



Encuentro Internacional de  
Educación en Ingeniería ACOFI

**GESTIÓN, CALIDAD Y DESARROLLO  
EN LAS FACULTADES DE INGENIERÍA**

**CARTAGENA, COLOMBIA**  
18 al 21 de septiembre de 2018



# **SISTEMA DE RIEGO AUTÓNOMO CON CAPACIDAD DE MEDICIÓN DE VARIABLES AMBIENTALES USANDO SOFTWARE LIBRE**

**Amaury Cabarcas Álvarez, Javier Antonio Montoya Martínez, Cristian Isaac  
Arrieta Pacheco, David Cermeño Pinzón, Daniel Ernesto Reyes Betancourt**

**Universidad de Cartagena  
Cartagena, Colombia**

## **Resumen**

La agricultura de precisión es un concepto asociado a la tecnificación y automatización, diseñado para optimizar la producción de cultivos. Por lo anterior, los esfuerzos están orientados en adquirir herramientas para el control de variables que intervienen en dichos cultivos. En Colombia, con el fin de la violencia armada, se ha identificado la necesidad de retomar la producción agrícola a partir de la restitución de cultivos ilícitos en zonas donde antes existía el conflicto armado. En este caso se plantea la automatización de cultivos mediante la implementación de sistemas embebidos como una herramienta de agricultura de precisión, para optimizar los procesos en cultivos como apoyo a los agricultores. Este proyecto presenta el desarrollo de un sistema de medición de variables ambientales incidentes en cultivos, con el objeto de identificar los valores de las variables en terreno que permitan la toma de decisiones del agricultor orientadas al uso adecuado del agua. El producto está conformado por un sistema de medición y por un sistema hidráulico autónomo de riego sobre las áreas objeto del cultivo, que funciona por medio de un sistema almacenamiento y control energético auto-sostenible, permitiendo en todo momento la toma de decisiones de riego en cada zona donde se necesita.

**Palabras clave:** internet de las cosas; agricultura de precisión; sistema de riego

## **Abstract**

*Precision agriculture is a concept, associated with the automation and automation designed to optimize crop production. Therefore, the efforts are focused on acquiring tools for the control of variables that intervene in these crops. In Colombia, with the end of armed violence, it has been*

*identified the need to resume agricultural production from the restitution of illicit crops in areas where the armed conflict existed before. In this case, the automation of crops through the implementation of embedded systems as a tool of precision agriculture, to optimize the processes in crops to support farmers. This project presents the development of a system of measurement of environmental variables incidents in crops, in order to identify the variables in the field that allow decision making of the farmer oriented to the proper use of water. The product is made up of a measuring system and a self-contained hydraulic irrigation system on the areas subject to measurement, which works by means of a self-sustaining energy storage and control system, allowing irrigation decision-making at all times in each area where it is needed.*

**Keywords:** *internet of things; precision farming; irrigation system*

## **1. Introducción**

Los sistemas de riego trabajan bajo el esquema de parametrización de intervalos de tiempo para el accionamiento de válvulas, en este caso encontramos sistemas de riego que no tienen en cuenta el estado del suelo ni la medición de variables ambientales, ya que no son capaces de prevenir el riego en condiciones favorables para lluvias o condensación superficial (rocío, neblina), por lo tanto, al darle seguimiento a los valores que se obtienen de estas variables es posible determinar qué tan saludable se encuentra el cultivo y qué medidas de riego debe tomar un agricultor o cuidador (El Universal,2018). Con la problemática descrita, se propone el desarrollo de un prototipo de sistema de riego como apoyo a agricultores o cuidadores, que permita monitorear y hacer un correcto uso del consumo de agua durante crecimiento del cultivo, y al mismo tiempo usar como fuente de alimentación energías renovables, como energía solar, considerada una de las más limpias comparada con las convencionales (Portafolio,2018).

Para la implementación de este tipo de sistema, se deben tener en cuenta la medición de variables tales como humedad relativa, temperatura ambiental, luminosidad, entre otras que influyen directamente en la formación de cultivos logrando tener la capacidad de medir los cambios que se manifiestan en el ambiente y a través de una actividad adicional como el riego ayudar a conservarlas. Actualmente encontramos muchos casos de sistemas de riego en el mundo que abordan esta problemática desde diferentes puntos de vista, en (Putjaika, et al, 2016) se presenta un sistema que usa Arduino para controlar el riego y el techo de la casa verde. Además, utiliza datos estadísticos adquiridos de sensores en comparación con el pronóstico del tiempo para la toma de decisiones. Existen sistemas complejos como (AgriSys) (Abdullah, et al, 2016) que usa sensores de temperatura, pH, humedad y la inferencia difusa para ingresar datos de los sensores. De la misma manera hay otros sistemas con características propias de una red de sensores inalámbricos (Chikankar, et al, 2015), tal que la red de detección inalámbrica con tecnología ZigBee ayuda a controlar la humedad del aire, la humedad del suelo y la temperatura. El sistema propuesto por (Sivakumar, 2016) proporciona monitoreo y control remoto del riego con detección en tiempo real de las condiciones atmosféricas y del suelo, como la temperatura del aire, la humedad y la humedad del suelo.

El presente trabajo se diferencia de los sistemas antes mencionados pues pretende ser una alternativa de bajo costo que al usar energía renovable le permite al sistema no solo abarcar la monitorización de variables ambientales a través de un sistema totalmente aislado que ofrece servicios, sino que además el sistema de riego puede consumir servicios web y/o servicios de terceros, tal que le permite optimizar el consumo de agua debido al tipo de riego (por goteo) y la distribución de áreas que permite por los nodos analizadores que maneja posibilitando así satisfacer las necesidades del agricultor y del cultivo de manera precisa.

El presente artículo se encuentra organizado de la siguiente manera, a continuación se presenta una metodología donde se detallan aspectos relevantes sobre la construcción del sistema, seguido de unos resultados, donde se describen cuáles son los productos de la investigación hasta la fecha y se deja abierta la posibilidad de implementaciones futuras, por último conclusiones y referencias.

## **Metodología**

En el desarrollo del presente trabajo se utilizó la metodología de investigación para ingeniería (Rico, et al, 2015), la cual cuenta con cinco fases, "Búsqueda Sistemática", "Solución Propuesta", "Construcción y Desarrollo", "Medida, Análisis y Evaluación" y finalmente "Socialización", al tener cualidades iterativas permite el desarrollo pertinente del problema planteado. Inicialmente se realizó una búsqueda sistemática la cual consiste en una revisión de los elementos existentes necesarios (software y hardware) que dan solución al problema de investigación planteado, además del análisis de los sistemas de riego existentes orientado a la identificación de requisitos, y luego se elaboró la solución preliminar y se realizaron pruebas para verificar que todos los requisitos estuvieran contemplados. La fase de desarrollo del sistema se trabajó bajo el marco que propone el ciclo de vida del software en cascada con subproyectos (Cap, 2005), el cual dentro del marco del proyecto de investigación se incluye el desarrollo de hardware y software, ambas partes pueden ser trabajadas en paralelo, y cada una de estas puede dividirse en subtareas que no tienen una relación linealmente dependiente.

Una vez finalizado cada una de las subtareas se procede al ensamble final del sistema donde se verifica el correcto funcionamiento de cada una de las partes, y comienza el proceso de análisis del sistema que permite verificar el correcto funcionamiento de la solución planteada (Pérez, et al, 2016).

## 1.1. Funcionamiento General

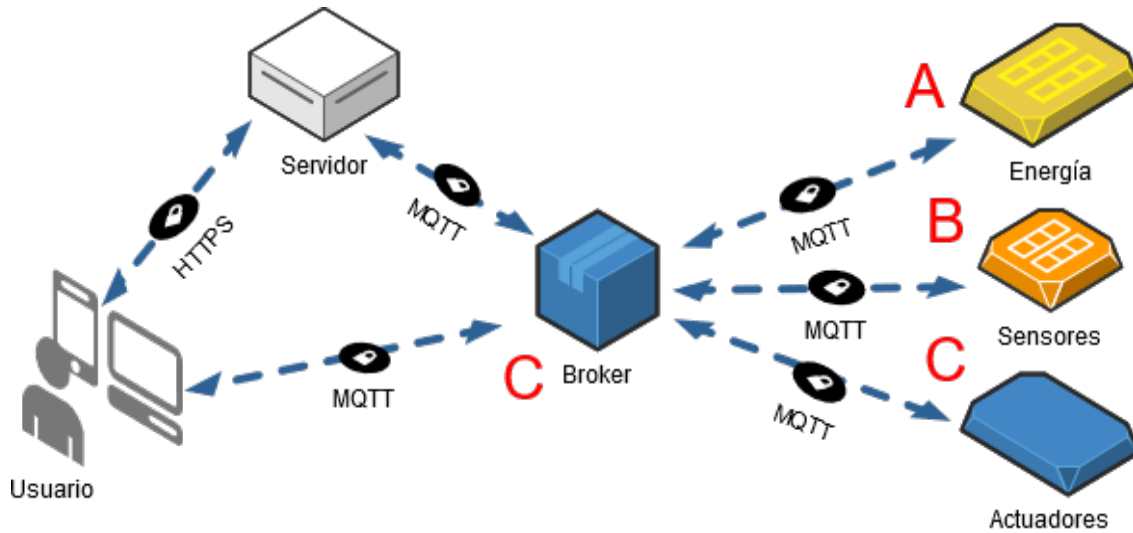
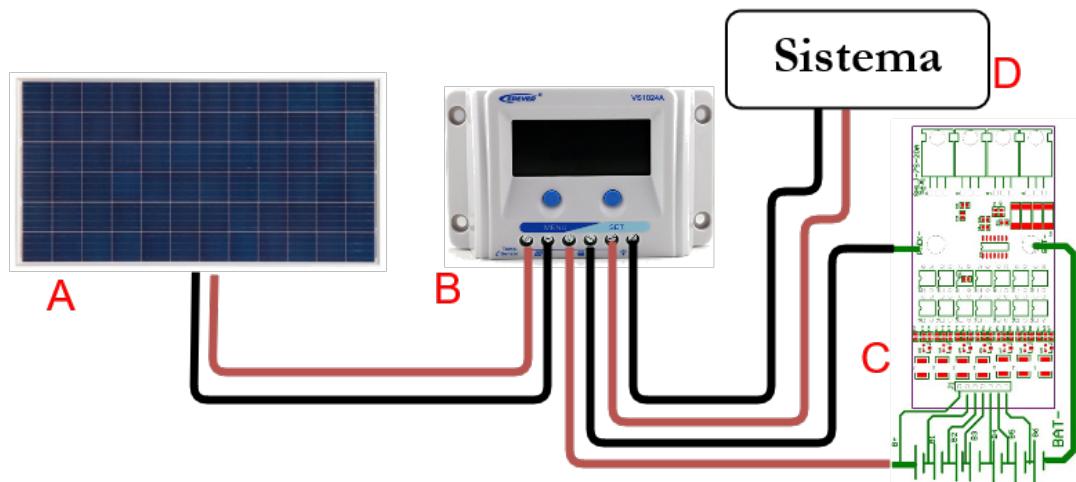


Figura 1. Esquema General de Funcionamiento del Sistema. (Autoría Propia)

El usuario tiene la supervisión de los diferentes componentes que conforman el sistema por medio de canales que enruta ("C" en la figura 1), en los cuales se atienden los eventos e información que genera el sistema de riego en sus aspectos fundamentales: energético (estado de baterías, consumo energético) ("A" en la figura 1), ambientales (medición de variables de la zona) ("B" en la figura 1) y actuadores (estado de los mismos y acciones a realizar sobre el sistema) ("C" en la figura 1); a través de lo anterior se actualiza al usuario y al sistema en sí, tal que las acciones a realizar se lleven a cabo de una manera organizada lógicamente y con eficiencia.



## 1.2. Apartado Energético

Figura 2. Esquema de conexiones del sistema energético. (Autoría propia)

El espacio de aplicación para las redes de sensores inalámbricos está dominado por la restricción de la longevidad, ya que el costo de desplegar físicamente los nodos a menudo supera el costo de los mismos. La energía es el factor limitante para alcanzar una vida útil extrema (de meses a años) en todo el sistema. Afortunadamente existe la recolección de energía ambiental a través de paneles solares (Raghunathan, et al, 2005). El sistema cuenta con un controlador (EPsolar, 2018) ("B" en la figura 2) con modulación de ancho de pulso (Abdelilah, et al., 2018) el cual a través de pulsos energéticos provenientes de los paneles solares ("A" en figura 2) carga las baterías de Litio que para efectos del proyecto, se utiliza un paquete de baterías de Litio 18650 NCR18650B (Liu, et al, 2018) de Panasonic, que a través de un BMS (Battery Manage System) ("C" en figura 2) regula la carga de cada una de estas, esto ayuda a que cuando las baterías estén cargadas se vea interrumpido el flujo de corriente y no hayan fallos de sobre-voltaje y sobre-descarga en el sistema ("B" en la figura 2).

ts	7s Pack	EPsolar
20	Low	Low
21	OK	Low
22	OK	OK
23	OK	OK
24	OK	OK
25	OK	OK
26	OK	OK
27	OK	OK
28	OK	OK
29	OK	OK
30	High	High

Tabla 1|. Descripción de voltajes del Cargador y Baterías de Litio

Se utiliza un BMS de 7 celdas para un intervalo de voltaje de 29.4V - 21V dado que cada batería contiene un total de 4.2V en carga completa y se considera completamente descargada en 3V. En la tabla 1 se proporciona una información donde se visualizan 3 columnas ts - Tensión, 7s Pack - paquete de 7 baterías y EpSolar- Cargador que se implementa en el proyecto, las cuales ejemplifican los rangos de sobrecarga y descarga aceptables del sistema

## 1.3. Apartado de Adquisición de Datos

Para la toma de datos implementamos un microcontrolador tal como el ESP32 (Espressif, 2018) el cual tiene conexión WiFi y posee suficientes prestaciones para realizar las tareas requeridas, incorporando los protocolos necesarios para comunicarse con los sensores que se implementan,

DHT11 (Temperatura y Humedad Relativa) y un sensor de humedad de suelo capacitivo. El sensor está conectado al microcontrolador a través del protocolo de comunicación one wire (DHT11), y lecturas analógicas (Sensor de Humedad de Suelo), estos están embebidos junto a un módulo de carga de baterías 18650 que incorpora el sistema recolector de información. El nodo recolector envía la información a través de WiFi al servidor encargado de procesarla y tomar las decisiones orientadas a regar. El proceso de envío de información se da a través del protocolo MQTT (Message Queue Telemetry Transport) (MQTT, 2016), el nodo recolector de información es un sistema completamente aislado el cual es configurado inicialmente para ofrecer sus servicios al sistema de riego propuesto, éste es una variación de (Cabarcas, et al, ,2017) para fines prácticos en la implementación del sistema.

#### 1.4. Apartado de Toma de Decisiones

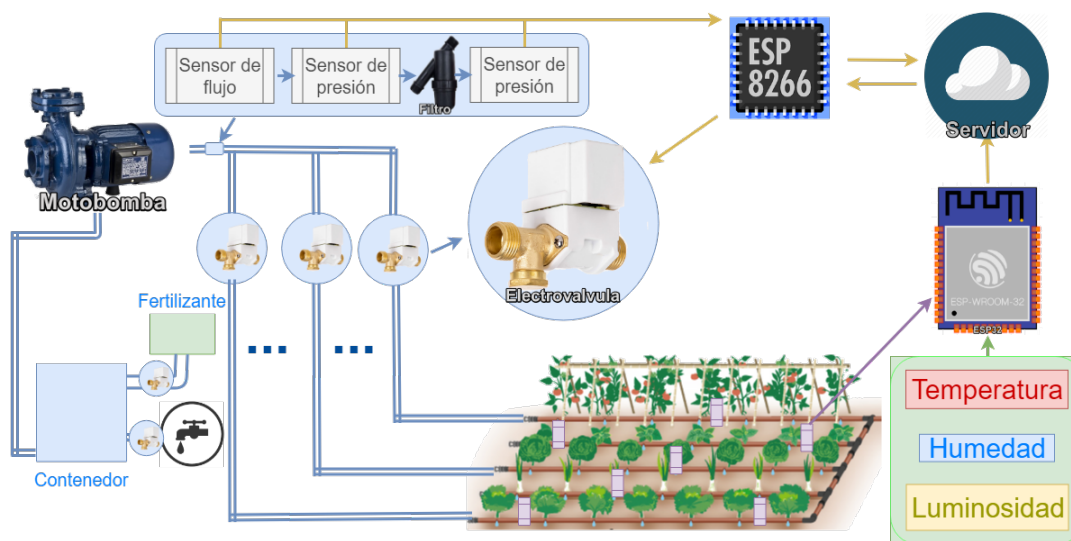


Figura 3. Esquema de distribución del sistema de Riego.

El anterior esquema de distribución (figura 3) representa los componentes hidráulicos y mecánicos del sistema, en los cuales se verificó que todos estos elementos fueran energéticamente eficientes respecto a las características del sistema energético, tal como electroválvulas a 12V, sensores que implementan rangos de funcionamiento menores a 12V y electrobomba a 12V, los cuales a través del ESP8266 estos son monitoreados y controlados permitiendo tener un control directo sobre cada uno de los componentes del sistema y garantizando una optimización de recursos hídricos.

#### 1.5. Apartado de Procesamiento de Datos

Para la integración de los datos recolectados, se utiliza una plataforma web que involucra el protocolo HTTP, un protocolo del nivel de aplicación con la agilidad y velocidad necesarias para operar con sistemas de información distribuidos y el protocolo MQTT. La plataforma Ubidots (Ubidots, 2018), permite gestionar la toma de decisiones en tiempo real al analizar la información almacenada en la nube, logrando visualizar el comportamiento de los datos. Con la aplicación de estos protocolos se podrá visualizar en tiempo real los cambios de cada una de las

variables, en los diferentes nodos. Para que la visualización de los datos y generación de alertas se haga correctamente, es necesario la implementación de un enlace que interprete los datos y estos los relacione con los indicadores mínimos que los cultivos y plantas deben tener para su conservación. En primer lugar, si no son valores estables, el sistema se activará automáticamente o de manera manual, controlando los componentes hídricos que se encuentran enlazados en el sistema eléctrico, cuando se realiza esta acción, se programará el tiempo de riego para que se suspenda o se ejecute.

### 1.6. Algoritmo del Sistema

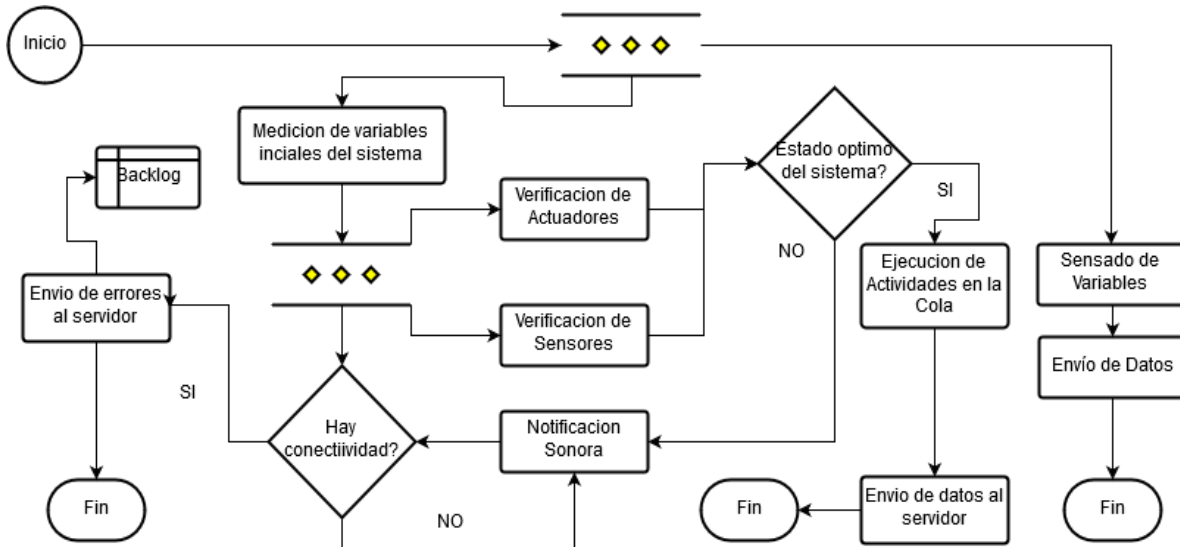


Figura 4. Algoritmo general del sistema. (Autoría Propia)

Para efectos de este proyecto el proceso de recolección de datos y ejecución de tareas en el sistema, son tareas completamente independientes debido a que como el proyecto en sí está compuesto por 2 componentes principales, que se evidencian en la figura 4 a través del paralelismo de actividades al inicio inmediato del algoritmo, posteriormente en el sistema se hace un recuento de los estados iniciales del sistema y verifica que esté dentro de los valores óptimos, permitiendo la ejecución de tareas de manera precisa, y al final de cada ciclo de actividades se envía la información al servidor y en caso de haber conectividad se hace una copia de los datos de forma local para realizar el envío de estos cuando exista la conectividad.

## 2. Conclusiones

En síntesis, un sistema como el planteado orientado a ser autónomo y de bajo coste, se espera que sea una alternativa para pequeños agricultores, además que posee la característica principal de tener un alto margen de escalabilidad en términos de implementación tecnológica. A nivel tecnológico se puede concluir que las soluciones de este tipo que utilizan hardware y software open source son viables y confiables, además de eficientes y seguras en el desarrollo de sistemas como el presentado, ya que se convierte en una alternativa ideal para agricultores que pretenden



mantener una alta supervisión sobre sus cultivos, manteniendo posibilidades de control de riego remoto.

Proyectos como éste buscan generar puntos de partida para que estas soluciones tengan un impacto a nivel agrícola y social en un país como Colombia, que en la era del posconflicto necesita soluciones de este tipo que permitan el uso de herramientas tecnológicas orientadas a la mejora de los cultivos.

### **3. Agradecimientos**

Este trabajo es el resultado de los proyectos aprobados en la Quinta convocatoria para proyectos de semilleros de investigación y de la Octava Convocatoria de Proyectos de Investigación, de la vicerrectoría de investigaciones de la Universidad de Cartagena.

### **4. Referencias**

#### **Artículos de revistas**

- Abdullah, et al. (2016). AgriSys: A smart and ubiquitous controlled-environment agriculture system. 2016 3rd MEC Int. Conf. Big Data Smart City, pp. 306–311.
- Abdelilah, et al. (2018). Solar Charge Controller with a Data Acquisition System Based on Arduino. International Conference on Electronic Engineering and Renewable Energy, Apr, Oujda, Morocco.
- Chikankar, et al. (2015). An automatic irrigation system using ZigBee in wireless sensor network. 2015 Int. Conf. Pervasive Comput., vol. 00, no. c, pp. 1–5.
- Liu et al. (2014). Power-Adaptive Computing System Design Embedded Systems. pp. 1–13, 2014.
- Putjaika, et al. (2016). A control system in an intelligent farming by using arduino technology. Proc. 2016 5th ICT Int. Student Proj. Conf. ICT-ISPC 2016, pp. 53–56.
- Raghunathan, et al. (2005). Design considerations for solar energy harvesting wireless embedded systems. Inf. Process. Sens. Networks, 2005. IPSN 2005. Fourth Int. Symp., pp. 457–462.
- Rico, et al. (2015). Towards a Standardized User Model for Personalized Systems in Health. Sist. y Telemática, vol. 13, no. 34, pp. 9–29.
- Sivakumar, et al. (2016). IoT based Smart Irrigation and Tank Monitoring System. Res. J. Pharm. Biol. Chem. Sci., vol. 7, no. 3, pp. 365–373.

#### **Libros**

- Cap. Ciclo de vida del software. *Int. Organ.*, pp. 2005–2005, 2005.



## **Fuentes electrónicas**

- Cabarcas, et al. (2017, noviembre). Sistema De Medición Automatizada De Variables Ambientales Para Agricultura De Precisión Con Software Libre. Consultado el 3 de junio de 2018. [http://ingenieria.unimagdalena.edu.co/pis/cinsis/archivos/Memorias%20CINSIS%202018\\_V4.pdf](http://ingenieria.unimagdalena.edu.co/pis/cinsis/archivos/Memorias%20CINSIS%202018_V4.pdf)
- El Universal. (2013, octubre). Sistema de riego automatizado, ingenio colombiano. Consultado el 19 de junio de 2018. <http://www.eluniversal.com.co/tecnologia/sistema-de-riego-automatizado-ingenio-colombiano-137860>
- Ep solar. (2017, octubre). ViewStar A series solar charge controller. Consultado el 30 de mayo de 2018. <http://www.epsolarpv.com/en/uploads/news/201710/1508814980887229.pdf>
- Espressif. (2018). ESP8266EX Datasheet. Consultado el 25 de marzo de 2018. [https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266ex\\_datasheet\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266ex_datasheet_en.pdf)
- MQTT. (2016). MQTT. Consultado el 27 de mayo de 2018. <http://mqtt.org/>
- Pérez Isaías, et al. 2016, Universidad Autónoma del estado de Hidalgo. Automatas y compiladores. Consultado el 19 de junio de 2018. <http://cidecame.uaeh.edu.mx/lcc/mapa/PROYECTO/libro32/autocontenido/autoccon/index.html>
- Portafolio. (2018, febrero). 2018, año del despegue de la energía solar en el país: Refeel. Consultado el 19 de junio de 2018. <http://www.portafolio.co/negocios/empresas/el-2018-sera-el-ano-de-la-energia-solar-en-colombia-513851>
- Ubidots. (2018). Ubidots. Consultado el 25 de marzo de 2018. <https://ubidots.com/about/>

## **Sobre los Autores**

- **Amaury Cabarcas Álvarez:** Ingeniero de Sistemas, Master Of Science In Computer Engineering de la Universidad De Puerto Rico Recinto Universitario De Mayagüez. Docente Universidad de Cartagena. Director del Grupo de Investigación GIMATICA clasificado A por Colciencias. [acabarcasa@unicartagena.edu.co](mailto:acabarcasa@unicartagena.edu.co)
- **Javier Antonio Montoya Martínez:** Físico, Doctorado en Física de Scuola Internazionale Superiore Di Studi Avanzati (Italia). Docente Universidad de Cartagena. Miembro del grupo de investigación GRUMOC, clasificado A por Colciencias. [jmontoyam@unicartagena.edu.co](mailto:jmontoyam@unicartagena.edu.co).
- **Cristian Isaac Arrieta Pacheco:** Estudiante Ingeniería de Sistemas de la Universidad de Cartagena, Líder de Semillero SEMARD. [carrietap@unicartagena.edu.co](mailto:carrietap@unicartagena.edu.co)

- **David Cermeño Pinzón:** Estudiante de Ingeniería de Sistemas de la Universidad de Cartagena, miembro del semillero de SEMARD. [dcermenop@unicartagena.edu.co](mailto:dcermenop@unicartagena.edu.co)
- **Daniel Ernesto Reyes Betancourt.** Estudiante de Ingeniería de Sistemas de la Universidad de Cartagena, miembro del semillero de SEMARD.

---

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2018 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)