

# Robots Educativos con Arduino: Prototipos Anotados

David Cuartielles<sup>1</sup> Nerea Iriepa<sup>2</sup> Carlos Rodriguez<sup>3</sup> Ernesto Lopez<sup>4</sup> y Jose Garcia<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Malmö University, 20506 Malmö, Suecia  
david.cuartielles@mau.se

<sup>2,3,4</sup> Arduino AB, 21119 Malmö, Suecia  
n.iriempa@arduino.cc  
c.rodriguez@arduino.cc  
e.lopez@arduino.cc

<sup>5</sup> Abierto Project, 21119 Malmö, Suecia  
j.garcia@abierto.cc

**Abstract.** Esta publicación presenta los experimentos realizados desde Arduino Education en el campo de la robótica educativa. El texto, en la forma de ejemplos anotados, cubre una serie de prototipos, kits, y programas educativos completos, todos probados con estudiantes de diferentes edades, así como con educadores. Algunos de los proyectos presentan cierto grado de calidad tipo “hazlo tu mismo” (del inglés Do It Yourself – DIY), mientras que otros han sido manufacturados en serie y servidos a decenas de miles de estudiantes. Hay, en cualquier caso, aspectos comunes en lo que se refiere a la conceptualización, desarrollo, e implementación de iniciativas en el campo de la robótica educativa.

**Keywords:** Manipulativos Digitales, Kit de Robótica, Programa Educativo.

## 1 Introducción

La robótica educativa es, sin duda, una de las tendencias más importantes en la educación contemporánea en todo el mundo. Esta tendencia se está manifestando tanto a nivel local y de forma emergente gracias al trabajo de educadores comprometidos y de escuelas que adoptan la tecnología de forma temprana, como a nivel regional o nacional impuesta por iniciativas gubernamentales. Iniciativas, como la mecatrónica, que van volviéndose más y más comunes a todos los niveles: primaria, secundaria y preuniversitario. En paralelo, la tecnología evoluciona rápidamente, ofreciendo nuevas oportunidades en el campo de la educación, al tiempo que transforma nuestra comprensión de la sociedad y de muchas de las actividades de nuestro día a día.

La intención de esta publicación es describir una serie de experiencias realizadas durante el curso de ocho años para ofrecer a diseñadores de la interacción, ingenieros, educadores y responsables políticos detalles relativos a una serie de experiencias construidas teniendo en cuenta el contexto de aplicación y los aspectos socioeconómicos en primer lugar.

En cierto modo, este texto podría ser considerado un portafolio anotado – un concepto que será explicado más adelante – dentro del campo de la robótica educativa, un

catálogo para que otros puedan aprender de nuestros errores, pero también de nuestros aciertos. Uno de los aspectos más importantes a tener en cuenta es que todos los diseños aquí presentados son el resultado de sendos procesos de co-creación, una técnica de diseño que, tal y como se verá en una sección posterior, ofrece ventajas e inconvenientes a la hora de generalizar nuestros diseños.

### **1.1 Limitaciones**

Este texto presenta una serie de dispositivos co-diseñados entre estudiantes y profesores en la Universidad de Malmö en Suecia, pero también surgidos como resultado de procesos colaborativos entre Arduino AB – una empresa dedicada a la creación de programas educativos – y los miembros de su comunidad de usuarios. Algunos de los robots y programas educativos fueron rediseñados a posteriori de cara poder ser manufacturados de forma sencilla, e incluso vendidos por Arduino (Suecia). Ha de ser mencionado el hecho de que no es la intención de esta publicación el anunciar productos, sino explicar las circunstancias en torno de los diferentes diseños, que funcionó en la interacción con usuarios, y cuales fueron las pruebas realizadas con los robots en escenarios reales, si fuera el caso. Nótese también que muchos de los productos ya no se encuentran a la venta, o nunca llegaron a estarlo ya que se trataron de prototipos o incluso Prototipos Múltiples/Inclusivos probados con cientos a miles de personas [1].

## **2 Marco Teórico, una Actitud Metodológica**

Los portafolios anotados son colecciones de experiencias agrupadas e incluyendo suficiente información de modo que sea posible trazar una línea roja entre ellas. Se trata de una técnica propuesta entre las técnicas de Investigación desde el Diseño (Research through Design en inglés) descritas por Gaver [2].

La naturaleza de la colaboración entre la Universidad de Malmö y Arduino dentro del campo de la robótica educativa a lo largo de los años está enraizada en el paradigma educativo constructorista [3], [4] y su aproximación al aprendizaje a través de la manipulación [5] que se encuentra muy cerca de las teorías de la reflexión por la acción [6] que establecen que sucede un proceso de aprendizaje al interactuar dentro de un campo de estudio. Esta aproximación – al hablar de robótica educativa – tiene dos consecuencias: por un lado, tenemos la idea de que no es posible crear experiencias educativas de ningún tipo sin interactuar con usuarios y realizar pruebas de campo. Por otro lado, al tratarse los robots de sistemas con manifestación física propia, las pruebas necesitan de la realización de prototipos y código – programas – para que los usuarios puedan experimentar con ellos.

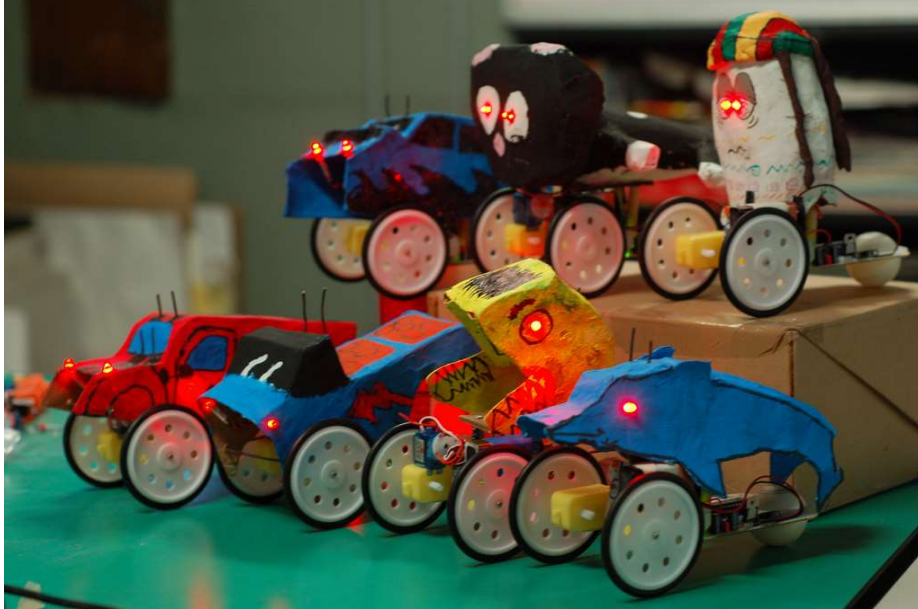
### 3 Experiencias

Esta sección está dedicada a la descripción de una serie de experiencias que tienen como común denominador el haber sido co-creadas por diferentes diseñadores, ingenieros, y educadores, que han pasado por el entorno de la Universidad de Malmö y Arduino durante los últimos ocho años. Esta actividad de co-diseño fue coordinada bien por una de las instituciones, bien por la otra. Ambas han colaborado a través de los años de modo tanto formal como informal: algunos estudiantes de la citada universidad realizan anualmente prácticas en Arduino, mientras que Arduino ofrece sus servicios a la universidad en cursos, préstamo de materiales, e incluso acercando prototipos de futuros productos en las aulas para que puedan ser evaluados por estudiantes.

Cada una de las siguientes sub-secciones presentarán el contexto de un diseño, sus intenciones, un resumen del proceso de hacerlo posible, y discutirán sobre la sostenibilidad de los diferentes proyectos.

#### 3.1 OhOh – El Robot Nacido para ser Hackeado

Durante una residencia de casi cuatro años de duración en la Fábrica de Artes y Oficios – FARO de Oriente, en Ciudad de México, un espacio dedicado a acercar la cultura a jóvenes en peligro de exclusión, trabajamos en relanzar un espacio tipo “Computer Clubhouse” que había dejado de estar operativo por un tiempo incierto. Nuestro papel consistió en conseguir que el material informático disfuncional se pusiera al servicio de los jóvenes, así como la creación de contenido educativo y programas de formación usando herramientas de software y hardware libres. Tras un proceso inicial de dos años, cuando los aspectos básicos del espacio ya eran funcionales (ordenadores funcionando, Internet, estudio de sonido, sistema de proyección, *courseware*) y al haber encontrado una persona que se encargaría de llevar el día a día del espacio, abrimos un proceso de co-creación de nuevas actividades con los usuarios a nivel local (jóvenes de 6 a 18 años). Este trabajo supuso revisar todo cuanto se había hecho en términos de contenido, estudiar que había disponible en la librería de materiales del Clubhouse, y escuchar las opiniones de lo que los jóvenes querían explorar en el futuro.



**Fig. 1.** Colección de robots OhOh tras haber sido modificados por los jóvenes en el FARO de Oriente, Mexico, 2010.

Preparamos una encuesta para preguntar a los jóvenes que es lo que preferirían probar, encuesta que dio como claro ganador al tema “robots.” Esto nos puso en la situación de tener que crear un robot educativo que pudiera ser accesible tanto en términos económicos como de materiales. Partiendo de estas limitaciones de diseño, nos llevo a centrar nuestra estrategia de trabajo en los conceptos de: localidad, coste, y facilidad de implementación. De cara a minimizar el coste de producción de los robots, nos teníamos que asegurar de que el diseño fuera tan sencillo como para que el responsable del Clubhouse pudiera fabricar los robots por sí mismo. Esto permitiría, además, que algunos de los usuarios del espacio pudieran echar una mano. También serviría para que cualquiera de los jóvenes pudiera crear su robot personal en el modo que le pareciese más conveniente [7].

El robot se hizo de piezas que encontramos en tiendas locales, lo que requirió de un estudio pormenorizado de las posibilidades, buscando ruedas, motores, componentes electrónicos, placas de cobre y químicos (necesarios para la realización de placas de circuito impreso). En paralelo, de vuelta en nuestro laboratorio, estudiamos como crear una serie de ejemplos y experimentos para que los jóvenes aprendieran algunos aspectos básicos de la robótica, creamos librerías de código para simplificar las operaciones con el robot, etc.

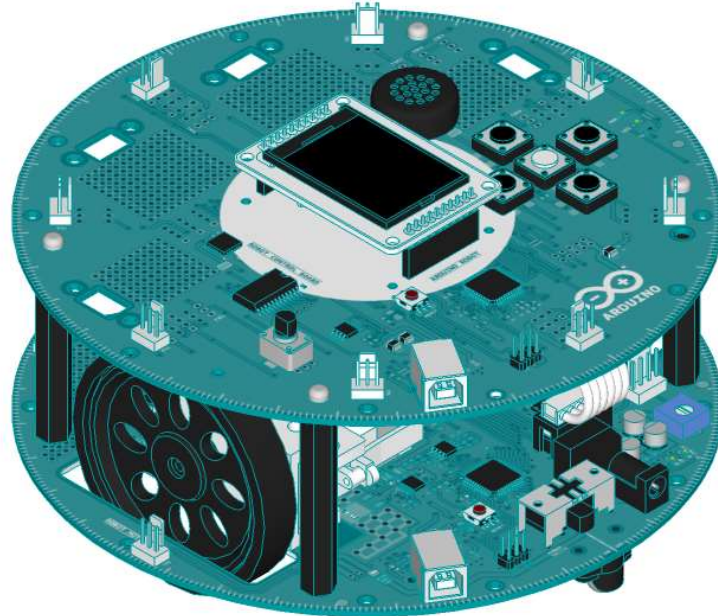
Presentamos el robot a los miembros del Clubhouse preparando un curso donde tanto el responsable del espacio como los participantes deberían aprender en paralelo como usar el robot y como llevar a cabo actividades educativas con él, respectivamente. Durante nuestro primer curso fabricamos 15 robots usando placas pre-fabricadas, para más tarde explicar al responsable del Clubhouse como crear sus propias placas

electrónicas de cero. Ejecutamos dos tipos diferentes de talleres junto con el Clubhouse para llevar a cabo la transferencia de conocimiento y recoger realimentación sobre los diseños. La combinación de precio y características hacían del robot un sistema muy atractivo, lo que junto con los aspectos del DIY del robot, lo hacen un producto muy válido para procesos educativos de media duración. En cualquier caso, la falta de una experiencia del tipo *out-of-the-box* hizo difícil replicar este proceso para educadores novatos sin la supervisión de un mentor.

### 3.2 Diseñando el Robot Arduino

El Robot Arduino [8] fue una plataforma robótica de 18cm de diámetro, 18cm de altura, y dos ruedas, inspirada en el tipo de robots usados en las competiciones de fútbol robótico de la Robocup Junior. Se creó mediante una colaboración de Arduino con la asociación de robótica Complubot, de Alcalá de Henares, Spain. La intención de este diseño era proporcionar a la comunidad de la robótica educativa con lo que hemos venido a llamar “la experiencia Arduino”: para un novato en el campo el comenzar a hacer experimentos debería de llevar una cantidad mínima de tiempo. El diseño incluía dos microcontroladores: uno para controlar los motores y leer los sensores de seguimiento de línea, y otro para controlar la experiencia de usuario. Era, este segundo procesador, el que daría acceso directo a los usuarios para escribir sus propios programas del control del robot, mientras que el otro procesador actuaría como un periférico al sistema programado por el usuario.

Además, el robot incluía toda una serie de características físicas que quedaron plasmadas dentro de una colección de librerías para simplificar el acceso de los usuarios a las citadas características. Contaba el robot con un sensor magnetómetro, una pantalla LCD, una serie de conectores abiertos donde colocar sensores de distancia (por infrarrojos o ultrasonidos) o servomotores, un circuito de carga de baterías y medición de la carga, un sensor de seguimiento de línea hecho de un array de cinco sensores de luz infrarroja, un altavoz, un teclado de 5 teclas, un potenciómetro, un receptor de luz infrarroja y un controlador de puente-en-H con medición de corriente.



**Fig. 2.** Ilustración del Robot Arduino, cortesía de Arduino AB, 2013.

Todas las características mencionadas se expresaron en la forma de código y se pusieron a la disposición de los usuarios para que creasen sus propios comportamientos para los robots. En cualquier caso, se nos presentó un reto a la hora de configurar el robot por primera vez dada la alta variabilidad de los motores elegidos para el diseño. De cara a mantener el precio de los robots tan bajo como fuera posible, hicimos una serie de compromisos como el no incluir encoders para asegurar el alineamiento de las ruedas del robot. Esto nos obligó a crear un complejo proceso de calibración, así como un algoritmo de control PID a nivel de librería que usaba el sensor magnetómetro y el sensado de corriente del controlador de motores como datos. Mientras esta aproximación al problema es perfectamente válida, nos obligó a programar el robot de cierto modo que no hacía la creación de código para el mismo tan flexible como podría esperar el educador medio, lo que hizo mas compleja la programación del robot por terceros.

Si bien el robot causó buena impresión entre la comunidad educativa de Arduino (se vendieron un par de miles de robots), no fue suficiente para mantener este diseño en el portafolio de productos educativos de Arduino puesto que no contaba con el equilibrio apropiado entre precio, complejidad de manufactura, y limitaciones de software.

### 3.3 CTC Robots que Bailan y Sienten Cosquillas

Las Clases de Tecnologías Creativas (CTC) son un programa educativo [9], un currículo completo para una clase de 30 alumnos e incluyendo todos los materiales necesarios en la forma de un kit que permite realizar 26 mini-proyectos. La duración de este programa es de entre 6 y 9 meses (dependiendo de la cantidad de sesiones de clase dedicadas a tecnología por semana). El programa ofrece webinarios y soporte en línea para los profesores y centros educativos participando de la experiencia. El objetivo pedagógico principal de CTC es introducir la metodología de aprendizaje basado en proyectos (Project Based Learning o PBL en inglés) durante la realización de un curso de tecnología con alumnos de entre 12 y 16 años. El currículo está dividido en bloques educativos y viene acompañado de una colección de laboratorios guiados y sugerencias de proyectos (con soluciones) como para tener 6 grupos trabajando de forma simultánea – si bien en proyectos diferentes – en clase.

Uno de los bloques educativos del programa está dedicado a la robótica introduciendo a los estudiantes a la creación de robots poco convencionales: un robot payaso que camina, otro sentado en una mecedora que tiembla al hacerle cosquillas, otro sigue líneas, etc. El kit trae todos los componentes para que en cada bloque se monten, de manera simultánea, 6 proyectos diferentes – uno por grupo – siendo la idea que cada uno de los equipos de trabajo aprenda algo diferente al resto para así poder compartir su experiencia con el resto de la clase.



Fig. 3. Robot que camina, Robot cosquillas, y Binary LP, cortesía de Arduino AB, 2016.

Este kit se realizó al 99% con componentes electrónicos estándar, si bien diseñamos nuestro propio sensor infrarrojo para el seguimiento de líneas de cara a simplificar el proceso de montaje de sensores en una placa de entrenamiento y acelerar el ritmo de la clase. El kit incluye mecánica hecha en madera sintética HDF, lo que añade durabilidad a las piezas, y hace el kit replicable y extensible. Otro aspecto importante es el contacto con los educadores a través de una plataforma digital hecha para

el efecto del proyecto. Los contenidos se licenciaron bajo Creative Commons – lo que permite a los centros hacer copias y modificaciones del contenido – pero además, al servirlos desde una plataforma digital, los profesores tienen acceso a las últimas actualizaciones, webinarios con expertos, acceso a un foro en línea solo para profesores, y llamadas uno a uno con especialistas en soporte de Arduino.

Este proyecto se probó durante 5 años (2013-2018) y alcanzó más de 17.000 estudiantes de la mano de 800 profesores. Se puede decir que los aspectos clave de este diseño son: modularidad – en la forma de reusabilidad de piezas –, estandarización de componentes, y acceso directo a soporte para educadores.

### **3.4 Svante, Probando un Robot para Todos**

Mientras las cualidades tipo “hazlo tu mismo” del robot OhOh presentan cierto atractivo para algunos, se trata de un diseño que presenta una curva de entrada demasiado pronunciada lo que aleja a educadores de hacer experimentos con robots de ese tipo en las aulas. Al mismo tiempo, un dispositivo de precio elevado, que aún presente complejidades de tipo técnico – tal y como pasó con el Robot Arduino – hace que ese diseño no sea deseable. La escalabilidad – la posibilidad de que el diseño llegue a la mayor cantidad de gente posible – es muy importante en cualquier campo y más en educación: las clases son variables en tamaño, y es importante el poder encoger o alargar los materiales en función del tamaño de una clase; esto es algo con lo que experimentamos durante la realización del proyecto CTC.

Es en este punto cuando comenzamos a pensar en que forma podríamos unificar lo mejor de cada uno de nuestros proyectos (OhOh, Robot Arduino, y CTC) en un solo diseño que nos pudiera permitir realizar experimentos de tamaño medio (con cientos de usuarios) en uno o varios centros educativos. Para nosotros, el que existiera la posibilidad de que cada uno de los participantes (estudiantes, en este caso) se quedase con uno de los robots, era fundamental. Técnicamente, Svante fue una minimización del Robot Arduino, incluyendo sensores de seguimiento de líneas, conectores para extender la funcionalidad de la placa con otros componentes, un solo microcontrolador, y un conjunto de librerías simplificado a solo 2.





**Fig. 4.** Vista de un robot Svante robot modificado por jóvenes, cortesía de Arduino AB, 2014.

Siendo la idea de “un robot por participante” el motor del concepto de Svante, realizamos un experimento con cientos de jóvenes durante un curso de verano organizado por el municipio de Zaragoza en España. Svante fue una plataforma robótica que invitaba a modificarla, estaba pre-manufacturada, y estaba pensada para ejecutar talleres de una semana donde los participantes dedicarían 4 horas al día aprender electrónica, mecánica, y programación. El diseño se trataba de un robot con forma de gota de agua, con dos ruedas, y con suficientes componentes estándar como para controlar el robot mediante un mando por infrarrojos, añadir extensiones mecánicas, luces, o tocar sonido. Además, creamos una base de cartón y una colección de piezas mecánicas (también en cartón) para que los participantes pudieran experimentar con sus propios diseños, decorar el robot, y no tener la preocupación de poder romper algo, ya que el cartón es fácilmente restituible. Esto añadió un componente de experimentación abierta al robot.

La creación de material educativo (*courseware*) para el experimento fue fundamental para la adopción del robot por parte de los participantes y sus familias. En total, entregamos 150 robots en 5 grupos de 30 chicas y chicos que tomaron un taller de una semana. Esto implicó la creación de material educativo para los 10 educadores que habían de seguir el desarrollo de la actividad y darle soporte por parejas; los mentores trabajan en turnos rotantes y cuidaban de otras actividades del seminario de verano en tecnología en el cual se inscribió el experimento con el robot Svante.

Si bien se pueden apreciar ciertas similitudes entre CTC y la experiencia con Svante, hay que mencionar que no se dio el mismo tipo de soporte en línea a los educadores, ni webinarios, ya que las actividades no tenían una duración lo suficientemente larga como para que se pudiera beneficiar de ese tipo de acción. En su lugar, nos centramos en crear un taller de formación de 2 días donde presentamos a los mentores todas las actividades del campamento en un formato acelerado.

El proyecto del robot Svante se extrapoló más allá del formato original que habíamos creado para el verano. El centro cultural organizó encuentros mensuales durante el siguiente año para que las familias que habían adoptado un robot se encontrasen y continuasen con las actividades, compartieran sus descubrimientos y organizaran competiciones. La conclusión que extrajimos de esta experiencia es que tener el material educativo en propiedad, contribuye a que se de continuidad a los experimentos en casa, lo que expande el espacio educativo en tecnología hasta el hogar.

### **3.5 LCR un Experimento de Diseño**

LCR son las siglas en inglés para *Low Cost Robot*, lo que se traduce como robot de bajo coste. Se trata de un experimento en Arduino dedicado a la creación de un robot como un Shield para la placa Arduino UNO. Tan solo se construyeron un par de prototipos experimentales. La idea era la creación de un sistema que permitiese a los centros educativos que ya habían experimentado con electrónica digital y adquirido placas de prototipado, extender sus materiales con elementos de clase que les permitiera hacer una introducción sencilla al mundo de la robótica. La experiencia del proyecto Svante había probado que tener un número máximo de dispositivos por aula es un escenario deseable, ya que anima a los estudiantes a continuar experimentando en su hogar. Al mismo tiempo, el precio de los materiales debería ser tan bajo como sea posible para asegurar que el centro educativo pueda permitirse tantos materiales como sea posible dado el tamaño de la clase.

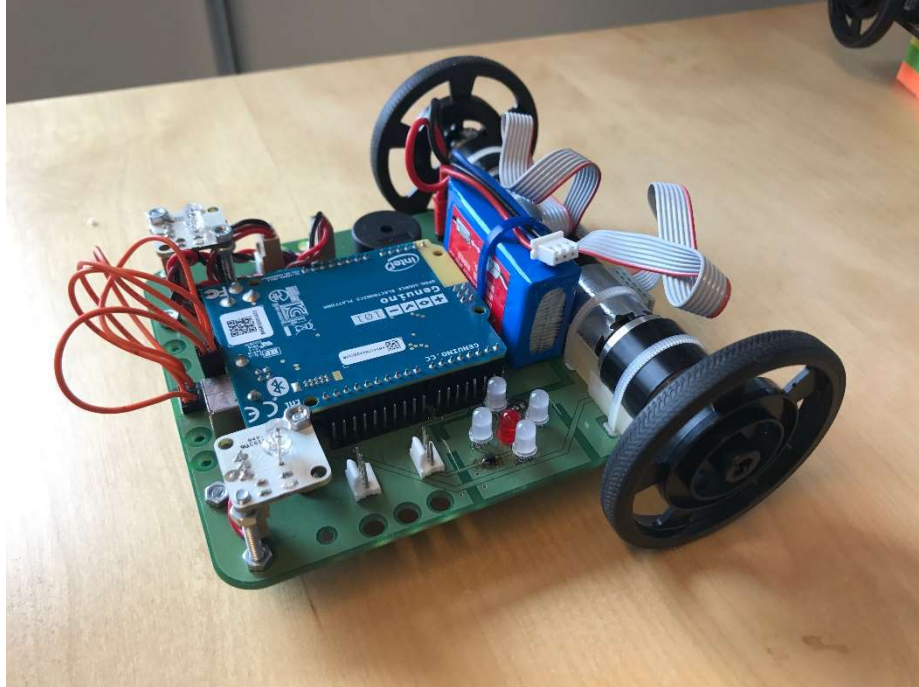


Fig. 5. Prototipo del robot LCR, cortesía de Arduino AB, 2017.

LCR se creó como un *Shield* (una placa añadida a una placa Arduino) y tuvo en cuenta las debilidades técnicas observadas en diseños anteriores, por ejemplo la elección de motores con encoders para poder determinar el movimiento exacto de las ruedas. El robot contaba, además, con 4 LEDs RGB direccionables tipo Neo-pixel que podían ser programados para mostrar todo tipo de indicaciones, sensores de infrarrojos, y conectores para sensores externos. La forma del robot se diseñó para permitir que se moviese con tres tipos de movimiento diferente: normal, boca abajo, y vertical. La idea es que, usando una de las últimas placas Arduino (101 o WiFi Rev2) debería ser posible realizar experimentos como el péndulo invertido gracias a los chips de comunicación y sensores Mems embebidos (acelerómetro y giróscopo) con que cuentan las placas. El precio fue, una vez más, un factor determinante para el diseño de LCR.

Una diferencia frente a todos los experimentos realizados anteriormente es que no solo usamos el IDE de Arduino para programar los robots. En esta ocasión, creamos nuestro propio sistema de programación visual (Visual Programming Language, VPL, en inglés) que introdujimos como una extensión o *herramienta* al IDE de Arduino. Este VPL permitía la programación del robot mediante el arrastre de bloques sobre una interface visual. La razón de crear esto como una extensión del IDE de Arduino y no como un programa independiente reside en las facilidades del tipo control de versiones y similar con que cuenta el IDE, que sugerirá a los usuarios la existencia de actualizaciones al sistema, lo que simplifica el mantenimiento de los programas.

### 3.6 Escornabot, la Respuesta de la Comunidad

Todos los experimentos descritos hasta este punto se han enfocado en la creación de robots para ser usados en la segunda parte de educación primaria, así como en su continuación en la secundaria. La cuestión es, ¿qué pasa con los grupos de alumnas y alumnos de edades más tempranas? En este caso, la respuesta llegó de la mano de la comunidad de Arduino en sí misma. Si bien es posible encontrar cientos de experimentos en robótica tanto en publicaciones en línea como en libros y revistas especializadas, es difícil encontrar iniciativas que vayan más allá la mera creación de kits como productos que la gente pueda comprar. Es aquí cuando un grupo de personas asociadas indirectamente a la comunidad de usuarios de Arduino marcaron una diferencia al crear, dar soporte, y mantener, una familia de robots educativos de bajo coste llamados Escornabot [10].

Este proyecto nació de la necesidad de tener un robot similar al sistema comercial BeeBot® para introducir la robótica educativa a audiencias de corta edad mediante el uso de mapas para explorar espacios y otras construcciones pedagógicas. La clave para la creación de este proyecto fue la identificación de motores fáciles de controlar (motores paso-a-paso de 5V en este caso) lo que permitió crear sistemas óptimos en precio y en computación. El diseño combina calidades del tipo “hazlo tu mismo”, ya que se trata de un kit que los educadores pueden adquirir o crear ellos mismos y ensamblar de cero. La mecánica del robot consiste en una serie de piezas impresas en plástico y la inteligencia del robot cabe dentro de un Arduino Nano o Arduino Micro (algunos de los tipos de robot soportan los dos tipos de placa). El aspecto fundamental de este robot es el precio, es posible conseguirlo completamente ensamblado por 50 Euros, lo que lo hace muy accesible bajo cualquier circunstancia. En España hay un grupo nutrido de iniciados al uso del robot que están evangelizando el uso de Escornabot y compartiendo públicamente recursos educativos en torno del diseño. Puesto que el robot es hardware abierto, se pueden encontrar al menos 5 lugares donde adquirir las piezas para montar estos robots sólo en España.

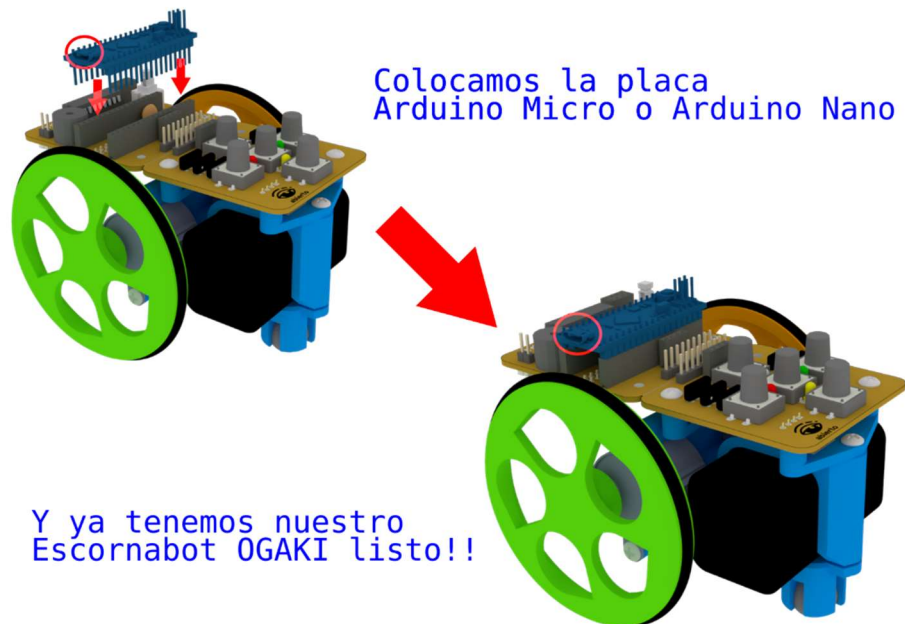


Fig. 6. Extracto, manual de montaje, Escornabot Ogaki, cortesía de Abierto Project, 2018.

En cierto modo, este robot está teniendo éxito y abriendo un espacio de oportunidad para que otras experiencias sucedan en torno a su diseño. En este momento representa una oportunidad de diseño ya que hay muchas mejoras que se pueden hacer y la comunidad está publicando mejoras con una frecuencia casi semanal. Actualmente hay educadores y makers en Europa (principalmente España) y LatAm (principalmente México) creando revisiones de los diseños originales de Escornabot y compartiendo sus resultados en línea.

### 3.7 Un Kit para (Futuros) Ingenieros

En el periodo 2016 a 2018 Arduino estuvo trabajando con la búsqueda de una serie de experimentos dentro del campo de la tecnología que se estuvieran realizando dentro de universidades dedicadas a la ingeniería dentro del campo de la mecatrónica. La idea era la co-creación de un nuevo tipo de kit – el *Arduino Engineering Kit*, o kit de ingeniería de Arduino – que permitiese a los estudiantes experimentar con el estado del arte del software con herramientas como MATLAB® que es usada de forma muy extendida en contextos tanto profesionales como educativos [11]. Tuvimos en cuenta nuestra experiencia en el diseño de sistemas modulares, incluyendo los proyectos mencionados anteriormente, y creamos un sistema modular experimental para ser usado por estudiantes de manera individual o en grupos para aprender sobre conceptos complejos como control de motores (PID), visión por computador, creación de

máquinas de estados, y como traducir ecuaciones matemáticas de el mundo de la física al mundo del software.



**Fig. 7.** Construyendo el experimento de la motocicleta que se balancea, cortesía de Arduino AB, 2018.

La tecnología elegida para los experimentos es la MKR1000, una placa que incluye comunicación por WiFi, lo que permite que la placa se comunique directamente con el software MATLAB siendo ejecutado en un ordenador. Esto ayuda a la creación de todo tipo de experimentos donde haya una interacción directa entre el software y la implementación física del experimento. También es posible crear firmware para la placa Arduino usando el sistema VPL de MATLAB – Simulink® – lo que ofrece una alternativa de programación muy interesante. Todos los proyectos requieren una placa (llamada el *Motor Carrier Board*) que puede controlar hasta 8 motores de forma simultánea. Esta placa extra tiene el mismo procesador que la MKR1000 y viene con un programa abierto especializado dedicado a controlar los motores de forma automática ya que cuenta incluso con su propio algoritmo de PID embebido.

Gracias a la experiencia adquirida de estudiar que es lo que se enseña en cursos de ingeniería alrededor de todo el mundo pudimos generalizar algo de ese conocimiento en la forma de un kit reusable, que trae componentes suficientes para la realización de manera secuencial 3 proyectos complejos diferentes: un rover controlado por visión por computador, un robot que pinta colgado de una pared, y una motocicleta que se balancea sobre dos ruedas. El kit cuenta con una plataforma educativa en línea. Los contenidos se han desarrollado de forma que no haya un final cerrado, al invitar a los estudiantes que sigan el curso a que vayan más allá de lo presentado en las más de

500 páginas de contenido y alimenten su curiosidad con nuevos experimentos. Es aún pronto como para escribir sobre el alcance de este proyecto, ya que se lanzó a finales de mayo del año 2018. En cualquier caso, es importante mencionar este proyecto aquí ya que supone el siguiente paso de los autores en el mundo del diseño de contenido educativo y kits dentro del campo de la robótica educativa, así como para dar una visión global del trabajo realizado en los últimos 8 años.

#### 4 Denominador Común - una Conclusión

Todos los experimentos, programas, y kits presentados tienen una clara intencionalidad educativa detrás. En cualquier caso, son lo suficientemente distintos como para poder agruparlos por conjuntos en función de quien es el receptor de la acción: si los estudiantes (como pasa con Svante, LCR o el Arduino Engineering Kit) o los educadores tratando de introducir la tecnología en sus aulas (OhOh, Escornabot, o CTC). Los casos se crearon con los conceptos de modularidad y apertura como puntos de partida. Es posible contribuir a los proyectos añadiendo contenido, software, e incluso mejoras de tipo mecánico a cualquiera de ellos. Algunos de los proyectos han tenido un éxito relativo, mientras que otros nunca salieron del laboratorio. Hay un aspecto común a todos los proyectos y se trata de la facilidad con la que se pueden crear plataformas de robótica educativa gracias a la existencia de hardware y software de fuentes abiertas, bien interviniendo el hardware existente, bien usando componentes *off-the-shelf*. En cuestión de meses, es posible crear un currículo educativo completo usando piezas estándar, pero de cara a realmente escalar un proyecto, durante la acción de diseño necesitamos pensar sobre la modularidad de la tecnología, la estandarización en términos de la interacción con usuarios, y la difusión del contenido. Las plataformas educativas del futuro necesitan encontrar la forma en que implementarán experiencias en las que puedan dar soporte a tanta gente como lo necesite. Hacer la tecnología no es suficiente, la educación contemporánea necesita un mantenimiento de la tecnología, así como de soporte para educadores. En cierto modo, todos los implicados en la experimentación con tecnología en las aulas necesitamos profesionalizar nuestra oferta si queremos que el espacio de la sociedad dedicado a la educación suponga un éxito para todos.

#### References

- [1] D. Cuartielles, *Platform Design: creating meaningful toolsets where people meet*. Malmö: Malmö University Press, 2018.
- [2] W. Gaver, "What Should We Expect From Research Through Design?," in *CHI '12 Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 2012, no. January 2012, pp. 937–946.
- [3] S. Papert and I. Harel, "Situating Constructionism," in *Constructionism*, 1991, pp. 1–11.
- [4] A. Falbel, "Constructionism Tools to build (and think) with," 1993.
- [5] M. Resnick *et al.*, "Digital manipulatives: new toys to think with," *Commun. ACM*, no.

April, pp. 281–287, 1998.

- [6] D. Schön, “From Technical Rationality to Reflection-in-Action,” in *The Reflective Practitioner: How Professionals Think in Action*, 1983, pp. 21–69.
- [7] D. Cuartielles and X. Yang, “Oh\_Oh Experiments With Robots – Medea,” 2010. [Online]. Available: [http://medea.mah.se/2010/08/oh\\_oh-experiments-with-robots/](http://medea.mah.se/2010/08/oh_oh-experiments-with-robots/). [Accessed: 25-Feb-2017].
- [8] D. Cuartielles, N. de la Riva Iriepa, I. Gallego, X. Yang, and E. Gallego, “Arduino Robot,” 2011. [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/en/Main/Robot>. [Accessed: 04-Jan-2017].
- [9] “Arduino CTC 101.” [Online]. Available: <https://create.arduino.cc/ctc/101/>. [Accessed: 31-Jul-2018].
- [10] “Escornabot.” [Online]. Available: <http://escornabot.com/web/>. [Accessed: 31-Jul-2018].
- [11] “Arduino Blog » Arduino goes to college with the new Arduino Engineering Kit!” [Online]. Available: <https://blog.arduino.cc/2018/05/12/arduino-goes-to-college-with-the-new-arduino-engineering-kit/>. [Accessed: 31-Jul-2018].