

Aulas-laboratorios de bajo costo, usando TIC

Silvia E. Calderón¹, Pablo Núñez^{2,3}, José L. Di Laccio⁴, Leila M. Iannelli⁵,
Salvador Gil^{5,a}

¹ Instituto Superior del Profesorado J. V. González, Ayacucho 632 – Ciudad de Buenos Aires. Argentina.

² Instituto de Transporte, Universidad Nacional de San Martín, Campus Miguelete. San Martín, Buenos Aires. Argentina.

³ Instituto San José de Morón. Buenos Aires. Argentina.

⁴ Departamento de Física, Centro Regional de Profesores del Litoral y Departamento de Física del CENUR, Universidad de la República. Salto, Uruguay.

⁵ Escuela de Ciencia y Tecnología, Universidad Nacional de San Martín, Campus Miguelete. San Martín, Buenos Aires. Argentina.

^a sgil@unsam.edu.ar

[Recibido en abril de 2014, aceptado en septiembre de 2014]

En este trabajo se presentan los resultados de una propuesta educativa orientada a promover el desarrollo de un pensamiento crítico y un mayor interés por las ciencias experimentales. Con este fin desarrollamos propuestas de proyectos educativos susceptibles de ser destinadas a las aulas y laboratorios de las escuelas secundarias y primeros años de la universidad, que resaltan los aspectos metodológicos de las ciencias. Aquí, realizamos una compilación de varios proyectos, que ilustran formas de incorporar las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) en diversos experimentos de ciencias, muchos de ellos publicados individualmente anteriormente, y que en conjunto se pueden utilizar para implementar un aula-laboratorio de bajo costo. Con TIC hacemos referencia a la convergencia de computadoras, sistemas audiovisuales, Internet, telefonía, y diversos equipos que se integran con algunos de ellos. Los proyectos intentan integrar áreas como física, matemática, química, informática, arte, etc. y apuntan a que los estudiantes puedan responder a las preguntas: ¿Cómo sabemos esto?, ¿Por qué creemos en aquello? Preguntas que ilustran la naturaleza del pensamiento científico. Nuestra contribución más significativa es haber desarrollado «aulas-laboratorios» de muy bajo costo, usando TIC. Con el advenimiento de programas como «Una Laptop por Niño» que se están implementando en varios países de Latinoamérica, resulta oportuno utilizar este recurso como base para generar laboratorios de bajo costo, que creemos pueden ser una herramienta útil para mejorar el aprendizaje de las ciencias, incentivar vocaciones y contribuir a desarrollar un pensamiento crítico, a la par de desarrollar habilidades con el uso de las TIC que pueden ser de utilidad en diversos ámbitos académicos y laborales.

Palabras clave: Laboratorios de bajo costo; Experimentos; Nuevas tecnologías; TIC.

Low cost laboratories using ICT

The results of an educational project aimed at promoting the development of critical thinking and promote interest in experimental sciences in High Schools and College students is presented. In this paper, we made a compilation of several activities, which ways of integrating information technology and communication (ICT) in various experiments of science, which together can be used to implement a low cost “classroom-laboratory”. With ICT we refer to the convergence of computers, software, audiovisual systems, Internet, telephone, and other equipment that integrates with some of these devices. To this end, several projects were developed, that can be transferred to high schools and colleges settings, with limited financial resources, as is frequent in Latin America. The projects highlight the methodological aspects of science and seek to integrate areas such as physics, mathematics, chemistry, computer science, art, etc. They aim to answer the questions: how do we know this?, why do we believe in that? These questions illustrate the nature of scientific thought. With the advent of programs such as “One Laptop per Child” that are being implemented in several Latin American countries, it is appropriate to use these resources as a basis to generate low cost laboratories. This contribution may be a useful tool to improve the quality of science learning and to encourage vocations in science and engineering. Furthermore, the development of a critical thinking, along with acquisition of skills in the use of ICT, can be essential in many academic and professional fields.

Keywords: Low cost laboratories; Experiments; New technologies; ICT.

Introducción

En muchos países en desarrollo, y en especial en Latinoamérica, existe la presunción de que el uso generalizado de laboratorios en las escuelas primarias y secundarias, es muy costoso, y dada las condiciones de estrechez económica de estos países, estas actividades son un «lujo» que está más allá de las posibilidades. Esta concepción conduce a que muchas veces las ciencias experimentales, como la física y la química, se enseñen por transmisión oral o escrita, sin la posibilidad de manipulación de los objetos y fenómenos a los que estas disciplinas se refieren. Esta limitación genera una carencia fundamental en el aprendizaje de las ciencias, reduciéndolas a la resolución de problemas de lápiz y papel, muchas veces alejados de la realidad cotidiana, y haciendo referencia a fenómenos que los estudiantes no han experimentado. Esto inhibe la curiosidad innata de los jóvenes y resta motivación e interés en estas disciplinas. Asimismo, la carencia de bibliografía actualizada y atractiva, constituye un obstáculo más en el camino del aprendizaje de las ciencias (McDermott 2014), en ese sentido son bienvenidas las iniciativas que intentan suplir este déficit (García-Molina 2011).

La irrupción de las nuevas tecnologías de la información y la comunicación (TIC) en las últimas décadas, ha sido uno de los fenómenos culturales de mayor significación e impacto social que hayamos experimentado en mucho tiempo. El concepto de TIC es amplio y en constante evolución. Las TIC's están formadas por un conjunto de dispositivos asociados a las computadoras (PCs), Internet, telecomunicaciones y muchos equipos que se integran con ellos, por ejemplo cámaras digitales, sensores de luz, sonido, temperatura, etc. En este trabajo, utilizamos: ordenadores, tablets, cámaras digitales, teléfonos celulares, programas informáticos, Internet, entre otros tantos, para realizar experimentos y observaciones. Los elementos mencionados son de fácil acceso tanto en los hogares como en las escuelas y universidades. Mucho de los fenómenos estudiados, se implementan usando objetos simples de la vida cotidiana, como árboles, chorros de agua, piedras, globos, etc. Por ello las actividades experimentales, a los que se refiere el presente trabajo, resultan ser de muy bajo costo.

La elección de estas herramientas tecnológicas no es un capricho o modismo sino una decisión pedagógica, que responde a nuestra intencionalidad educativa de enseñar y aprender ciencias destacando su carácter experimental y con pocos recursos económicos, pero realizando proyectos provocativos, motivantes, y con desafíos para estudiantes de distintos niveles.

Varios de los proyectos a los que hace referencia el presente artículo, fueron publicados en forma individual, pero con más detalles previamente (Gil *et al.* 2006, Calderón *et al.* 2009a, 2009b, 2009c). En este trabajo, intentamos formular una propuesta más abarcativa, que haciendo uso de esos proyectos, permita a los docentes implementar aulas-laboratorios de bajo costo, usando un enfoque pedagógico común.

Tradicionalmente, el acceso a la información era una de las mayores dificultades en la educación. Con el advenimiento de las TIC la información disponible es abundante y el desafío se está transformando en la selección, integración curricular y adquisición de competencias, para el manejo de la información. Pero lo que quizás sea igualmente valioso para la enseñanza de las ciencias, es que las PC, tablets, teléfonos inteligentes y otros dispositivos, pueden transformarse en poderosas herramientas que facilitan la investigación de fenómenos naturales y culturales, y pueden utilizarse en las aulas y laboratorios para realizar interesantes experimentos con distintos grados de dificultad y desafíos. Precisamente, estas características de las TIC son las que se desea explotar en el presente trabajo.

Esta aproximación educativa ha sido ensayada en algunas escuelas medias y universidades de Argentina y Uruguay. Además de introducir a los estudiantes a la metodología de la investigación científica, se busca integrar de forma armónica y contextualizada áreas como física, matemática, química, informática, arte, etc. Creemos que esto promueve un mayor interés de los jóvenes por las ciencias. Con este propósito se han venido desarrollando varias actividades susceptibles de ser transferidas a las aulas, en las que se resaltan los aspectos metodológicos de las ciencias.

Quizás el aporte más significativo de este proyecto es haber desarrollado «aulas-laboratorios» de muy bajo costo. Es habitual escuchar que, por razones económicas, los docentes no disponen de los materiales para que sus alumnos realicen experimentos. En ese sentido son bienvenidas iniciativas que intenten hacer más accesible la posibilidad de realizar experimentos, en particular en Castellano. En respuesta a esta demanda, se han publicado artículos y libros, tanto en el formato de prácticas de laboratorio como en el de experiencias de demostración, utilizando materiales sencillos que permiten suplir la ausencia de laboratorios tradicionales. (García-Molina 2011, Velasco *et al.* 2012). El aula tradicional de clases, en nuestra propuesta, se convierte en «aula laboratorio» sin ser necesario estar en el clásico laboratorio de ciencias para realizar experimentos, en realidad ni siquiera es necesario estar en el aula para realizar estos experimentos. En América Latina, los laboratorios clásicos tienen en general escasez de equipos, insuficientes para atender la gran cantidad de educandos, principalmente en la enseñanza media, a veces los que existen son antiguos y poco atractivos, no siempre adaptables a las necesidades educativas de los tiempos que corren. No son pocas las escuelas que carecen de cualquier tipo de laboratorio. Por otra parte, en varios países de Latinoamérica, se han implementado programas que entregan notebooks o tabletas a todos sus estudiantes, como el Plan Ceibal de Uruguay (Uruguay 2007) o el *Programa Conectar Igualdad* de Argentina (Argentina 2010) Los alumnos con su ordenador, tablet, teléfono inteligente, etc. tienen un potencial laboratorio incorporado a su diario vivir, están muy acostumbrados a su manejo y disponen de ellos todo el tiempo. Las TIC por sí solas no tienen efectos mágicos sobre la enseñanza, entendemos que con una planificación adecuada de propuestas de proyectos, que los docentes puedan llevar delante de forma adecuada, se puede lograr un mayor involucramiento de los estudiantes en temas referidos a la ciencia. Logrando de esta manera ciertos contenidos transversales propios de la ciencia: generar hipótesis, modelar el fenómeno de estudio, diseñar estrategias para cotejar sus hipótesis, recolectar datos de las magnitudes apropiadas, analizar y finalmente concluir e informar en diferentes formatos para compartir tanto dentro como fuera del aula.

Muchas de estas actividades fueron ensayadas en distintas escuelas medias de los países involucrados y se compartieron con docentes que participaron en talleres realizados en varios lugares de Latinoamérica. Los proyectos ilustran algunos aspectos básicos de las ciencias experimentales e incitan a que los estudiantes puedan enfrentarse a problemas nuevos con apertura y rigurosidad. En otras palabras, se procura *que los estudiantes potencien su creatividad y sepan cómo aprender cosas nuevas*, enfrentándose a ellas con confianza y buen criterio.

Las TIC tienen muchas ventajas para la enseñanza. Por una parte están cada vez más difundidas y son muy accesibles, aun en los países emergentes. Por otra parte, como herramientas de aprendizaje, brindan la posibilidad de realizar observaciones, recolectar datos de un experimento en tiempo real, visualizar fenómenos que ocurren rápidamente, registrar la variación de varias variables como función del tiempo y analizarlas. Además, amplían y simplifican la tarea de estudiar fenómenos naturales y culturales. Sin embargo, su uso no está libre de obstáculos y desafíos. Es importante reconocer que estas nuevas tecnologías no mejorarán *por sí solas y en forma automática* el modo de educar a los estudiantes ni los prepararán mejor para enfrentar los desafíos de las sociedades actuales. Por el contrario, sin un enfoque

pedagógico adecuado, estas mismas tecnologías bien podrían tener un efecto negativo y transformar el proceso de aprendizaje en un mero contacto virtual con la realidad (Gil 1997). En otras palabras, el solo uso de las nuevas tecnologías no renueva la enseñanza ni resuelve por sí solo ningún problema de aprendizaje. Por consiguiente, es necesario analizar críticamente las propuestas de enseñanza que incorporen las TIC y evitar utilizarlas como un simple juego o moda.

Las TIC son *una herramienta más* en el entorno educativo y pueden servir para la construcción de conocimientos. Para lograr su uso efectivo en las escuelas, se debe evitar *una traslación de estrategias tradicionales de enseñanza* a una plataforma virtual, ya que esto en general no es ni viable ni provechoso. Es necesario elaborar nuevas prácticas con objetivos propios a fin de mejorar el aprendizaje, atendiendo a las estrategias pedagógicas del uso de las TIC y su articulación con las didácticas específicas (Rossi *et al.* 2013, Vogt y Kuhn 2013a, 2013b).

Por otra parte, para poder hacer un uso provechoso de las TIC, es imprescindible la capacitación de los docentes en el manejo de propuestas de integración curricular. Solamente los docentes con un propósito claro de la inclusión de estas tecnologías en la enseñanza, están en condiciones de acompañar eficazmente a los alumnos en su asimilación y dominio progresivo. Es importante reparar en la brecha generacional asociada con estas tecnologías. Las personas que recibieron educación formal antes de la revolución informática de los '90, entre los que se encuentran muchos de los docentes actuales, tienen por lo general cierta reticencia e inseguridad al incluir TIC en sus clases. Por el contrario, los estudiantes son por lo regular «nativos informáticos» y gran parte de su tiempo están dedicados a indagar en las TIC. Por consiguiente, el desafío que se presenta es pensar cómo aprovechar la experiencia de los docentes y estudiantes, de modo que la introducción de estas tecnologías tenga un punto de encuentro que potencie a ambas partes y evite agrandar la brecha generacional y cultural creada en torno a las TIC.

En este proyecto educativo, se buscan formas efectivas de involucrar a docentes y estudiantes en la construcción de un aprendizaje significativo de las ciencias, que convoque, interese y entusiasme. En ese sentido las nuevas tecnologías ofrecen una herramienta que puede contribuir a este proceso, pero dista mucho y no se debe pensar como *una bala de plata* para resolver los complejos problemas de la educación actual. Su rol de herramienta útil no debe exaltarse con expectativas irrealistas ni minimizarse su importancia y utilidad en las aulas.

Los laboratorios, en donde se experimenta y ponen a prueba ideas, son una excelente herramienta pedagógica y en muchos aspectos, un ámbito esencial para la enseñanza de las ciencias en un nivel introductorio. El laboratorio brinda a los estudiantes la posibilidad de *aprender a partir de sus propias experiencias y de la experiencia colaborativa con sus pares* (Crouch y Mazur 2001, Monteiro *et al.* 2014). También puede y debe ser usado para *estimular la curiosidad y el placer por la investigación y el descubrimiento*. Da a los alumnos la posibilidad de explorar, manipular, sugerir hipótesis, **cometer errores y reconocerlos**, y por lo tanto, aprender de ellos.

Enfoque pedagógico

Esta propuesta para el aprendizaje se basa en la combinación de dos estrategias:

- Aprendizaje por inmersión. Se discute la posibilidad del aprendizaje de las ciencias en las escuelas a través de la realización de mini-proyectos de investigación, buscando la integración de saberes y habilidades de distintas disciplinas. La idea consiste en incorporar en los cursos, la realización de pequeños proyectos de investigación, acotados en tiempo y que puedan ser abordados con el nivel de conocimiento y habilidad que los estudiantes puedan lograr con un esfuerzo moderado y acorde al nivel del curso. Para estudiantes principiantes,

los proyectos podrían ser similares a los que se describen más adelante, como por ejemplo investigar la relación entre el tamaño de una hoja y su masa para una determinada especie de planta; las formas de las sombras de una lámpara, el tamaño de la Luna respecto al de la Tierra, etc. La idea es que los estudiantes se familiaricen con el tipo de preguntas y metodología de indagación en ciencias.

- Desarrollo de aulas-laboratorios de bajo costo usando las TIC. Estos ámbitos son recursos muy valiosos, o quizás imprescindibles para el aprendizaje de las ciencias en general. La idea aquí es utilizar las posibilidades que brindan las TIC's para mejorar los laboratorios tradicionales o bien utilizando estas herramientas generar nuevos laboratorios. Los ejemplos que se describen más adelante ilustran lo expuesto.

Muchas de las ideas aquí planteadas fueron, en gran medida, implementadas en cursos de Física y laboratorios que los autores de este proyecto han tenido la oportunidad de dictar en distintas universidades de Latinoamérica (Universidad de Buenos Aires, Universidad Nacional de San Martín, Universidad Favaloro, Universidad de la República-Regional Norte, Centro Regional de Profesores del Litoral-Salto, etc.) y en talleres para docentes de escuelas medias y congresos. El éxito de esta aproximación al aprendizaje de las ciencias está claramente reflejado en la gran cantidad de proyectos producidos, los cuales se publicaron en el sitio de Internet www.fisicarecreativa.com, donde pueden encontrarse cerca de 250 proyectos realizados por los estudiantes de estas casas de estudios. Muchos de los proyectos desarrollados en los contextos educativos mencionados, fueron publicados en revistas internacionales (Gil *et al.* 2006, Calderón *et al.* 2009a, 2009b, 2009c) y libros (Gil 2014).

Asimismo, las propuestas didácticas que se detallan en este trabajo fueron desarrolladas, llevadas a la práctica y evaluadas en varias escuelas medias, talleres para docentes, e institutos de formación de docentes de ciencias. De la misma forma, este material sirvió de base para el desarrollo de dos tesis de maestrías (Calderón 2007, Nuñez 2011).

Desde luego, la aproximación presentada aquí no pretende de ningún modo ser excluyente del uso de otros enfoques pedagógicos. Por el contrario, busca aportar una herramienta adicional al menú de opciones didácticas, al incluir las tecnologías en la enseñanza de las ciencias y sobre todo, ilustrar a partir de ejemplos concretos la posibilidad de introducir a los estudiantes a la forma de trabajar de los científicos profesionales o a la forma de utilizar el método científico para dirimir cuestiones de la vida cotidiana. Asimismo, ilustra el método de la investigación científica, su desarrollo y algunas características de la innovación.

Tanto la experiencia realizada por los autores, como la de colegas que introdujeron estas ideas en sus cursos, indican que esta alternativa es factible y útil. Dada la prevalencia de los recursos informáticos en las escuelas y los hogares, el desarrollo de material educativo que puede aprovecharse en el aula constituye un aporte valioso al menú de las opciones disponibles para los docentes. En los proyectos que se describen más adelante se ilustra, a través de algunos ejemplos concretos, el uso de las TIC en el aula. Este año está saliendo a la luz un texto de experimentos de física, que utiliza este mismo enfoque para cursos a nivel de estudiantes universitarios (Gil 2014).

En Latinoamérica, al igual que en muchos otros países y regiones del mundo, existe una creciente preocupación por hacer más eficiente y efectiva la tarea de educar y atraer a más estudiantes a las ciencias y a la tecnología. Las sociedades enfrentan crecientes desafíos y encrucijadas como la necesidad de crecer y desarrollarse, explorar nuevas fuentes de energías y al mismo tiempo proteger el medio ambiente. Del mismo modo, el importante crecimiento de la economía global, muestra el creciente rol de la ciencia y la tecnología en la creación y mejora de productos. La mejor forma de enfrentar estos desafíos requiere de ciudadanos con una

sólida formación cultural y una comprensión adecuada de la ciencia y la tecnología. Asimismo, para mejorar las posibilidades de desarrollo e inserción económica en el mundo se necesita de más y mejores científicos y tecnólogos. De este modo, surgen dos necesidades diferentes, pero estrechamente vinculadas en el horizonte de la enseñanza de las ciencias:

- Cómo lograr una mejor y creciente alfabetización científica en los ciudadanos.
- Cómo atraer, educar acorde a los nuevos tiempos, de mejor manera y más eficientemente a los futuros tecnólogos, científicos y docentes de ciencias.

Es importante diferenciar estos dos objetivos. No se trata de entrenar a la población total de estudiantes en los detalles de los cálculos y las manipulaciones científicas y tecnológicas. Para participar responsablemente de los debates de contenidos científicos o tecnológicos, es imprescindible tener la capacidad de diferenciar entre una presunción y un hecho científico, y de distinguir entre pseudo-científicos y verdaderos expertos. Para lograr una alfabetización científica adecuada es deseable que los estudiantes logren comprender los procesos y métodos que la ciencia usa para validar sus leyes y principios. Es importante entender la función de las observaciones y experimentos en el establecimiento de las leyes y teorías científicas y el carácter provisorio de las teorías de las ciencias fácticas y su dinámica.

Esto es muy distinto de lo que tradicionalmente se enseña en numerosas escuelas medias, donde muchas veces el énfasis está puesto en la solución de problemas numéricos artificiales. Quizás por este motivo gran parte de los estudiantes asocian la Física y la Química con un conjunto de fórmulas y procedimientos artificiosos para lograr resultados cuantitativos.

La estrategia de trabajo elegida es un enfoque constructivista. Según el enfoque cognitivo, el desarrollo del conocimiento implica una reorganización de las estructuras mentales producto de las interacciones de los individuos con su medio ambiente. Se acepta que las personas poseen conceptos organizados de una determinada manera en la memoria y que construyen nuevos significados a partir de los preexistentes en interacción con su experiencia física, social y cultural (Porlan 1995). Desde la perspectiva cognitiva aprender es construir modelos para interpretar la información que se recibe (Pozo Muncio 1996). Si bien no existe un enfoque único del constructivismo, se puede decir que hay muchos rasgos comunes en la concepción del aprendizaje desarrollado por varios autores, entre los que se destacan: Piaget, Ausubel, Vygotsky, etc. (Novak y Gowin 1988, Constructivismo 2014), como así también los trabajos del grupo de la University of Washington «metodologías basadas en la indagación» (McDermott 2014). Algunas características distintivas de este enfoque son (Quiroz 2007):

- El nuevo conocimiento es construido sobre los conocimientos relevantes que tiene el alumno y no por simple transmisión.
- La construcción del nuevo conocimiento es el resultado de una actividad, el nuevo conocimiento está incluido en la actividad y se le presenta al alumno o lo descubre en el proceso.
- Quien enseña debe tener en cuenta los conocimientos previos de los estudiantes. Para que haya aprendizaje significativo debe existir una interacción entre los conocimientos que posee el alumno y los conocimientos nuevos. En esta dinámica, los nuevos conocimientos adquieren significado para los estudiantes y se cambian los conocimientos previos logrando un aprendizaje.

Desde este punto de vista, el estudiante no se considera como un receptor pasivo de conocimiento, sino como un constructor activo. En este proceso, las nuevas ideas presentadas por el profesor se relacionan con las ideas que ya existen en la estructura cognitiva del alumno.

El aprendizaje requiere la activación de una idea o conocimiento previo que sirva para organizar la información nueva y otorgarle un significado.

Sin embargo, muchas veces en las escuelas, la enseñanza se realiza a través de lo que algunos educadores denominan la «inoculación verbal», esto es, la ilusión que a veces tienen los docentes de que haber dictado una clase brillante sobre un tópico es equivalente a haber logrado que los estudiantes hayan aprendido el tema.

El cambio conceptual no fue una tarea sencilla en la historia de la humanidad y tampoco lo será para los estudiantes. Las investigaciones en didáctica de las ciencias muestran que si los alumnos tienen oportunidad de construir hipótesis, diseñar experimentos, realizarlos y analizar cuidadosamente los resultados, será posible que superen la metodología del sentido común, al tiempo que se produzcan en ellos los cambios conceptuales que necesita el conocimiento científico (Carmen 1997).

Ejemplo de actividades usando TIC

Las cámaras digitales como instrumentos de laboratorio

La utilización de cámaras fotográficas y de video digitales se ha popularizando mucho en los últimos años, y muchos teléfonos celulares tienen estas prestaciones incluidas. Una imagen digital está formada por una matriz de «puntos» o celdas elementales. Cada celda se denomina píxel (de la contracción de las palabras *picture* y *element*) y es la unidad más pequeña de una imagen digital. Cada píxel (px) tiene almacenado un número que representa su color. Si solo tiene un bit (o sea 0 o 1), podemos formar imágenes en blanco y negro como se ilustra en la figura 1. El color de cada píxel también puede codificarse con un número de 8 bits (1 byte) que admite $2^8=256$ variaciones de colores. De modo similar, hay imágenes en las que cada píxel puede tener 3 bytes de colores (24 bits) o sea puede tener $2^{24}=16777216$ opciones de color, etc. Al aumentar el número de colores por píxel, aumentan los matices que una imagen puede tener, pero también aumenta su tamaño, o sea el espacio que ocupa la imagen en bytes.

1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	0	0	0	0	1	1	1
1	1	1	0	1	1	1	1	1	1
1	1	1	0	1	1	1	1	1	1
1	1	1	0	0	0	0	1	1	1
1	1	1	0	1	1	1	1	1	1
1	1	1	0	1	1	1	1	1	1
1	1	1	0	1	1	1	1	1	1
1	1	1	0	0	0	0	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Figura 1. Imagen digital de 10×11 píxeles, monocromático, cada píxel almacena 1 bit (1=blanco, 0=negro).

La resolución de la imagen digital depende del número de píxeles en la misma. Una imagen de 480×640 píxeles equivale a 307200 píxeles (≈ 307 kpx). Una imagen digital de 2048×1536 = 3145728 equivale a una resolución de 3.1 Mpx; esta notación es muy usual en la especificaciones de las cámaras digitales. Lógicamente, al aumentar la resolución de la imagen y la cantidad de colores por píxel, mayor será la calidad del fotograma y mayor el espacio que ocupa. En realidad, esta descripción somera se aplica a los archivos digitales tipo bmp. Hay, asimismo, muchos otros formatos comprimidos que permiten almacenar mucha información en archivos más pequeños, como los formatos jpg, tif, etc., que siguen protocolos distintos a los mencionados más arriba, pero equivalentes a éstos.

Los píxeles en una imagen digital pueden observarse fácilmente ampliando suficientemente la imagen usando la opción zoom. Los píxeles aparecen como pequeños cuadrados de color, o en blanco y negro, o en matices de grises. Las imágenes se forman como una matriz rectangular de píxeles. El origen de las coordenadas de los píxeles en general coincide con el extremo superior izquierdo del fotograma. Las coordenadas en píxeles de un fotograma se pueden leer usando casi cualquier programa de visualización de imágenes; a continuación se nombran algunos que son de uso corriente por los alumnos, tales como PhotEd@Microsoft,

Paint®Microsoft o Corel Draw®Corel. Desde luego, existen muchos otros más sofisticados, pero los mencionados están disponibles en casi todas las computadoras personales (Digitizer 2007, Tracker 2010, Vernier Software 2013, Gil 2014); asimismo, existen muy interesantes y útiles repositorios de fotos y videos que pueden bajarse de Internet (Rochester Institute of Technology 2014).

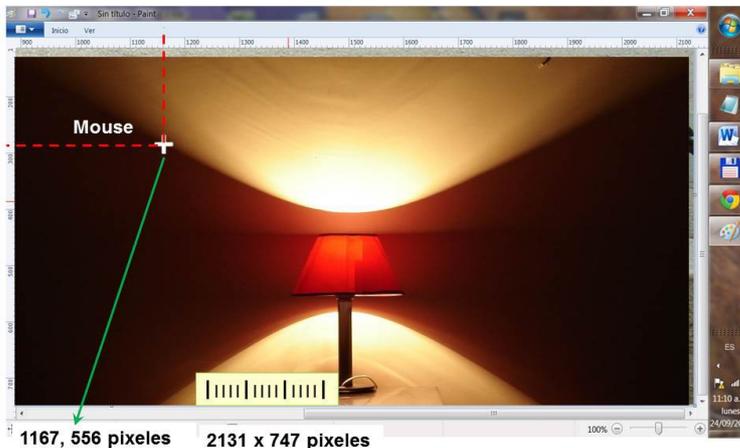


Figura 2. Foto digital de la sombra que una lámpara produce sobre una pared. La escala horizontal permite transformar las coordenadas en píxeles de la foto digital en coordenadas reales. Cada punto de una foto digital (tal como el punto indicado por la cruz) tiene una coordenada en píxeles bien definida que se indica en la parte inferior derecha de la imagen. Midiendo el tamaño de la regla inferior en píxeles, podemos transformar las coordenadas en píxeles a unidades estándares de longitud (metro, cm, etc.). Cualquier objeto de dimensión conocida, por ejemplo la altura de la lámpara, puede ser usada como escala de referencia.

Si se observa una imagen digital con algún programa de visualización de imágenes, se pueden obtener las coordenadas en píxeles de la posición del puntero del «mouse», como se ilustra en la figura 2. Si en la imagen se introduce un objeto de dimensión conocida, es posible transformar las coordenadas en píxeles a coordenadas convencionales (x, y) . Con esta técnica, podemos analizar las formas geométricas de las sombras, como las que muestra la figura 2, y contrastar con un modelo matemático que las intenta explicar (Gil *et al.* 2006, Calderón *et al.* 2009c).

También se puede preguntar qué forma tiene un chorro de agua y estudiar la forma matemática de

esta trayectoria de manera cuantitativa, como se ilustra en la figura 3. Pueden estudiarse otras formas con esta técnica, tales como la que adquiere una cadena colgada (mostrada en la figura 4), y analizar diversas geometrías de numerosos fenómenos físicos (Gil *et al.* 2006).

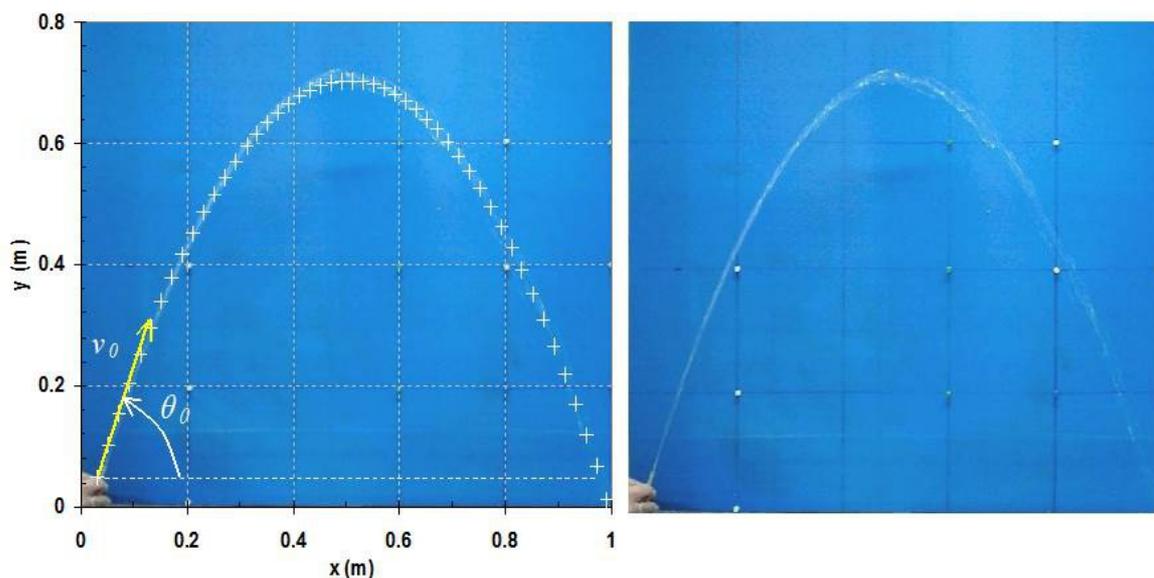


Figura 3. Foto de un chorro de agua. A la derecha vemos la foto del chorro. A la izquierda, vemos la imagen del chorro de agua y, superpuesta al mismo, «cruces» que son las predicciones de un modelo matemático que explica el fenómeno. De este modo se puede contrastar las formas observadas con las expectativas teóricas.

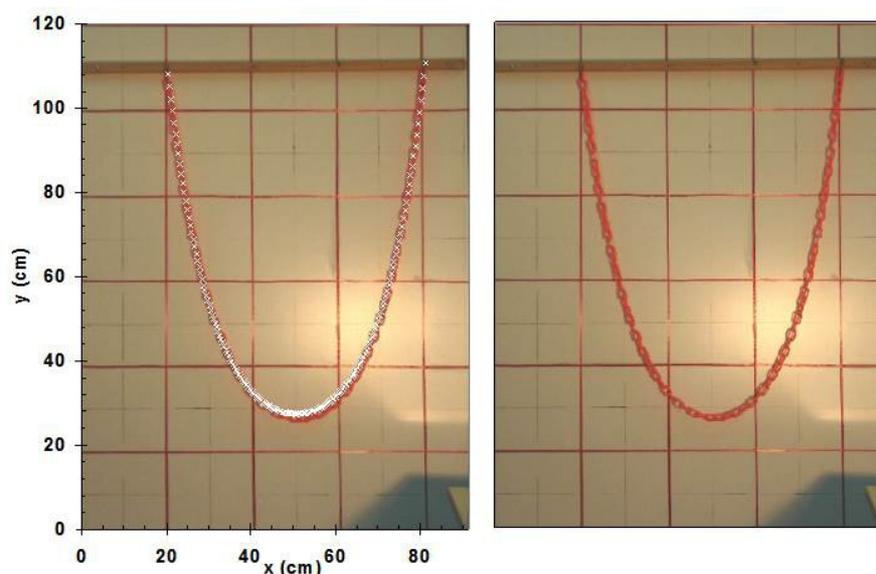


Figura 4. A la derecha se observa la foto de una cadena colgando sujeta por sus extremos. A la izquierda vemos la misma imagen y, superpuesta a ella, las predicciones de un modelo matemático (cruces blancas) que explica la forma (Gil *et al.* 2006).

Por otra parte, la mayoría de las cámaras fotográficas actuales tienen la posibilidad de grabar videos de unos pocos segundos de duración. Este intervalo, aunque breve, resulta suficiente para el estudio de muchos fenómenos físicos, tal como la caída de un cuerpo o un globo en el aire desde cierta altura (Calderón *et al.* 2007). Como ya se vio, cada cuadro o fotograma del video tiene todas las coordenadas del cuadro; por otro lado, cada cuadro se toma en una secuencia bien definida de tiempo (25 o 30 cuadros por segundos). Por consiguiente, un video guarda información de posición y tiempo de un fenómeno. Con estos datos, es posible realizar un estudio cinemático del movimiento de cualquier objeto en dos dimensiones. La cámara digital se transforma en un sistema de adquisición de datos experimentales y, combinado con el análisis de los datos, permite el estudio detallado de un fenómeno a muy bajo costo (Aguiar y Rubini 2004, Tracker 2010, Vernier Software 2013).

Tarjeta de sonido

La tarjeta de sonido es un componente presente en la mayoría de las computadoras personales modernas o en teléfonos celulares (SmartPhone). Posibilitan la entrada y salida de señales de audio desde y hacia la PC. Ellas permiten grabar o reproducir un sonido con la PC o SmartPhone. Estos dispositivos se usan en aplicaciones de multimedia y juegos de entretenimiento. También permiten escuchar y grabar sonidos o música, la edición de archivos de audio, etc. Utilizando un micrófono se puede convertir la PC o SmartPhone en un sistema de adquisición de datos en tiempo real. De este modo, es posible *visualizar las señales acústicas y «ver»* algunas características básicas de las ondas sonoras, como puede ser la frecuencia y su conexión con la altura de un sonido o la amplitud y su relación con la intensidad o volumen, etc., tal como se ilustra en la figura 5. Con pequeños programas de libre acceso es posible transformar una PC común en un osciloscopio digital, muy adecuado para estudiar señales acústicas. Con este instrumento se pueden estudiar las relaciones matemáticas de las escalas musicales y establecer conexiones entre las armonías musicales y las matemáticas, afinar instrumentos musicales, etc. (figura 6). Con estas herramientas se pueden estudiar muchos fenómenos físicos, como medir velocidades del sonido, tiempo de caída de objetos, ondas sonoras en tubos abiertos o cerrados, frecuencias en cuerdas vibrantes, etc. (Calderón *et al.* 2009b, García-Molina *et al.* 2010, Vogt y Kuhn 2013a).

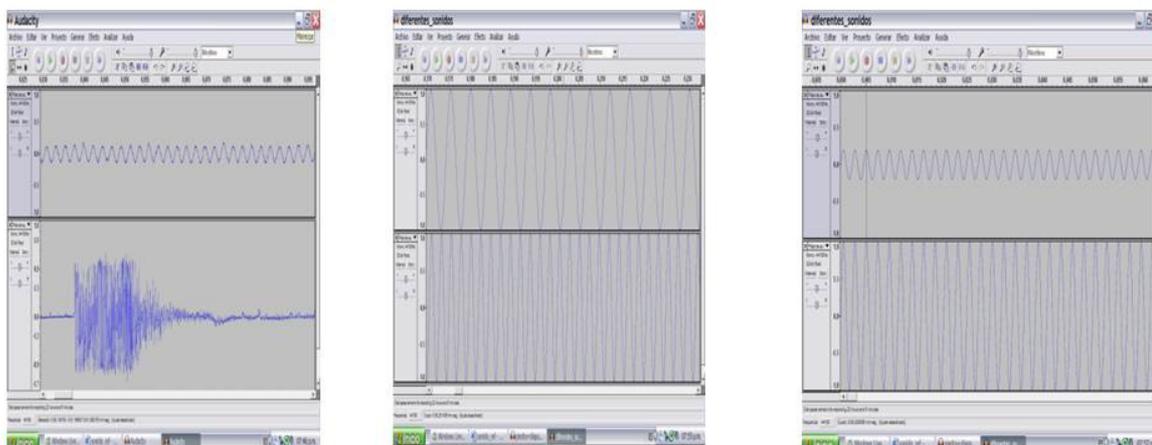


Figura 5. A la izquierda aparece la «imagen sonora» de un sonido (parte superior) y un ruido (parte inferior). En el centro se muestran sonidos de diferente altura o frecuencia. A la derecha se ve el registro de sonidos de la misma altura o frecuencia pero de distinta amplitud. Estas imágenes han sido obtenidas con el programa Audacity (2014).

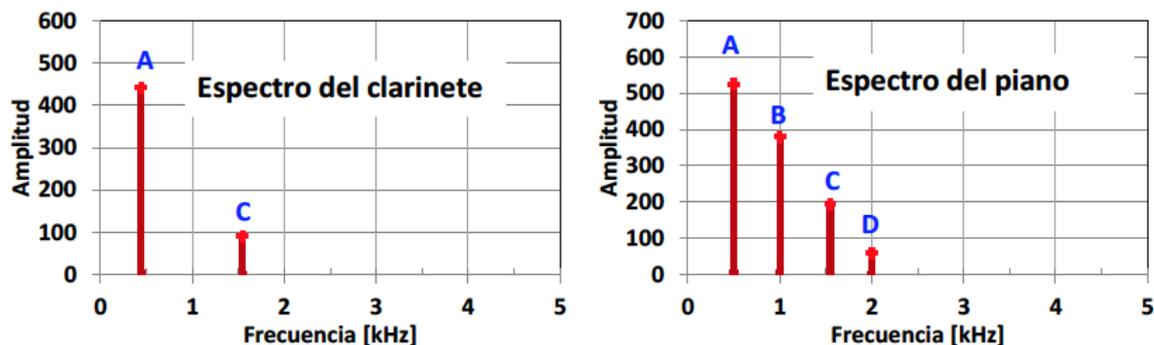


Figura 6. Análisis de frecuencia de la nota musical La (440 Hz) emitida con un clarinete (izquierda) y con un piano (derecha). La comparación de las figuras permite observar los diferentes armónicos característicos del timbre de cada instrumento. Las frecuencias marcadas con las letras A y C son comunes en ambos instrumentos, no así las marcadas con B, y D.

Otras aplicaciones

Estas herramientas permiten, asimismo, desarrollar proyectos que involucren varias áreas de las ciencias (Núñez *et al.* 2009b), como se indica esquemáticamente en los siguientes ejemplos.

Astronomía. Cuando observamos un eclipse de Luna, la sombra proyectada por la Tierra sobre la Luna revela la forma esférica de la Tierra y, además, da una idea del tamaño de nuestro planeta comparado con el de la Luna (véase la figura 7). Esta fue una de las observaciones en la que se basó Aristóteles para argumentar la redondez de la Tierra. Aristarco de Samos (310 aC – 250 aC) ideó un ingenioso método para medir el tamaño de la Luna y su distancia a la Tierra, comparando el

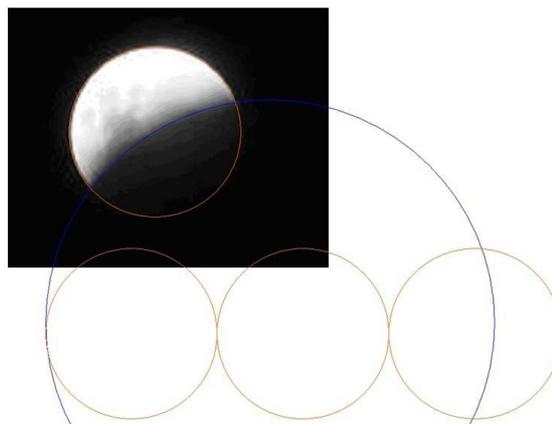


Figura 7. Fotografía correspondiente al eclipse lunar del 20 de febrero de 2008, tomada desde la ciudad de Buenos Aires. La Luna está en la umbra de la Tierra. Se ha trazado una circunferencia para completar la sombra de la Tierra (Núñez *et al.* 2009a).

tamaño de la sombra de la Tierra con el de la Luna durante un eclipse lunar. Por simple observación visual, Aristarco estimó que el diámetro de la sombra de la Tierra era aproximadamente dos veces y media el diámetro lunar. Dada la posibilidad de fotografiar estos eventos y de obtener estas fotos de Internet (NASA 2011), resulta muy simple e instructivo usar la tecnología moderna para recrear y mejorar las estimaciones de Aristarco. En la figura 7 se ilustra una foto de un eclipse lunar ocurrido el 20 de febrero de 2008 en la ciudad de Buenos Aires, obtenida con una cámara digital común. Utilizando programas de graficación comunes presentes en la mayoría de las computadoras personales, es posible realizar mediciones a partir de fotogramas como el de la figura 7 y determinar que el tamaño de la Tierra es aproximadamente 2,5 veces mayor que el de la Luna (Núñez *et al.* 2009a). De hecho, usando esta tecnología es posible medir el tamaño del sistema solar en el aula. Este tipo de actividades son muy simples de realizar e integran varias áreas: Astronomía, Matemática, Informática, Historia y Física. Los resultados son sorprendentes y seguramente despertarán el interés y entusiasmo de muchos jóvenes por las ciencias y la brillantez de los argumentos clásicos para entender el mundo.

Biología. En la figura 8 se muestra la fotografía de una bifurcación en un árbol, usando las técnicas de medición indicadas previamente. Es fácil verificar que, con cierta aproximación, se cumple $c^2 = a^2 + b^2$; esto equivale a decir que estas magnitudes cumplen aproximadamente con el teorema de Pitágoras o que el área del tronco se conserva en una bifurcación. Esto inmediatamente dispara un proyecto de investigación que los estudiantes pueden emprender, verificar si este tipo de relaciones efectivamente se cumplen en diversas especies de árboles e indagar sobre las razones biológicas que permitan entender este fenómeno (Nuñez 2011).

Si se recogen hojas de una misma planta, teniendo la precaución que la relación de tamaño entre las hojas más pequeñas y la más grandes sea un factor de 3 o mayor, se pueden estudiar relaciones alométricas de la hoja. En este caso, se utilizan hojas de Adelfa o Nerium, pero pueden servir igual hojas de cualquier otra planta. Con una balanza de precisión (apreciación 0,1 g) se mide para cada hoja su masa m , su longitud L y su ancho a (véase la figura 9). Las longitudes se pueden medir con una regla graduada en milímetros. En las figuras 9 y 10 se muestran los resultados obtenidos.

De la figura 9 se concluye que a es proporcional a L , lo que confirma la observación evidente que las hojas de una misma planta son semejantes. Esto es, las hojas más grandes se obtienen por una ampliación de las más chicas.

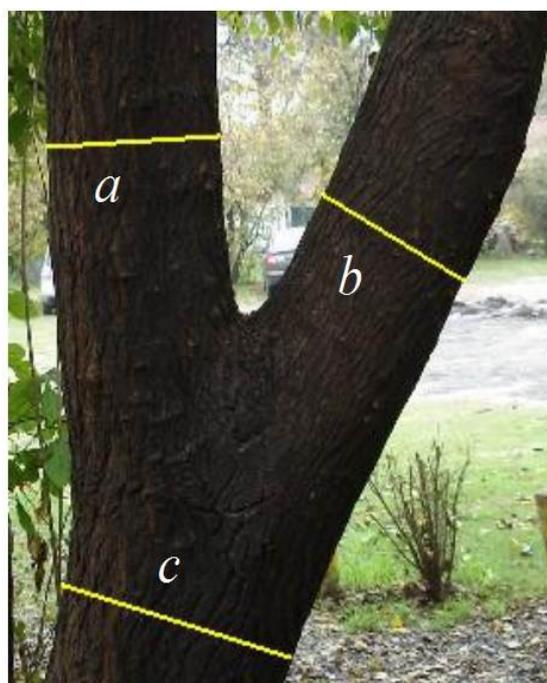
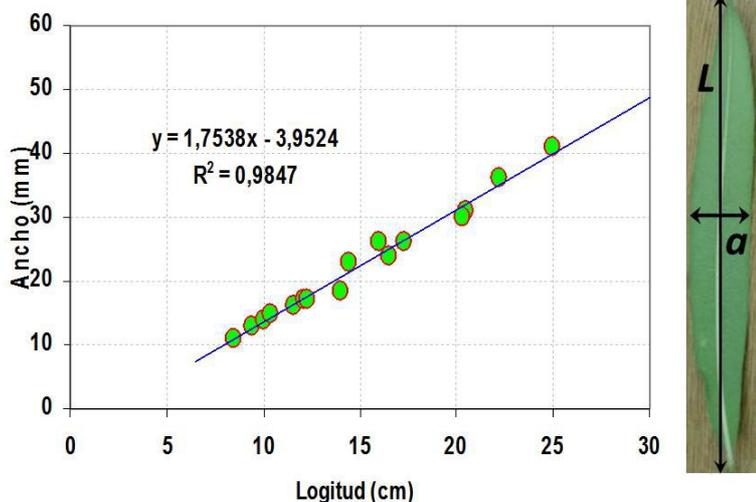


Figura 8. Fotografía del tronco de un árbol en una de sus bifurcaciones. Midiendo los diámetros de las ramas antes (c) y después de la bifurcación (a) y (b), es fácil verificar que aproximadamente se cumple que $c^2 = a^2 + b^2$; esto equivale a decir que estas magnitudes obedecen aproximadamente al teorema de Pitágoras o que el área del tronco se conserva en una bifurcación.

Figura 9. Aquí se observa el gráfico correspondiente a la relación entre el ancho (a) y el largo (L) de una hoja. La linealidad indica que existe una proporcionalidad entre el largo y el ancho en las hojas analizadas. En la parte lateral derecha se observa una hoja de Adelfa o Nerium y sus dimensiones.



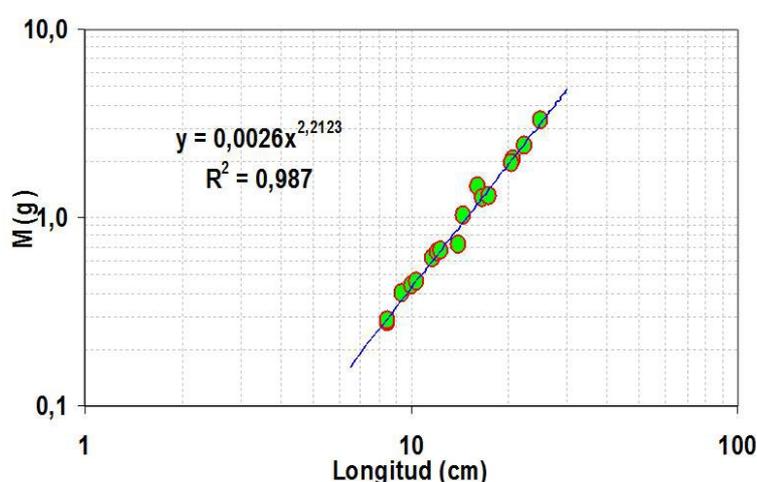
En la figura 10 se representa la masa m en función de la longitud L . Para las hojas estudiadas (Adelfa) encontramos la relación alométrica:

$$m = A_0 L^b, \text{ con } A_0 = 0,0026 \text{ y } b = 2,21. \quad (1)$$

El hecho de que el exponente es mayor de 2, es decir $b > 2$, indica que las hojas son objetos que optimizan su área, consistente con una estructura que las soporte, y permite que las hojas más grandes no se doblen y su área de recolección de luz para fotosíntesis siga siendo efectiva (Nuñez 2011). Al crecer en tamaño, también tienen un crecimiento en su espesor que no es proporcional al largo L de la hoja. De otro modo m sería proporcional a L^3 . Según la ec. (1), el espesor aumenta con la longitud como $e \propto L^\epsilon$, con exponente $\epsilon = 0,21$. Esta dependencia puede interpretarse como una competencia entre dos tendencias de la hoja:

- a) a maximizar su área, que optimizaría su función de realizar fotosíntesis al tener mayor superficie expuesta al Sol,
- b) a incrementar el espesor para dar mayor resistencia mecánica que sostenga mejor el peso de hojas de mayor tamaño (Nuñez 2011).

Figura 10. En este gráfico se observa cómo la masa de una hoja de Adelfa o Nerium varía con su longitud. La línea continua es un ajuste de una función potencial con exponente $b = 2 + \epsilon$, siendo $0 < \epsilon = 0,21 < 1$.



Estas actividades permiten descubrir relaciones no siempre obvias para los estudiantes, usando fenómenos que están al alcance de todos y tener un acercamiento al descubrimiento o redescubrimiento de leyes en la naturaleza.

Los proyectos se pueden realizar fácilmente en el aula y son ejemplos de proyectos de investigación escolar de muy bajo costo, que ilustran varias de las facetas de la metodología científica.

Conclusiones

En este trabajo se ha intentado mostrar el tipo de actividades de bajo costo que es posible desarrollar en las aulas usando nuevas tecnologías. Sin embargo, estas herramientas no deberán usarse para hacer lo mismo que se venía haciendo tradicionalmente en los cursos de ciencias, sino que es necesario introducir nuevos enfoques pedagógicos para que su utilización sea más efectiva. En ese sentido el desarrollo de miniproyectos de investigación, coordinado por un docente de ciencias con sólida formación didáctica pedagógica, asistido quizás por un docente del área informática, puede ser una alternativa útil.

No cabe duda de que, para lograr una integración curricular significativa de las TIC para enseñar ciencias, es necesario promover intensamente y activamente la *capacitación de los docentes* de modo de pasar del apresto, al uso y posterior integración de la tecnología en la enseñanza, como eslabón más potente de su formación e incentivarlos a repensar su labor docente a la luz de las posibilidades que brindan las tecnologías.

En resumen, la incorporación de las TIC en la enseñanza a nivel secundario y universitario, posibilita:

- Disponer de aulas-laboratorios sofisticados a *muy bajo costo*.
- *Generar proyectos* de investigación que integren distintas áreas del conocimiento.
- *Acceder* a un volumen grande de información. Los alumnos, con la asistencia de los docentes, deben desarrollar la habilidad de seleccionar la más relevante y valiosa información y descartar lo superfluo.
- *Relacionar y conectar* distintos aspectos de la realidad que se enseña en asignaturas diferentes: Tecnología, Física, Matemática, Química, Arte, etc.

Agradecimientos

Agradecemos la colaboración de muchos docentes que participaron en los talleres realizados por nuestro grupo de trabajo y que contribuyeron a enriquecer los proyectos desarrollados. Agradecemos especialmente a la Mg. Stella Maris Muiños de Britos por su colaboración en varias fases de este proyecto y la Dr. A. E. Schwint por la lectura del manuscrito y valiosas sugerencias. Por último agradecemos la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica de Argentina por financiar este proyecto (PICTO-2008-00055) y a la Asociación Física Argentina (AFA) que apoyó este esfuerzo a través del programa INVOFI.

Referencias

- Aguiar C., Rubini G. M. (2004) A aerodinamica da bola de futebol. *Revista Brasileira de Ensino de Física* 26, 297-309.
- Argentina (2010) [Programa Conectar Igualdad](#) (creado en abril de 2010 en Argentina).
- Audacity (2014) audacity.sourceforge.net.
- Calderón S. (2007) *Uso de Nuevas Tecnologías en la Enseñanza de la Física, en las escuelas medias*. Tesis de maestría Universidad Nacional del Comahue (Argentina).

- Calderón S., López S., Gil S. (2007) Determinación de la fuerza de roce con el aire usando nuevas tecnologías. *Revista de Enseñanza de la Física de la Asociación de Profesores de Física de la República Argentina* 20, 55-64.
- Calderón S., Núñez P., Gil S. (2009a) Estudio cinemático del movimiento de cuerpos que ruedan por un plano inclinado. *Latin American Journal of Physics Education* 3, 68-71.
- Calderón S., Núñez P., Gil S. (2009b) Experimentos en el aula utilizando la tarjeta de sonido de una PC. *Latin American Journal of Physics Education* 4, 188-193.
- Calderón S., Núñez P., Gil S. (2009c) La cámara digital como instrumento de laboratorio: estudio del tiro oblicuo. *Latin American Journal of Physics Education* 3, 87-92.
- Carmen L. D. (1997) La enseñanza y el aprendizaje de las Ciencias de la Naturaleza en la educación secundaria. Barcelona. ICE-Horsori.
- Constructivismo (2014) [Wikipedia](#)
- Crouch C. H., Mazur E. (2001) Peer Instruction: Ten Years of Experience and Results. *American Journal of Physics* 69, 970-977.
- Digitizer (2007) [xyExtract Graph Digitizer](#).
- García Molina R., Piñol N., Abellán J. (2010) Se ve, se siente... el sonido está presente, *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales* 64, 72-78.
- García-Molina R. (2011) Presentación del monográfico sobre ciencia recreativa. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 8 (Núm. Extraordinario), 365-369.
- Gil S. (1997) Nuevas Tecnologías en la Enseñanza de la Física. Educación en Ciencias, Publicación de la Universidad de General San Martín. Buenos Aires, I (2) 34-44.
- Gil S. (2014) *Experimentos de Física de bajo costo, usando TIC's*. Buenos Aires. Alfaomega.
- Gil S., Reisin H. D., Rodríguez E. E. (2006) Using a digital camera as a measuring device. *American Journal of Physics* 74, 768-775.
- McDermott L. (2014) Melba Newell Phillips Medal Lecture 2013: Discipline-Based Education Research – A View From Physics. *American Journal of Physics* 82, 729-741.
- Monteiro M., Cabeza C., Marti A., Vogt P., Kuhn J. (2014). Angular velocity and centripetal acceleration relationship. *The Physics Teacher* 52, 312-313.
- NASA (2011) [NASA Eclipse Home Page](#).
- Novak J. D., Gowin D. B. (1988) *Aprendiendo a aprender*. Barcelona. Martínez Roca. [Original en inglés publicado en 1984]
- Núñez P. (2011) *La búsqueda de orden y armonía en la naturaleza y la cultura como elemento motivador en la enseñanza de las ciencias*. Tesis de maestría Escuela de Humanidades. Universidad Nacional de San Martín. Buenos Aires.
- Núñez P., Calderón S., Gil S. (2009a) Mediciones astronómicas desde el aula. *Latin American Journal of Physics Education* 3, 87-92.
- Núñez P., Calderón S., Gil S. (2009b) Midiendo velocidades supersónicas utilizando Youtube. *Latin American Journal of Physics Education* 3, 113-116.
- Porlán R. (1995) *Constructivismo y Escuela. Hacia un modelo de aprendizaje basado en la investigación*. Sevilla. Díada Editora.
- Pozo Muncio J. (1996) *Aprendices y maestros*. Madrid. Alianza Editorial.

- Quiroz J. S. (2007) *Las interacciones en un entorno virtual de aprendizaje para la formación continua de docentes de enseñanza básica*. Tesis doctoral. Universidad de Barcelona, Teoría e Historia de la Educación.
- Rochester Institute of Technology (2014) [The LivePhoto Physics Project](#).
- Rossi M., Gratton L. M., Oss S. (2013). Bringing the Digital Camera to the Physics Lab. *The Physics Teacher* 51, 141-143.
- Tracker (2010) www.cabrillo.edu/~dbrown/tracker/.
- Uruguay (2007) *El Plan Ceibal*. Montevideo.
- Velasco S., del Mazo A., Santos M. J. (2012) *Experimenta: 60 experimentos con materiales sencillos*. Salamanca. Fundación 3CIEN/Instituto ECYT.
- Vernier Software (2013) [Logger Pro 3 from Vernier software](#).
- Vogt P., Kuhn J. (2013a) Analyzing acoustic phenomena with a smartphone microphone. *The Physics Teacher* 51, 118-119.
- Vogt P., Kuhn J. (2013b) Analyzing radial acceleration with a smartphone acceleration sensor. *The Physics Teacher* 51, 182-183.