

Implementación del módulo ESP32 como herramienta para el desarrollo de prácticas enfocadas al IoT

Ismael Minor Sampedro, Ricardo Álvarez González,
Rodrigo Lucio Maya Ramírez, Alba Maribel Sánchez Gálvez

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla,
Facultad de Ciencias de la Electrónica,
Laboratorio de Sistemas Digitales
México

ismael.minorsampedro01@gmail.com, {ricardo.alvarez,
rodrigo.maya, alba.sanchez}@correo.buap.mx

Resumen. Poco se habla de la aplicación del Internet de las Cosas en las instituciones educativas debido al crecimiento tan acelerado de esta tecnología, lo que en consecuencia presenta un rezago importante en la formación de sus estudiantes en estos tópicos, una forma de contribuir a la enseñanza de estos temas es mediante el modelo STEM donde los estudiantes sean capaces de adquirir conocimiento a través de la práctica, es por ello que en este trabajo se presenta el desarrollo de nodos dotados de sensores y actuadores que son capaces de procesar datos y comunicarse mediante Wi-Fi a través de la implementación del módulo ESP32, estos datos serán enviados mediante el protocolo MQTT a la plataforma Adafruit IO para poder registrar y desplegar de forma gráfica la información, todo con la finalidad de formar una Wireless Sensor and Actor Network que permita a los usuarios desarrollar prácticas y proyectos, monitorear variables, controlar procesos y proponer soluciones inteligentes de manera inalámbrica.

Palabras clave: IoT, protocolo MQTT, WSAN.

ESP32 Module Implementation as a Tool for Development of Practices Focused on IoT

Abstract. Little is said about the application of the Internet of Things in educational institutions due to the rapid growth of this technology, which consequently presents a significant lag in the training of its students in these topics, a way of contributing to the teaching these topics is through the STEM model where students are able to acquire knowledge through practice, which is why this paper presents the development of nodes equipped with sensors and actuators that are capable of to process data and communicate via Wi-Fi through the implementation of the ESP32 module, these data will be sent via the MQTT protocol to the Adafruit IO platform in order to record and display the information graphically, all with the purpose of forming a Wireless Sensor and

Actor Network that allows users to develop practices and projects, monitor variables, control processes and propose intelligent solutions wirelessly.

Keywords: IoT, MQTT protocol, WSN.

1. Introducción

1.1. El concepto de internet de las cosas

El concepto de Internet de las Cosas (IoT por sus siglas en inglés) fue introducido por primera vez en 1999 en una conferencia de Procter and Gamble por el ingeniero británico Kevin Ashton, donde hacía referencia a etiquetas de radiofrecuencia (RFID) que eran capaces de proveer información dentro de una cadena de suministros [1]. De este modo, al utilizar estas etiquetas, se reducía el riesgo de pérdida de información por la intervención humana.

Si bien el concepto de IoT ha estado presente por más de 20 años no ha sido hasta la última década que ha tomado importancia con el crecimiento exponencial de la tecnología y la llegada de la industria 4.0, en consecuencia, el concepto también ha evolucionado de modo que cada organización presenta una definición distinta, en la revista McKinsey, Chui, Loffer y Roberts, advierten que con la llegada del IoT hay un cambio en la forma en la que se genera información, es decir, en el mundo físico, los distintos elementos, objetos, o variables, con los que las personas interactúan de manera ordinaria, se convierten en proveedores o sistemas de información, esta definición considera la incrustación de sensores y actuadores en objetos físicos como, vehículos, edificios, marcapasos o wearables con capacidad de conexión a redes alámbricas o inalámbricas [2].

Es importante entender que estas definiciones no necesariamente difieren una de la otra, sino que al contrario, tienen un enfoque a los diferentes aspectos que engloba el fenómeno del IoT desde distintos puntos de vista y casos de aplicación, de este modo y para efectos de este trabajo, el concepto de IoT se entiende como la interconexión digital de objetos cotidianos a internet, es decir, los objetos ahora son capaces de generar información que pueda ser gestionada mediante medios computacionales en beneficio de los usuarios o procesos [3].

1.2. La demanda del IoT en México

De acuerdo con la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), mediante un ejercicio de exploración en 2016 de las direcciones IP de diferentes dispositivos, el volumen de IoT en México equivalía solamente a poco más de 8 millones de objetos conectados [4].

Sin duda, se trata de un área de oportunidad para la mejora en la calidad de vida y productividad de los individuos, empresas y gobiernos, así como a la mejor integración de estas tecnologías en nuestro día a día, sin embargo, su implementación no ha resultado una tarea sencilla.

Se considera que en México cerca de un 30 % de las compañías han comprendido las grandes ventajas que aporta el IoT, pues para estas es evidente que la integración

de una tecnología que permita generar nuevos modelos de negocio, obtener información en tiempo real de sistemas de misión crítica, diversificar las fuentes de ingresos, tener visibilidad global y mantener operaciones eficientes e inteligentes, es fundamental para poder ofrecer una ventaja competitiva [5].

Es claro que la demanda de la industria por las nuevas tecnologías va cada día en aumento, sin embargo, en México existe un gran desequilibrio entre las necesidades de la industria 4.0 y los programas educativos que incluyen tópicos como es el IoT, si bien, desarrollar un plan de estudios basado en este tema representa el camino a seguir, aplicar por esta alternativa implica una mayor cantidad de tiempo desde su propuesta hasta su implementación, tiempo que posiblemente la industria no puede esperar, es por ello que se ha optado por explorar nuevas metodologías como lo es el modelo STEM por sus siglas en inglés (Science Technology Engineering and Mathematics), este propone que los alumnos desarrollen aprendizaje basado en prácticas y proyectos donde se investigue y se diseñen soluciones a los problemas haciendo uso de tecnología moderna [6].

1.3. Sistemas embebidos disponibles en el mercado para la integración de proyectos

Actualmente en el mercado, una de las empresas líderes en el desarrollo de hardware embebido para la integración de proyectos es Mikroe, su objetivo es ayudar a desarrolladores a integrar soluciones tecnológicas, mediante la implementación de Clickboards™ y tarjetas de desarrollo [7].

A diferencia de lo existente en el mercado, este trabajo propone el desarrollo de módulos con sensores, actuadores o periféricos integrados, sin la necesidad de una tarjeta de desarrollo, ya que se implementará el SoC ESP32 en el propio módulo para poder procesar la información y al mismo tiempo ser capaz de enviar o recibir datos mediante la red Wi-Fi, adicionalmente, el módulo será capaz de operar con baterías, lo que favorece la implementación de estos dispositivos en distintas zonas de interés sin la necesidad de tenerlos concentrados en un solo lugar.

Además, teniendo como fundamento el modelo STEM, el objetivo principal radica en el desarrollo de hardware embebido que permita a los alumnos desarrollar prácticas de laboratorio con el fin de comprender integrar y proponer proyectos de IoT de una manera sencilla, modular y en el menor tiempo posible, haciendo uso de las plataformas más actuales en el mercado.

2. Desarrollo

Si la idea de conectar objetos entre sí y a internet no es nuevo, es razonable preguntar por qué el IoT es un tema que hoy en día está ganando popularidad.

El IoT tiene el potencial de cambiar fundamentalmente la forma en que interactuamos con nuestros alrededores. La capacidad de monitorear y administrar objetos en el mundo físico electrónicamente, hace posible llevar la toma de decisiones basada en datos a nuevos ámbitos de la actividad humana, a optimizar el rendimiento de los sistemas y procesos, ahorrar tiempo para las personas y las empresas, así como mejorar la calidad de vida [8].

Desde una perspectiva amplia, la confluencia de diferentes tendencias tecnológicas y de mercado [9] está permitiendo interconectar dispositivos más pequeños de forma económica y sencilla.

La tabla 1 muestra una clasificación de las herramientas que en la actualidad se encuentran disponibles para empezar a desarrollar aplicaciones relacionadas al IoT.

Analizando detenidamente la tabla 1 se observa que esta clasificación se realiza considerando los siguientes factores:

- Miniaturización.
Los avances en la manufactura de circuitos integrados permiten desarrollar e integrar potentes sistemas como los SoCs (System on a Chip) y módulos en tamaños muy pequeños a gran escala y en consecuencia a bajo costo.
- Surgimiento de la computación en la nube.
Cada día son más las plataformas que aprovechan recursos informáticos remotos conectados en red para procesar, gestionar y almacenar datos en la nube, de este modo es posible conectar dispositivos pequeños y distribuidos con el fin de interactuar con potentes sistemas de soporte que permitan el análisis y control de los datos y sistemas.
- Conectividad ubicua.
La conectividad generalizada, de bajo costo y alta velocidad, sobre todo a través de servicios y tecnología inalámbricos con y sin licencia, hace que casi todo sea “conectable” [10].

2.1. Selección de Hardware

Para hacer una selección correcta del hardware es importante tomar en cuenta que los sistemas embebidos se clasifican en 4 tipos basados en el rendimiento y los requisitos funcionales: En tiempo real, independientes, en red y móviles.

En el desarrollo de este proyecto se plantea la creación de nodos Wi-Fi que faciliten la integración de proyectos enfocados al internet de las cosas a través de dispositivos modulares interconectados de manera inalámbrica, considerando estas características la clasificación corresponde a un sistema embebido en red, ya que estos están formados por componentes como controladores y sensores que se conectan a una red alámbrica o inalámbrica para realizar las tareas asignadas y dar salida a los dispositivos conectados.

Es por ello que para la implementación de estos nodos se hace uso del SoC ESP32 en su presentación de módulo, el cual integra todos los elementos necesarios para poder disponer de conectividad Wi-Fi, así como Bluetooth, del mismo modo dispone de una memoria para poder almacenar el firmware con en que se pretende desarrollar código, así como de GPIOs para poder trabajar con señales digitales o analógicas o establecer conexión mediante protocolos como UART, I2C o SPI.

2.2. Firmware y Software

- MicroPython.
Para realizar la programación de estos módulos se utiliza Micropython el cual es una implementación del lenguaje de programación Python 3, optimizado para poder ejecutarse en un microcontrolador.

Tabla 1. Hardware y software disponible para IoT.

Módulos	Tarjetas de desarrollo	Firmware, SDK e IDE	Plataformas en la nube	
  		 	 	
-ESP32-S ESP32-S2 ESP32-S3 -ESP32-C ESP32-C3 -ESP32 -ESP8266 -ESP8285	-ESP32-S -ESP32-C -ESP32 -ESP8266	-ESP32-DevKit -ESP-EYE -ESP Audio DevKits -ESP32-GoogleCloud IoT Kit -Esp32-Azure IoT kit	-ESP IDF -ARDUINO IDE - MICROPYTHON N -ECLIPSE -VISUAL STUDIO	-Adafruit IO -Ubidots -ThingSpeak -Arduino IoT Cloud -Node RED

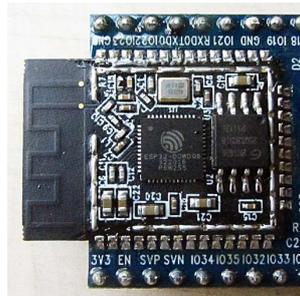


Fig. 1. Espressif ESP-WROOM-32 Módulo Wi-Fi & Bluetooth.

- Thonny.
Thonny es un programa muy interesante para empezar a aprender Python ya que engloba tres herramientas fundamentales: intérprete, editor y depurador.

2.3. Selección de la plataforma de servicio en la nube

Adafruit IO es un servicio en la nube que permite monitorizar datos y realizar paneles de control *online* también conocidos como *dashboards*, todo comunicado con el sencillo y eficaz protocolo MQTT.

2.4. Protocolo MQTT

Existen diferentes protocolos que permiten transmitir mensajes entre los dispositivos IoT en pequeños lapsos de tiempo; dentro de los más utilizados en este tipo de comunicaciones son *Message Queue Telemetry Transport* (MQTT), *Constrained Application Protocol* (CoAP), *Advanced Message Queuing Protocol* (AMQP) e *Hypertext Transfer Protocol* (HTTP) [11], algunos exigen mayor cantidad de recursos que otros o utilizan mayor ancho de banda.

Tabla 2. Datos registrados del Módulo Wi-Fi de salida (Relay).

value	feed_id	created_at	lat
1	2240365	2022-06-30 16:03:58 UTC	
1	2240365	2022-06-30 16:04:03 UTC	
1	2240365	2022-06-30 16:04:08 UTC	
1	2240365	2022-06-30 16:04:13 UTC	

Tabla 3. Datos registrados del Módulo Wi-Fi con sensor integrado (LDR).

value	feed_id	created_at	lat
2.881563	2238517	2022-06-30 16:03:58 UTC	
2.564102	2238517	2022-06-30 16:04:03 UTC	
2.515262	2238517	2022-06-30 16:04:08 UTC	
3.125763	2238517	2022-06-30 16:04:13 UTC	

Para seleccionar el protocolo de mensajería adecuado, es importante tener claro el objetivo del sistema IoT y sus requerimientos al momento de enviar mensajes o datos. Uno de los protocolos de comunicación más utilizados por dispositivos IoT es MQTT, ya que se trata de un protocolo de mensajería ligero para usar en casos de clientes con recursos limitados en cuanto al ancho de banda o consumo energético.

Se utiliza principalmente para comunicaciones de máquina a máquina (M2M) o conexiones del tipo IoT además de ser compatible con las plataformas disponibles como Adafruit IO.

La implementación del protocolo MQTT requiere de tres elementos fundamentales, los clientes, los *topics* y el *broker*.

Para el caso de este trabajo los nodos que integran el ESP32 toman el papel de clientes, la plataforma de Adafruit IO es el *broker*, por último, el *topic* es el elemento a que el cliente se suscribe o publica la información ya sea de un sensor o de un actuador.

Una de las ventajas del protocolo MQTT es que es posible conectar tantos clientes como lo permita el *broker* y estos pueden publicar y suscribirse a distintos *topics* de manera asíncrona permitiendo monitorear variables o accionar elementos dentro de una misma red.

Dicho lo anterior esto da paso a un concepto muy interesante conocido por sus siglas como WSN.

2.5. Wireless Sensor and Actor Network

Las redes inalámbricas de sensores y actuadores por sus siglas en inglés (WSAN) se refieren a un grupo de sensores y actuadores conectados por un medio inalámbrico para realizar tareas distribuidas de detección y actuación.

En las WSN, los sensores recopilan información sobre el mundo físico, mientras que los actuadores toman decisiones y luego realizan acciones apropiadas sobre el medio ambiente, lo que permite al usuario monitorear y actuar de manera efectiva a distancia [12].

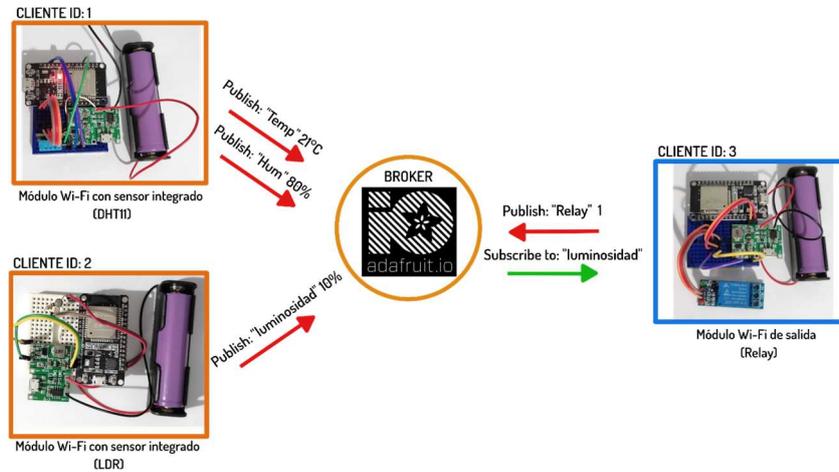


Fig. 2. Montaje de la WSAN con los módulos con sensor integrado y el módulo de salida.



Fig. 3. Visualización de los datos en la plataforma de Adafruit IO.

3. Pruebas y resultados

Una vez analizados todos los elementos por separado el objetivo de este proyecto es desarrollar un kit de módulos Wi-Fi divididos en dos categorías: “Módulos Wi-Fi con sensor integrado” y “Módulos Wi-Fi de salida”, estos se comunicarán mediante el protocolo MQTT para conformar así una *Wireless Sensor and Actor Network*, todo con la finalidad de facilitar la rápida integración de sistemas IoT de manera modular y sobre todo sin complejos sistemas de cableado.

3.1. Montaje de la WSAN

Para realizar las pruebas preliminares se hace uso de las tarjetas de desarrollo ESP32 *Devkit v1* por su practicidad para programar y realizar las conexiones, como se puede apreciar en la figura 2, se dispone de dos módulos con sensor integrado, uno de ellos

contiene un sensor DHT11 para el monitoreo de la temperatura y la humedad relativa, el otro módulo dispone de una fotorresistencia LDR que permite monitorear la intensidad de luz, en la parte derecha de la figura se aprecia el módulo Wi-Fi de salida que en caso de recibir alguna orden activa o desactiva un relevador, así también se muestra la estructura en cómo están distribuidos los módulos y la forma en que se comunican haciendo uso del protocolo MQTT, de este modo y para pruebas futuras si se desea integrar más módulos a la red solo basta con identificar el cliente, conectarse al *broker*, definir un *topic* y decidir si se va a publicar o suscribir información, esto último se configura mediante código.

3.2. Creación del Dashboard en Adafruit IO

Una vez programados los módulos la información que estos recolectan es enviada a la plataforma de Adafruit IO, no obstante, esta se envía de manera separada según el *feed* o *topic* a que el cliente publique o suscriba, para poder visualizar todo en un solo lugar Adafruit IO permite la creación de paneles también conocidos como *dashboards* los cuales reúnen toda la información de la WSN y la muestran de una manera gráfica y estilizada.

3.3. Evaluación de los resultados

Las pruebas y resultados presentados a continuación, fueron evaluados dentro de un laboratorio de comunicaciones digitales donde se provee una red Wi-Fi de 2.4 GHz a la cual se conecta cada uno de los módulos, el objetivo de esta evaluación preliminar es comprobar si es posible integrar una WSN teniendo como microcontrolador el módulo ESP32, de ser esto posible se verifica que el protocolo de comunicación MQTT funcione adecuadamente con la plataforma de Adafruit IO y finalmente se realiza un ejercicio de automatización mediante un "Módulo Wi-Fi con sensor integrado" y un "Módulo Wi-Fi de salida".

Uno de los principales retos al implementar una WSN, es evitar la colisión de datos, para evitar esta situación al implementar el protocolo MQTT se debe identificar que, si bien se puede publicar o suscribir a un mismo *topic*, cada cliente debe tener un nombre o identificación única, de este modo es posible establecer esta comunicación y el *broker* no tendrá conflictos al momento de recibir la información de diferentes clientes.

Como se puede identificar en las Tablas 2 y 3, los datos registrados por el *broker* corresponden a dos dispositivos diferentes, no obstante, los datos fueron registrados en tiempos similares como se muestra en la columna "*created at*" respectivamente, esto es posible ya que cada dispositivo o cliente tiene un ID único, esto evita que se genere una pila de datos o exista colisión de los mismos.

La recopilación de estos datos no solo comprueba que los módulos se comunican adecuadamente, sino que al trabajar con una plataforma en la nube esta información es almacenada y puede ser utilizada para evaluar los cambios ocurridos en el entorno donde se encuentran montados los módulos, tal como se muestra en la gráfica de la figura 4, donde se monitorean los cambios de temperatura dentro de una habitación por un lapso de 9 días, si se observa existe un comportamiento similar entre cada día que transcurre, si se toma un mayor número de muestras y se analizan los datos se abre una

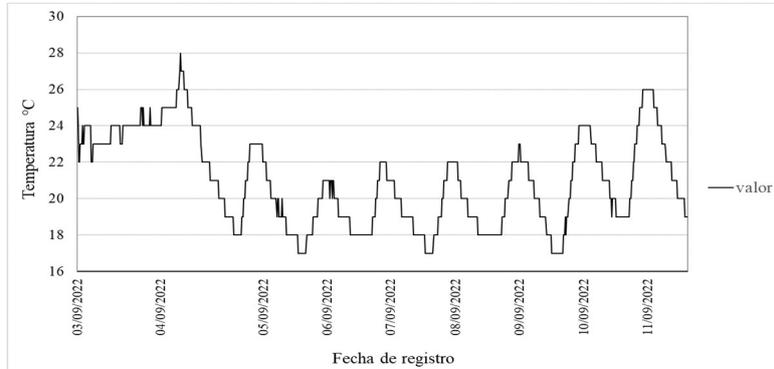


Fig. 4. Gráfica de los datos recopilados por el Módulo Wi-Fi con sensor integrado (DHT11).

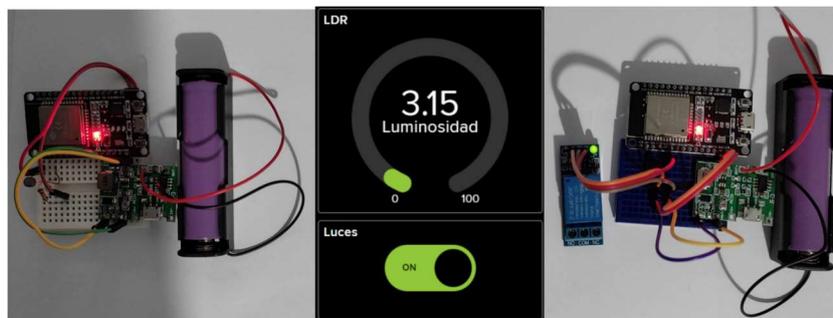


Fig. 5. Visualización de los datos en la plataforma de Adafruit IO y en los módulos cuando el relevador se acciona.

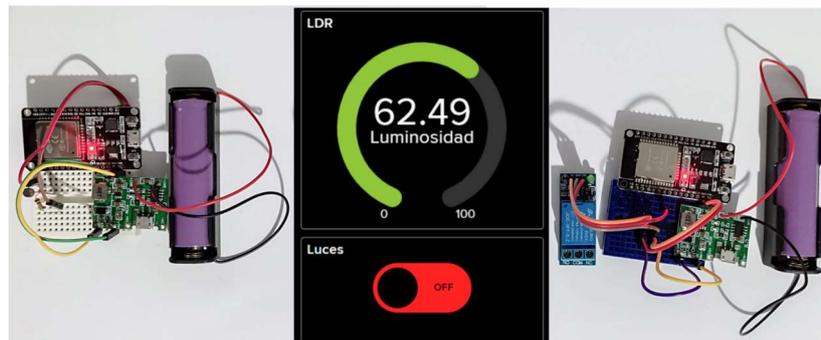


Fig. 6. Visualización de los datos en la plataforma de Adafruit IO y en los módulos cuando el relevador se desactiva.

oportunidad para desarrollar técnicas de mantenimiento predictivo para el sistema de ventilación de la habitación.

Otra de las pruebas realizadas es con la finalidad de facilitar la automatización de procesos de modo que la intervención humana sea mínima o en su defecto no sea necesaria.

Para este ejercicio se hace uso del Módulo Wi-Fi con sensor integrado (LDR) y del Módulo Wi-Fi de salida (Relay), en este caso el módulo con el LDR publica los datos al *topic* “luminosidad” y el módulo con el relevador está suscrito a este mismo *topic*, de este modo es posible programar una condición:

Si el valor de “luminosidad” es menor a 10 acciona el relevador, en el caso contrario de que el valor sea mayor a 10 entonces se desactiva el relevador.

Las figuras 5 y 6 muestran el resultado de esta prueba.

4. Conclusiones y trabajo futuro

Durante el desarrollo de este trabajo ha sido posible identificar la importancia de desarrollar herramientas y métodos que permitan crear soluciones haciendo uso del Internet de las Cosas, afortunadamente hoy en día con las mejoras en temas de conectividad y la accesibilidad a potentes dispositivos electrónicos como lo es el módulo ESP32, se abre una ventana de oportunidad donde el concepto de IoT pasa de ser una idea a algo tangible, de modo que es posible conectar el mundo real con el digital mediante la implementación de redes dotadas de sensores y actuadores que se comunican en armonía mediante protocolos establecidos como lo es el MQTT.

La integración de estos módulos en la enseñanza aplicada bajo el modelo STEM, permite proponer un sistema asequible para que el usuario pueda adquirir aprendizaje a través del desarrollo de prácticas y al mismo tiempo sea capaz de proponer soluciones haciendo uso de este hardware.

Es importante mencionar que el proyecto se encuentra en una primera etapa, no obstante como trabajo futuro se diseñarán y fabricarán los PCB con el objetivo de tener nodos compactos que integren el módulo ESP32, un sensor o actuador específico, así como una etapa que permita suministrar la energía mediante baterías recargables, de este modo comparado con otros productos disponibles en el mercado estos dispositivos tienen la capacidad de poder montarse en diversas áreas de interés sin la necesidad de tener concentrado todo en una sola tarjeta de desarrollo.

Todo con la finalidad de implementar redes WSN más grandes y con la facilidad de monitorear un mayor número de variables, así como tener la capacidad de accionar distintos dispositivos.

Referencias

1. Ashton, K.: That internet of things, thing: In the real world things matter more than ideas. RFID Journal Advances in Internet of Things, vol.6, no.4 (2016)
2. Chui, M.; Löffler, M., Roberts, R.: The internet of things. McKinsey Global Institute, pp. 12–13 (2010)
3. Román-Gallardo, A.: El internet de las cosas y su impacto en la educación. Colima, Universidad de Colima, pp. 7–8 (2020)
4. OECD: Internet access (indicator) (2022) doi.org/10.1787/69c2b997-en
5. Ortiz, G.: México rezagado en internet de las cosas. Deloitte México (2021) www2.deloitte.com/mx/es/pages/dnoticias/articulos/internet-de-las-cosas-en-mexico.html
6. Florida Department of Education.: Defining STEM www.fldoe.org/academics/standards/subject-areas/math-science/stem/defining-stem.stml
7. Mitrovic, A.: Click Boards (2022) www.mikroe.com/click-boards

8. Manyika, J., Chui M.: The internet of things: mapping the value beyond the hype. McKinsey Global Institute, pp. 11 (2015)
9. Conant, S: The IoT will be as fundamental as the Internet itself. O'Reilly Radar (2015) radar.oreilly.com/2015/06/the-iot-will-be-as-fundamental-as-the-internet-itself.html
10. Poslad, S. Ubiquitous computing: smart devices, environments and interactions. Wiley (2009)
11. Serozhenko, M.: Mqtt vs. http: which one is the best for iot? (2017) medium.com/mqtt-buddy/mqtt-vs-http-which-one-is-the-best-for-iot-c868169b3105
12. Akyildiz, I. F., Kasimoglu, I. H.: Wireless sensor and actor networks: research challenges. *Ad Hoc Networks*, vol. 2, no. 4, pp. 351–367 (2004) doi: 10.1016/j.adhoc.2004.04.003