

# **ENSEÑANZA DE SISTEMAS EMBEBIDOS EN ROBÓTICA Y SISTEMAS INTELIGENTES POR MEDIO DE PRÁCTICAS**

## *TEACHING OF EMBEDDED SYSTEMS IN ROBOTICS AND INTELLIGENT SYSTEMS THROUGH PRACTICES*

**Viridiana Núñez Ríos**

Tecnológico Nacional de México / IT de Celaya, México  
*viridiana.nunez@itcelaya.edu.mx*

**Alejandro Guerrero Barrón**

Tecnológico Nacional de México / IT de Celaya, México  
*alejandro.guerrero@itcelaya.edu.mx*

**María Teresa Villalón Guzmán**

Tecnológico Nacional de México / IT de Celaya, México  
*teresa.villalon@itcelaya.edu.mx*

**Paloma Teresita Gutiérrez Rosas**

Tecnológico Nacional de México / IT de Celaya, México  
*paloma.gutierrez@itcelaya.edu.mx*

**Juan Antonio Sillero Pérez**

Tecnológico Nacional de México / IT de Celaya, México  
*antonio.sillero@itcelaya.edu.mx*

**Recepción:** 5/junio/2022

**Aceptación:** 29/junio/2023

### **Resumen**

Se considera que la enseñanza de la robótica, los sistemas inteligentes, los microcontroladores embebidos y el internet de las cosas (IoT) es parte de la cultura necesaria para el desarrollo actual, debido a que permiten obtener soluciones innovadoras a muy diversas tareas. El objetivo de este trabajo es presentar los resultados de una investigación documental sobre la implementación del aprendizaje basado en proyectos, como una estrategia que favorece los procesos de enseñanza y aprendizaje de la programación de microcontroladores para su uso en sistemas inteligentes. Utilizando microcontroladores en una placa de bajo costo y software libre, la enseñanza por medio de proyectos desarrollados por equipos de trabajo se considera idónea, además de que existe una comunidad de apoyo amplio en la red. La enseñanza ya está dándose, y se tienen hallazgos que no deben

desaprovecharse, esto ahorra tiempo y recursos a los esfuerzos para difundir y acrecentar el conocimiento así como sus resultados.

**Palabras clave:** aprendizaje basado en proyectos, robótica, sistemas embebidos, sistemas inteligentes.

## **Abstract**

*It is considered that the teaching of robotics, intelligent systems, embedded microcontrollers and the Internet of Things (IoT) is part of the necessary culture for current development, because they allow obtaining innovative solutions to many different tasks. The objective of this work is to present the results of a documentary investigation on the implementation of project-based learning, as a strategy that favors the teaching and learning processes of microcontroller programming for use in intelligent systems. Using microcontrollers on a low-cost board and free software, teaching through projects developed by work teams is considered ideal, in addition to the fact that there is a broad support community on the net. The teaching is already taking place, and there are findings that should not be wasted, this saves time and resources for efforts to disseminate and increase knowledge as well as its results.*

**Keywords:** *project-based learning, robotics, embedded systems, intelligent systems*

## **1. Introducción**

La tecnología ha impactado la forma en la cual se distribuye y accede a la información, así como una constante evolución en los conocimientos relacionados con nuevas tecnologías. Cada vez es más común que una gran cantidad de dispositivos electrónicos utilicen un microcontrolador como unidad central de proceso con la finalidad de mejorar sus funcionalidades y confiabilidad, reducir el consumo de energía, su tamaño o precio.

### **Microcontroladores**

Un microcontrolador es un circuito formado por una unidad central de proceso, memoria, reloj, puertos de comunicación y módulos para el control de periféricos; se considera parte fundamental del diseño electrónico de los sistemas embebidos.

El uso de microcontroladores en una placa con una programación amigable ofrece la posibilidad de incluir a numerosas personas en el mundo de la robótica, además de que se cuentan con computadoras en una placa de coste mínimo que permite las interacciones necesarias entre los diversos dispositivos. Así, equipos interdisciplinarios pueden explorar de forma rápida la creación de prototipos y pruebas piloto de artefactos innovadores; la educación en la programación de microcontroladores y la construcción de sistemas embebidos ha cambiado mucho [Jamieson y Herdtner, 2015].

Sin embargo, se critica el uso de estos aparatos para la educación de personas que puedan construir estos sistemas embebidos, especialmente debido a que se queda limitado a un solo modo de programación, lo cual supone la limitación al estudiante o aprendiz en su capacidad de desarrollo [Dignal, 2015].

En realidad, se puede ver en la literatura técnica de Arduino que es un ambiente de software libre y placa de bajo costo, además de existir varias formas de programación del circuito integrado que lo forma.

### **Arduino Uno**

Arduino Uno es una placa de microcontrolador basada en ATmega328P. Tiene 14 pines de entrada / salida digital (de los cuales 6 se pueden usar como salidas PWM), 6 entradas analógicas, un cristal de cuarzo de 16 MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, un encabezado ICSP y un botón de reinicio. Contiene todo lo necesario para soportar el microcontrolador; simplemente se conecta a una computadora con un cable USB o se enciende con un adaptador de CA a CC o una batería para comenzar. Se puede jugar con Arduino UNO sin preocuparse demasiado por hacer algo mal, en el peor de los casos, se puede reemplazar el chip por unos pocos pesos y empezar de nuevo.

La figura 1 muestra una placa Arduino R3, su tamaño no es mayor que el de una tarjeta de crédito. "Uno" fue elegido para marcar el lanzamiento de Arduino Software (IDE) 1.0. La placa Uno y la versión 1.0 del software Arduino (IDE) fueron las versiones de referencia de Arduino, ahora evolucionadas a versiones más recientes. La placa Uno es la primera de una serie de placas USB Arduino y el modelo de

referencia para la plataforma Arduino. Para obtener una lista extensa de placas actuales, pasadas o desactualizadas, consulte el índice de placas Arduino [Arduino, 2021]. El software Arduino (IDE) de código abierto facilita la escritura de código y la carga en la placa. Este software se puede utilizar con cualquier placa Arduino.



Fuente: Wikimedia Commons

Figura 1 Arduino Uno R3.

## Escudos (Shields)

Las placas Arduino utilizan placas de expansión de circuito impreso llamadas “escudos” (*shields*), que se conectan a los conectores de clavija Arduino normalmente suministrados. Los *shields* pueden proporcionar controles de motor para impresión 3D y otras aplicaciones, GNSS (navegación por satélite), Ethernet, pantalla de cristal líquido (LCD) o placa de pruebas (creación de prototipos).

## Circuito integrado y su programación

El Atmega328 AVR 8-bit es un Circuito integrado de alto rendimiento que está basado un microcontrolador RISC, combinando 32 kB (ISP) flash una memoria con la capacidad de leer-mientras-escribe, 1 kB de memoria EEPROM, 2 kB de SRAM, 23 líneas de E/S de propósito general, 32 registros de proceso general, tres temporizadores flexibles/contadores con modo de comparación, interrupciones internas y externas, programador de modo USART, una interfaz serial orientada a byte de 2 cables, SPI puerto serial, 6-canales 10-bit Conversor A/D (canales en paquetes TQFP y QFN/MLF), temporizador "*watchdog*" programable con oscilador interno, y cinco modos de ahorro de energía seleccionables por software.

El dispositivo opera entre 1.8 y 5.5 voltios. Por medio de la ejecución de instrucciones en un solo ciclo de reloj, el dispositivo alcanza una respuesta de 1

MIPS, balanceando consumo de energía y velocidad de proceso [Wikipedia, 2021]. El Arduino / Genuino Uno se puede programar con el (Software Arduino (IDE)).

El ATmega328 en Arduino Uno viene preprogramado con un cargador de arranque que le permite cargar un nuevo código sin el uso de un programador de hardware externo. Se comunica utilizando el protocolo STK500 original (referencia, archivos de encabezado C). También se puede omitir el cargador de arranque y programar el microcontrolador a través del encabezado ICSP (Programación en serie en circuito) usando Arduino ISP o similar.

El código fuente del firmware ATmega16U2 (o 8U2 en las placas rev1 y rev2) está disponible en el repositorio de Arduino. El ATmega16U2 / 8U2 se carga con un cargador de arranque DFU, que se puede activar mediante:

- En las placas Rev1: conectar el puente de soldadura en la parte posterior de la placa (cerca del mapa de Italia) y luego vuelva a colocar el 8U2.
- En placas Rev2 o posteriores: hay una resistencia que tira de la línea HWB 8U2 / 16U2 a tierra, lo que facilita la puesta en modo DFU.
- Luego se puede usar el software FLIP de Atmel (Windows) o el programador DFU (Mac OS X y Linux) para cargar un nuevo firmware. O se puede usar el encabezado ISP con un programador externo (sobrescribiendo el cargador de arranque DFU) [Arduino, 2021].

Esto demuestra que las formas de programación para el Arduino UNO dependerá del nivel de conocimiento que se tenga o se quiera desarrollar en la instrucción, no está limitado simplemente a una programación por receta, puede implicar un nivel más profundo. Lo anterior deshace las acusaciones de que Arduino UNO no puede usarse en la instrucción más desarrollada de programación [Dignal, 2015] y si en cambio al tener varios niveles de posibilidad permite escalar la capacitación y el aprendizaje, presentando primero un escenario que facilita la incorporación de personas nuevas a la programación.

En general, a los estudiantes les gusta el bajo costo de estos dispositivos y la facilidad de uso que les permite crear proyectos importantes. Como instructores, los proyectos que se están entregando muestran que los estudiantes están mejorando

en el diseño de sistemas y están profundizando en sistemas de ingeniería reales motivados por su propia creatividad. Esto justifica la adopción de estos tableros en un plan de estudios [Jamieson y Herdtner, 2015].

## **Raspberry Pi**

La Raspberry Pi es una computadora de bajo costo del tamaño de una tarjeta de crédito que se conecta a un monitor de computadora o TV y utiliza un teclado y un *mouse* estándar. Es un pequeño dispositivo capaz que permite a personas de todas las edades explorar la informática y aprender a programar en lenguajes como Scratch y Python [Raspberry Pi Foundation, 2019].

La Fundación Raspberry Pi proporciona Raspberry Pi OS (anteriormente llamado Raspbian), una distribución de Linux basada en Debian (32 bits) para descargar, así como Ubuntu de terceros, Windows 10 IoT Core, RISC OS, Libre ELEC (distribución de centro de medios especializada) y distribuciones especializadas para el centro de medios Kodi y la gestión de aulas. Promueve Python y Scratch como los principales lenguajes de programación, con soporte para muchos otros lenguajes. El firmware predeterminado es de código cerrado, mientras que el código abierto no oficial está disponible. Muchos otros sistemas operativos también pueden ejecutarse en Raspberry Pi. El microkernel SEL4 formalmente verificado también es compatible [Wikipedia contributors, 2021]. En figura 2 está representada la computadora en placa Raspberry Pi 4 Modelo B.



*Fuente: Wikimedia Commonx. Internet de las cosas*

Figura 2 Raspberry Pi 4 Modelo B.

## **Internet de las cosas**

La Internet de las cosas (IoT) se refiere a dispositivos que han sido equipados con electrónica y sensores y conectados a una red (generalmente Internet) para

comunicarse entre sí y / o con servidores centrales. El campo de IoT ha experimentado un crecimiento masivo recientemente. Los avances en procesadores y baterías han hecho que las plataformas informáticas sean económicas y pequeñas, permitiendo aplicaciones en dominios que antes solo se imaginaban (por ejemplo, tecnologías portátiles y ciudades inteligentes). Si bien la demanda está creciendo para aquellos con experiencia en sistemas de IoT, los cursos que exploran el IoT están en sus inicios.

Los productos y servicios de IoT atraerán a los consumidores a un nivel más íntimo que los productos y servicios actuales, haciendo que las normas sociales y culturales sean aún más relevantes para el diseño de ingeniería. Para agravar el desafío de enseñar IoT está el hecho de que IoT requiere un conjunto particularmente amplio de habilidades que van desde el diseño de sensores y la programación de microcontroladores hasta la minería de datos y el aprendizaje automático. Los instructores de IoT deben negociar un desafío de amplitud frente a profundidad en la enseñanza de IoT.

Una lista de conceptos que son importantes en IoT, pero que no se tratan en gran medida en otras partes de un plan de estudios [Galluzzi, Berry y Shibberu, 2017]:

- Necesidad de transferencia inalámbrica de datos. Esto conduce a problemas que incluyen la pérdida de datos/corrupción de datos y un retraso potencialmente ilimitado en la transferencia de datos.
- Poder limitado. La mayoría de los dispositivos funcionan con baterías y, por lo tanto, se debe pensar en formas de minimizar el consumo de energía reduciendo el muestreo del sensor, utilizando algoritmos computacionales livianos en el dispositivo y minimizando la cantidad de transmisión de datos.
- Cantidades sustanciales de datos de sensores de transmisión en tiempo real. Interesan los patrones que se pueden observar a partir de lecturas de sensores sin procesar, no las lecturas en sí mismas y, por lo tanto, necesitamos realizar aprendizaje automático para identificar patrones de interés a partir de los datos.
- Información distribuida. En muchos casos, un dispositivo puede mejorar su precisión al comprender lo que detectan otros dispositivos cercanos.

## **Aprendizaje basado en problemas**

Existe consenso entre la comunidad universitaria que debe promoverse en los alumnos competencias relacionadas con la capacidad de resolver problemas de forma creativa, formular preguntas, buscar información relevante y utilizarla de manera eficaz, desarrollar el pensamiento crítico y el aprendizaje autónomo, entre otras.

En la opinión de Guilar [2009] es necesario que los procesos de enseñanza y aprendizaje se desarrollen por medio de prácticas cooperativas de trabajo a fin de enseñar y aprender mediante comunidades de aprendizaje. El autor destaca la importancia del uso de apoyos instrumentales (wikipedia, youtube o Facebook) para favorecer el aprendizaje de contenidos además de aprender a trabajar en equipo, a reflexionar sobre el proceso de aprendizaje, a utilizar la narración como instrumento de pensamiento y de intercambio, a usar la tecnología disponible o a enseñar y comunicar a otros los conocimientos adquiridos.

De acuerdo con Restrepo [2005] el Aprendizaje basado en problemas (ABP) es una estrategia de enseñanza denominada aprendizaje por descubrimiento y construcción, donde el estudiante es el protagonista del proceso de aprendizaje al buscar, seleccionar y organizar información con la finalidad de intentar resolver problemas. En este contexto, el docente asume un rol secundario al desempeñarse como un orientador en la solución de situaciones problemáticas.

## **Verdaderas dificultades**

A pesar de que estas placas de prototipos de microprocesadores se basan en la funcionalidad y el bajo costo, incluirlas en los cursos presenta varios desafíos. En particular, el desafío más difícil es cómo lidiar con la disponibilidad de proyectos de código abierto y "escudos" (*shields*) y bibliotecas, y luego evaluar lo que ha hecho un estudiante. Se han propuesto algunas formas de afrontar esta situación, pero de ninguna manera se ha resuelto por completo el problema de la evaluación y la creación de proyectos.

Otro desafío importante con los proyectos, que es realmente independiente de trabajar con los tableros de creación de prototipos descritos anteriormente, es la

escala de los proyectos y garantizar el progreso de los estudiantes para completar un proyecto exitoso. Los estudiantes que hacen la transición a la universidad piensan que un proyecto se puede completar en una sola tarde (larga), tienen dificultades para crear un proyecto y tienen realmente poca habilidad en la organización de las tareas. Además, los estudiantes enfrentan muchos desafíos en términos de trabajar en proyectos grupales, como encontrar horarios de reunión comunes y tratar con miembros del equipo que no contribuyen significativamente a su desarrollo [Jamieson y Herdtner, 2015].

En un estudio realizado por Galluzzi, Berry y Shibberu [2017] los estudiantes tuvieron que dedicar una cantidad significativa de tiempo a familiarizarse con el funcionamiento de los dispositivos para registrar y guardar datos, además realizaron consultas frecuentes y realizar búsquedas en la web sobre información relacionada con varias funciones del dispositivo utilizado.

Los autores refieren que los estudiantes debían dedicar tiempo a la escritura de un informe técnico sobre su proyecto para su posterior publicación en línea en la serie de informes técnicos de la universidad. Este tiempo final demostró ser el más desafiante para los instructores, ya que las expectativas de los estudiantes no coincidían con las expectativas de los instructores en cuanto a lo que constituía un informe técnico.

Los estudiantes (e instructores) tuvieron que soportar muchas rondas de reescrituras. Durante las últimas dos semanas, los estudiantes e instructores también discutieron temas adicionales relacionados con IoT que incluyeron:

- La importancia de adherirse a las pautas federales para la investigación con sujetos humanos.
- El intercambio de datos y propiedad intelectual y la concesión de licencias de código abierto.
- La importancia de la seguridad en las aplicaciones de IoT.

En este contexto, es importante considerar todos los aspectos involucrados en la implementación del aprendizaje basado en proyectos, tanto para los estudiantes como para los docentes.

## **2. Métodos**

Este trabajo presenta los resultados de una investigación cualitativa de tipo documental sobre el aprendizaje de la robótica y los sistemas inteligentes. A través de la revisión documental realizada, se han encontrado en la literatura dos tipos de dificultades.

La primera dificultad está asociada con la orientación requerida sobre el uso de los microcontroladores en una placa en el ámbito educativo, pues en general han permitido el aprendizaje de la programación a estudiantes que carecen de formación disciplinar en esta área. Esta situación da lugar a que equipos interdisciplinarios sean capaces de probar rápidamente ideas sobre innovaciones en robótica y sistemas inteligentes.

Existen críticas sobre la pertinencia de formar expertos en programación de microcontroladores, pues se sugiere que no serán capaces de enfrentar los verdaderos retos de las aplicaciones prácticas. Sin embargo, los microcontroladores en una placa con software de acceso libre y fácilmente programable no están destinados a formar expertos, pues su objetivo es permitir acceso rápido al aprendizaje a un grupo más amplio de personas.

La segunda dificultad se relaciona con la facilidad de acceso a la programación de microcontroladores y su disponibilidad económica, lo cual no implica que el aprendizaje inmediato se convierta en algo sin esfuerzo, considerando que las dificultades se redujeron, pues todavía implica una disciplina de trabajo y estudio con rigor.

## **3. Resultados**

Como resultado de la revisión realizada en la literatura sobre la implementación del aprendizaje basado en proyectos en los procesos de enseñanza y aprendizaje de la programación de microcontroladores y su uso en sistemas inteligentes, se presentan las siguientes propuestas.

La enseñanza en equipo reduce la carga de trabajo del docente permitiendo a los estudiantes obtener una perspectiva multidisciplinaria, además de proporcionarles una amplia gama de conocimientos al realizar consultas sobre información

relacionada con el desarrollo del proyecto [Galluzzi, Berry y Shibberu, 2017]. Estos autores consideran que la creación de un marco más estricto en relación con las expectativas de los estudiantes, la presentación de informes sobre las actividades realizadas, los resultados obtenidos y la creación de un plan de evaluación detallado, fortalecería el curso. Esto es un desafío en un curso de aprendizaje basado en problemas, ya que la entrega del contenido está en función del problema seleccionado y el desempeño / necesidades del estudiante, que pueden variar de un periodo lectivo a otro.

Las formas efectivas de lograr una estructura adicional en un curso basado en problemas son requerir:

- Que los estudiantes presenten notas de progreso semanales y un registro del tiempo de actividades.
- Requerir una revisión de la literatura de las fuentes relevantes.
- Documentación de las comunicaciones entre los diversos participantes dentro de un equipo.

De acuerdo con Galluzzi, Berry y Shibberu [2017] es necesario que los docentes consideren dentro de los elementos de evaluación la presentación de algunos de esos elementos mencionados anteriormente, con la finalidad de aplicar rigurosamente los criterios y la rúbrica de evaluación.

En cuanto a las prácticas que ayudaron a los principiantes a lidiar con los desafíos del sistema integrado Arduino, se pueden resumir de la siguiente manera [Karvinen, 2019]:

- Comprender el concepto de entrada, procesamiento de datos y salida.
- Utilizando pasos de configuración de muestra
- Aprender las habilidades clave para usuarios novatos de Arduino
- Comenzando con el "*Hello World*" previsto en Arduino.
- Crear un modelo mental de lo deseado funcionalmente
- Utilizar los recursos de la comunidad en línea
- Usar un estilo de codificación que mantenga el programa legible y refleje la estructura del modelo mental.

- Construir en pequeños pasos.
- Lidiando con un problema a la vez.
- Compilar "*Hello World*" cuando el sistema o programa integrado no parece funcionar como se esperaba.

Desde la perspectiva de Jamieson y Herdtner [2015] y Karvinen [2019] el inicio de curso puede combinar un periodo de conferencias y el acceso a videos demostrativos disponibles en la red sobre los temas a desarrollar.

Existe una enorme cantidad de información, código y diseños que los estudiantes pueden aprovechar para crear sus propios diseños. La pregunta sigue siendo, ¿cómo se puede evaluar la idea de "su proyecto" y verificar que los estudiantes están aprendiendo? Una solución simple es avanzar hacia los primeros principios y presionar a los estudiantes para que realicen una interfaz de bajo nivel sin bibliotecas.

Podría decirse que este enfoque debe realizarse al menos una vez, ya que ayuda a los estudiantes a comprender algunos de los detalles de la interfaz. Sin embargo, obligar a los estudiantes a reinventar la rueda para cada dispositivo que usarán es menos útil ya que, posiblemente, en sus trabajos industriales el objetivo será aprovechar los diseños existentes y las bases de código para crear sistemas más grandes.

Otra solución es permitir que los estudiantes utilicen cualquier código base y evalúen el sistema en función del producto final. En este enfoque, el instructor asume que, para crear un sistema complejo, un estudiante dedicará mucho tiempo a comprender las bibliotecas existentes, cómo se pueden usar esas bibliotecas y mezclar más de una biblioteca / api para lograr una tarea compleja.

Se puede usar este esquema siempre que se cuide que no se están construyendo proyectos que son similares a kits completos que se pueden comprar. Por esta razón, este tipo de proyectos puede ser desechado [Jamieson y Herdtner, 2015].

Otro enfoque consiste en que los estudiantes preparen deliberadamente un documento a través del cual muestren el código usaron y qué agregaron / diseñaron. Desde esta perspectiva, se permite que los estudiantes utilizar cualquier código,

pero deben mostrar cuales son las diferencias entre su código y el código existente. De esta manera, se requiere que un estudiante describa cómo creó su sistema y cómo utilizó los módulos existentes dentro de su sistema. Este proceso es similar a diferenciar una base de código de la base de código abierto, pero requiere que el estudiante ilustre esto en un único documento organizado que permita a los instructores ver fácilmente lo que los estudiantes han hecho y lo que ya estaba disponible. La desventaja de este enfoque es que requiere que los estudiantes dediquen más tiempo a organizar su diseño en el producto final [Jamieson & Herdtner, 2015].

Antes de comenzar a crear sus propios programas, los estudiantes deberían poder crear un modelo mental del programa. No es necesario que sea técnico, sino más bien explicar en pequeños pasos lo que debería suceder. La capacidad de hacer un modelo mental para resolver un problema y luego ejecutarlo con la sintaxis es una parte esencial de una tarea de programación. La creación de un diagrama de bloques ayuda a dividir el programa en partes y a comprender qué tipo de funciones se necesitan para lograr el comportamiento deseado. Se debe alentar a los estudiantes a pensar en la programación como una serie de pequeños desafíos y luego construir y probar un paso a la vez [Karvinen, 2019].

También se deben introducir en el curso temas adicionales como la seguridad y privacidad de los datos y dispositivos. Las conferencias invitadas de miembros de la comunidad mejorarán el entusiasmo de los estudiantes por los cursos y reducirán aún más la carga del profesorado en el desarrollo y la enseñanza de nuevos cursos de Robótica y Sistemas Inteligentes. Incluir la "voz del cliente" como parte del curso piloto se puede considerar demasiado ambicioso para un proyecto de un periodo lectivo, pero debería ser un componente de los proyectos que abarcan varios trimestres [Galluzzi, Berry y Shibberu, 2017].

#### **4. Discusión**

La enseñanza de la robótica y los sistemas inteligentes ha dado un salto hacia la universalidad de su uso. Pero apenas es un comienzo. Se debe mantener la actitud de aprender y cambiar, pues es muy seguro que nuevos desarrollos en el área de

comunicaciones, miniaturización y potencia de cálculo van a empujar todavía más allá el quehacer de esta área.

## **5. Conclusiones**

Se considera que la enseñanza de robótica y sistemas inteligentes es parte de la cultura necesaria para el desarrollo actual, los microcontroladores embebidos y la IoT, permiten obtener soluciones a tareas que son innovadoras. La enseñanza por medio de proyectos realizados por equipos se considera lo más adecuado, utilizando microcontroladores en una placa con acceso económico y software libre, más una comunidad de apoyo amplio en la red. Se debe diferenciar la capacitación en microcontroladores realizando tareas robóticas con dispositivos para soluciones en IoT que generalmente tienen una cuesta de aprendizaje más empinada. Desde la perspectiva de Karvinen [2019] las cosas más complejas en el desarrollo de IoT que los estudiantes enumeran son:

- Combinar un dispositivo con un sitio web, aprender un dominio completamente nuevo.
- Programar desafíos.
- Comprender las causas.
- Ritmo rápido de la enseñanza.
- Elegir los componentes correctos.
- Funcionamiento del servidor.

La enseñanza ya está dándose y se tienen hallazgos que no deben desaprovecharse, esto ahorra tiempo y recursos a los esfuerzos para difundir y acrecentar el conocimiento y sus resultados.

## **6. Bibliografía y Referencias**

- [1] Arduino. (1/enero/2021). Arduino/Genuino UNO: <https://www.arduino.cc/en/Main/arduinoBoardUno>&gt.
- [2] Dignal. (28 de marzo de 2015): <https://dignal.com/porque-arduino-no-es-la-herramienta-correcta/>.

- [3] Galluzzi, V., Berry, C. A., & Shibberu, Y. (2017). A Multidisciplinary Pilot Course on the Internet of Things: Curriculum Development Using Lean Startup Principles. 2017 ASEE Annual Conference & Exposition. Columbus, Ohio.
- [4] Guilar, Moisés Esteban. (2009). Las ideas de Bruner: “De la revolución cognitiva” a la “revolución cultural”. *Educere*, 13(44), 235-241: [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1316-49102009000100028&lng=es&tlng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-49102009000100028&lng=es&tlng=es).
- [5] Jamieson, P., y Herdtner, J. (2015). More missing the Boat—Arduino, Raspberry Pi, and small prototyping boards and engineering education needs them. 2015 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE) (págs. 1442-1447). El Paso, Texas: IEEE.
- [6] Karvinen, K. (2019). Lowering barriers on embedded system design—Turning innovations into prototypes. Doctoral Dissertation. Aalto: Aalto University.
- [7] Raspberry Pi Foundation. (24 de junio de 2019). What is a Raspberry Pi?: <https://www.raspberrypi.org/help/what-is-a-raspberry-pi/>.
- [8] Restrepo Gómez, B. (2005). Aprendizaje basado en problemas (ABP): una innovación didáctica para la enseñanza universitaria. *Educación y Educadores*, 8(), 9-19: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=83400803>.
- [9] Wikipedia, La enciclopedia libre. (26/junio/2021): <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Atmega328&oldid=136603139>.
- [10] Wikipedia contributors. (20/09/2021). Wikipedia, The Free Encyclopedia. Raspberry Pi: [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Raspberry\\_Pi&oldid=1045002660](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Raspberry_Pi&oldid=1045002660).