

## CMS orientado a la enseñanza y aprendizaje de la Computación Física y el OSHW

Carlos R. Primorac<sup>1</sup>, Romina Y. Alderete<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Estudiante, Licenciatura en Sistemas de Información, Universidad Nacional del Nordeste  
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura  
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura, 9 de julio 1449 (3400) Corrientes  
carlosprimorac@gmail.com

<sup>2</sup>Directora Proyecto Final de Carrera, Licenciatura en Sistemas de Información,  
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura, 9 de julio 1449 (3400) Corrientes  
ary\_59@hotmail.com

**Resumen.** En este trabajo se presenta un Sistema de Gestión de Contenidos, concebido como un espacio de aprendizaje abierto constructivista y constructorista, resultado del estudio y experimentación con plataformas de Hardware de Fuentes Abiertas (OSHW), un nuevo paradigma que ha comenzado a recibir mucha atención y un término empleado para denominar artefactos tangibles, cuyo diseño ha sido publicado de forma que cualquier persona pueda fabricarlos, utilizarlos, modificarlos y distribuirlos. El OSHW combina hardware y software, flexibles y fáciles de usar en una plataforma para la Computación Física, un enfoque centrado en el uso de la tecnología y un marco creativo, con un fuerte componente educativo que destaca el valor de la experiencia práctica. Se indagó en los aspectos fundamentales de ambos paradigmas y se seleccionó la plataforma Arduino, representativa de estas corrientes, como vehículo para el desarrollo experimental.

**Keywords:** Computación Física, OSHW, prototipos, sistemas físicos interactivos

### 1 Introducción

Desde el surgimiento de la era de la computación, software, hardware e industria han vivido una sinergia, impulsando cambios importantes y permitiendo la creación de nuevas tecnologías [1].

La Iniciativa para el Código Abierto (OSI: Open Source Initiative) [2], ha tenido un impacto significativo en este fenómeno que se ha ido incrementando cada vez más en los últimos años, contribuyendo en la investigación académica, cambiando la forma de hacer negocios de muchas empresas y la sociedad.

Según Powell [3] los intentos por extender y ampliar las prácticas de fuentes abiertas hacia la apertura del diseño de objetos materiales que incluyen hardware, han sido inspirados por el éxito comercial de la OSI junto con corrientes de pensamiento

de conocimiento libre y otras que involucran manualidades (makers) y del tipo hazlo-tu-mismo (DIY: do-it-yourself).

Más recientemente, un nuevo paradigma conocido como Hardware de Fuentes Abiertas (OSHW: Open Source Hardware), está cambiando la forma en la cual los productos serán diseñados, construidos y comercializados en el futuro [1].

### 1.1 OSHW

En su declaración de principios, la Asociación de Hardware de Fuentes Abiertas (OSHWA: Open Source Hardware Association) [4], establece “El Hardware de Fuentes Abiertas (OSHW en inglés) es aquel hardware cuyo diseño se hace disponible para que cualquier persona lo pueda estudiar, modificar, materializar y vender, tanto el original como los otros objetos basados en ese diseño”. Se entiende por fuentes del hardware a los archivos de diseño a partir del cual está construido, los cuales deben estar disponibles en un formato apropiado que permita realizar las modificaciones.

En los últimos años, los movimientos makers y DIY han resurgido en grupos que se centran en la construcción de prototipos y la reutilización de objetos, promoviendo el crecimiento de una comunidad de OSHW que incluye a una gran colectividad de empresas, grupos e individuos que están comenzando a desarrollarlo.

Se coincide con Díaz [1] en la importancia de estos movimientos como multiplicadores de fenómenos innovadores y excelentes medios para explotar la creatividad y transformar ideas en productos.

El OSHW proporciona acceso libre a un núcleo centralizado de intercambio de información en línea. Así, el desarrollo conjunto de la tecnología entre comunidades, universidades, empresas y gobiernos, facilitado por este intercambio de información, crea una red de innovación simultánea (Fig. 1) [5].

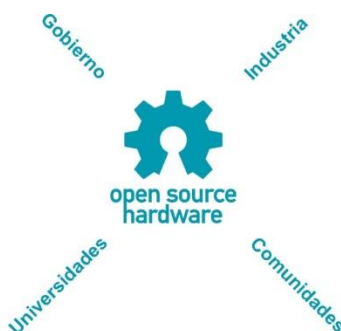


Fig. 1. Red de innovación simultánea entre actores del OSHW [Fuente: 5]

### 1.2 Computación Física (Physical Computing)

Es un enfoque general hacia la interacción hombre-computadora, centrado en el uso de la tecnología como medio para mejorar las capacidades humanas de expresarse y comunicarse por medio de computadoras, el cuál además incluye un fuerte

componente educativo que destaca el valor de la experiencia práctica en la comprensión de procesos complejos [8].

En un sentido amplio, la Computación Física trata de la construcción de sistemas físicos interactivos que pueden percibir y responder al mundo analógico utilizando software y hardware. Se describe como un marco creativo para la comprensión de los seres humanos con el mundo digital [9].

Los defensores de esta noción argumentan que estos sistemas tienen una riqueza sensorial no presente en aquellos basados únicamente en pantallas, permiten entrenar habilidades cognitivas y perceptivas en conjunto y además ayudan a construir interfaces más fáciles y divertidas de usar [10] [11] [12].

La Computación Física comprende el uso de la tecnología como aplicación para la recopilación, procesamiento, almacenamiento y difusión de información a través de la electrónica, la computación y las comunicaciones (Fig. 2).

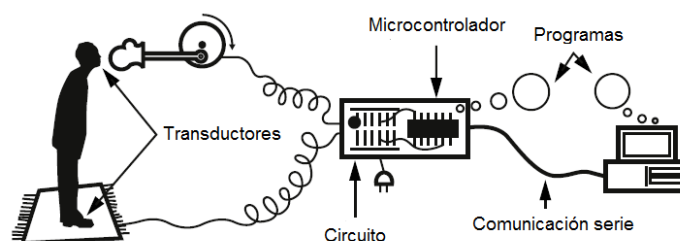


Fig. 2. Sistema de Computación Física [Fuente: 8]

El transductor es el dispositivo que convierte una señal de una forma física en una señal correspondiente pero de otra forma física. Dado que hay seis tipos de señales: mecánicas, térmicas, magnéticas, eléctricas, ópticas y químicas, cualquier dispositivo que convierta una señal de un tipo en otro debería considerarse un transductor [13].

Es importante distinguir entre transductores de entrada (señal física / señal eléctrica) y de salida (señal eléctrica / presentación). Los primeros pretenden obtener información mientras que los segundos buscan presentarla. La tendencia es emplear el término sensores para designar transductores de entrada y actuadores para referirse a transductores de salida. La magnitud con la que se representa o transmite la información se conoce con el nombre de dominio de datos [14].

Los términos analógico y digital hacen posible la identificación de los requerimientos del sistema. Los eventos del mundo físico se pueden ver como un rango continuo de valores o como dos estados diferenciados. En el tiempo, estos acontecimientos pueden sucederse uno a la vez (en serie) o presentarse simultáneamente (en paralelo) [8].

El microcontrolador, el elemento principal, es una pequeña computadora embebida en un circuito integrado (CI: Integrated Circuit) que cumple con tres propósitos: i) recibir información de sensores, ii) controlar actuadores y iii) enviar información a otras computadoras. Los circuitos electrónicos, constituyen la interfaz entre transductores y computadoras de control [8] [15] [16].

Las capacidades de proceso y entrada/salida de microcontroladores se combina con la potencia de procesamiento y programación de computadoras multimedia.

Finalmente, la comunicación en serie, ofrece la mayor flexibilidad para el envío de mensajes entre equipos [16].

### **1.3 Plataformas de OSHW**

El OSHW combina hardware y software flexibles y fáciles de usar en una plataforma para la Computación Física. El hardware consiste en una placa electrónica basada en un microcontrolador el cual ofrece todo el soporte requerido para la conexión con dispositivos de entrada/salida y la comunicación con otras computadoras. El software ofrece un Entorno de Desarrollo Integrado (IDE: Integrated Development Environment) que facilita el desarrollo de los programas.

## **2 Objetivos**

Investigar y desarrollar aplicaciones utilizando herramientas OSHW para promover el aprendizaje de Ciencias de la Computación en el marco del paradigma de la Computación Física.

## **3 Fundamentos**

En los últimos años, la educación en ciencias de la computación se ha extendido y cobrado importancia en diversos grados de ingenierías y ciencias. Frecuentemente los docentes responsables de diseñar un curso de programación se enfrentan con un desafío complejo, estudiantes con dificultades para asimilar los principales conceptos, que consideran la asignatura alejada de sus intereses o se sienten incómodos cuando tienen que resolver ejercicios [17][18].

Siguiendo a Przybylla y Romeike [18], el aprendizaje constructor tiene una larga tradición en la enseñanza de las ciencias de la computación y proporciona a la disciplina simples y poderosas herramientas basadas en las ideas de Papert.

El constructorismo, una teoría del aprendizaje y una estrategia para la educación fundada sobre el constructivismo, afirma que el conocimiento no se transmite simplemente del maestro al alumno, sino que es activamente construido en la mente del estudiante. En el centro de todo proceso de aprendizaje es el papel activo de quien aprende el que amplía su conocimiento a través de la manipulación y construcción de objetos [21].

En esta línea, el estilo pedagógico de la Computación Física, una tecnología educativa emergente, puramente constructivista y constructorista presenta las siguientes ventajas [22]:

- Provee un espacio para la experimentación con tecnologías embebidas.
- Fomenta prácticas de diseño y trabajo en equipos interdisciplinarios.
- Atrae estudiantes a una disciplina emergente.

- Estimula el pensamiento creativo.
- Facilita la enseñanza de la programación.
- Aplica tecnologías emergentes para desarrollar herramientas educativas.
- Mejora procesos de aprendizaje.

Se han realizado varios estudios analizando la viabilidad y efectividad de la Computación Física en la enseñanza de la programación en todos los niveles. La mayoría se enmarcan en dos grandes líneas [19] [20]:

- Kits de robótica educativa para ejercitar la programación.
- Utilización de dispositivos electrónicos fáciles de programar.

Por otro lado, la disminución de los costos, el aumento de las prestaciones, la alta integración y flexibilidad de los microcontroladores facilitó el desarrollo de nuevas aplicaciones, influyendo en las políticas de las compañías para ofrecer gratuitamente la documentación y el software para sus productos. En este sentido, el OSHW:

- Combina hardware y software flexibles y fáciles de usar.
- Ofrece componentes de alta disponibilidad y contenidos sin restricciones.
- Maximiza la habilidad de las personas para materializar y utilizar el hardware, dando la libertad de controlar la tecnología y compartir conocimientos.
- Es accesible, extensible y adaptable.
- Está soportado por una creciente comunidad en línea.
- Representa un avance, tanto en la transferencia de conocimientos tecnológicos como en la posibilidad de contar con herramientas a medida en corto plazo.

Es de interés aportar experiencias innovadoras en los métodos de enseñanza de las ciencias de la computación, iniciando la investigación de tecnologías emergentes y estrategias educativas utilizando dispositivos electrónicos que combinan hardware y software flexibles fáciles de utilizar.

#### **4 Metodología**

El trabajo se desarrolló en tres etapas: i) recopilación y organización de la información que se utilizó como marco teórico del tema abordado y como sustento para el desarrollo experimental; ii) Selección de una plataforma de OSHW, investigación y desarrollo de experimentos y construcción de prototipos; iii) desarrollo e implementación de un CMS para la difusión de los contenidos.

En la segunda etapa, se seleccionó la plataforma Arduino [6], representativa de los paradigmas del OSHW y la Computación Física. Para el desarrollo de los experimentos se estableció un marco de trabajo compuesto por cinco actividades, las cuales se aplicaron siguiendo un modelo de proceso iterativo de construcción de prototipos.

Finalmente, en la tercer etapa se consideraron las cuatro etapas que emergen como respuesta a pequeños proyectos de software: i) análisis, ii) diseño, iii) desarrollo y iv) implementación y aplicándolas siguiendo un modelo de proceso iterativo e incremental.

## 5 Herramientas y lenguajes de programación

### 5.1 Arduino

Es una plataforma OSHW para la Computación Física, basada en hardware y software flexible y fácil de utilizar. Se inició en el 2005, como un proyecto en el Interaction Design Institute Ivrea, en la ciudad de Ivrea al norte de Italia, dentro de un programa de maestría en diseño de interacción, con el objetivo de proporcionar una herramienta accesible para los estudiantes [6] [7].

El hardware de Arduino consiste de un microcontrolador Atmel® AVR ATmega [23], montado sobre una placa de circuito impreso (PCB: Printed Circuit Board) con todos los componentes de soporte necesarios para trabajar (Fig. 3).



**Fig. 3.** La placa Arduino UNO, modelo de referencia de la plataforma [Fuente: 6]

El software de Arduino simplifica el proceso de desarrollo sin limitar la flexibilidad del usuario. Se basa en varios proyectos OSS, adaptados al hardware y ocultando sus complejidades. Consta de dos componentes principales: un IDE y un conjunto de librerías de código fuente. El IDE (Fig. 4), es un editor de código fuente, minimalista, completo y multiplataforma, desarrollado en Java, basado en Processing [24] y Wiring [25].

El corazón de las librerías es un conjunto de funciones AVR C/C++ [26], las cuales encapsulan los aspectos de programación de bajo nivel del microcontrolador y se compilan junto con los programas desarrollados por el usuario, en C/C++, denominados *sketches*.

### 5.2 Processing

Es un lenguaje y un entorno de software construido sobre Java, flexible para el aprendizaje de la programación de computadoras en el contexto de las artes visuales [24]. Fue desarrollado en el 2001 por el grupo ACG (Aesthetics and Computation Research Group) del MIT Media Lab, inspirado en lenguajes como BASIC y Logo. Desde entonces, ha promovido la alfabetización del software dentro de las artes visuales, el diseño digital y la tecnología.

### 5.3 Fritzing

Es una iniciativa OSHW que hace a la electrónica accesible como material creativo para cualquier persona. Ofrece una herramienta de software para automatizar el diseño electrónico (ECAD: Electronic Computer Design Automation) (Fig. 5), fomentando un ecosistema creativo cuyo objetivo es documentar y compartir prototipos, enseñar electrónica y diseñar placas PCB de manera casi profesional [27].

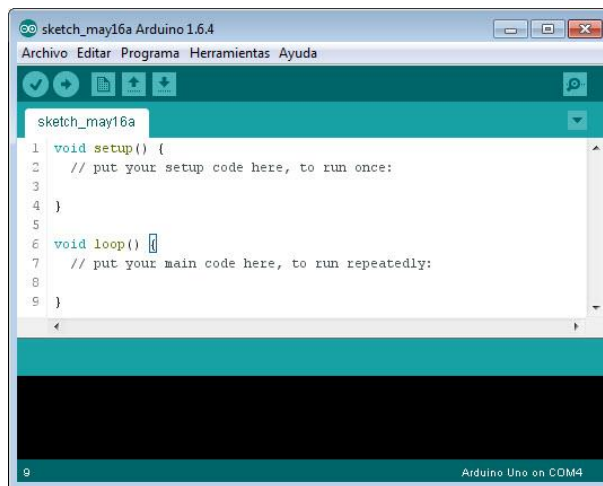


Fig. 4. EL IDE de Arduino [Fuente: elaboración propia]

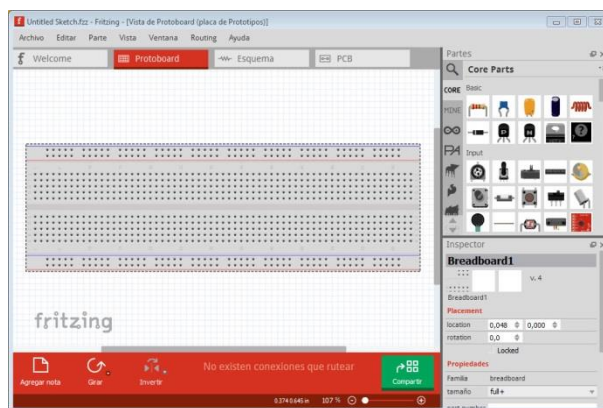


Fig. 5. El IDE Fritzing [Fuente: elaboración propia]

## 6 Resultados

### 6.1 CMS para la difusión de los resultados

Fue concebido como un espacio abierto de aprendizaje constructivista y constructorista e integra los resultados obtenidos empleando la plataforma Arduino como vehículo para explorar los conceptos de la Computación Física [28].

Los temas abordados y experimentos desarrollados se ilustran mediante videos instructivos en los cuales se comentan los componentes utilizados, se explican los conceptos, se desarrollan experimentos y se construyen prototipos que demuestran el conocimiento expuesto. Además se incluye una lista con los componentes y las herramientas utilizadas, enlaces útiles, esquemas de circuitos construidos y código fuente de los programas desarrollados. Adicionalmente, se proponen experimentos que emplean los conceptos expuestos y se estimula a resolver un cuestionario de autoevaluación que permite valorar los conocimientos adquiridos.

En la Fig. 6, se puede apreciar la organización de los contenidos y servicios ofrecidos a los visitantes, los cuales se dividieron en cinco secciones:

- Principal.
- Contenido.
- Materiales.
- Proyectos.
- Autoevaluaciones.

La sección Contenidos, agrupa en cuatro partes nueve capítulos en los cuales se desarrollan los conceptos, experimentos y se construyen prototipos.



**Fig. 6.** Organización de los contenidos y servicios públicos ofrecidos en el CMS  
[Fuente: elaboración propia]



En la primera parte, se hace una introducción a la plataforma Arduino, la Computación Física y el OSHW, se explica el proceso de instalación y configuración del software y hardware de la plataforma y se realiza la primera experiencia con la placa.

En la segunda Parte, se exponen los conceptos de entrada y salida tanto analógica como digital, se presentan los transductores y se explica cómo construir las interfaces o circuitos electrónicos para conectarlos con el microcontrolador.

El capítulo 3, comienza explicando el uso de la placa de pruebas (protoboard) como herramienta para la construcción de prototipos de circuitos electrónicos, se introduce el concepto de salida digital, y se realiza el primer experimento construyendo y programando el primer prototipo. Finalmente se ilustra el uso de la herramienta Fritzing para la documentación de proyectos.

En el capítulo 4 se trata la interacción del usuario con el sistema. Se exploran los conceptos de entrada digital, se presentan los transductores y los circuitos necesarios para conectarlos con el microcontrolador y leer la entrada proporcionada por el usuario. Asimismo, se comentan algunas técnicas de software para eliminar efectos no deseados.

El capítulo 5, aborda el concepto de salida analógica. Se expone la técnica de la modulación por ancho de pulso (PWM: Pulse Width Modulation) y se desarrollan experimentos, construyendo y programando prototipos que ilustran su funcionamiento y aplicación.

En el capítulo 6, se introduce la noción de entrada analógica. Se comenta y analiza el proceso de conversión analógico-a-digital y el funcionamiento del conversor analógico-a-digital (ADC: Analog to Digital Converter) de la placa Arduino. Se construyen prototipos que ilustran los principales circuitos electrónicos de adquisición de datos que proporcionan una interfaz con el mundo analógico.

La Tercera Parte, contiene experimentos en los cuales se estudian diversos dispositivos utilizados para generar movimiento y responder o actuar en el mundo físico y se exponen las técnicas de manipulación y las interfaces requeridas para controlar cargas inductivas de alto consumo.

En el capítulo siete, se presentan los componentes, circuitos electrónicos, software y técnicas necesarios para la operación de motores de corriente continua. Asimismo se introducen los CI que permiten ahorrar costos, tiempo y facilitan el desarrollo de proyectos.

En el capítulo ocho, se analizan los principios de funcionamiento y accionamiento de motores paso a paso (PaP). Asimismo, se desarrollan los circuitos electrónicos y se implementan las técnicas requeridas para conectar y controlar motores PaP tanto bipolares como unipolares.

Finalmente, en la cuarta parte, el capítulo nueve introduce el concepto de sensores. Se desarrollan experimentos que ilustran las interfaces y técnicas necesarias para conectar, obtener, procesar y visualizar medidas del mundo analógico.

En todos los capítulos se comentan y explican los componentes necesarios, conceptos fundamentales, circuitos de interfaz y se desarrollan experimentos construyendo y probando prototipos. En la Fig. 7, se puede apreciar uno de los apartados de la sección contenidos.



Fig. 7. Uno de los apartados de la sección contenidos [Fuente: elaboración propia]

La sección Autoevaluaciones, contiene una lista de enlaces hacia los cuestionarios de autoevaluación que permiten valorar los conocimientos adquiridos. Agrupados por capítulos, se presentan en grupos aleatorios de cinco preguntas con diferente estructura: respuesta única, múltiple, libre, ordenar, relacionar en parejas y completar espacios en blanco (Fig. 8).

Al finalizar cada autoevaluación, el sistema presenta un resumen junto con los resultados obtenidos: cantidad de respuestas correctas, tiempo empleado, puntaje obtenido, porcentajes de puntuación del usuario y del promedio. Adicionalmente, se puede optar por mostrarlos en un ranking de mejores puntuaciones o volver realizar el test si no se está conforme.

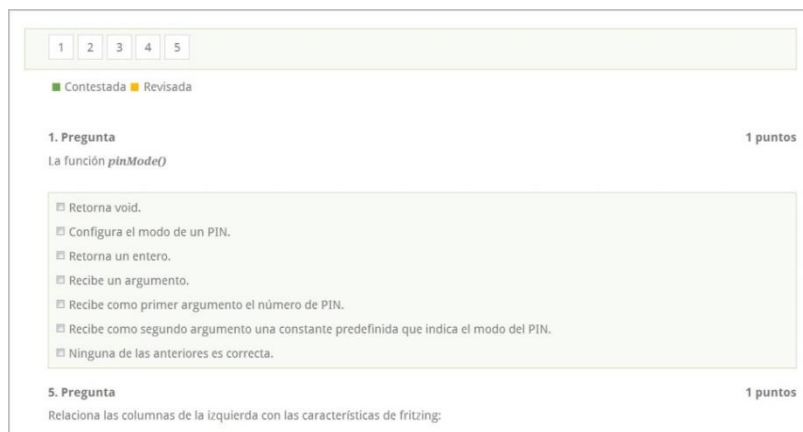


Fig. 8. Cuestionario de autoevaluación [Fuente: elaboración propia]

## **6.2 Algunos prototipos construidos**

### **Sensor de colores RGB de bajo costo.**

Para la identificación de un color se requieren tres componentes: i) una fuente de luz, ii) un detector de luz y iii) el objeto de color a detectar.

Los sensores existentes en el mercado consisten de un IC monolítico compuesto por un arreglo de fotodiodos acoplado a filtros rojo, verde y azul (RGB: Red, Green and Blue) que generan curvas de respuestas separadas para cada color.

La aplicación de fotorresistencias o resistencias dependientes de luz (LDR: Light-Dependent Resistor) como detectores de luz, permiten el desarrollo de sensores de colores de bajo costo y aceptable precisión con fines prácticos.

En la Fig. 9, se puede apreciar una ilustración del sistema construido en el cual se utilizó como fuente de luz un LED RGB de cátodo común y alta eficiencia, como detector de luz una fotorresistencia de sulfuro de cadmio (CdS: Cadmium Sulfide), la cual tiene una respuesta espectral similar a la del ojo humano y, con fines didácticos y de experimentación, como objetos del color a detectar se utilizaron una serie de tarjetas confeccionadas en cartulina.

### **Sistema de control de humedad y temperatura.**

Una de las características de los Sistemas de Computación Física, es la posibilidad de operar independientemente de la computadora. La información obtenida a través de sensores se puede desplegar y presentar al usuario utilizando una gran variedad de dispositivos.

Se construyó un prototipo de sistema que permite monitorizar la temperatura y humedad ambiente presentándola al usuario a través de una pantalla de cristal líquido (LCD: Liquid Crystal Display). Además, proporciona una interfaz de usuario que permite la interacción para ajustar la temperatura a un valor deseado.

El corazón del sistema es el DHT11, un sensor de temperatura y humedad de bajo costo, alta confiabilidad y estabilidad.

Un relay, permite controlar una carga inductiva de alto consumo encargada de la climatización. El sistema es alimentado por una fuente regulada y es completamente independiente de la computadora (Fig. 10).

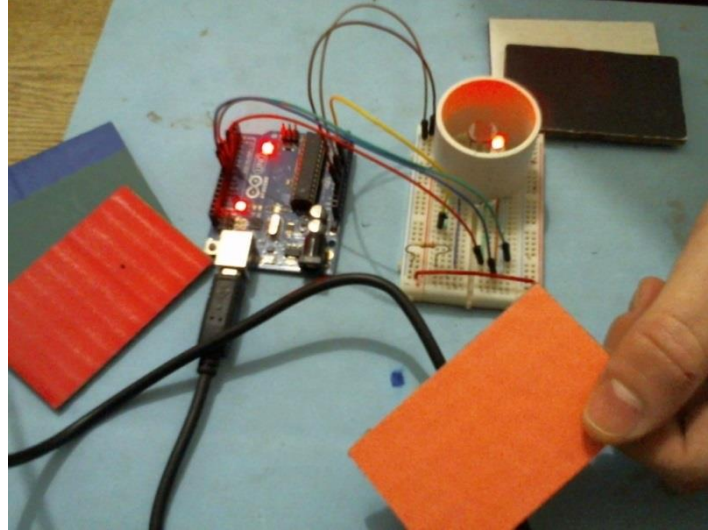


Fig. 9. Sensor de colores RGB de bajo costo [Fuente: elaboración propia]

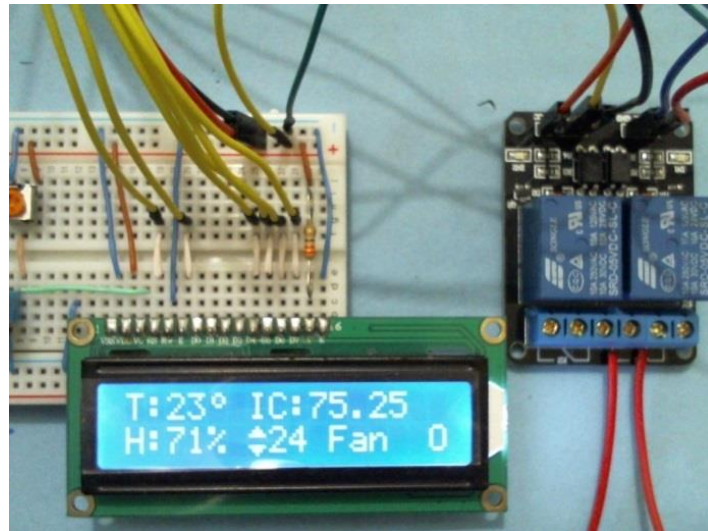


Fig. 10. Sistema de control de temperatura y humedad [Fuente: elaboración propia]

## 7 Conclusiones y líneas de trabajos futuros

Como fruto de la investigación y la experimentación se obtuvo un espacio abierto, concebido como un espacio de aprendizaje constructivista y constructorista, orientado a la difusión de la Computación Física.

Las distintas herramientas utilizadas se integraron de manera satisfactoria permitiendo alcanzar los objetivos planteados.

Se comprobó la flexibilidad y facilidad de uso del ecosistema Arduino durante el desarrollo de los experimentos. Los distintos componentes empleados, en su gran mayoría, se encuentran disponibles en el mercado regional, son relativamente económicos y fáciles de conseguir. Esto permitió maximizar la habilidad de materializar, utilizar y controlar la tecnología.

Entre los recursos utilizados para la elaboración del CMS (hipertexto, imagen y video), se destaca la incorporación de videos instructivos en la transmisión de conceptos y actividades descriptivas, lúdicas o expresivas. Gracias al fenómeno de la digitalización, el cual forma parte de la cultura y la cotidianidad de las personas, los medios audio-visuales son uno de los que más impactan en contextos educativos, logrando que los interesados alcancen el dominio de los contenidos expuestos. Asimismo, permiten estimular la participación de los alumnos al momento de repasar los contenidos.

El método de autoevaluación incluido facilita la valoración de los conocimientos incorporados.

Como líneas de trabajos futuros se plantea, avanzar en la investigación y desarrollo en temas relacionados con los sistemas de tiempo real y embebidos, tanto en aspectos de software como de hardware.

## 8 Referencias

1. D. Díaz, S. Oviedo, L. Muñoz y F. Ibáñez. "Software e innovación: desarrollando productos con hardware y software flexible," XIX Congreso Argentino de Ciencias de la Computación, Mar del Plata, Argentina, 2013, pp. 1278-1287.
2. Open Source Initiative. [En línea]. Disponible: <http://www.opensource.org>. Consultado el 4 de Junio de 2016.
3. A. Powell. "Democratizing Production Through Open-Source Knowledge: From open software to open hardware," Media, Culture & Society, vol. 34, no. 2, pp. 691-708, 2012.
4. Open Source Hardware Association. [En línea]. Disponible: <http://www.oshwa.org>. Consultado el 4 de Junio de 2016.
5. A. Gibb. Building Open Source Hardware. DIY Manufacturing for Hackers and Makers. Indiana: Pearson Education, Inc., 2015.
6. Arduino. [En línea]. Disponible: <https://www.arduino.cc>. Consultado el 4 de Junio de 2016.
7. D. A. Mellis et al. "Arduino: An Open Electronics Prototyping Platform," International Conference on Human Factors in Computing Systems 2007. San Jose, California, 2007.
8. D. O'Sullivan and T. Igoe. Physical Computing. Sensing and Controlling the Physical World with Computers, Boston: Thomson Course Technology PTR., 2004.
9. N. Mitrovic, M. Zivkovic "Physical computing and android in robotics," 2<sup>nd</sup> Mediterranean Conference on Embedded Computing, Budva, Montenegro, 2013, pp. 164-167.
10. P. Papadimitos, "Physical Computing: Using everyday objects as Communication tools", Master's thesis, University College London, 2005. [En línea]. Disponible: [http://discovery.ucl.ac.uk/2036/1/physical\\_computing\\_Thesis\\_MediumRes1.pdf](http://discovery.ucl.ac.uk/2036/1/physical_computing_Thesis_MediumRes1.pdf). Consultado el 4 de Junio de 2016.

11. A. Gernemann Paulsen, L. Schmidt, U. Seifert, B. Buch, J. A. Otto, "Artistic Human-Robot Interaction Design and Physical Computing: New Directions in Music Research and Their Implications for Formal Scientific Education," 26 Tonmeisterstagung VDT International Convention 2010, Leipzig, pp. 574-586, 2010.
12. A. Wiethoff, R. Wimmer, H. Richter, A. Butz, "Different brainstorming methods within the context of physical computing," International Conference on Technology for Education 2010, pp.47-49, Mumbai, July 2010.
13. R. Pallás Areny, *Sensores y Acondicionadores de Señal*, 4ta. ed., Barcelona: Marcombo S.A., 2003.
14. R. Pallás Areny, *Adquisición y Distribución de Señales*, 1ra. ed., Barcelona: Marcombo S.A., 1993.
15. E. Palacios Municio, F. R. Domínguez, L. J. Lopez Pérez, *Microcontrolador PIC16F84. Desarrollo de Proyectos*, 1ra. ed., México: Alfaomega Grupo Editor, 2004.
16. D. G. Alciatore and M. B. Histan, *Introduction to Mechatronics and Measurement Systems*, 4th. ed., New York, USA: McGraw Hill, 2012.
17. M. A. Rubio, C. Mañoso, R. R. Zaliz, A. P. de Madrid. "Uso de las plataformas LEGO y Arduino en la enseñanza de la programación," *Actas de las XX Jornadas sobre la Enseñanza Universitaria de la Informática*, Oviedo, 2014, pp. 419-426.
18. M. Przybylla and R. Romeike. (Agosto 2014). "Physical Computing and its Scope - Towards a Constructionist Computer Science Curriculum with Physical Computing," *Constructionism* 2014. [En línea]. Disponible: [http://constructionism2014.ifs.tuwien.ac.at/papers/2.6\\_4-8546.pdf](http://constructionism2014.ifs.tuwien.ac.at/papers/2.6_4-8546.pdf). Consultado el 4 de Junio de 2016.
19. M. A. Rubio, C. Mañoso Hierro, A. Perez de Madrid y Pablo, "Using Arduino to Enhance Computer Programming Courses in Science and Engineering," *EDULEARN13*, Barcelona, España, 2013, pp. 5127-5133.
20. O. Miglino, H. Hautop Lund, M. Cardaci, "Robotics as an Educational Tool," *Journal of Interactive Learning Research*, vol. 10, no. 1, pp. 25-47, 1999.
21. M. Orey. (2010). *Emerging Perspectives on Learning, Teaching, and Technology*. [En línea]. Disponible: [https://textbookequity.org/oct/Textbooks/Orey\\_Emergin\\_Perspectives\\_Learning.pdf](https://textbookequity.org/oct/Textbooks/Orey_Emergin_Perspectives_Learning.pdf). Consultado el 4 de Junio de 2016.
22. K. Camarata, M. D. Gross and E. Yi-Luen Do, "A Physical Computing Studio: Exploring Computational Artifacts and Environments," *International Journal of Architectural Computing*, vol. 1, no. 2, pp. 169-190, Jun. 2003.
23. Atmel AVR 8-bit and 32-bit Microcontrollers. [En línea]. Disponible: <http://www.atmel.com/products/microcontrollers/avr/>. Consultado el 4 de Junio de 2016.
24. [24] Processing. [En línea]. Disponible: <https://processing.org>. Consultado el 4 de Junio de 2016.
25. Wiring. [En línea]. Disponible: <http://wiring.org.co>. Consultado el 4 de Junio de 2016.
26. AVR C/C++ Libc Home Page. [En línea]. Disponible: <http://www.nongnu.org/avrlibc>. Consultado el 4 de Junio de 2016.
27. Fritzing. Electronics made easy. [En línea]. Disponible: <http://www.opensource.org/http://www.fritzing.org>. Consultado el 4 de Junio de 2016.
28. C. R. Primorac. (2015). *Computación Física. Un espacio para explorar los conceptos y el futuro de la computación en el mundo real*. [En línea]. Disponible: <http://correntino.net/tfa/>. Consultado el 4 de Junio de 2016.