enseñanza y apren-

dizaje de la física.

## Agradecimientos

A la Facultad de Ciencias y Educación, a la Facultad Tecnológica y al Centro de Investigaciones y Desarrollo Científico de la Universidad Distrital, por el apoyo a los miembros del grupo Física e Informática.

## Referencias

1. C.Lombana, A.Hurtado, M Fonseca., y O. Ocaña, *Una colisión que sorprende. y choca con los preconceptos*, Rev. Colombiana de Física, ISSN 0120-2650, Vol. 34, pp. 99–102 (2003)
2. A.Hurtado, *Experimento y simulación, Opciones didácticas en la enseñanza-aprendizaje de la física*, Fondo de publicaciones Universidad Distrital Francisco José de Caldas, p.97-106, Nov. (2006).



## Presentación del sitio virtual “conceptos obsoletos en física”

Nelson Arias Ávila<sup>a</sup> y Friedrich Herrmann<sup>b</sup>

a) Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá D.C., Colombia; [nelsona@udistrital.edu.co](mailto:nelsona@udistrital.edu.co)†

b) Universidad de Karlsruhe, Alemania. [friedrich.herrmann@physik.uni-karlsruhe.de](mailto:friedrich.herrmann@physik.uni-karlsruhe.de)

† Autor para la correspondencia

Recibido el 1/06/2007. Aprobado en versión final el 15/06/2007

**Sumario.** Se presenta un sitio virtual donde se publica -con periodicidad semanal- una serie de artículos breves, agrupados bajo el nombre genérico de “Conceptos Obsoletos en Física” (COF), entendidos como conceptos que por diferentes causas han perdido su vigencia científica, pero continúan siendo empleados y constituyen una “carga” para la comprensión y el proceso de enseñanza-aprendizaje de dicha ciencia, particularmente en la enseñanza media. Estos trabajos, gestados inicialmente en el Grupo de Didáctica de la Física de la Universidad de Karlsruhe, han sido publicados en alemán; ahora se presenta su versión virtual en castellano, principalmente con el objeto de generar un espacio académico para la discusión de dichos COF e incentivar a maestros y estudiantes en la búsqueda y eliminación de conceptos similares, esperando así contribuir al desarrollo de los procesos de enseñanza y aprendizaje de las ciencias y de la Física en particular.

**Abstract.** We present a web site where a series of short articles with the generic name “Obsolete Concepts in Physics” (Conceptos Obsoletos en Física) is published weekly. By obsolete concepts we mean such concepts that have lost their scientific value for different reasons, but which are still being in use, and which represent an obstacle or burden in the teaching-learning process. It is our intention to create an academic forum to discuss these concepts and to encourage teachers and students to search for such concepts on their own.

**Palabras clave.** Enseñanza de la Física, 00.01.40.-d, publicación electrónica, 00.01.30.Xx.

### 1 Introducción

Las ciencias naturales se encuentran en un desarrollo permanente, que podemos comparar de cierta manera con el desarrollo de los sistemas biológicos. Desde hace mucho tiempo los diferentes conocimientos sobre las ciencias naturales se han incrementado de tal forma que sólo es posible conocerlos, entenderlos y enseñarlos de manera parcial; por otra parte, generalmente quien enseña conocimientos básicos (en particular en la enseñanza básica y media) tiene poca o ninguna oportunidad de examinar y cambiar (mejorar) la actualidad científica, lo cual hace difícil actualizar dichos conocimientos. Lo nuevo se agrega a lo conocido sin tocar la base. Además, teniendo en cuenta que cuanto más complejo es un sistema más conservador se vuelve, cada vez se presenta

más resistencia y falta de motivación a revisar lo existente. Es por ello que en general, la recopilación de los conocimientos básicos de una ciencia natural refleja su desarrollo histórico, el cual en cierta forma es repetido por el estudiante. El proceso de aprendizaje se desarrolla, casi hasta en detalles, de manera análoga al esquema evolutivo biológico, según el cual el crecimiento embrionario de un ser vivo representa una abreviada repetición de la historia de su especie.

El desarrollo histórico “no lineal” de las ciencias y ciertas ideas que en un contexto moderno se revelan como inapropiadas, se han conservado hasta el día de hoy; algunos errores han podido sobrevivir durante décadas porque la cantidad de información nueva ahoga la atención sobre ellos. Tradiciones educativas y viejas costumbres obnubilan la mente y una serie de prejuicios frenan

la motivación para realizar cambios, por lo cual se exige una particular atención para detectar y reconocer dichas incongruencias, las cuales hemos agrupado bajo el nombre genérico de “conceptos obsoletos”.

## 2 La formación de conceptos obsoletos en física (COF)

Revisando textos, tanto escolares como universitarios, se constata que efectivamente la mayoría tiene la estructura sugerida en el modelo tradicional planteado, es decir presenta los temas reproduciendo esencialmente el recorrido histórico de la disciplina respectiva. Los textos de Física no escapan a esta tendencia, siendo además muy similares entre sí.

La Física es un sistema complejo, producto del desarrollo y evolución del conocimiento y como tal tiene las propiedades características de cualquier otro sistema complejo y evolutivo, entre ellas la disposición a la formación de “conceptos obsoletos”.

Establezcamos una analogía para los “conceptos obsoletos”, considerando lo que ocurre con los programas para ordenadores, un procesador de textos por ejemplo. Casi anualmente aparece una nueva versión del procesador que debe ser compatible con las anteriores, con lo cual se hace más complicada de lo que debiera. Como resultado las nuevas versiones son más lentas y requieren más memoria que programas que ignoraran la exigencia de compatibilidad. Finalmente, el programa termina siendo compatible con archivos y aplicaciones que ya nadie utiliza. Dicho programa contiene “conceptos obsoletos”.

Consideramos los “conceptos obsoletos” como vestigios que dentro de una ciencia cumplieron en otros tiempos una función vital, que ahora ya no cumplen.

En Física, al igual que en otros sistemas evolutivos, se han ido formando “conceptos obsoletos” (COF); allí encontramos conceptos que desempeñaron un papel importante, pero que en la actualidad son superfluos y representan un lastre innecesario para la enseñanza. Para la investigación en didáctica de la Física, que consideramos implica una reestructuración conceptual de esta última, es imprescindible identificar estos COF para después eliminarlos; ello no es tarea fácil, pues hemos aprendido la Física de cierta manera y estamos tan acostumbrados a verla así, que resulta difícil creer en otras posibilidades de presentarla.

Para detectar COF se necesita ser un poco iconoclasta con los textos, algo que se podría llamar “falta de respeto” hacia los escritos científicos. Efectivamente es en cierta forma una falta de respeto, pero no ante los logros de la ciencia ni ante los artífices de los mismos, sino ante los escritos de autores que sólo reproducen simple y mecánicamente tales logros.

Hay que decir sin embargo que los COF, en los procesos de enseñanza-aprendizaje, tienen varios aspectos positivos: nos enseñan mucho sobre la historia de la ciencia, nos cuentan cómo interpretaron la naturaleza nues-

tros antepasados y en algunos casos proporcionan ejemplos útiles de cómo abordar o no abordar un tema en particular. Es función de los historiadores de la ciencia velar por que aquellos conceptos considerados “obsoletos” en otras ramas del saber, mantengan la vigencia adecuada dentro de su disciplina.

Existen COF de naturaleza muy diferente: pequeños y grandes, muy antiguos y otros que acaban de formarse. Unos consisten sólo en una palabra mal empleada o seleccionada, otros se refieren a un concepto básico de las ciencias naturales. Algunos temas se volvieron “obsoletos” porque nuestras ideas respecto a las bases de la Física cambiaron, otros solamente porque las técnicas experimentales mejoraron. Existen COF sobre ideas fundamentales de la Física, sobre métodos de su enseñanza y otros relacionados con los avances técnicos y tecnológicos.

Atraer la atención hacia este tipo de “conceptos obsoletos”, para que sean discutidos y analizados, y buscar la manera de deshacerse de ellos, es el objeto de la serie de artículos que acá presentamos. Se ha procurado que estos artículos sean lo menos extensos posible para facilitar su lectura y discusión.

Algunos de estos artículos pondrán en duda lo que podría considerarse la “doctrina” actual de la enseñanza de la Física. Muy posiblemente no todos los lectores clasificarán un tema u otro como concepto obsoleto, seguramente es cuestión de juicio individual definir si una determinada temática se presenta, dentro del proceso de enseñanza-aprendizaje, como inapropiada o superflua. Lógicamente no se espera que cada lector juzgue igual que nosotros.

Dada la brevedad de los artículos, es probable que la argumentación no pueda convencer -en todos los casos- a algunos lectores. La idea fundamental de estos trabajos es poner en marcha una discusión sobre lo adecuado de ciertos contenidos en la enseñanza de la Física y animar a tantos como sea posible a buscar y eliminar “conceptos obsoletos”.

## 3 Estructura y publicación de los COF

Todos los artículos de la serie COF estarán identificados por un número y un título, se publicarán semanalmente y tendrán la misma estructura general. Primero se presenta el objeto de estudio (*Tema*) y luego se analizan las principales fallas que tiene la representación usual (*Defectos*). A continuación, en lo posible, se habla de la procedencia del COF (*Origen*) y finalmente se propone cómo deshacerse de él (*Eliminación*). Cuando sea necesario se incluirán algunos comentarios y citas bibliográficas (*Referencias*).

Teniendo en cuenta que los artículos de la serie COF van dirigidos fundamentalmente a maestros y maestras de educación secundaria (bachillerato), se decidió publicar dichos trabajos en la página Web de la Secretaría de Educación de Bogotá: [www.redacademica.edu.co](http://www.redacademica.edu.co), desde donde se accede a los artículos a través de los siguientes

enlaces: Maestros y Maestras → Cartelera de Ciencias → Conceptos Obsoletos en Física; o directamente en: [http://www.redacademica.edu.co/redacad/export/REDACADEMICA/ddirectivos/cartelera\\_ciencias/conceptos.html](http://www.redacademica.edu.co/redacad/export/REDACADEMICA/ddirectivos/cartelera_ciencias/conceptos.html).

Igualmente, en el mismo sitio, se ha creado un enlace con la versión parcial -en castellano- del *Curso de Física de Karlsruhe* y un foro virtual para que los participantes puedan opinar y debatir sobre los temas tratados. Se propone que, si es del interés en otros países hispanohablantes, se creen páginas similares para tratar dichos COF.

## 4 Algunos temas a tratar

Se enuncian a continuación algunos de los temas que se tratarán en los artículos de la serie COF:

- \* Formas de energía
- \* La equivalencia masa-energía
- \* La potencia
- \* Leyes de conservación
- \* Acciones a distancia
- \* Equilibrio de fuerzas y tercera ley de Newton
- \* El principio de superposición
- \* Velocidad instantánea y velocidad media
- \* La aceleración
- \* El momento como producto de la masa y la velocidad
- \* La presión dinámica
- \* Escalas preliminares de temperatura
- \* La equivalencia entre calor y trabajo
- \* Magnitudes de estado
- \* Entropía
- \* El rendimiento de Carnot
- \* Calor y capacidad calorífica
- \* Radiación térmica
- \* La transmisión del calor a través de la atmósfera
- \* Energía química
- \* El potencial químico
- \* La constante de Avogadro
- \* Dos tipos de carga eléctrica
- \* El sentido convencional de la corriente eléctrica
- \* El campo como región del espacio con propiedades
- \* Superficies equipotenciales
- \* Polos magnéticos
- \* La curva de histéresis
- \* Electroimanes
- \* El oscilador de Hertz
- \* El diodo semiconductor como rectificador
- \* Las capas electrónicas
- \* Fuerzas de enlace
- \* El concepto de trayectoria en la mecánica cuántica
- \* El átomo vacío

## 5 Un ejemplo

A manera de ejemplo se presenta un breve resumen del artículo No. 27 titulado: *Rendimiento y factor de Carnot*.

*Tema:* Generalmente se define el rendimiento de una

máquina como el cociente entre la energía útil obtenida y la energía suministrada a la máquina:

$$\eta = \frac{\text{energía útil obtenida}}{\text{energía suministrada}} \quad (1)$$

Al aplicar la ecuación a una máquina térmica ideal, es decir, en la cual no hay producción de entropía, se obtiene para el rendimiento el llamado factor de Carnot, donde  $T_2$  es la temperatura del llamado foco caliente y  $T_1$  la del foco frío.

$$\eta = \frac{T_2 - T_1}{T_2} \quad (2)$$

*Defectos:* La definición del rendimiento expresada en la Ec. (1) no es acertada; se esperaría de un rendimiento adecuadamente definido que:

1. Sus valores se encuentren en el intervalo de 0 a 1.
2. Para una máquina ideal sea igual a 1.
3. Para una máquina no ideal sea inferior a 1.

Ninguna de estas tres condiciones se cumple en la definición arriba mencionada. El rendimiento de la bomba de calor resulta superior a la unidad, es decir, no se cumple la primera condición. Para la máquina de Carnot, que funciona reversiblemente se obtiene un rendimiento inferior a 1, violando así la segunda condición. Para la calefacción por resistencia, un dispositivo altamente irreversible y notorio derrochador de energía, el rendimiento es igual a la unidad, es decir, se viola la tercera condición.

*Origen:* La definición del concepto rendimiento estuvo acompañada del intrincado proceso de diferenciación entre la energía y la entropía, el cual tardó casi un siglo. En la obra de Carnot no existe el concepto rendimiento, éste se encuentra en la obra de Helmholtz, aunque no se puede afirmar que él fuera el primero en emplearlo. Hay que tener en cuenta que en esa época todavía no existía la bomba de calor, es decir, un artefacto con rendimiento superior a la unidad.

*Eliminación:* Se propone utilizar la siguiente definición para el rendimiento:

$$\eta = \frac{P_{ideal}}{P_{real}} \quad (3)$$

Donde  $P_{real}$  es el consumo energético de la máquina real que se quiere evaluar, y  $P_{ideal}$  es el consumo energético de una máquina que presta el mismo servicio, pero que funciona reversiblemente, es decir, sin producción de entropía.

Para la máquina de Carnot se obtiene con esta definición  $\eta = 1$ , ya que esta máquina es ideal.

Para la bomba de calor, se obtiene siempre un valor en el intervalo  $0 \leq \eta \leq 1$ . Si en la bomba no hay fricción, resistencia eléctrica o pérdidas de calor, entonces es ideal y el rendimiento será igual a la unidad. Una máquina ideal que preste el mismo servicio que la calefacción por resistencia, es decir, que entregue una corriente de entropía (corriente de “calor”)  $I_s$ , a la temperatura alta  $T_2$ , es una bomba de calor que absorbe entropía a temperatura ambiente  $T_1$ .

El consumo energético para la calefacción eléctrica

es:  $P_{\text{real}} = T_2 \cdot I_S$ , y el consumo de una bomba de calor ideal:  $P_{\text{ideal}} = (T_2 - T_1) I_S$ , obteniendo para el rendimiento, según la Ec. (3), el ya conocido factor de Carnot, Ec. (2). Efectivamente, la calefacción por resistencia derrocha tanto más energía, cuanto más alta es la temperatura del ambiente.

En algunos libros de termodinámica la definición representada en la Ec. (3) es conocida como rendimiento exergético o “Second Law Efficiency”, sin embargo se presenta como un concepto “para avanzados”.

Proponemos introducir esta definición de rendimiento desde el comienzo del curso de termodinámica.

## Agradecimientos

Los autores agradecen a la Fundación Job, con sede en Hamburgo, por el apoyo recibido para realizar este trabajo.

## Referencias

1. F. Herrmann and G. Job. *Eur. J. Phys.* **17**, 159 (1996).
2. F. Herrmann und G. Job. *Altlasten der Physik* (Aulis Verlag Deubner, Köln, 221p, 2002).
3. F. Herrmann y N. Arias Ávila. “Fósiles” en la enseñanza de las ciencias. *Rev. Española de Física*, Vol. 21, No.1, pp. 46-49 (2007).



## La física y sus modelos; las simulaciones como herramienta didáctica

P. A. Lonngi Villanueva, M. D. Ayala Velázquez

En licencia sabática del Departamento de Física, División de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa, San Rafael Atlixco 168, Col. Vicentina, 09340 Iztapalapa, México D. F.. [plov@xanum.uam.mx](mailto:plov@xanum.uam.mx)† y [dav@xanum.uam.mx](mailto:dav@xanum.uam.mx)  
†autor para la correspondencia

Recibido el 1/06/2007. Aprobado en versión final el 15/6/2007.

**Sumario.** Mostramos algunos ejemplos de modelos y simulaciones y sus objetivos didácticos específicos para que el alumno adquiera, comprenda y afiance conceptos como: 1) amplitud y frecuencia de un oscilador forzado y resonancia; 2) conducción a lo largo de una barra, leyes de Newton y de Fourier y calorimetría; 3) red unidimensional de circuitos RC y sus tensiones; 4) disipación cuadrática y viscosa y sus coeficientes de resistencia y 5) rapidez de avance del frente de mojado en el papel y el efecto de posibles errores sistemáticos y compare la simulación con sus resultados experimentales.

**Abstract.** We offer a few examples of models and their simulation and particular didactic objectives, aiming to help the student to acquire, understand and strengthen concepts such as: 1) amplitude and frequency of a forced oscillator and resonance; 2) conduction along a bar, Newton's and Fourier's laws and calorimetry; 3) a one-dimensional network of RC circuits and its tensions; 4) quadratic and viscous dissipation and their resistance coefficients, and 5) rate of advance of the wet front in paper and the effect of possible systematic errors, whenever possible making a comparison with his/her experimental results.

**Palabras clave.** Investigación en enseñanza de la física, 01.40.Fk, uso de computadoras en la enseñanza, 01.50.H-, modelación y simulación en computadora, 07.05.Tp.

### 1 Introducción

La confusión de varios de los términos de importantes conceptos físicos, sus ideas previas y las escasas capacidad de observación y habilidades para realizar y analizar experimentos, aunadas a la riqueza y complejidad del mundo físico, le dificultan al alumno comprender la física, en sus relaciones y conceptos correctos, estimar el efecto de las variables de interés y adoptar modelos físicos consistentes y explicaciones adecuadas de los fenómenos. Como los modelos y las simulaciones nos permiten acercarnos a la realidad y cuantificar el efecto de las variables relevantes de cada problema, es muy útil incorporar su uso sistemático en la enseñanza.

El uso de simulaciones no requiere conocimientos

completos y profundos de los métodos para resolver las ecuaciones algebraicas o diferenciales, ni del tema asociado con la simulación, por parte de los alumnos. En cambio, es indispensable que el profesor conozca a fondo la física de cada problema, los métodos de solución (analíticos y numéricos) y también las dificultades para su ejecución experimental, habiendo identificado con anticipación el proceso o estrategia didáctica deseable y las necesidades y dificultades de sus alumnos, para seleccionar y utilizar las simulaciones pertinentes y adecuadas en cada etapa del proceso educativo, para acompañarlos y facilitarles la adquisición del conocimiento.

En el primer año de la universidad (o en niveles inferiores), las simulaciones no son para que el alumno las use por su cuenta y riesgo, sino para que el profesor las aproveche para mostrarle fenómenos, conceptos, varia-



bles y relaciones asociados con la realidad y el modelo que la describe, manteniéndose el profesor atento a las necesidades particulares de cada alumno, permitiéndole usarlas durante todo el tiempo que requiera para explorar su aplicación e identificar las relaciones entre las variables.

Aquí mostramos algunos ejemplos de modelos y simulaciones en algunos campos de la física y los objetivos didácticos específicos que pueden alcanzarse realizando actividades dirigidas y planeadas para ellos, abarcando también su uso en el laboratorio.

Entre los temas que presentan mayor dificultad para su comprensión, análisis, o que simplemente usan la simulación con un objetivo específico, hemos elegido:

1. El mojado de una tira de papel, que aunque es muy fácil de observar<sup>1</sup>, no se le estudia ni se evidencia su fundamental importancia en aplicaciones, como la absorción eficaz de los líquidos corporales por toallas, pañales y pañuelos desechables<sup>2</sup>.

2. El oscilador forzado y la resonancia, que es esencial para la prevención de accidentes y fracturas en las construcciones por cargas y movimientos telúricos y que requieren la correcta comprensión de la amplitud y frecuencia angular de las oscilaciones.

3. La conducción de calor a lo largo de una barra y los procesos de convección en sus extremos como un proceso dinámico en el que intervienen los gradientes de temperatura, los flujos de potencia calorífica y las relaciones entre ellos.

4. Una red unidimensional periódica de circuitos RC es un modelo simple, con elementos concentrados, de una línea de transmisión y su simulación obtiene las tensiones en sus nodos y las corrientes en los elementos resistivos, cantidades fácilmente observables.

5. Mediante las simulaciones se supera la extrema simplificación habitual de despreciar la resistencia del medio en una caída, considerando la relación entre la velocidad terminal y los coeficientes de resistencia, suponiendo que ésta sea de tipo viscoso, proporcional a la velocidad, o bien proporcional al cuadrado de la velocidad. Se prevén así algunas de las dificultades que suelen presentarse para determinar experimentalmente el coeficiente de viscosidad del medio.

La herramienta computacional que utilizamos es Modellus versión 2.5, de V. Duarte Teodoro, J. P. Duque Vieira y F. Costa Clerigo, disponible en el sitio <http://phoenix.sce.fct.unl.pt/modellus>, libre de cargo para su uso en las instituciones educativas.

## 2 Breve descripción de Modellus

El programa Modellus facilita al profesor hacer simulaciones de modelos como los elegidos ya que las ecuaciones se escriben esencialmente de la misma manera que las ecuaciones matemáticas del problema, dispone de ventanas gráficas para las cantidades deseadas en abscisa y ordenada, cuenta con la posibilidad de incorporar texto, vectores, medidores de nivel, etc., en una ventana de

animación gráfica, en la que incluso permite usar herramientas de medición para reproducir con el modelo, resultados experimentales capturados en forma de archivos de imagen y contiene un eficiente integrador de ecuaciones diferenciales ordinarias, que facilita encontrar soluciones numéricas a los problemas.

## 3 Modelos y simulaciones

A continuación se describe cada modelo y se presentan las ecuaciones asociadas, resaltando, sin pretensión de ser exhaustivos, algunos de los posibles objetivos didácticos específicos.

**3.1 Mojado de una tira de papel.** Para examinar cómo avanza el frente mojado sobre la tira de papel y determinar el tipo de relación funcional, se coloca sobre una regla, placa de vidrio o plástico en posición horizontal (para evitar el efecto de la gravedad) una tira de papel marcada con líneas (de preferencia con tinta soluble) equidistantes 1 cm, dejando un extremo que cuelga y esté dentro del agua. Se observa cómo el agua se absorbe y avanza sobre la tira de papel y se registra el tiempo en el que el frente mojado llega a cada línea.

El modelo simplificado se conoce con el nombre de Ley de Lucas-Washburn y esencialmente plantea que si  $F_m$  es la fuerza de bañado y  $b$  el coeficiente de resistencia, ambos constantes, la ecuación que describe el mojado es:

$$x \left( \frac{dx}{dt} \right) = \frac{F_m}{b} = \frac{A}{2} \quad (1)$$

donde  $A$  es una constante que depende de  $d$ ,  $\rho$ ,  $\gamma$ ,  $\eta$ , que son el diámetro de los poros del papel, la densidad, tensión superficial y viscosidad del agua absorbida, respectivamente, dependencia que puede obtenerse mediante análisis dimensional.

Además de facilitar al alumno la visualización y comprensión del fenómeno, el análisis gráfico del avance del frente mojado simulado sin errores sistemáticos y con ellos nos permite mostrar explícitamente en las gráficas el efecto de su presencia y discutir la forma de controlarlos, para realizar un análisis bien fundamentado y poder obtener conclusiones confiables o decidir si es necesario repetir con mayor cuidado las mediciones.

**3.2 Oscilador forzado y resonancia.** El sistema considerado consiste de un resorte de constante  $k$  y un amortiguador viscoso con coeficiente de resistencia  $r$ , unidos a una masa  $m$ , a la cual se aplica una fuerza oscilatoria de magnitud  $F_0$  y frecuencia  $\omega$  conocidas. Se busca que el alumno comprenda y aplique correctamente los conceptos de amplitud, periodo, frecuencia angular de oscilación y natural del oscilador durante la ejecución de la simulación, para construir y analizar la curva de resonancia. Además de esta comprensión y uso de variables, desarrolla la capacidad de identificar gráficamente si ha transcurrido suficiente tiempo para que las condiciones iniciales ya no tengan relevancia en la oscilación y que el oscilador esté en el régimen permanente.

La simulación permite obtener la amplitud de oscilación a diferentes frecuencias de la fuerza externa, como en un experimento real. Estos datos se introducen en una hoja de cálculo para obtener la correspondiente gráfica de la curva de resonancia y calcular el valor de las variables que requiere el análisis gráfico.

La deducción del modelo se realiza por ejemplo, en Thomson<sup>3</sup>, y la amplitud de oscilación está dada por:

$$X = \frac{\frac{F_o}{k}}{\sqrt{(1 - \frac{m}{k} \omega^2)^2 + (\frac{r}{k} \omega)^2}} \quad (2)$$

El análisis gráfico se simplifica definiendo el desplazamiento estático como  $X_o = F_o / k$  y al identificar la nueva ordenada con  $(X_o / X)^2$  y la nueva abscisa con la suma de cuadrados del subradical, se predice que debe obtenerse una recta, por lo que hay que calcular los valores de estas variables basados en los datos y construir la gráfica correspondiente.

**3.3 Conducción de calor en una barra.** Este problema es muy importante en cursos de ecuaciones diferenciales parciales, véase por ejemplo [4] o [5], y la simulación introduce conceptos básicos de la calorimetría y la termodinámica; muestra gráficamente el equilibrio y cómo se alcanza y busca desarrollar la capacidad de hacer predicciones frente a situaciones teóricas y experimentales nuevas.

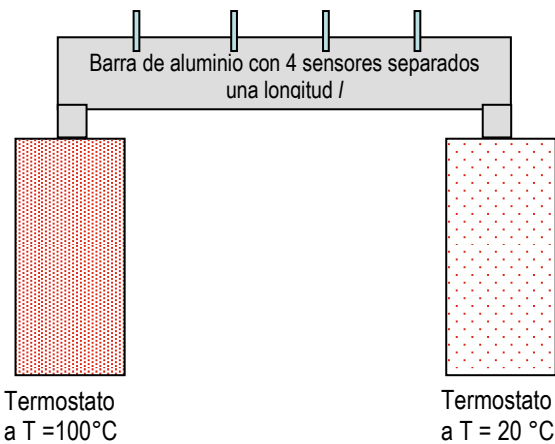


Figura 1. Esquema del aparato de conducción térmica.

Consideramos una barra de aluminio de sección transversal cuadrada, con patas en sus extremos y huecos equidistantes donde se colocan los sensores térmicos, como se muestra en la Fig. 1. Inicialmente la barra está toda dentro de un termostato a temperatura ambiente. A un cierto momento, una pata se saca del termostato y se mete en otro termostato con agua hirviendo. Igual que en el experimento, en la simulación se observan: la evolución temporal de la temperatura de los sensores; los fenómenos transitorios en la evolución al equilibrio de

las potencias caloríficas, los gradientes y diferencias de temperatura, con sus semejanzas y diferencias; y las condiciones de equilibrio en el estado estacionario.

El modelo usado en la simulación es muy básico. Considera los volúmenes centrados en cada sensor y limitados por el plano medio entre los sensores. De acuerdo con la ley de Fourier, hay un flujo de potencia calorífica  $q_j$  por esos planos, dirigido del punto a mayor temperatura al más frío, dado por el producto  $q_j = -kA \text{grad } T_{j+\frac{1}{2}}$  con  $k$  la conductividad térmica y  $A$

el área de la barra y el gradiente de temperatura evaluado en el plano medio, que se puede aproximar por la diferencia  $(T_{j+1} - T_j) / l$ . La potencia calorífica neta que causa un cambio de temperatura en el volumen es entonces la diferencia entre los flujos por los planos a cada lado,  $r_j = q_j - q_{j-1}$ . Finalmente, la temperatura cambiará con una

rapidez  $\frac{dT_j}{dt} = \frac{\kappa}{l} \left( \frac{r_j}{A} \right)$  con  $\kappa = \frac{k}{\rho c_p}$  la difusividad térmica,  $\rho$  la densidad y  $c_p$  la capacidad calorífica a presión constante.

En los extremos, donde las patas están sumergidas en agua a distinta temperatura y la transferencia de calor es convectiva, la potencia calorífica está dado por la ley de Newton  $q_{conv} = hA_s(T_{agua} - T_{barra})$  con  $h$  el coeficiente de convección,  $A_s$  la superficie de transferencia y  $T_{barra}$  la temperatura de la superficie de la barra en cada extremo.

**3.4 Red unidimensional de circuitos RC.** Por la particular importancia de los circuitos eléctricos, es esencial que el alumno los conozca y asimile que se puede observar la tensión en cada uno de sus nodos. Las líneas de transmisión eléctrica suelen simplificarse por modelos discretos que las representan como circuitos con elementos “concentrados”, lo que lleva directamente a considerar, si la inductancia es despreciable, una red RC conectada a una fuente de tensión  $E_o(t)$  con resistencia interna  $R_s$  que tiene en su otro extremo una carga  $R_L$ . Queremos encontrar las tensiones  $e_k(t)$  en cada nodo para  $n$  nodos. Las ecuaciones de nodo de Kirchhoff y la definición de capacitancia nos llevan de inmediato<sup>6</sup> a plantear para cada nodo las ecuaciones diferenciales acopladas

$$\frac{de_k}{dt} = \frac{i_{k-1}}{C} - \frac{i_k}{C} = \frac{e_{k-1} - e_k}{RC} - \frac{e_k - e_{k+1}}{RC} \quad (3)$$

para  $k = 2, 3, \dots, n-1$ , con las condiciones en la frontera

$$\frac{de_1}{dt} = \frac{E(t) - e_1}{R_s C} - \frac{e_1 - e_2}{RC} \quad \text{y} \quad (4)$$

$$\frac{de_n}{dt} = \frac{e_{n-1} - e_n}{RC} - \frac{e_n}{R_L C}$$

Escribiendo las relaciones entre corrientes, tensiones y sus derivadas, en la simulación encontramos estas cantidades como función del tiempo para cualquier tensión de la fuente. En particular, conviene considerar que en  $t = 0$  se cierra un interruptor en la rama de la fuente con tensión  $E(t) = a + b \text{sen}(\omega t)$  y observar cómo varía la

tensión en cada nodo inicialmente con tensión nula. Así se nota el efecto de filtraje de la red y la disminución del rizo conforme se avanza en ella.

**3.5 Caída de un objeto esférico en un medio disipativo.** Para la fuerza viscosa sobre una esfera de diámetro  $D$  que se mueve con velocidad  $v$  en un fluido, generalmente se supone válida la ley de Stokes  $F_v = 3\pi\eta D v$ , mientras que la fuerza de arrastre está dada por  $F_a = \pi C D^2 \rho^2 v^2$  con  $\rho$  la densidad del fluido y  $C \approx 1/2$  para la esfera.

Aquí la simulación ayuda para el diseño de un experimento en el que la disipación: a) si la velocidad es suficientemente pequeña, es de tipo resistencia viscosa y obtendremos la viscosidad  $\eta$  y, b) a velocidad suficientemente grande, es causada por turbulencia y obtendremos el coeficiente de arrastre  $C$ . Véase, por ejemplo [7], que igual que muchos otros textos, no incorpora la fuerza de flotación. Para facilitar la comparación de los resultados de la simulación, incluimos los términos de ambos tipos en la expresión de la fuerza disipativa, y hacemos alternadamente cero el coeficiente de cada uno.

## 4 Conclusiones

Estos ejemplos ayudan al alumno a visualizar la situación, analizarla y contrastarla con la realidad, permitiéndole comprender los fenómenos físicos y las situaciones particulares que cada modelo considera, sin necesidad de que comprenda y maneje las técnicas matemáticas que permiten llegar a la solución de las ecuaciones de cada problema.

A pesar de la complejidad relativa de los modelos y fenómenos simulados, los resultados que se obtienen se le pueden presentar al alumno para visualizar y comprender mejor los fenómenos.

Se aprovecha el uso de la informática que permite la repetición, reflexión y la exploración para reconocer el rol de variables y parámetros, para aumentar la motiva-

ción del estudiante; ayudar a la comprensión de los modelos, su alcance y límites, además de que permite afianzar sus habilidades de observación, descripción, análisis, reflexión y sacar conclusiones.

De parte del profesor, requiere: un profundo conocimiento de la física asociada a cada fenómeno; estar siempre al día de la evolución del conocimiento y una investigación permanente en el aula para identificar necesidades, cambios y logros.

## Agradecimientos

Queremos hacer patente nuestro agradecimiento a los Profesores Marisa Michelini y Mario Raimondi del Departamento de Física de la Universidad de Udine y el Departamento de Químico-Física de la Universidad de Milán por su hospitalidad y valiosas discusiones durante nuestra estancia sabática.

## Referencias

1. D. F. Fanelli, J. I. Bubb and C. P. Bean, Phys. Teach. Nov., p. 548 (1990)
2. J. Dutkiewicz, AUTEX Research Journal Vol. 2, No. 3, p. 153, (2002).
3. W. T. Thomson, Teoría de Vibraciones, Aplicaciones, cap. 3, sección 3.1. (Prentice/Hall, Madrid, 1983)
4. J. Farlow, Partial Differential Equations for Scientists and Engineers, lessons 2-15, pp. 11-119 (Wiley, N. Y. 1982).
5. A. N. Tjonov, A. A. Samarsky, Ecuaciones de la Física Matemática, 3ª edición, cap. III, pp. 189-296 (Mir, Moscú, 1983).
6. G. Goertzel and N. Tralli, Some Mathematical Methods of Physics., capítulos 6-7, pp. 73-95 (McGraw-Hill, N. Y. 1960)
7. R. A. Serway, Physics For Scientists and Engineers with Modern Physics. 3rd edition. pp. 137-141 (Saunders, Philadelphia, 1990).

## La importancia del trabajo experimental en física: un ejemplo para distintos niveles de enseñanza

C. Carreras, M. Yuste y J.P. Sánchez

Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED), España.  
ccarreras@ccia.uned.es

Recibido el 1/09/2007. Aprobado en versión final el 15/09/2007.

**Sumario.** A través de un ejemplo, la difracción de la luz, se pretende demostrar que se puede y se debe familiarizar a los estudiantes con las teorías y los fenómenos físicos en cualquier nivel de enseñanza empleando métodos experimentales.

**Abstract.** This work aims to demonstrate, with the example diffraction of light, the relevance of familiarizing students of any grade with theories and physical phenomena using experimental methods.

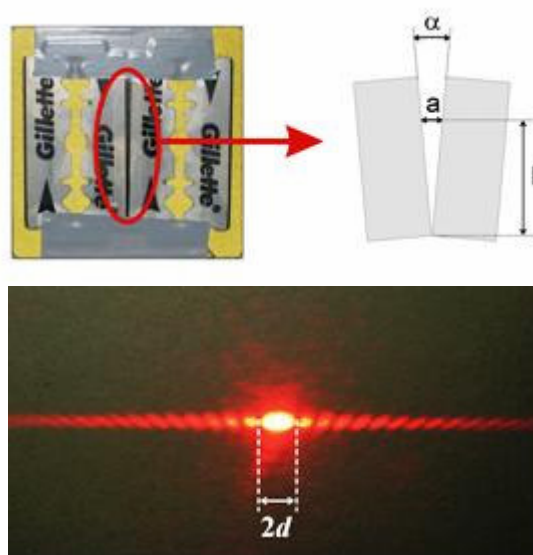
**Palabras clave.** Experiencias de cátedra y dispositivos experimentales 01.50.My, Uso de la computadora en el laboratorio 01.50.Lc, Óptica ondulatoria 42.25.-p, Difracción y scattering 42.25.Fx, Óptica de Fourier 42.30.Kq.

### 1 Introducción

Hemos elegido como modelo la difracción de la luz. Es un fenómeno óptico que se presenta en la naturaleza y que se puede producir en los laboratorios de manera sencilla. Su interpretación es compleja y requiere de herramientas matemáticas no asequibles en niveles medios de enseñanza. Por ello nos ha parecido que es buen ejemplo para poner en evidencia que, adaptándose al nivel de conocimientos matemáticos y físicos de los alumnos, se puede interpretar el fenómeno, realizar experimentos y comprobar teorías<sup>1</sup>. El grado de profundización dependerá del nivel, pero aún así los estudiantes deben abordar el estudio de este fenómeno que ha jugado un papel fundamental en el desarrollo de la Física.

### 2 Presentación de la difracción en los niveles elementales (enseñanza secundaria y bachillerato)

Como es natural, en este nivel la presentación debe ser cualitativa.



**Figura 1.** Rendija de difracción de anchura variable, de fabricación casera (arriba) y su figura de difracción (abajo).

Se puede iniciar ésta describiendo los fenómenos naturales en los que la difracción se observa claramente: figuras luminosas producidas por el Sol al atravesar las hojas de los árboles, por los focos de luz lejanos observados a través de visillos (redes de difracción), rendijas estrechas,...., las coronas en torno al Sol, a la Luna, a las farolas del alumbrado público cuando hay muchas partículas en suspensión (gotitas de agua,...), los colores reflejados por un CD,...

Todos estos fenómenos se pueden ilustrar a través de fotografías o diapositivas.

Con ayuda del material indicado a continuación se puede observar la difracción y realizar algunos experimentos semicuantitativos.

**Material:** Un puntero láser ( $\lambda = 650 \text{ nm}$ ), una regla graduada en milímetros, una rendija de anchura  $a$  variable (construida con dos hojas de afeitar yuxtapuestas sobre un marco de diapositivas formando una "V" muy estrecha, como se indica en la Figura 1), un trozo de CD (que se utiliza como red de difracción por reflexión y por transmisión), y un frotis de sangre para observar la difracción producida por los glóbulos rojos.

**Experimentos que se pueden realizar con este material.**

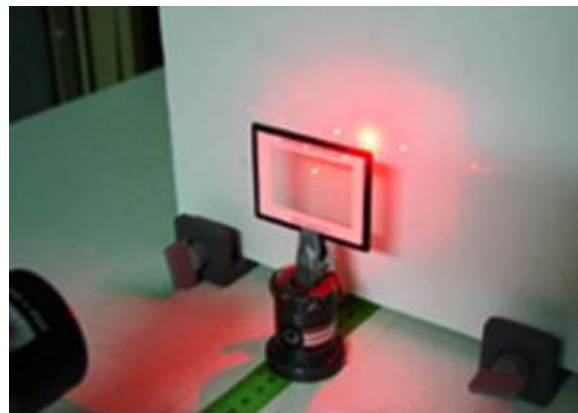
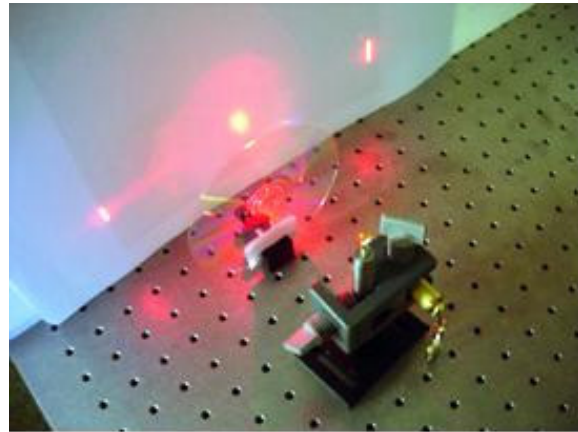
a) *Relación entre la anchura de la rendija y su espectro de difracción:* Si el puntero láser incide sobre la rendija de la Fig. 1, su patrón de difracción en una pantalla situada a un metro de distancia es la mostrada en la parte inferior de la misma figura. Dependiendo de la altura  $h$  a la que incida el láser, el espectro es más o menos extenso. Como la anchura  $a$  y la altura  $h$  están relacionadas ( $a = \alpha h$ ), se puede medir la variación de la semianchura  $d$  del máximo central de la figura de difracción en función de  $a$ . Haciendo una representación gráfica de  $1/d$  frente a  $a$ , se constata que se trata de una línea recta y, por lo tanto, que  $d$  y  $a$  son inversamente proporcionales.

b) *Determinación del tamaño de objetos pequeños:* El valor de la pendiente de la recta puede servir para determinar, *grosso modo*, las dimensiones de objetos muy pequeños (cabello, glóbulo rojo,...) observando sus correspondientes figuras de difracción a la misma distancia  $D$ , constatando que cuanto más pequeñas son sus dimensiones mucho más extendidas en la pantalla son las figuras de difracción.

c) *Determinación del espaciado entre las pistas de un DVD:* Al incidir el láser sobre la superficie de un DVD se observan, por reflexión o por transmisión, una serie de puntos luminosos que corresponden a los máximos principales de una red de difracción. La separación entre dos de estos puntos nos proporciona información sobre la distancia entre surcos del DVD o, lo que es lo mismo, sobre el número de líneas por milímetro que hay en la dirección radial. En las fotografías de la Figura 2 se pueden comparar los espectros producidos por un DVD y por una red de difracción.

En los tres casos (a, b y c), las expresiones matemáticas rigurosas son diferentes. Sin embargo, para esta

primera presentación no es necesario recurrir a ellas para que los alumnos aprecien la importancia de las técnicas difraccionales en la determinación del tamaño de objetos pequeños y estimen sus dimensiones.



**Figura 2.** Difracción producida por un DVD (arriba) y por una red de difracción de 600 líneas/mm (abajo).

### 3 Presentación de la difracción en el nivel intermedio (primeros cursos universitarios)

En este nivel los estudiantes conocen la formulación matemática elemental de la difracción. Esto permite realizar experimentos cuantitativos de mucha mayor precisión, sobre todo si se utilizan las técnicas computacionales que ahora están muy desarrolladas y extendidas. Como ejemplo presentamos el estudio experimental de la intensidad difractada por una rendija en aproximación de Fraunhofer y su ajuste teórico.

**Material:** Un láser de He-Ne, una rendija de anchura  $a$  variable, dos posicionadores micrométricos, un fotómetro calibrado y un multímetro.

**Descripción del experimento:** Tradicionalmente se utiliza la posición de los mínimos de difracción para determinar la anchura  $a$  de la rendija a través de la relación:  $a = m\lambda D/d$ , donde  $m$  es el orden del mínimo de difracción y  $\lambda$  la longitud de onda del láser. Midiendo los

diferentes valores de  $d$  a los que aparecen los mínimos, se determina el valor de  $a$ .

En el experimento que describimos aquí se mide la distribución de intensidad en todo el máximo central. Para ello se coloca el fotómetro a una distancia  $D$  fija de la rendija sobre un posicionador micrométrico, determinando el valor  $I_i$  de la intensidad en el plano de la pantalla en función de la distancia  $d_i$  a un origen arbitrario situado en dicho plano. En la Figura 3 se puede ver un esquema del dispositivo experimental y un ejemplo de medida.

Utilizando la simetría de la curva se determina la coordenada  $d_0$  del centro de la figura de difracción. Esto permite escribir el conjunto de valores experimentales de la intensidad en función de la variable  $d = d_i - d_0$ , que está relacionada con el ángulo de difracción a través de la siguiente expresión:  $\text{sen}\theta \approx d/D$ .

Los valores experimentales  $I_i$  de la intensidad se ajustan a la siguiente expresión teórica:

$$I = I_0 \left( \frac{\text{sen } \alpha}{\alpha} \right)^2 ; \quad \alpha = \frac{\pi}{\lambda} a \frac{d}{D}$$

con ayuda de un programa informático basado en el método de los mínimos cuadrados. El programa utiliza como parámetros de ajuste la anchura  $a$  de la rendija y la intensidad máxima  $I_0$ . Las ecuaciones que resultan son trascendentes, por lo que es necesario recurrir a un método iterativo de cálculo.

En la parte inferior de la Fig. 3 se muestra el ajuste teoría/experimento. Para mejorarlo se ensayan diferentes valores de  $d_0$  hasta que la suma  $S$  de las diferencias cuadráticas entre valores teóricos y experimentales alcanza su valor mínimo. En el ejemplo mostrado resulta ser de  $0,05425 \text{ mm} \pm 0,00002 \text{ mm}$ . Con este método se rebaja en dos órdenes de magnitud la precisión de la medida en relación con el método tradicional.

#### 4 Presentación de la difracción en el nivel superior (segundo ciclo)

En este nivel los estudiantes conocen perfectamente el principio general de Huygens-Fresnel, de donde se derivan las aproximaciones de Fresnel y Fraunhofer<sup>2,3,4</sup>. El objetivo que nos marcamos ahora es comprobar experimentalmente el grado de validez de ambas aproximaciones. Para ello se estudiará la difracción de objetos de dimensiones milimétricas, que puedan ser determinadas por métodos directos (nonius,...).

**Material:** Un láser de He-Ne, un expandidor de haz constituido por un objetivo de microscopio 60x, un agujero de  $5 \mu\text{m}$  de diámetro y una lente colimadora ( $f' = 30 \text{ cm}$ ), una cámara CCD, con su correspondiente software de análisis, espejos de primera superficie, dos lentes convergentes, una circular ( $f' = 50 \text{ cm}$ ) y otra cilíndrica ( $f' = 60 \text{ cm}$ ), posicionadores micrométricos, portaobjetos y un tablero óptico montado sobre una mesa antivibraciones.

**Descripción del experimento:** En la Figura 4 se

muestra tanto un esquema del montaje experimental como una fotografía del mismo. La primera tarea a realizar es expandir el haz láser, filtrarlo y colimarlo, con objeto de disponer de un frente de onda lo más plano posible en todos los experimentos.

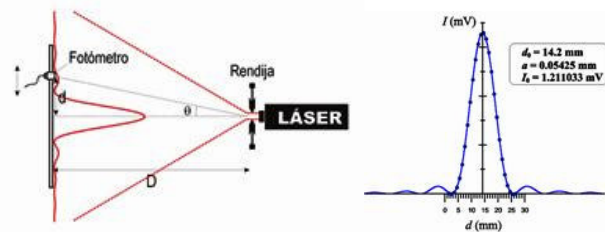


Figura 3. Esquema del montaje experimental (izq.) y ajuste teoría/experimento (der.) en la difracción de una rendija.

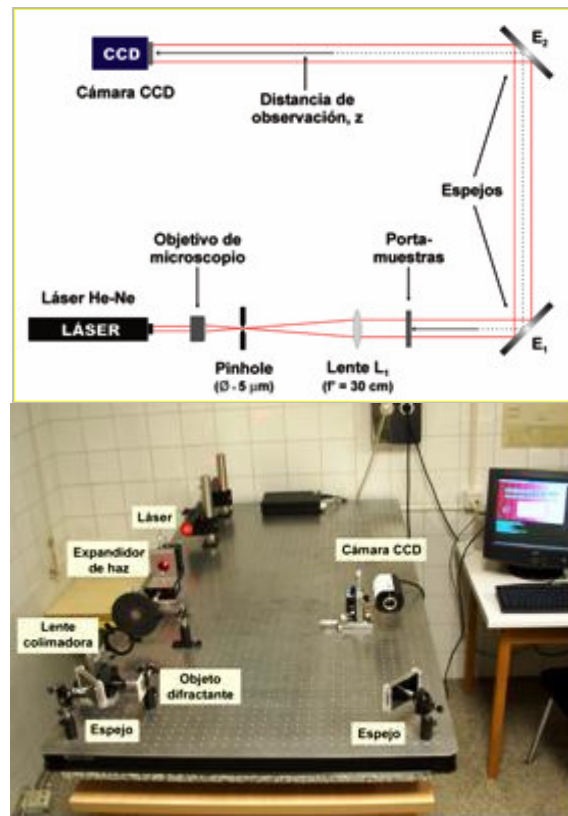


Figura 4. Esquema (arriba) y fotografía (abajo) del montaje experimental para la comprobación de las aproximaciones de Fresnel y de Fraunhofer en el estudio de la difracción de la luz.

a) *Estudio de la difracción de Fresnel:* En primer lugar, se estudia la difracción de un borde rectilíneo (hoja de afeitar) producida por el haz expandido y colimado. Las imágenes se capturan con la luz incidiendo directamente sobre la superficie sensible de la cámara. Del estudio teórico y de su comparación con la figura capturada, los estudiantes determinan la dimensión de un píxel (cuadrado de  $4,65 \mu\text{m}$  de lado). Como la cámara proporciona las distancias en píxeles (y las intensidades en

niveles de gris), esta determinación les permite conocer las distancias reales en las figuras que genera el software al analizar las imágenes capturadas.

A continuación se procede al estudio de la difracción de Fresnel producida por una rendija de 1 ó 2 mm de anchura, que construyen ellos mismos con hojas de afeitar. Lo primero que hacen es reproducir teóricamente (con un programa de cálculo desarrollado en el laboratorio) la distribución de intensidad en un eje perpendicular a la rendija (eje X) para diferentes distancias  $z$  de observación, y la variación de la intensidad en el centro a lo largo del eje de propagación (eje Z). Esto les permite localizar las mejores zonas de estudio para verificar la aproximación de Fresnel.

En la Fig. 5 se muestran cuatro ejemplos de las imágenes capturadas por la cámara, los valores experimentales de la intensidad a lo largo del eje X y las correspondientes curvas teóricas (intensidad normalizada –se supone la onda incidente plana y de amplitud unidad–) para cuatro distancias  $z$  diferentes. Estas comparaciones permiten a los estudiantes determinar con precisión la anchura de la rendija, cuyo valor aproximado habían determinado con un nonius.

b) *Estudio de la difracción de Fraunhofer*: Con el programa de cálculo utilizado anteriormente, los estudiantes pueden pasar de la aproximación de Fresnel a la de Fraunhofer sin más que ir aumentando la distancia  $z$ . Para objetos milimétricos comprueban que es necesario alejarse más de 20 m para obtener la figura de difracción que proporciona la aproximación de Fraunhofer.

En el experimento sería necesario alejarse mucho con la cámara CCD para obtener imágenes directas de la difracción. Para soslayar este problema, los estudiantes utilizan las propiedades de las lentes delgadas como elementos transformadores de fase. El experimento consiste ahora en lo siguiente: se introduce una lente colector entre el objeto difractante y la cámara. Si la rendija se sitúa en el plano focal objeto de la lente, en su plano focal imagen obtenemos la transformada de Fourier exacta de la misma, es decir, su espectro de difracción en aproximación de Fraunhofer. Si la cámara no se sitúa en dicho plano, sino antes o después, lo que se obtiene es la difracción de Fresnel.

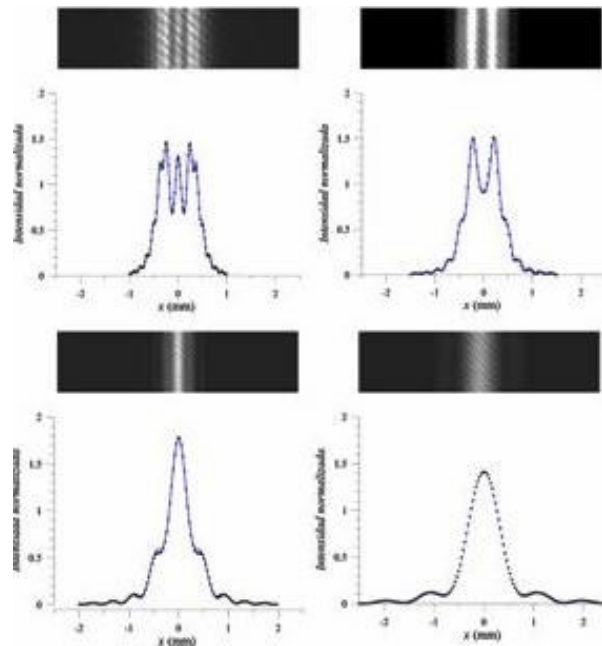
## 5 Conclusiones

Los experimentos, por sencillos que sean, permiten a los alumnos profundizar en el conocimiento de un fenómeno, estudiarlo teóricamente y experimentalmente a la vez, desarrollar habilidades y actitudes propias de los investi-

gadores, como son la búsqueda de soluciones a los problemas experimentales, la obtención de medidas con la menor incertidumbre posible, la interpretación y el análisis de los resultados, etc.

Si en la enseñanza primaria y secundaria se introduce la experimentación como metodología fundamental y cotidiana, quizá los experimentos sirvan también para atraer hacia la Física a un número mayor de estudiantes.

Por otra parte, independientemente de la opción que elija cada alumno para su futuro, no cabe la menor duda de que con esta forma de enseñar y de aprender estamos contribuyendo a aumentar el nivel científico de la mayoría de la población.



**Figura 5.** Figuras de difracción producidas por una rendija a diferentes distancias y sus correspondientes perfiles de intensidad teóricos y experimentales.

## Referencias

1. C. Carreras Béjar, *El trabajo experimental en la enseñanza de la Física*, Revista Española de Física. Vol. 20, Num. 2, 55-61 (2006).
2. E. Hecht, *Óptica*. Ed. Addison Wesley, Madrid (2000).
3. J.W. Goodman, *Introduction to Fourier Optics*. Ed. McGraw-Hill, New York (1988).
4. M. Born & E. Wolf, *Principles of Optics*. Pergamon Press, Oxford (1991).



## Ordenadores, vídeos y simulaciones durante el estudio del movimiento browniano

R. Valdés Castro<sup>a</sup> y V. Tricio<sup>b</sup>

Departamento de Física, Universidad de Burgos, España.

a) Escuela Politécnica Superior, [rvaldes@ubu.es](mailto:rvaldes@ubu.es)†

b) Facultad de Ciencias, [vtricio@ubu.es](mailto:vtricio@ubu.es)

†autor para la correspondencia

Recibido el 1/06/2007. Aprobado en versión final el 15/06/2007.

**Sumario.** El movimiento browniano es un fenómeno cuyo estudio fue clave para el avance de la Física y de la Química en los inicios del siglo XX. Es hoy una temática de actualidad, como lo evidencian el desarrollo de la teoría de fractales, las investigaciones sobre contaminación ambiental y motores brownianos. Estudiar experimentalmente dicho fenómeno y simularlo, constituyen actividades de aprendizaje de especial importancia y vigencia en la formación científica universitaria. Ello es particularmente factible en nuestros días, gracias al amplio uso de los ordenadores y de la fotografía digital. En nuestro trabajo mostramos vías sencillas para la observación y filmación del movimiento browniano y, con ello, para la comprobación experimental de la fórmula de Einstein. En la realización de las mediciones empleamos el software *Análisis de Imágenes* creado por nosotros. Describimos también tareas docentes relativas a la simulación del movimiento de partículas brownianas y de la distribución de estas con la altura.

**Abstract.** Brownian motion is a phenomenon whose investigation was a key to advance of Physics and Chemistry in the beginnings of XX century. For experimental study of this phenomenon we have developed a set of activities. In our work we show a simple way to observe Brownian motion and for experimental verification of Einstein's formula. To accomplishment measurements we use our software *Análisis de Imágenes*. We also described activity about simulation of Brownian motion and particles distribution.

**Palabras clave.** Medios audiovisuales 01.50.F-, uso de computadoras en la enseñanza de Física 01.50.ht, Uso de computadoras en el laboratorio 01.50.Lc.

### 1 Introducción

Por su importancia y actualidad el movimiento browniano es un fenómeno ampliamente estudiado en los cursos de Física General. Facilitar su comprensión, observación y las mediciones que permiten caracterizarlo es una tarea de la didáctica de la Física, cuyas diversas soluciones son seguramente bien acogidas. Más aún, si ello va acompañado de materiales apropiados para la educación a distancia.

Nosotros hemos confeccionado un libro electrónico con exposiciones teóricas, vídeos ilustrativos, sistemas de tareas para el aprendizaje, problemas experimentales, simulaciones interactivas y una compilación de materia-

les de interés que abarca fragmentos de obras de Einstein, Perrin, Mandelbrot, etc. relativas al tema <sup>1</sup>. Son numerosos los trabajos ya realizados con propósitos similares, que han mostrado su utilidad. Del nuestro presentamos solamente algunos elementos los cuales, en nuestra opinión, pueden servir para incentivar la orientación investigadora del aprendizaje.

### 2 Observación y filmación del movimiento browniano

Con el objetivo de que pueda ser realizada fácilmente en cualquier centro universitario o instituto de enseñanza secundaria, utilizamos equipos típicos de un laboratorio



docente y materiales de bajo coste:

1) microscopio con aumento entre 600 y 1500, 2) paleta de acuarela, pincel y recipiente con agua, 3) portaobjetos excavado, 4) cámara digital de 3 Mp o superior, con capacidad para tomar vídeos, 5) trípode (o equivalente construido con varillas metálicas, nueces y mordazas del laboratorio), 6) software para el procesamiento de vídeo.

Llenamos de agua la cavidad del portaobjetos. Si se deslía acuarela en el agua (también leche, pasta dental, tinta china), se crea una suspensión de gránulos microscópicos de diferentes tamaños y formas (en sus experimentos Perrin usó gutagamba y mástique, resinas empleadas en la fabricación de pinturas y barnices). Una vez preparados la suspensión y el microscopio con alguno de los aumentos indicados, visualizamos el movimiento de los corpúsculos.

Conviene mostrar la imagen a los presentes con un televisor o proyectándola sobre una pantalla. Así el movimiento browniano se aprecia claramente cuando el aumento está entre 600 y 800. Si la suspensión de acuarela se prepara en un vaso de precipitado y es calentada durante 20 – 30 minutos a unos 80 °C, se detectan con el microscopio partículas brownianas esféricas.

Para filmar el movimiento de las partículas, el objetivo de la cámara fotográfica acoplada al trípode se coloca sobre el ocular del microscopio. Todo el sistema se ajusta hasta que en la pantalla LCD de la cámara se vean los corpúsculos en movimiento. El zoom del aparato permite aumentar aún más el tamaño de la imagen. En este punto, con la habitación a oscuras, se hace la filmación. La cámara digital puede estar conectada a un proyector o televisor, que hacen visibles las imágenes a todos.

Sobre la base de las técnicas descritas con anterioridad, hemos preparado tres vídeos que pueden ser utilizados para la realización de mediciones (Fig. 1). Estas últimas se llevan a cabo utilizando el software Análisis de Imágenes creado por nosotros <sup>2</sup>.

### 3 Comprobación experimental de la fórmula de Einstein

Después de estudiar las ideas fundamentales de la teoría del movimiento browniano se puede proponer a los alumnos la resolución del siguiente problema experimental:

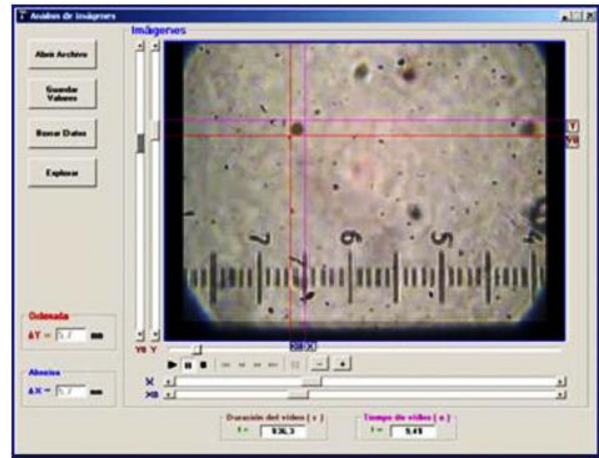
*Los vídeos de la serie Partículas Brownianas reproducen el movimiento de corpúsculos de acuarela en agua. Con el objetivo de comprobar la fórmula de Einstein:*

- *Utiliza el programa Análisis de Imágenes y los vídeos mencionados para comprobar la proporcionalidad directa entre  $\langle \Delta x^2 \rangle$  y  $\Delta t$ .*

- *Estima el número de Avogadro. Compara tus resultados con los que obtuviera Perrin.*

- *Menciona las principales fuentes de incertidumbres experimentales y cómo disminuirlas al realizar el experimento de comprobación de la fórmula de Einstein.*

- *Antes de hacer la experiencia confecciona previamente una guía donde indiques cómo procederás al hacer las mediciones y los cálculos. La temperatura del ambiente durante la filmación era de 20 °C. El coeficiente de viscosidad del agua a esa temperatura es  $\eta = 1,00 \cdot 10^{-3} \text{ kg}/(\text{m} \cdot \text{s})$ .*



**Figura 1.** Partícula browniana observada con el software Análisis de Imágenes.

A continuación presentamos una idea global de la resolución de la tarea. Recordemos que para el caso de una partícula esférica de radio  $a$ , suspendida en un fluido de viscosidad  $\eta$ , resulta:

$$\langle \Delta x^2 \rangle = \frac{RT}{N_A} \frac{\Delta t}{3\pi a \eta} \quad (1)$$

donde  $\langle \Delta x^2 \rangle$  es el valor del desplazamiento cuadrático medio de la partícula realizado en el lapso  $\Delta t$  y en la dirección  $x$ ,  $T$  es la temperatura absoluta,  $R$  la constante de los gases y  $N_A$  el número de Avogadro. Puesto que el movimiento browniano es isotrópico, se cumple  $\langle \Delta x^2 \rangle = \langle \Delta y^2 \rangle = \langle \Delta z^2 \rangle$ .

En cada uno de los vídeos a que se refiere el enunciado del problema experimental, se selecciona un corpúsculo browniano esférico, cuyo recorrido se sigue a lo largo de toda la película. Determinando con el programa Análisis de Imágenes la posición del corpúsculo al cabo de intervalos de tiempo  $\Delta t = 1 \text{ s}$ , se obtiene una muestra experimental con más de 60 desplazamientos sobre el plano que denominamos XOY. En virtud de la equiprobabilidad de las direcciones de movimiento  $X$  e  $Y$ , las proyecciones de los desplazamientos sobre dichos ejes son estadísticamente equivalentes. Es decir, a los efectos de nuestro análisis los valores de  $\Delta y$  pueden ser tomados como de  $\Delta x$  y viceversa. De esta forma es posible contar con más de 120 datos experimentales para comprobar la relación (1).

Simbolicemos con la letra  $A$  el radio aparente de una partícula browniana, vista con el programa *Análisis de Imágenes*. Sea  $M$  el aumento del vídeo observado con el software. Entonces  $A = aM$ . Representemos con la letra  $d$  los valores de los desplazamientos en las direcciones  $X$  e  $Y$ , medidos directamente sobre los fotogramas y expresados con las unidades de longitud usadas en el software *Análisis de Imágenes*. En virtud de la isotropía del movimiento asociemos dichos valores al eje  $X$ . Entonces obtenemos  $\langle d^2 \rangle = M^2 \langle \Delta x^2 \rangle$ . Adecuando la fórmula de Einstein a nuestro experimento tenemos:

$$\langle d^2 \rangle = M^3 \frac{RT}{N_A} \frac{\Delta t}{3\pi A \eta} \quad (2)$$

La Tabla I y la Figura 2 son una muestra de resultados experimentales. Obsérvese en el gráfico, por una parte, el elevado coeficiente de correlación de las rectas ajustadas y, por otra; que la línea de pendiente mayor corresponde a la partícula de menor radio, como era de esperar si se cumple la relación de Einstein.

El gráfico experimental se utiliza para determinar el coeficiente de proporcionalidad  $M^3 \frac{RT}{N_A} \frac{1}{3\pi A \eta}$ , a partir

del cual estimamos el número de Avogadro. Si tomamos la temperatura de la muestra igual a la del ambiente durante la filmación ( $T = 293 \text{ K}$ ), para los datos experimentales de la Tabla I obtenemos  $5,8 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$  y  $6,6 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$  con las partículas 1 y 2 respectivamente.

Las principales fuentes de incertidumbre experimental en la solución del problema son los datos de la medición de tres magnitudes: los intervalos de tiempo  $\Delta t$ , la componente  $d$  de los desplazamientos brownianos y el radio aparente  $A$ .

Determinamos lapsos de 1, 2, ..., 8 segundos, conociendo que el vídeo pasa 25 fotogramas por segundo. De ahí que el error relativo máximo en la medición del tiempo no supere el 4%. Para disminuirlo habrá simplemente que aumentar la duración de los intervalos medidos.

Cuando localizamos con el programa *Análisis de Imágenes* la posición de un punto en un fotograma, el error con que se mide tiene la misma probabilidad de ser por exceso que por defecto. En el cálculo de  $\langle d^2 \rangle$  tales errores aleatorios prácticamente se compensan si el número de mediciones es suficientemente elevado. Para disminuir la incertidumbre en la medición de  $\langle d^2 \rangle$  es clave aumentar la cantidad de datos de la muestra estadística. De este modo, el estimado de  $\langle d^2 \rangle$  también se aproximará mejor a su límite estadístico.

La correcta determinación del diámetro de la partícula es decisiva en el cálculo del número de Avogadro. Dependiendo de la profundidad a que se halla el corpúsculo en la suspensión acuosa, se observa como si cambiara de tamaño. Nosotros hallamos el diámetro de la partícula, promediando tres medidas realizadas a partir de foto-

gramas en los que el corpúsculo se aprecia con las mayores dimensiones. Excluimos, claro está, las imágenes de difracción fácilmente distinguibles por el punto luminoso central.

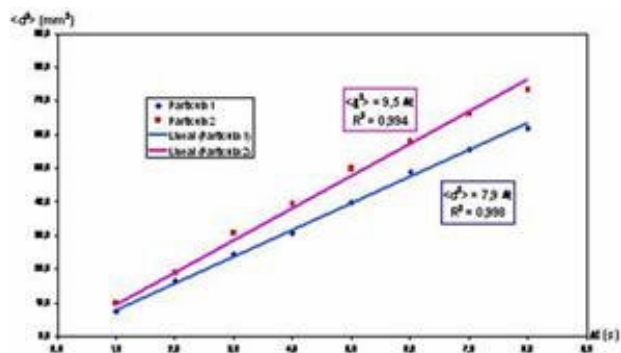


Figura 2. Gráfico experimental.

	Partícula 1	Partícula 2
	$A = 2,8 \text{ mm}$	$A = 1,95 \text{ mm}$
$\Delta t \text{ (s)}$	$\langle d^2 \rangle$	$\langle d^2 \rangle$
1,0	7,5	10,0
2,0	16,4	19,0
3,0	24,4	30,6
4,0	30,9	39,6
5,0	39,9	49,9
6,0	48,8	57,9
7,0	55,7	66,4
8,0	62,0	73,2

Examinar las principales fuentes de error en la experiencia descrita, crea el contexto apropiado para plantear la siguiente tarea <sup>3</sup>:

*Propón una versión mejorada de la experiencia que realizaste para validar la fórmula de Einstein. Halla la información necesaria en la Compilación de Materiales.*

El análisis de las fuentes de error, de cómo reducir las incertidumbres y precisar vías concretas para mejorar los resultados obtenidos se encuentran entre las actividades que consideramos para desarrollar la actitud crítica de los alumnos.

## 4 Simulaciones de movimiento browniano y distribución de partículas

A continuación enunciamos y resumimos la solución de algunas tareas relativas a la utilización de las técnicas de Montecarlo para construir modelos de suspensiones brownianas. He aquí algunos enunciados:

*Argumenta que los desplazamientos brownianos tienen distribución normal. Precisa la varianza y la esperanza matemática correspondientes.*

- Construye un algoritmo para simular el movimiento de una partícula browniana en un plano horizontal.

- Implementa en un programa informático un algoritmo para modelar la distribución de partículas brownianas con la altura.

Sobre la base del teorema central del límite en la teoría de las probabilidades, se argumenta el carácter normal de la distribución de los desplazamientos  $\Delta x$ . Por otra parte, se justifica que la esperanza matemática de los desplazamientos brownianos es cero y la varianza es  $\langle \Delta x^2 \rangle$ .

Describamos ahora cómo obtener valores de una magnitud aleatoria con distribución normal. Sean  $u_1$  y  $u_2$  los valores de dos variables aleatorias independientes con distribución uniforme en  $(0, 1]$ . Para generar la variable  $r$  con distribución prácticamente normal, esperanza matemática  $\mu$  y varianza  $\sigma^2$ , se emplea alguna de las dos fórmulas siguientes:

$$r = \sigma \sqrt{-2 \ln u_1} \cos(2\pi u_2) + \mu \quad (3)$$

$$r = \sigma \sqrt{-2 \ln u_1} \sin(2\pi u_2) + \mu \quad (4)$$

El software habitualmente utilizado durante la realización de cálculos numéricos, tiene incorporado algún generador de números pseudoaleatorios en el intervalo  $[0, 1]$  que satisface las condiciones para simular  $r$  mediante las fórmulas (3) ó (4). Otra alternativa de simulación de variables aleatorias con distribución normal, más lenta, es utilizar el propio teorema central del límite.

En calidad de material didáctico nosotros elaboramos el vídeo *Modelo de Movimiento Browniano*, que construimos ensamblando fotogramas generados a partir de los procedimientos descritos para la modelación de la distribución normal. Cada fotograma (Fig. 3) simula la posición de partículas brownianas esféricas ( $a = 2,12 \cdot 10^{-5}$  cm), suspendidas en agua a 20 °C. En el algoritmo de cálculo consideramos variables aleatorias independientes a las componentes  $\Delta x_i$  y  $\Delta y_i$  ( $i = 1, 2, \dots$ ) de los desplazamientos en el plano. También impusimos la condición de que estuvieran normalmente distribuidas con esperanza matemática  $\mu = 0$  y dispersión  $D = \frac{RT}{N_A} \frac{\Delta \tau}{3\pi a \eta}$ ; donde

$\Delta \tau = 0,04$ s, es el intervalo de tiempo entre dos fotogramas.

En relación con esta simulación, es posible plantear a los alumnos la tarea siguiente:

*¿Corresponderán a la fórmula de Einstein y tendrán distribución normal los desplazamientos de las partículas brownianas del vídeo, cuando se midan al cabo de intervalos de tiempo  $\Delta t > \Delta \tau$  ?*

La pregunta anterior se responde utilizando nociones básicas de la teoría de las probabilidades <sup>4</sup>.

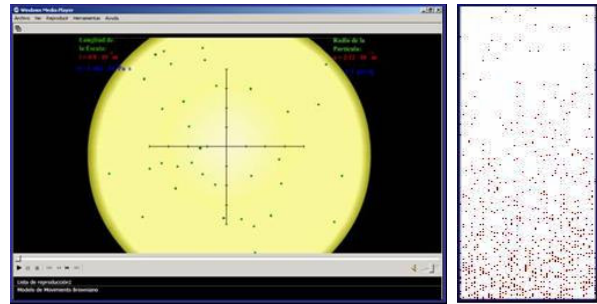
Analicemos ahora la simulación de la distribución exponencial de las partículas brownianas con la altura  $z$ . En este caso habrá que considerar la densidad de probabilidad

$$f(z) = \alpha e^{-\alpha z} \quad (5)$$

donde  $\alpha = \frac{4}{3} \frac{\pi a^3 (\rho - \rho_0) g}{kT}$  coincide con la esperanza matemática y la coordenada  $z$  toma valores en el intervalo  $[0, \infty)$ . En la expresión anterior  $\rho$  y  $\rho_0$  son las densidades de las partículas y del fluido respectivamente,  $g$  es la aceleración de la gravedad y  $k$ , la constante de Boltzmann.

El procedimiento de Montecarlo que permite obtener los valores de la variable aleatoria con las características dadas, se reduce a lo siguiente:

1. Definir el número total  $n$  de partículas que se observarán.
2. Definir la constante  $\alpha$ .
3. Generar la variable aleatoria  $u_1$  con distribución uniforme en  $(0, 1]$ .
4. Calcular  $z = -\frac{1}{\alpha} \ln u_1$ .
5. Repetir  $n$  veces los pasos 3 y 4.



**Figura 3.** (Izq). Fotograma del vídeo de simulación Movimiento Browniano. **Figura 4.** (Der). Distribución exponencial de las partículas.

Siguiendo el algoritmo anteriormente descrito se determinan las coordenadas de las partículas en la dirección vertical. Para calcular las coordenadas de los corpúsculos en una dirección perpendicular al eje  $Z$ , tomamos en cuenta la equiprobabilidad de las posiciones en un plano horizontal de la suspensión simulada. Supongamos que en la dirección  $X$ , es  $b$  la longitud de la arista de cierta cavidad rectangular que contiene la muestra. Entonces, en esa dirección las coordenadas tienen distribución uniforme en  $[0, b]$ . Las coordenadas  $x$  se calculan mediante el siguiente procedimiento:

1. Definir el valor de la arista  $b$  de la cavidad.
2. Generar la variable aleatoria  $u_2$  con distribución uniforme en  $[0, 1]$ .
3. Calcular los valores de  $x = b \cdot u_2$ , en  $[0, b]$ .

Un programa hecho con *Mathematica* ejecuta los algoritmos descritos y representa gráficamente la distribución exponencial de las partículas brownianas (Fig. 4).

## 5 Conclusiones

Los experimentos que realizó Perrin son completos y únicos. Hoy, sin grandes recursos, las nuevas tecnologías informáticas posibilitan que los estudiantes realicen al-

gunas actividades intelectuales similares a las que hicieron él y sus colaboradores.

El estudio de algoritmos para la modelación del comportamiento de las partículas brownianas permite aplicar y consolidar conocimientos básicos de la teoría de las probabilidades e iniciar a los estudiantes en la simulación de variables aleatorias continuas en el ejemplo de un fenómeno concreto.

No es posible prever el alcance de tales actividades, pero es tal la importancia y actualidad del conocimiento del movimiento browniano y de las técnicas de Montecarlo, que podemos esperar que en un futuro sean típicas durante la formación universitaria en algunas especialidades. A ello contribuirá, sin dudas, crear materiales de calidad que sirvan a la educación a distancia.

## Referencias

1. R. Valdés y V. Tricio, Tecnologías multimedia e *hipermedia* en el estudio del movimiento browniano, Resúmenes de comunicaciones. XXX Reunión Bienal de la Real Sociedad Española de Física (Septiembre de 2005).

2. R. Valdés y V. Tricio, Actividades experimentales en Física General con fotografía y vídeo digitales, IV Taller Iberoamericano de Enseñanza de la Física Universitaria (2007)

3. R. Newburgh, J. Peidle, J. and W. Rueckner, Einstein, Perrin, and the reality of atoms: 1905 revisited; American Journal of Physics, Volume 74, Issue 6, pp. 478-481 (June 2006).

4. R. Valdés y V. Tricio, Experiencias de elaboración y uso de la fotografía digital en la resolución de problemas docentes de física, 100cias@uned. N° 8, pp. 144 – 151 (2005).



# Aprendizaje de la física cuántica mediante miniproyectos y simuladores computacionales sobre la plataforma Moodle

R. Ortiz<sup>a</sup> y A. Franco<sup>b</sup>

a) Departamento de Física, Universidad de Camagüey, Cuba; [raul.ortiz@reduc.edu.cu](mailto:raul.ortiz@reduc.edu.cu)†

b) Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de Eibar, País Vasco, España

†autor para la correspondencia

Recibido el 1/06/2007. Aprobado en versión final el 15/06/2007.

**Sumario.** Se presentan los rasgos esenciales de una alternativa de impartición de la asignatura física cuántica para ingeniería, que con el objetivo fundamental de elevar el nivel de concreción que alcanzan los alumnos en el aprendizaje de esta materia, concibió el empleo de una determinada colección de tareas con enfoque de miniproyectos, solucionables con ayuda de un selecto conjunto de simuladores computacionales. La alternativa de impartición configurada se apoya además en el uso del courseware libre Moodle, y su implementación práctica ha sido ensayada durante dos cursos. Según las dóxicas aplicadas a la data recogida (Spearman y Wilcoxon), es posible afirmar que las mejoras alcanzadas en el aprendizaje de los alumnos, resultan estadísticamente significativas.

**Abstract.** Are presented the essential features of an alternative of teaching of the quantum physics for engineering that with the fundamental objective of the concretion level that the students reach in the learning of this matter rising, it conceived the employment of a certain collection of tasks with miniprojects focus, which are solvable with the help of a select group of simulations for computers. The configuration of referenced alternative also leans on in the use of the free courseware Moodle, and its practical implementation has been rehearsed during two courses. According to the tests applied to it data collection (Spearman and Wilcoxon), it is possible to affirm that the improvements reached in the learning of the students, are statistically significant.

**Palabras clave.** Instrucción computarizada 01.50.ht, laboratorio computarizado 01.50.lc, modelación y simulación computarizada 07.05.tp.

## 1 Introducción

El aprendizaje de los contenidos de la disciplina Física General es un proceso que en buena medida le resulta árido a una fracción considerable de los estudiantes de carreras de ingenierías en cualquier lugar del mundo.

Son variados los factores causales de tal situación, pero sin dudas uno de los que mayor influencia tiene para generar posiciones de apatía e incluso de rechazo de los alumnos ante el aprendizaje de esta materia, es el determinado por una enseñanza que no logre el adecuado nivel de concreción que se requiere para poder captar el interés de los estudiantes y establecer entonces el debido

enlace con la capacidad de comprensión de éstos.

Especialmente en la parte que se conoce como Física cuántica, debido a las características singulares de los objetos de estudio que se deben abordar (microsistemas con cualidades considerablemente diferentes a las observadas en la cotidianidad), la dificultad en el aprendizaje por causa del manejo de una excesiva abstracción en torno a los objetos bajo análisis suele ser algo particularmente notable y frecuente.

En el presente trabajo se expone una alternativa de impartición de la Física cuántica básica que forma parte de los currículos de ingenierías, que se planteó como objetivo fundamental la elevación del nivel de concreción

que se alcanza en la enseñanza-aprendizaje de estos temas. Para tal propósito se concibió el empleo de una determinada colección de simuladores computacionales a los cuales se les consideran como medios de enseñanza particularmente adaptados a estos fines.

La alternativa de impartición configurada se apoya adicionalmente en el uso de una plataforma interactiva (Moodle) que favorece la interacción entre el profesor y los alumnos, y donde pueden insertarse con relativa facilidad los referidos simuladores computacionales adecuados para el aprendizaje de la Física.

## 2 Marco teórico

Aunque en los albores de la Didáctica algunos maestros llegaron a considerar a los medios de enseñanza como simples “auxiliares” o “agregados” del trabajo del maestro, actualmente tal concepción es considerada incorrecta; ya que desde el punto de vista del enfoque científico y sistémico que modernamente se aplica al proceso docente; los medios de enseñanza adquieren la categoría de componentes esenciales del proceso educativo.

Particular importancia ha alcanzado en la actualidad la utilización de medios de enseñanza basados en el empleo de computadoras, ya sea a régimen de trabajo de éstas que pueda considerarse independiente o en red.

Numerosos estudios han sido realizados acerca de las principales características y formas de empleo de los medios de enseñanza computarizados. En relación a los denominados como software educativos o programas computarizados con fines docentes, este trabajo considera un posicionamiento que coincide con lo formulado por destacados autores como Pere Marqués<sup>1</sup>, quien plantea que entre las características esenciales de este tipo de medios se encuentran las siguientes:

- Son materiales elaborados con una finalidad didáctica.
- Utilizan el ordenador como soporte en el que los alumnos realizan las actividades que ellos proponen.
- Son interactivos contestando inmediatamente las acciones de los estudiantes y permitiendo un diálogo y un intercambio de informaciones entre el ordenador y los estudiantes.
- Individualizan el trabajo de los estudiantes, ya que se adaptan al ritmo de trabajo de cada uno y pueden adaptar sus actividades según las actuaciones de los alumnos.
- Son fáciles de usar ya que los conocimientos informáticos necesarios para utilizar la mayoría de estos programas son mínimos.
- Cada programa suele tener ciertas reglas de funcionamiento que es necesario conocer.

En particular como medio de enseñanza para la Física resultan convenientes los llamados Simuladores. Estos presentan un modelo o entorno dinámico (generalmente a través de gráficos o animaciones interactivas) que facilitan su exploración y modificación por los alumnos, los cuales pueden realizar aprendizajes inductivos o deduc-

tivos mediante la observación y la manipulación de la estructura subyacente de dichos programas. De esta manera los estudiantes pueden descubrir los elementos del modelo de estudio, sus interrelaciones, y además pueden tomar decisiones y adquirir experiencia directa de situaciones que frecuentemente resultarían de muy difícil acceso a partir de la realidad. Estos recursos son especialmente útiles en enfoques de aprendizaje denominados como “investigación dirigida”<sup>2</sup>, donde a los estudiantes/experimentadores suele realizárseles preguntas tales como: ¿Qué resultados aporta el modelo si modifico el valor de la variable X?, ¿y si modifico el parámetro K?, etc.

Ha sido tal el nivel de interés por el empleo de los simuladores computarizados en el campo de la enseñanza de la Física que se ha incluso acuñado un término específico que se conoce por “Physlet o Fislet”, resultante de la contracción de las palabras Physics y Applet (programa realizado en lenguaje JAVA). Estos recursos según se reconoce<sup>3</sup> cuentan con las características fundamentales siguientes:

- Suelen ser programas relativamente pequeños
- Pueden incorporarse a una página web y usarse sobre la misma
- Son configurables, de modo que el profesor los adapte a sus propósitos
- Son interactivos, permitiendo que el usuario (alumno) modifique parámetros y condiciones de la situación simulada
- Muchos se distribuyen gratuitamente en la WWW
- Se comprende su manejo de forma intuitiva o simplemente empleando muy breve tiempo en pruebas de ensayo y error.

Los referidos simuladores, y en especial los Fislets, al ser insertables dentro de una página web, son factibles de ser incorporados al tipo de ambiente de enseñanza aprendizaje que actualmente se le conoce como “Plataformas interactivas”. En el caso particular de la enseñanza universitaria en Cuba, han jugado un papel importante en este sentido plataformas tales como: la elaborada por autores del propio país y que se conoce por las siglas SEPAD (Sistema de Enseñanza Personalizada a Distancia) (disponible en: <http://sepad.cvep.uclv.edu.cu> (2004, septiembre 7), y la creada por el señor Martín Dougiamas de Perth, la cual se distribuye internacionalmente como software libre bajo el nombre de Moodle (disponible en: <http://moodle.org> (2006, febrero 13)). Entre las características más atractivas de estos sistemas se encuentran las siguientes:

- Posibilidad de realizar evaluaciones previstas por el profesor y que pueden ser de dos tipos:
  - Evaluadas automáticamente por la plataforma: (De completar espacios en blanco, de selección y de casar columnas; y que se evalúan directamente por el sistema a partir de una clave establecida por el profesor).
  - Evaluadas por el profesor. Se trata de preguntas de carácter general o pequeños trabajos investigativos que a modo de miniproyectos se le soliciten al alumno. Estas

evaluaciones son calificadas por el profesor y registradas en la base de datos de calificaciones que almacenan tales sistemas para cada uno de los alumnos.

- Facilita la comunicación entre los alumnos, y entre éstos y sus profesores, por medio de tres mecanismos diferentes, entre los cuales se destaca la:

- Mensajería interna: Un sistema de mensajería que permite que todos los matriculados en la plataforma puedan enviarse correos electrónicos entre sí y con el profesor.

Otro aspecto esencial ligado al empleo de medios de enseñanza es el referente a la evaluación de los mismos. En este sentido se distinguen dos tipos fundamentales de evaluación. Una que se centra en la evaluación de la calidad del medio como producto de un proceso de elaboración previo, y otra que se orienta a la evaluación del impacto o de las consecuencias que se derivan del empleo o inserción de dicho medio en el proceso educativo<sup>4</sup>. Esta última que es la que atiende el presente trabajo, según Castaño<sup>5</sup> típicamente ha prestado interés a aspectos tales como:

- Cuestiones de eficacia comparativa entre medios
- Cuestiones cognitivas
- Cuestiones actitudinales
- Cuestiones económicas.

Pero de acuerdo al anterior autor, y también según el criterio del presente estudio, un tipo de investigación no suficientemente contemplada en los casos anteriores, y que resulta esencial, es la que puede denominarse como:

- Cuestiones didácticas.

Es decir: ¿Cómo se relacionan los medios con elementos curriculares tales como: objetivos, contenidos, etc.? ¿Qué estrategias metodológicas se pueden aplicar sobre un determinado medio? ¿Cómo diseñar y producir medios didácticos para determinados contenidos y tareas de aprendizaje?

A partir de los anteriores elementos teóricos, el presente trabajo intentó enfrentar el siguiente problema de investigación: El aprendizaje que logran los alumnos de ingenierías en los temas de Física Cuántica que reciben, no rebasa la simple reproducción de cierto volumen de información en buena medida ficticia para ellos. Entendiéndose que ficticia equivale a abstracta, indefinida e inoperable.

En calidad de hipótesis fundamental para encontrar la solución de la problemática planteada se consideró la siguiente: Si los estudiantes realizan una debidamente elegida colección de tareas relacionadas con sistemas cuánticos, apoyándose en el empleo de apropiados simuladores computacionales, entonces el aprendizaje logrado por ellos alcanza un satisfactorio nivel de concreción. Entendiéndose por un aprendizaje con satisfactorio nivel de concreción, aquel que se manifiesta a través de desempeños del alumno tales como:

- Modelación gráfica (representación gráfica) apropiada de los sistemas de estudio.
- Identificación de las magnitudes físicas esenciales que caracterizan al objeto cuántico de interés, así como

noción válida de los intervalos de valores u órdenes de magnitud más típico para los mismos.

- Conocimiento de las principales regularidades (tipos de variaciones o dependencias) que manifiestan los fenómenos y procesos cuánticos bajo estudio.

- Posibilidad de utilización de las anteriores regularidades para seleccionar valores en las variables de los sistemas de estudio, de modo que se satisfagan determinadas exigencias de los problemas de este tipo que se enfrenten.

### 3 Caracterización de la propuesta

La secuencia o programación de actividades lectivas de la asignatura que sirvió de base al presente estudio (Física III para Ing. Química) cuenta con 25 actividades docentes en el semestre (incluyendo 3 pruebas parciales). Del total anterior, 5 clases fueron diseñadas como Laboratorios virtuales o computacionales (Lv) que se realizan en el laboratorio de computación de la referida carrera, aparte de otras 3 clases de laboratorio que se desarrollan en los locales habituales conocidos como laboratorios docentes de Física.

Cada uno de los Lv dispone de dos horas o turnos lectivos (90 min) y tiene asociado la realización y entrega por parte de los alumnos de un correspondiente Trabajo extractase (TEC).

Pre	Lv	Pos
C1 y S1	1. Radiación térmica	+TEC.....PP1 (45 min)
S2 (sin conferencia)	2. Efecto fotoeléctrico	CP1 y L1, +TEC.....PP1 (45 min)
C3 y S3	3. Tunelación de barrera	+TEC...Examen. Final
C3, S3 y Lv3	4. Pozo de potencial infinito	+TEC....Examen Final
S4 (sin conferencia)	5. Radiactividad	CP4 y L3 +TEC....PP3 (45 min)

Los Lv siempre están precedidos por clases del tipo de Conferencias (C) y Seminarios (S) donde se realiza la presentación y la primera ronda de profundización en la comprensión de aspectos conceptuales y procedimentales en las áreas del contenido de aprendizaje que se maneja en el correspondiente Lv; y algunos de ellos cuentan con actividades lectivas del tipo de Clases Prácticas (CP), Laboratorios tradicionales (L) y Pruebas Parciales (PP) que le siguen en orden dentro de la sucesión de clases de la asignatura en el semestre (ver Tabla I).

Se debe notar que en los temas de Radiación térmica, Tunelación de una barrera y Pozo de potencial infinito, tradicionalmente (sin Lv) los alumnos no cuentan con

clases prácticas ni prácticas de laboratorio de tipo tradicional por lo que especialmente en ellos resulta difícil para el estudiante alcanzar los niveles de aprendizaje previstos para dichos temas. Ello significa que el impacto más apreciable del empleo de los Lv según esta propuesta debe esperarse en los temas de Radiación térmica y Aplicaciones notables de la Ecuación de Schrödinger.

Cada uno de los 5 Lv que se implementaron sobre la plataforma Moodle, se configuraron de modo que contuvieran los siguientes componentes:

- Evaluación automatizada (que permite valorar tanto la preparación con que el estudiante inicia el Lv, como la que alcanza al término de éste)
- Tareas intracalse (donde se le precisan los encargos o problemas a resolver durante el tiempo que dura cada Lv)
- Experimentos virtuales (donde se trabaja con un conjunto de simuladores computacionales seleccionados del premiado sitio de Internet conocido como Física con Ordenador y que ha sido creación del profesor español Ángel Franco)
- Tareas extraclase (donde se brindan indicaciones referentes a la forma de enviar al profesor los resultados inicialmente obtenidos, y a la realización de nuevas tareas que tienen carácter de “Miniproyectos” donde se deben satisfacer determinados requerimientos técnicos y económicos, y que el alumno debe desarrollar de forma independiente).

Un ejemplo de interrogante con enfoque de miniproyecto de las que se le plantean a los alumnos que estudian la carrera de Ingeniería Química, es el que se cita a continuación para el caso del estudio del Efecto Túnel: En cierta instalación experimental de un laboratorio de investigaciones químicas se ha logrado un determinado valor del coeficiente de transferencia para una barrera de potencial dada (altura 5eV, y ancho 1Å), en la cual inciden electrones de energía cinética de 0,8eV. Si se requiere mantener el mismo valor para el referido coeficiente de transferencia para un caso semejante pero donde se ha duplicado el ancho de la barrera de potencial. Plantee y justifique el valor de la energía cinética que usted propone que deben tener los electrones incidentes, considerando además que por cada milésima de eV que se aumente en el valor de la energía de dichas partículas, el costo del experimento se incrementa en un 1%.

## 4 Implementación práctica

La experiencia para valorar el efecto de la introducción de la propuesta de impartición anteriormente descrita para la Física cuántica se ha llevado a cabo durante dos cursos (04-05 y 05-06) con los grupos correspondientes al segundo año de la carrera de Ing. Química de la Universidad de Camagüey; y durante el segundo semestre de cada curso que es donde dichos estudiantes reciben la asignatura Física III (Física cuántica).

En ambos casos se tomó en calidad de muestra de análisis, a la población completa de dicho segundo año

de la carrera de Ingeniería Química, ya que son grupos que por su tamaño (aproximadamente 30 alumnos) resultan satisfactoriamente manejables bajo el proceso de investigación.

El enfoque de contrastación empleado para la investigación fue de tipo preexperimental para un solo grupo<sup>6</sup>, ya que se asumieron las composiciones originales de dichos grupos al considerárseles satisfactoriamente balanceados en cuanto a variables que pudieran ser incidentes en los resultados, tales como el sexo, el rendimiento académico promedio para otras asignaturas y el desenvolvimiento ante los recursos computacionales.

Como instrumentos de recogida de datos se emplearon los cuestionarios automatizados implementados por vía de la plataforma Moodle, así como otros tales como las Pruebas Parciales de la asignatura diseñadas al efecto, y otros indicadores como la cantidad de visitas de trabajo a la plataforma realizada por cada alumno. Además se empleó la observación del profesor durante la realización de los laboratorios virtuales.

Para el procesamiento estadístico de los resultados se emplearon estadígrafos no paramétricos como el coeficiente de Spearman y la dócima de pares igualados de Wilcoxon<sup>7,8</sup>. El primero respaldó que existía correlación positiva entre la calidad de la preparación que iban alcanzando los alumnos en el curso, y la cantidad de visitas que estos habían hecho a la plataforma o courseware hasta el momento del análisis; mientras que la de Wilcoxon arrojó que asumiendo una tolerancia  $\alpha = 5\%$ , realmente resultan estadísticamente significativas las diferencias obtenidas entre los puntajes que reflejan el nivel de concreción del aprendizaje con que entran y salen los alumnos a los laboratorios virtuales que fueron ensayados, y que fueron obtenidos y registrados por medio de los cuestionarios implementados sobre la plataforma usada.

## 5 Conclusiones

Luego de realizado el trabajo de conformación de la alternativa de impartición de la Física cuántica que se ha descrito en este trabajo, y de valorar los efectos de su introducción en la práctica docente de dos grupos de estudiantes de ingeniería que transitaron por la asignatura llamada Física III, se arriban a las siguientes conclusiones:

Se cuenta con una alternativa para el proceso de impartición de la Física cuántica para ingenierías, que por medio de la explotación de recursos computacionales tales como simuladores de experimentos y uso de una plataforma interactiva (Moodle), permite elevar el nivel de concreción con que perciben y aprenden los alumnos los temas relativamente complejos y no cotidianos que son característicos del estudio de esta parte de la disciplina de Física.

El ensayo pre experimental realizado para los Lv concebidos y practicados, mostró resultados alentadores. En lo cualitativo puede decirse que los alumnos se manifes-



taron apreciablemente entusiasmados durante todo el tiempo de trabajo dentro de las clases declaradas como laboratorios virtuales, revelándose un claro deseo de dichos estudiantes por no abandonar el trabajo, incluso luego de terminado el tiempo reglamentario para dichas clases. En lo cuantitativo puede decirse que las técnicas estadísticas usadas para valorar la significación de los resultados obtenidos en la práctica de ensayo, permitieron considerar como fiables dichos resultados y por tanto interpretar como realmente satisfactorio el efecto provocado por la introducción en el proceso docente de la alternativa de impartición que ha sido reseñada en el presente trabajo.

## Referencias

1. P. Marqués, El software educativo, Universidad Autónoma de Barcelona, Ed. Horsori, (1996).
2. P. Valdés y R. Valdés, Enseñanza de las Ciencias, Vol. 17, No. 3, pág. 251, (1999).
3. B. Xavier, Applets en la enseñanza de la Física, Enseñanza de las Ciencias, Vol. 21, No. 3, (1993).
4. J. Almenara, Evaluar para mejorar: medios y materiales de enseñanza, Universidad de Sevilla. en: Para una Tecnología Educativa, Coordinador: Juana Ma. Sancho, Ed. Horsori, 2da. Edición, (1988).
5. C. Castaño, La investigación en medios y materiales de enseñanza, Universidad del País Vasco. En: Para una Tecnología Educativa, Coordinador: Juana Ma. Sancho, Ed. Horsori, 2da. Edición, (1988).
6. R. Hernández, Metodología de la investigación, 2da edición, McGrawHill, México, pág. 316, (1998).
7. S. Siegel, Diseño experimental no paramétrico, Ed. Revolucionaria, La Habana, Pág. (1970).
8. SPSS for Windows, Release 11.00, Lead Technologies, (2002).



## Estudio de una gota de lluvia de masa variable con la ayuda de software de cálculo y simulación

A. Hurtado Márquez<sup>a</sup>, M. Fonseca<sup>b</sup>

Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá-Colombia, fisinfor@udistrital.edu.co

<sup>a</sup>Proyecto Curricular de Licenciatura en Física, ahurtado@udistrital.edu.co†

<sup>b</sup>Proyecto Curricular de Tecnología/Ingeniería Mecánica, mfonseca@udistrital.edu.co

† Autor para la correspondencia

Recibido el 1/06/2007. Aprobado en versión final el 15/06/2007.

**Sumario.** Reproducir fenómenos aparentemente cotidianos en el laboratorio no siempre es del todo fácil, y más aún cuando requerimos de éstos para explicar ciertos conceptos físicos. Por eso, el presente artículo quiere mostrar cómo estudiar, con la ayuda de herramientas computacionales como Mathcad y/o Interactive Physics el caso de una gota de lluvia que cae a través de una nube de gotitas de agua, algunas de las cuales se adhieren a la gota, y esto hace que la masa de la gota vaya aumentando gradualmente.

**Abstract.** Reproducing apparently daily phenomena in the laboratory is not easy at all specially when we require them to explain certain physical concepts. Thus, the present article tries to show how we can study, by using computational tools like Mathcad and/or Interactive Physics, the case of a rain drop that falls through a cloud of water droplets, some of which adhere to the drop, making the mass of the drop to increase gradually.

**Keywords.** Computer in education 01.50.H., Computer modeling and simulation 07.05.Tp

### 1 Introducción

La labor docente en el trabajo experimental, como es el caso en la disciplina de la Física, vista como un proceso de enseñanza-aprendizaje, siempre implica nuevos retos y en especial cuando se trata de fenómenos que no siempre pueden ser reproducibles de manera observable y a la vez obtener la medición de algunas variables que intervienen en el mismo.

Surgen situaciones problemáticas planteadas en las aulas de clase y/o a su vez en los libros de textos<sup>1,2</sup>, que no pueden ser abordados por métodos puramente experimentales y es deber del educador y del estudiante interesado por la Física, buscar otras soluciones a los mismos. Por ello los métodos de simulación y la ayuda con herramientas informáticas, software de física y/o matemáticas, son necesarios generalmente en estos casos.

Así por ejemplo, cuando se plantea que una gota de

lluvia cae a través de una nube de gotitas de agua, algunas de las cuales se adhieren a la gota, hacen que exista un aumento de la masa de la gota al caer y en dicho procesos pueden presentarse diferentes eventos que no son fáciles de predecir y cuya solución puede conllevar a diferentes interpretaciones. A continuación, se mostrará una de tantas opciones, se plantearán los modelos teóricos y se dará la solución usando simultáneamente software de simulación como lo es el Interactive Physics y de cálculo numérico, como Mathcad.

### 2 Modelación Física y Matemática

Si se considera el caso de una gota de agua que cae desde cierta altura y para el análisis del movimiento de la misma usamos la segunda ley de Newton, se tendría que la fuerza externa resultante sobre dicha gota es:

$$F_{ext} = \frac{dp}{dt} = m \frac{dv}{dt} + v \frac{dm}{dt} \quad (1)$$

En adelante las soluciones dependen del modelo que se use<sup>1,2</sup>, por ejemplo Sears<sup>1</sup> propone que si se supone  $dm/dt = bv$ , la masa de la gota depende de la distancia “y” que ha caído, es decir,  $m = by$ , donde b es una constante, y. Dado que  $F_{ext} = mg$ , se obtiene

$$mg = m \frac{dv}{dt} + bv^2 \quad (2)$$

y reemplazando  $m = by$ ,  $v = dy/dt = \dot{y}$ ,  $dv/dt = \ddot{y}$  dividiendo entre b y reordenando se obtiene,

$$y \cdot \ddot{y} + \dot{y}^2 - g \cdot y = 0 \quad (3)$$

Una solución particular de esta ecuación de esta ecuación diferencial escrita apropiadamente es

$$y = (1/2) a t^2, \text{ de donde resulta,} \quad a = g/3 \quad (4)$$

Siendo a una constante igual a la aceleración de la gota. Con este resultado se puede afirmar que el movimiento de la gota es uniformemente acelerado, pareciera que no depende de la masa variable de la gota que a su vez depende de b que además depende de la densidad de la nube de gotitas.

Un modelo más elaborado es trabajado por Adawi<sup>3</sup> y una versión más reciente es planteada por Franco (*Física con ordena-*

*dor*, <http://www.sc.edu/sbweb/fisica/dinamica/gota/gota.htm>) para el incremento de la masa de la gota con el tiempo a medida que absorbe gotitas en su caída; al suponer que el incremento de masa es proporcional a la sección transversal de la gota y a la velocidad de la gota.

$$dm/dt = a(\text{área}) \times (\text{rapidez}) = a \pi r^2 v = \rho_n \pi r^2 v = km^{2/3} v \quad (5)$$

$$\text{con: } k = \frac{\rho_n \pi}{\left(\rho_a \frac{4}{3} \pi\right)^{2/3}} \quad (6)$$

siendo  $\pi r^2$  el área trasversal de la gota supuesta esférica,  $\rho_n$  es la densidad de la niebla, v es la rapidez de la gota, m es la masa de la gota, y  $\rho_a$  es la densidad del agua. Si  $dm/dt = km^{2/3} dy/dt$ , e integrando se tiene

$$m = \left(\frac{1}{3} ky + m_0^{1/3}\right)^3 \quad (7)$$

y al reemplazar b por  $km^{2/3}$  en la ecuación (2), y al dividir por m resultaría

$$g = \frac{dv}{dt} + \frac{k}{m^{1/3}} v^2 \quad (8)$$

y reemplazando m se tiene

$$g = \frac{dv}{dt} + \frac{k}{\frac{1}{3} ky + m_0^{1/3}} v^2 \quad (9)$$

Al suponer de nuevo una solución particular  $y = (1/2) a t^2$ , se obtiene que la aceleración es  $a = g/3$ , aunque la ecuación diferencial no es fácilmente soluble analíticamente, si podemos apoyarnos en programas informáticos como Mathcad, y resolverlo numéricamente o ver su compor-

tamiento con un programa de simulación.

### 3 Solución usando el programa Mathcad

Supóngase una gota esférica inicial de radio 0.1 mm, y para una densidad de niebla del orden de  $10^{-3} \text{ kg/m}^3$ , se calculan la masa inicial y al constante k, mostrados en la figura 1 (programa Mathcad). Los valores corresponden a unidades en el sistema Internacional: masa  $m_0$  en kg, velocidad en m/s, etc. En este programa, la ecuación diferencial y las condiciones iniciales se escriben dentro del bloque que inicia con la palabra clave “Given” y termina con “y=odesolve(t, t<sub>final</sub>, número de pasos)”.

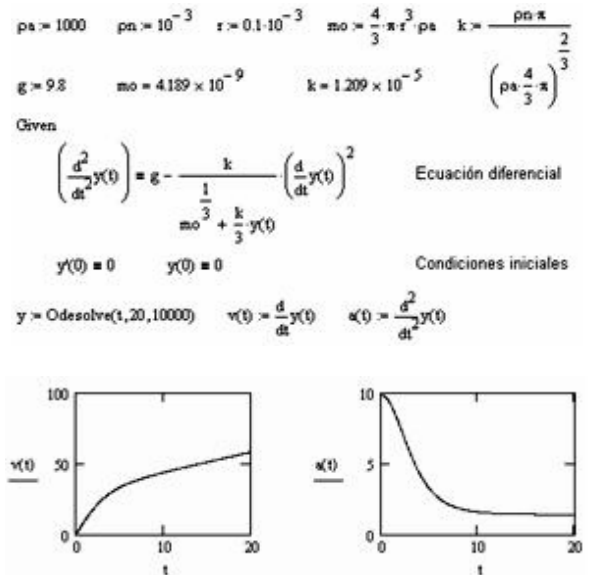


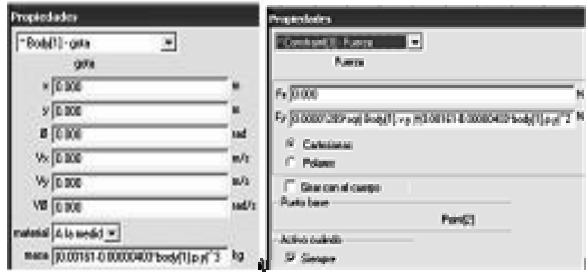
Figura 1. Programa Mathcad, Datos y bloque de solución de una ecuación diferencial

### 4 Simulación en Interactive Physics

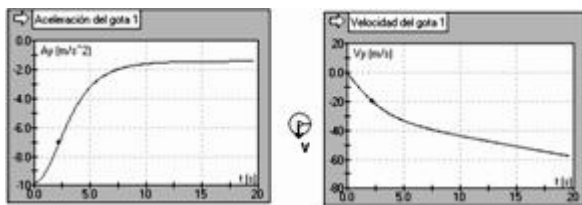
Los pasos básicos para la simulación de la caída de un “objeto” (gota de agua), representada por un círculo en Interactive Physics, se ilustran en el libro, Física con Interactive Physics<sup>4</sup>; en resumen, se selecciona la herramienta círculo, se va al espacio de trabajo, se dibuja una circunferencia de radio deseado, se pica en “run” y está la simulación de un objeto circular que cae. Para el caso de la gota que ahora nos ocupa se deben controlar algunas variables, como que la posición inicial sea (0,0), la velocidad inicial también sea (0,0), para ello clic-clic en la gota, se dan los valores indicados, con especial cuidado en establecer la masa, que en este caso depende de la posición de acuerdo a la ecuación (7) reemplazando apropiadamente los valores numéricos como la masa =  $(0.00161 - 0.00000403 * \text{body}[1].p.y)^3$ , (figura 2a). Luego sobre el objeto se aplica una fuerza hacia arriba (usando la herramienta de fuerza), que tenga el valor  $F_y = (0.00001209 * \text{sqr}(\text{Body}[1].v.y) * (0.00161 - 0.00000403 * \text{body}[1].p.y)^2)$ , (figura 2b).

En la figura 3 se muestra la simulación con gráficas de aceleración y velocidad, nótese que en *Interactive Physics* la velocidad y aceleración son negativas a diferencia del modelo matemático en el que se ha escogido “y” positivo hacia abajo. Se observa que la aceleración tiende asintóticamente a  $g/7$ .

En la simulación también se observan indicadores numéricos, muestran que el valor estacionario es posterior a 10 segundos cuando la gota ha caído 293 metros.



**Figura 2.** Propiedades a) del objeto para escribir la masa. b) de la fuerza



**Figura 3.** Simulación con medidores de aceleración y velocidad.



**Figura 4.** Medidores de tiempo, aceleración, velocidad y posición de la gota.

Como se observa en la gráfica de aceleración, ésta NO es constante y las soluciones particulares dadas corresponden a estados estacionarios para tiempos relativamente grandes (en este caso aproximadamente 10 segundos).

## 5 Conclusiones

La integración del análisis matemático y físico, la simulación y el cálculo numérico para mostrar las diferentes opciones de resolver a un problema planteado, que experimentalmente sería muy difícil reproducir, hacen ver las bondades de otras alternativas pedagógicas para la enseñanza de la física usando herramientas informáticas. El modelo matemático requiere aún de ajustes para que los resultados coincidan con los reportes que indican que las gotas caen con velocidad límite del orden de 10 m/s. una prueba sencilla en Mathcad, asumiendo el aumento de la masa proporcional al cuadrado de la rapidez, a los 5 segundos la aceleración es menor que  $0.1 \text{ m/s}^2$  y la velocidad es de  $11.3 \text{ m/s}$  en apenas  $48$  metros de recorrido.

## Agradecimientos

A la Facultad de Ciencias y Educación, a la Facultad Tecnológica y al Centro de Investigaciones y Desarrollo Científico de la Universidad Distrital, por el apoyo a los miembros del grupo Física e Informática.

## Referencias

1. F. W. Sears, , M. W. Zemansky, H. D. Young, , R. A. Freedman), *Física Universitaria*, Addison Wesley Longman, Vol. 1, Undécima edición., México. Pág.112 (2004).
2. K. S. Krane, *Amer. Jour. Phys.*, vol 49, pp. 113-7 ( )
3. I. Adawi I. *Comments on the raindrop problem*. Am. J. Phys. 54 (8) pp. 739-740 (1986)
4. A. Hurtado, M. Fonseca, *Física con Interactive Physics*, 1ª Ed., Bogotá, D.C., Fondo de publicaciones Universidad Distrital Francisco José de Caldas, pp. 17-23 (2002).



## El uso de las TIC's en la enseñanza a distancia: el proceso de virtualización de la UNED

C. Carreras, M. Yuste y J.P. Sánchez

Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED), España;  
ccarreras@ccia.uned.es

Recibido el 1/09/2007. Aprobado en versión final el 15/09/2007.

**Sumario.** La Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED) ha emprendido hace pocos años el proceso de “virtualización” de sus enseñanzas regladas, tratando así de aprovechar las grandes posibilidades que nos brindan las nuevas tecnologías de la información. Esta tendencia se está dando en casi todas las universidades del mundo, pero toma el carácter de fundamental cuando se trata de una universidad no presencial como la UNED. En el presente trabajo describimos someramente el concepto, estructura y contenidos de los llamados “Cursos Virtuales de la UNED”.

**Abstract.** A few years ago, the National University for Distance Education (Universidad Nacional de Educación a Distancia, UNED) started the “virtualization” process of all its official studies in an attempt to take advantage of the great possibilities of the new information technologies. This tendency, very popular in almost every university all around the world, becomes fundamental in a distance-learning university like UNED. In this work, we describe in detail the concept, structure and contents of the so called “UNED Virtual Courses”.

**Palabras clave.** Educación 01.40.-d, Las computadoras en educación 01.50.H-, Diseño de cursos y evaluación 01.40.Di, Métodos de enseñanza y estrategias 01.40.gb

### 1 Introducción

El término “virtualización de la UNED” se ha acuñado a lo largo de los últimos años para hacer referencia al proceso de incorporación de las asignaturas de las enseñanzas regladas al sistema de enseñanza en línea. Dicho proceso se inició en el curso 2000-01 en las titulaciones que contaban con nuevos planes de estudio. En el curso actual, 2006-07, están virtualizadas todas las enseñanzas regladas de Primer y Segundo Ciclo, salvo las asignaturas con carácter optativo.

### 2 Nuevas posibilidades en el proceso de enseñanza

El objetivo de la UNED fue aprovechar el desarrollo de las nuevas tecnologías de la información para reforzar y ampliar la oferta de servicios docentes ofrecidos. De es-

te modo, a los elementos tradicionales de su sistema de enseñanza a distancia se suman ahora los llamados “Cursos Virtuales”, de gran aceptación entre sus estudiantes. Entre las numerosas ventajas que los cursos virtuales aportan al modelo de enseñanza a distancia cabe destacar la mejora de la comunicación y la interacción entre equipos docentes, profesores tutores y estudiantes. Las herramientas de comunicación con que cuentan los cursos virtuales permiten difundir la información a colectivos y posibilitan el contacto entre estudiantes, rompiendo así el tradicional y endémico “aislamiento” del estudiante a distancia.

Los cursos virtuales también ofrecen a los profesores la posibilidad de organizar actividades de aprendizaje y de crear grupos electrónicos de estudio y prestarles el seguimiento adecuado. Quizá aún más interesante es la posibilidad de publicar contenidos de manera relativamente sencilla en formato electrónico, que resultan, por lo general, de mayor accesibilidad y más rápida distribu-

ción para todo el alumnado.

Para facilitar la labor de los profesores en esta nueva metodología de enseñanza a distancia, la UNED ha creado el Centro de Innovación y Desarrollo Tecnológico (CINDETEC) para, en primer lugar, formar a los equipos docentes en el uso de las posibilidades que ofrece la plataforma y prestarles el apoyo técnico que necesiten (envío de contenidos,...) y, en segundo lugar, organizar de manera centralizada todas las actuaciones relativas a los cursos virtuales: apertura y cierre de los cursos, altas, bajas, gestión de usuarios (alumnos y profesores-tutores), etc.

### 3 Estructura general de los cursos virtuales

En cuanto a la estructura de los cursos virtuales de la UNED, está marcada por las herramientas que ofrece la plataforma elegida hasta la fecha: WebCT. Se distinguen cuatro grandes apartados: contenidos, comunicación, estudio y evaluación.

1. El apartado *Contenidos* ofrece en formato electrónico guías didácticas de las asignaturas, guías de uso del curso virtual, contenidos complementarios, glosario de términos y una agenda para la programación temporal de las actividades del curso.

2. El apartado *Comunicación* cuenta con correo electrónico interno con las direcciones de todos los usuarios incluidas, diversos foros de distinta finalidad (tablón de anuncios del equipo docente, foro de estudiantes, foro de atención docente al estudiante, etc.) y cuatro salas de Chat, que permiten el intercambio de mensajes escritos en tiempo real.

3. El apartado *Estudio* ofrece una herramienta para la creación de grupos de estudio con los alumnos de la asignatura.

4. El apartado *Evaluación* ofrece distintas herramientas de evaluación de los conocimientos adquiridos (tests de autoevaluación, exámenes, trabajos, prácticas,...) con intervención o no del equipo docente.

Además de estos cuatro apartados, los cursos virtuales también cuentan con herramientas de administración del curso y seguimiento de alumnos.

Tanto alumnos como profesores acceden a cada uno de los apartados a través del “Menú del Curso” que se encuentra en la Página principal y que el equipo docente crea y modifica según sus propios intereses.

Por otra parte, en cuanto al profesorado, los cursos virtuales cuentan con tres tipos diferentes de profesores, siendo también diferentes las funciones y responsabilidades de los mismos:

1. *Equipos docentes*: son los profesores de la Sede Central encargados del diseño general de los cursos, de la elaboración de los materiales docentes (convencionales o en formato digital) a utilizar por los alumnos, así como de su evaluación.

2. *Tutor de Apoyo en Red (TAR)*: un profesor por asignatura, no necesariamente de la Sede Central, y su fun-

ción principal es actuar como dinamizador del curso (fomentar la participación, mantener el curso vivo, coordinar y organizar la formación de grupos de estudio y las comunicaciones entre los diferentes miembros de la comunicada educativa, alumnos y profesores-tutores de los Centros Asociados,...). También apoya al equipo docente en aspectos técnicos, no relacionados con las dudas de contenido. Esta figura es opcional, requiere un número mínimo de alumnos matriculados en la asignatura (75) y sus funciones pueden ser asumidas voluntariamente por el equipo docente.

3. *Profesores tutores de los Centros Asociados*: Esta figura estaba ya establecida y consolidada en el modelo de educación a distancia de la UNED, que cuenta con una red de 70 Centros Asociados distribuidos por toda la geografía del Estado. Las nuevas funciones que ahora deben desempeñar son: seguimiento de la información facilitada por los equipos docentes, atención al foro privado de sus Centros,..., que sirven de complemento a las tradicionales tutorías presenciales, haciéndolas más eficaces.



Figura 1. Pantalla de inicio del curso virtual de la asignatura de óptica.



Figura 2. Acceso al apartado de “Actividades y Trabajos”.

## 4 Ejemplo: el curso virtual de la asignatura de óptica

Durante el presente curso académico se ha virtualizado por primera vez la asignatura de Óptica. En la Fig. 1 puede verse la pantalla de entrada a la que tienen acceso todos los estudiantes matriculados en ella, asignatura del tercer curso de la titulación de Ciencias Físicas en la UNED.

Como puede verse, los apartados que aparecen en pantalla son ligeramente diferentes de los estándares que ofrece la plataforma. Hay que tener en cuenta que cada titulación tiene unas características diferentes y lo que puede ser útil en unos casos, no aporta ninguna ayuda al estudiante en otros. En el caso concreto de los estudios de Ciencias, en los que el lenguaje de las matemáticas está presente en todo momento, la dificultad de los mensajes escritos es mayor y, por lo tanto, se utilizan mucho menos herramientas de comunicación, como los foros, que en otros estudios, como por ejemplo, Derecho, Ciencias Sociales,...

El equipo docente de Óptica ha decidido iniciar esta nueva andadura con los apartados indicados más abajo, a los cuales se puede acceder desde el “Menú del Curso” que se encuentra en la columna de la izquierda.

1. *Presentación*: El alumno encuentra una bienvenida del equipo docente, donde se han incluido datos de los profesores: horario de guardias, teléfono,..., incluso una fotografía.

2. *Agenda*: Es un calendario en el que se han marcado las fechas que pueden marcar pautas al alumno a la hora de planificarse el estudio de la asignatura: fechas límite de presentación de trabajos, calendario de realización de prácticas de laboratorio y de exámenes, fechas en las que aparecerán publicadas las soluciones de los problemas y de los exámenes,...

3. *Materiales*: En este enlace el alumno accede a toda la información relativa a los contenidos de la asignatura, distribuida en carpetas: *Guía del Curso*, *Programa*, *Metodología* y *Recursos*, carpeta ésta última en la que se encuentra un conjunto de materiales de apoyo para facilitar el estudio de la asignatura.

4. *Actividades y trabajos*: Desde este enlace los alumnos pueden acceder a los siguientes materiales: Exámenes de cursos anteriores completamente resueltos, enunciados de problemas propuestos en dos *Cuadernillos* para resolver uno por cuatrimestre, y *Problemas de enunciado abierto*, para resolver a lo largo del curso. Las dos últimas actividades son de carácter voluntario y sus soluciones se proporcionan en las fechas previstas en la Agenda. Ver Fig. 2.

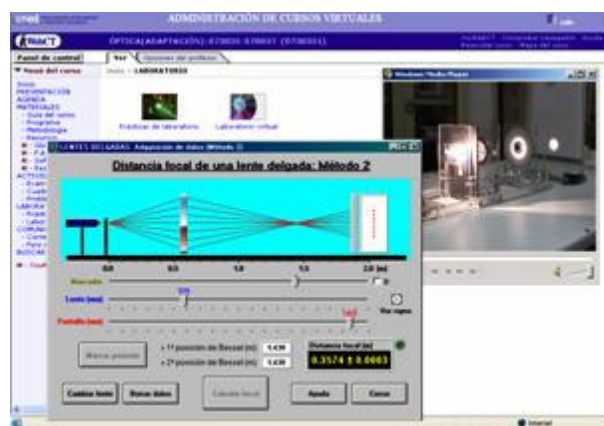
5. *Laboratorio*: Aquí se encuentran los resúmenes de las prácticas de laboratorio que los alumnos deben hacer de manera obligatoria en el Laboratorio de Óptica de la Sede Central (concentradas en una semana), así como las simulaciones de las mismas para realizarlas simultáneamente con el estudio de los diferentes temas del progra-

ma. Ver Fig. 3.

6. *Comunicación*: Ésta es una herramienta general de la plataforma y dispone de *correo interno*, *foros de debate* entre el equipo docente y los alumnos (consultas generales de la asignatura y guardia virtual), entre los profesores-tutores y los alumnos (foros de los Centros Asociados) y entre los alumnos entre sí (foros de alumnos). Ver Fig. 4.

7. *Buscar*: es una herramienta que permite a los alumnos hacer búsquedas de materiales, documentos, mensajes,..., en los que aparece una determinada palabra de su interés.

Existen otras herramientas de la plataforma, como por ejemplo el *Glosario de términos*, que pensamos incorporar al curso progresivamente.



**Figura 3.** Apartado de “Laboratorio”. En la parte derecha superior se puede ver la reproducción de un vídeo de una práctica sobre birrefringencia y, en la parte de abajo, más a la izquierda, una pantalla de una de las simulaciones sobre experimentos con lentes delgadas.



**Figura 4.** Sección “Foro de Debate”, dentro de las herramientas de Comunicación. Como puede verse, aparecen los foros temáticos relacionados con el equipo docente (Tablón de anuncios, Consultas generales de la asignatura y Guardia Virtual), y los foros propios de los alumnos, sin moderar por el equipo docente, de los Centros, moderados por los profesores-tutores.

## 5 Conclusiones

Dada nuestra corta experiencia en el proceso de virtualización, podemos sólo comentar lo que ha supuesto para nosotros, pero no hacer una valoración global de todo el proceso.

Algunas de las ventajas que ya podemos señalar son las siguientes:

- Esta metodología es muy bien valorada y acogida por los estudiantes porque piensan que el contacto con el profesor es más sencillo y directo.

- Los materiales ofrecidos por el equipo docente son recibidos con mayor rapidez y comodidad, evitándose así los problemas y preocupaciones tradicionales (retrasos, extravíos, etc.)

- Desde el punto de vista del profesorado, también supone una gran comodidad la comunicación a través de este medio, evitándose así tareas más tediosas.

También permite (y promueve) la elaboración de material docente y su inmediata utilización y valoración por parte del estudiante.