

# Desarrollo de instrumental de laboratorio controlado por *sistemas embebidos*

Development of laboratory instruments controlled by Embedded Systems

REVISTA  
DE  
ENSEÑANZA  
DE LA  
FÍSICA

Guillermo Emilio Wurm<sup>1</sup>, Marcelo Julio Marinelli<sup>1</sup>, Luis Antonio Fontana<sup>1</sup>, Silvia Marta Salomon<sup>1</sup>, y Rodrigo Ríos<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Cs. Exactas, Químicas y Naturales, Universidad Nacional de Misiones, Félix de Azara 1552, Posadas, Misiones. Argentina.

E-mail: guillermow77@gmail.com

## Resumen

En este trabajo se propone el diseño y construcción de instrumental de laboratorio con fines didácticos orientados a la enseñanza de contenidos de física. Estos dispositivos son controlados por *sistemas embebidos* de fácil acceso, en este caso placas *Arduino*. Los prototipos desarrollados son una cuba de ondas y un dispositivo para el estudio de la luz y la síntesis aditiva de colores, los contenidos de física y las prestaciones para las cuales se diseñaron los prototipos se determinaron en base a entrevistas a docentes del Profesorado en Física de la Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales de la UNaM. Los dispositivos finalizados fueron puestos a prueba en situaciones reales de enseñanza- aprendizaje de los contenidos para los cuales fueron diseñados, con alumnos y profesores del Profesorado en Física.

**Palabras clave:** Instrumental de laboratorio; Enseñanza de la física; *Sistemas embebidos*; *Arduino*.

## Abstract

This work proposes the design and construction of laboratory instruments with didactic purposes oriented to the teaching of physics contents. These devices are controlled by easily accessible embedded systems, in this case *Arduino* boards. The prototypes developed are a wave tank and a device for the study of light and the additive synthesis of colors, the contents of physics and the benefits for which the prototypes were designed were determined on the basis of interviews with teachers of the Faculty of Physics of the Faculty of Sciences Exacts, Chemical and Natural of the UNaM. The finished devices were put to the test in real situations of teaching-learning of the contents for which they were designed, with students and teachers of the Faculty in Physics.

**Keywords:** Laboratory instruments; Physics education; Embedded Systems; *Arduino*.

## I. INTRODUCCIÓN

El uso de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones en la enseñanza de las ciencias, y el acceso a *software* y *hardware* libres con fines didácticos, son cada vez mayores. Así, desde la cátedra de Electrónica del Profesorado en Física de la Universidad Nacional de Misiones surgió la necesidad de promover la utilización de estas tecnologías entre sus estudiantes y, a modo de integración de conocimientos, se propuso este trabajo, que incorpora conocimientos de programación, electrónica y física.

Por otra parte, se busca cubrir necesidades de instrumental de laboratorio para la enseñanza de contenidos específicos de la física con la elaboración de dispositivos de bajo costo diseñados a partir de los requerimientos de los docentes y egresados de la carrera.

Existen además muchas instituciones educativas que cuenta con instrumental desactualizado y en muchas ocasiones los equipos disponibles en el mercado tienen un alto costo o no se adaptan a las propuestas didácticas de los docentes.

## II. JUSTIFICACIÓN GENERAL

La actividad experimental es uno de los aspectos claves en el proceso de enseñanza y aprendizaje de las ciencias. Maiztegui (2002) expone varios argumentos sobre la necesidad de que estas actividades incorporen la dimensión tecnológica como algo consubstancial a la propia actividad científica. En este sentido,

este trabajo pretende que docentes y alumnos del Profesorado en Física conozcan diferentes tecnologías existentes en el mercado y sus posibles aplicaciones al diseño de actividades experimentales.

Por otro lado, indagar las necesidades, propuestas y requerimientos de docente y egresados del Profesorado conforman el puntapié inicial para plantear alternativas a las prácticas experimentales actuales en las que predomina la reproducción acrítica de experiencias tipo “recetas” para confirmar hechos y teorías mediante la obtención de resultados considerados casi siempre correctos. Esto sumaría acciones para lograr lo que en Idogaya y Maeyoshimio (2017) se denomina la “revolución pendiente” en torno a las actividades experimentales con el fin de lograr una mayor familiarización de los estudiantes con la naturaleza de la actividad científica.

En este trabajo se busca que las tecnologías sean incorporadas a la enseñanza de la física con participación importante de los docentes en el diseño de los dispositivos de manera que no sean estos quienes deban adaptar sus clases a equipos de laboratorios estándares.

Las tecnologías que se implementan en el desarrollo de este trabajo se conforman de plataformas de *software* y *hardware* libre con amplias ventajas frente a tecnologías educativas con licencias pagas. Entre estas ventajas se pueden mencionar la actualización permanente del *software* y de las placas de desarrollo, un gran número de usuarios alrededor del mundo, disponibilidad en el mercado local, compatibilidad de conexión con teléfonos inteligentes y la disponibilidad de diversos sensores y actuadores compatibles.

### III. ANTECEDENTES

Las placas de desarrollo basadas en *sistemas embebidos* surgen con el fin de facilitar el uso de la electrónica en proyectos multidisciplinarios, acercando la tecnología a estudiantes y programadores con niveles básicos de electrónica. Su implementación en educación se desarrolla, por lo tanto, en torno a la enseñanza y el aprendizaje de contenidos propios de las ciencias de la computación (Won-Sung, 2014; Soriano y otros, 2013) y algoritmos de control (Sobota y otros, 2013).

Los bajos costos y el desarrollo de un gran número de sensores y actuadores compatibles con *sistemas embebidos* de gran expansión como *Arduino* han convertido a esta tecnología en una alternativa económica para el desarrollo de actividades experimentales destinados a la enseñanza de las ciencias naturales. En la actualidad podemos encontrar diversos proyectos que incorporan estas tecnologías en instrumentos de laboratorio capaces de tomar medidas de diferentes magnitudes físicas para su posterior tratamiento estadístico, elaboración de gráficos o estudio de fenómenos físicos específicos (AbdelMasih y otros, 2015; Cavalcante y otros, 2011; De Souza y otros, 2011; Juanto y otros, 2015; Llera y otros, 2017).

También existen proyectos que proponen la puesta en valor de equipos de laboratorio desactualizados o en desuso mediante la adaptación de sensores y *sistemas embebidos* comerciales (Christiansen y otros 2016).

### IV. CONTEXTO

Este trabajo surge por iniciativa de docentes y alumnos de la cátedra de Electrónica del Profesorado en Física de la Universidad Nacional de Misiones, con la finalidad de integrar los conocimientos en electrónica con la enseñanza de la física. Para el desarrollo de los dispositivos que se exponen en esta publicación se trabajó en conjunto con docentes de la cátedra de Laboratorio I del Profesorado en Física a los fines de indagar requerimientos respecto a equipamiento necesario para sus prácticas de laboratorio. Así, en conjunto con los profesores de dicha cátedra se diseñó y construyó una cuba de ondas que permite controlar y conocer la frecuencia de las perturbaciones y un dispositivo para realizar experiencias de composición aditiva de colores.

Los prototipos fueron puestos a prueba con alumnos del segundo año del Profesorado en Física que cursaban la asignatura Laboratorio I.

### V. DETALLES DEL DISPOSITIVO: CUBA DE ONDA

Una cuba de onda es un dispositivo que permite el estudio de un gran número de fenómenos ondulatorios mediante la generación de perturbaciones en un recipiente rectangular que contiene agua. Un parámetro importante para el estudio de estos fenómenos es la frecuencia, por ello se diseñó un módulo que permita controlar la frecuencia de un tren de pulsos eléctricos mediante una placa *Arduino-Uno* (figura1). Las perturbaciones mecánicas son realizadas por un electroimán que se conecta a la placa *Arduino* mediante una interfaz electrónica (figura2).



FIGURA 1. Cuba de ondas.

El programa que controla al dispositivo se desarrolló en *miniBloq* y permite cambiar la frecuencia de las perturbaciones mediante una modificación en una línea de programación. El equipo presenta un buen funcionamiento para frecuencias en el rango de 5 Hz a 20 Hz.

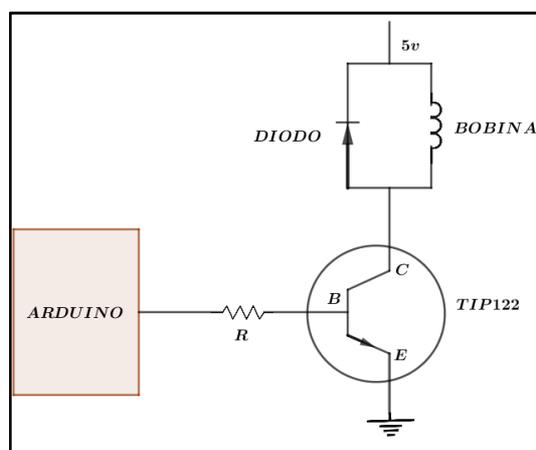


FIGURA 2. Diagrama esquemático de conexión de la bobina a la placa *Arduino*.

## VI. DETALLES DEL DISPOSITIVO: SÍNTESIS ADITIVA DE COLORES

Dispositivo para el estudio de la luz y la síntesis aditiva de colores (figura 3), permite combinar luces de tres colores: rojo, verde y azul de forma controlada con el fin de analizar cómo se constituyen los demás colores del espectro visible y el blanco a partir de estos tres y cómo se reflejan estas luces en objetos de diferentes colores y texturas para el estudio de la absorción y reflexión de colores.

Como fuente de luz se utiliza una tira de ledes de cada color que incluyen tres diodos en serie. La intensidad de luz en cada color se controla por modulación de ancho de pulso a través de las salidas analógicas de una placa *Arduino-Mega*. Estas luces también pueden encenderse y apagarse de forma selectiva.

Los comandos de entrada para el control de las luces se realizan por medio de un teléfono inteligente o una tableta que permita la instalación de la aplicación *ArduDroid*, la interfaz de la aplicación incluye botones para salidas digitales y deslizadores para el control de salidas analógicas. La comunicación del teléfono inteligente con la placa *Arduino* se establece mediante un módulo *bluetoothHC-05*.

Además, se diseñó una interfaz electrónica que permite adaptar los valores de corriente y tensión necesarios para alimentar los ledes (figura 4).

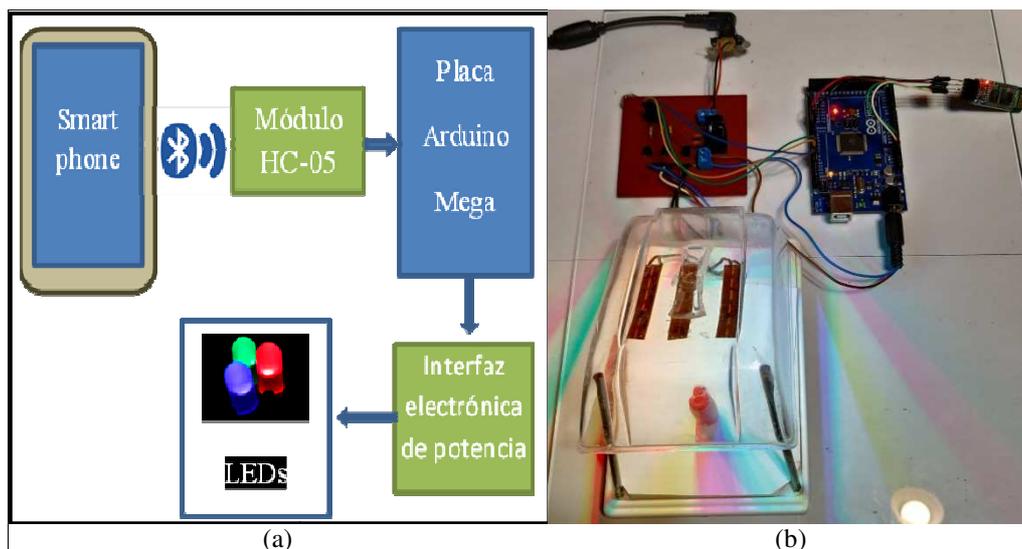


FIGURA 3. a) Diagrama en bloques del dispositivo; b) Dispositivo desarrollado.

Este dispositivo no requiere conocimientos de programación por parte de quienes quieran construirlo, ya que el código que se debe cargar en la placa *Arduino* está incluido en la aplicación *ArduDroid* y se puede obtener en la página web de la aplicación. También es importante resaltar que la implementación de ledes en tiras proporciona mejores resultados que los diodos comunes de 5mm.

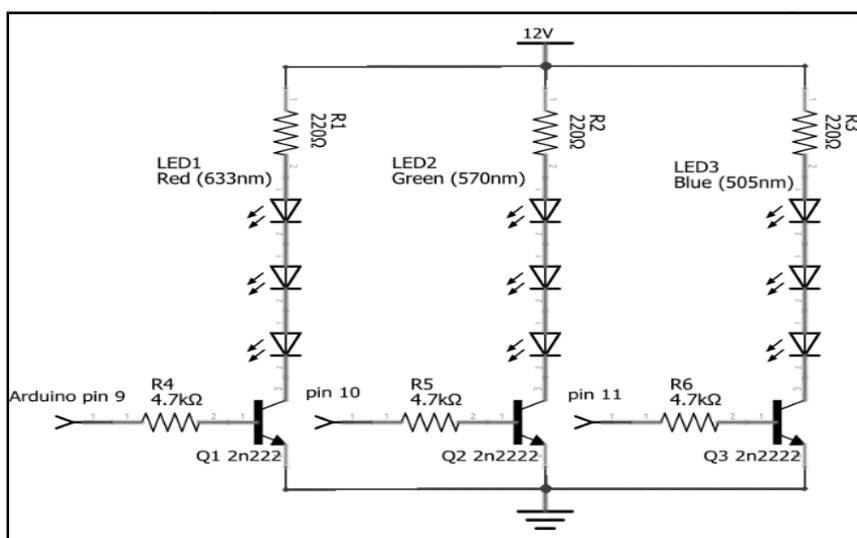


FIGURA 4. Circuito electrónico esquemático. Las resistencias R1, R2 y R3 están incluidas en las tiras de ledes.

## VII. IMPLEMENTACIÓN Y RESULTADOS

Los instrumentos desarrollados se implementaron en un grupo de alumnos que cursaba la asignatura Laboratorio I con consignas elaboradas por los docentes responsables de dicha cátedra.

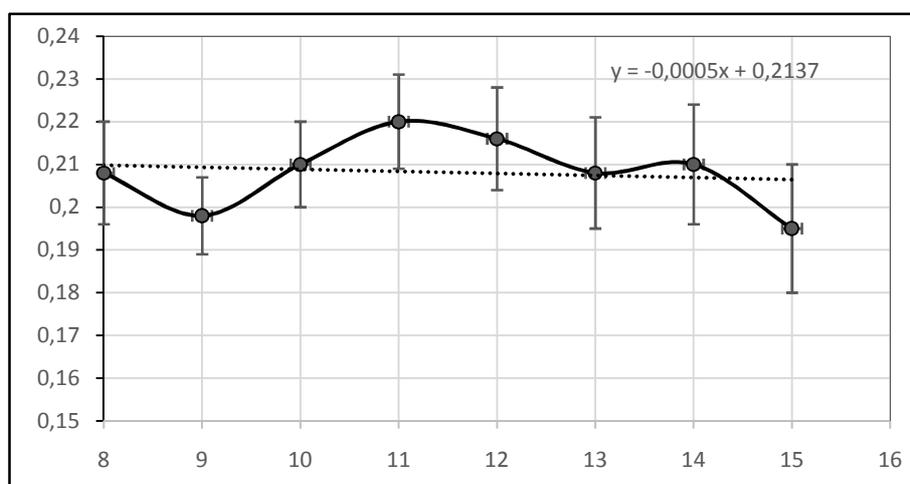
La cuba de ondas permite realizar experiencias cualitativas como cuantitativas. A continuación, se expone el resultado de una actividad que consistió en determinar la velocidad de propagación de la onda en el agua.

En esta experiencia la cuba de ondas se montó sobre un antiguo retroproyector, para obtener una imagen de las perturbaciones proyectada sobre una pared blanca, los alumnos tomaron fotografías de las proyecciones con el fin de medir sobre las mismas la longitud de onda. Una escala graduada fue dispuesta en la cuba para las mediciones de longitud, se consideró un error de apreciación de 2 mm debido al espesor de las líneas de ondas que se tomaron como referencia para las mediciones.

En esta práctica se trabajó con una columna de agua de tan solo 4 mm para obtener una experiencia donde la velocidad de propagación de las perturbaciones fuera independiente de la frecuencia según el modelo de aguas poco profundas (Welti, 2005). Esta independencia queda reflejada en la figura 5, donde la línea de tendencia que relaciona las velocidades respecto a la frecuencia es prácticamente horizontal.

**TABLA I.** Valores experimentales de longitud de onda y velocidad de propagación medidos por los alumnos.

Frecuencia (Hz)	Longitud de onda (m)	Velocidad (m/s)
8	0,026 ± 0,002	0,208 ± 0,024
9	0,022 ± 0,002	0,198 ± 0,018
10	0,021 ± 0,002	0,21 ± 0,02
11	0,02 ± 0,002	0,22 ± 0,022
12	0,018 ± 0,002	0,216 ± 0,024
13	0,016 ± 0,002	0,208 ± 0,026
14	0,015 ± 0,002	0,21 ± 0,028
15	0,013 ± 0,002	0,195 ± 0,03



**FIGURA 5.** Relación velocidad de propagación respecto a las frecuencias.

El dispositivo para el estudio de la luz y la síntesis aditiva de colores permite realizar prácticas cualitativas como experiencia introductoria al estudio de fenómenos ópticos.

En la actividad desarrollada se proporciona a los alumnos una serie de preguntas que deben responder de forma individual según sus conocimientos previos, teniendo en cuenta que ya han trabajado contenidos relacionados a la luz y el espectro electromagnético. En la tabla 2 se expone una selección de preguntas y respuestas de un grupo de 7 alumnos.

**TABLA II.** Preguntas y respuestas previas a la experiencia.

Preguntas y Respuestas	Frecuencia
<b>1 ¿Cómo podemos definir a la luz blanca?</b>	
La luz blanca es la suma de todos los colores	3
La luz blanca es la superposición de todos los colores	3
La luz blanca es luz muy intensa	1
<b>2 ¿De qué color se vería un objeto rojo si lo iluminó solo con luz azul?</b>	
Se vería de algún color oscuro	1
Se vería de color negro	2
Se ve violeta	4
<b>3 ¿De qué color se vería una hoja blanca si la iluminó solo con luz roja?</b>	
Se sigue viendo blanca	1
Se vería roja	6

Se observa que la mayoría de los estudiantes tiene una idea acertada sobre el concepto de luz blanca, pero desconocen la posibilidad de obtener el color blanco mediante la superposición de luces roja, verde y azul. Por otro lado, hay una notable influencia de conocimientos aprendidos a edades tempranas sobre la

combinación de pigmentos que los hace pensar que la respuesta a la segunda pregunta podría ser violeta. Estas respuestas son contrastadas con la experiencia al utilizar el dispositivo y algunos alumnos concluyen reformulando las suyas.

La experiencia comienza identificando que el equipo solo emite luz roja, verde y azul. Luego se solicita a los estudiantes que varíen las intensidades de cada color sobre un fondo blanco con lo que obtienen una gama de diferentes colores hasta llegar al blanco cuando las tres luces poseen una intensidad similar. Un momento interesante de la experiencia tienen lugar cuando se pone a prueba la pregunta número dos, ya que es notable la expresión de asombro en los estudiantes al ver que una tapa de birrome de color rojo se vuelve de color negro cuando apaga la luz roja. Estas experiencias son el punto de partida para reflexionar sobre cómo interactúa la luz con los objetos y nuestra vista. Para finalizar los estudiantes ponen a prueba sus nuevas ideas introduciendo en el dispositivo objetos de diversos colores para iluminarlos con diferentes combinaciones de luces.

## VIII. METODOLOGÍA Y PLAN DE TRABAJO A FUTURO

En primer lugar, se indagará sobre las necesidades y requerimientos de profesores y egresados del Profesorado en Física respecto al equipamiento de laboratorio en sus lugares de trabajo.

Este objetivo se llevará a cabo mediante encuestas y entrevistas a profesores y egresados del Profesorado en Física con el fin de conocer sus experiencias en el desarrollo de actividades experimentales, si cuentan con equipos de laboratorio, si el mismo se adapta a sus propuestas didácticas y cómo resuelven los inconvenientes que se les presentan.

Un segundo objetivo es calibrar sensores y actuadores. Las mediciones de los sensores se pondrán en comparación con un patrón de referencia con el fin de reconocer la existencia de errores sistemáticos o aleatorios en sus desempeños y proceder a su calibración. Se pretende también examinar los rangos de operación, tiempos de respuesta y sensibilidad de los diferentes sensores y actuadores con el fin de poseer criterios para su elección según las características del instrumental a desarrollar.

En tercer lugar, se diseñará y desarrollará el instrumental de laboratorio. A partir de la información obtenida de las entrevistas y encuestas a profesores y egresados del Profesorado en Física y del análisis del Diseño Curricular Jurisdiccional en Física de la Provincia de Misiones, se definirán qué fenómenos físicos serán considerados para el diseño de los prototipos. El diseño se llevará a cabo en conjunto con los profesores que los implementarán de manera que el instrumento desarrollado se adapte a sus propuestas didácticas. Los integrantes del equipo trabajarán en el desarrollo de los circuitos electrónicos necesarios, programación de los sistemas embebidos, implementación de sensores y actuadores y construcción de las estructuras mecánicas que se requieran.

Por último, se espera evaluar los prototipos desarrollados, esta acción se realizará en conjunto con los docentes y alumnos para los cuales se diseña cada dispositivo, realizando los ajustes o modificaciones que se requieran.

## IX. CONCLUSIONES

Los dispositivos desarrollados se desempeñaron de manera eficaz para los fines con que fueron diseñados, a la vez que provocaron interés en los alumnos y docentes respecto a las tecnologías implementadas. Los primeros dispositivos se realizaron con los circuitos y placas al descubierto de manera que se pudiera apreciar lo sencillo de su construcción. En cada presentación surgieron nuevas ideas y propuestas en torno a diferentes contenidos y experiencias, lo que nos da fortaleza y material para seguir trabajando.

A posteriori se trabajará en la profesionalización del equipo en los diferentes *sistemas embebidos* con el fin de brindar capacitaciones a docentes de la Provincia de Misiones que deseen replicar estas experiencias de trabajo en sus respectivas instituciones educativas.

La implementación de *software* y *hardware* libres también nos permitirá en un futuro construir y publicar un repositorio con los planos, circuitos y detalles técnicos de los dispositivos para que puedan ser replicados y evaluados por los docentes que decidan construirlos.

## REFERENCIAS

AbdelMasih, S., Colombo, H., Lagomarsino, F., Papalia, D. y Sciancalepore, R. (2015). *Arduino y Matemática: simulaciones más allá del proceso de enseñanza y aprendizaje. XVII Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación*, 16 y 17 de abril, Salta.

Cavalcante, M. A., Tavolaro, C. R. C. y Molisani, E. (2011). Physics with *Arduino* for beginners. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 33(4), 4503-1– 4503-9.

Christiansen, R., Hanna, F., Agüero, E. y Pereyra, N. (2016). Experimentos de física utilizando *Arduino*<sup>TM</sup>. *Revista de Enseñanza de la Física*, 28, 23-28.

De Souza, A. R., Paixão, A. C., Uzêda, D. D., Dias, M. A., Duarte, S. y de Amorim, H. S. (2011). A placa *Arduino*: uma opção de baixo custo para experiências de física assistidas pelo PC. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 33(1), 1702-1– 1702-5.

Idogaya, I. y Maeyoshimio, J. (2017). Las actividades experimentales simples: una alternativa para la enseñanza de la física. En: Lorenzo, M. G., Ortolani, A. E. y Odetti, H. S. (2017). *Comunicando la ciencia: Avances en investigación en didáctica de la ciencia*. Santa Fe: Ediciones UNL

Juanto, S., Cristofoli, N., Alustiza, D., Abraham, I., Prodanoff, F. y Zapata, M. (2015). Caso de desarrollo tecnológico local, generación de material didáctico de bajo costo para la implementación de trabajos de laboratorio. *Repositorio Institucional Abierto de la Universidad Tecnológica Nacional (RIA), Facultad Regional de la Plata*. <http://hdl.handle.net/123456789/2421> Sitio consultado en Julio de 2019.

Llera, M., Scagliotti, A. y Jorge G. (2017). Conectando ciencias: interfaces educativas usando el entorno *Arduino*. *Revista de Enseñanza de la Física*, 29, 381-389.

Maiztegui, A. (2002). Papel de la tecnología en la educación científica: una dimensión olvidada. *Revista Iberoamericana De Educación*, 28, 129-155.

Sobota, J., PiŚl, R., Balda, P. y Schlegel, M. (2013). Raspberry Pi and *Arduino* boards in control education. *IFAC Proceedings Volumes*, 46(17), 7-12.

Soriano, A., Marín, L., Juan, R., Casalilla, J., Valera, A., Vallés, M. y Albertos, P. (2013). Plataforma robótica de bajo coste y recursos limitados basada en *Arduino* y dispositivos móviles. *XXXIV Jornadas de Automática*, 22 de febrero, Terrassa, Barcelona.

Welti, R. (2005). La física del Tsunami Ondas superficiales en el agua. *Revista de Enseñanza de la Física*, 18(1), 83-92.

Won-Sung S. (2014). Design and Evaluation of Computer Programming Education Strategy using *Arduino*. *Advanced Science and Technology Letters*, 66, 73-77.

#### Sitios web consultados

##### *ArduDroid*

[https://play.google.com/store/apps/details?id=com.techbitar.android.Andruino&hl=es\\_AR](https://play.google.com/store/apps/details?id=com.techbitar.android.Andruino&hl=es_AR)  
<http://www.techbitar.com/ardudroid-simple-bluetooth-control-for-arduino-and-android.html>

##### *Arduino*

<https://www.arduino.cc/>

##### *miniBloq*

<http://blog.minibloq.org/>