

## Environmental monitoring system between two sensor nodes with 9km link

E. Salgado-Lampart\*, C. Morales-Morales\*, A. Gonzalez-Lorence\*\*, M. Castro-Bello\*

\*Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Chilpancingo, Av. José Francisco Ruíz  
Massieu, No. 5, Fracc. Villa Moderna, C.P. 39090, Chilpancingo, Guerrero  
(e-mail: [eumir.lampart@gmail.com](mailto:eumir.lampart@gmail.com), [comorales82@gmail.com](mailto:comorales82@gmail.com), [mirna.cb@chilpancingo.tecnm.mx](mailto:mirna.cb@chilpancingo.tecnm.mx))

\*\*Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de San Juan del Río, Av. Tecnológico No. 2,  
Quintas de Guadalupe, C.P. 76800, San Juan del Río, Querétaro  
(e-mail: [armida.gl@sjuanrio.tecnm.mx](mailto:armida.gl@sjuanrio.tecnm.mx))

**Abstract:** This article presents the connectivity capacity between two IoT devices with a link of 9 kilometers away, configured in two sensor node, powered with temperature, humidity and water level sensors. The development of a communication mechanism using data encryption between devices, and a standard Java Script Object Notation (JSON) communication format, sending it to a service API to store the data received in the coordinator, towards the database data in the cloud. The objectives of this article are: 1) Assembly of two types of device using two specific models of Arduino and LoRa antenna, which allows bidirectional communication; 2) Sending data between devices using standard data encryption and data packet in JSON format; 3) Consumption of APIs in the cloud for storage and consultation of information from the sensors collected by the devices.

**Keywords:** Sensor, LoRa, IoT, Web Services, WSN.

### 1. INTRODUCCIÓN

La disponibilidad de las tecnologías de desarrollo de proyectos electrónicos ha logrado disponer de equipos miniaturizados para la implementación de proyectos que atiendan soluciones específicas, sean de bajo consumo de energía para su funcionamiento y la distribución del procesamiento ubicuo en la red. En este trabajo se exploró la posibilidad de utilizar estándares de comunicación tanto en el cifrado de datos del canal de transmisión; el estandarizado de intercambio de datos mediante la notación JSON. Esta propuesta se hace usando dos modelos de antena, que prueba la viabilidad de integrar redes inalámbricas de sensores con la capacidad de comunicación bidireccional en una red extendida.

La miniaturización y especialización de los circuitos electrónicos, el incremento de su disponibilidad y socialización del conocimiento para su uso como del nivel de programación; ha devenido en grandes avances en el diseño de soluciones electrónicas adecuadas a cada tipo de problemática identificada.

Así mismo, algunos fabricantes de sensores y placas de desarrollo, realizan avances para ofertar al mercado de dispositivos de montaje superficial que realicen actividades de monitoreo, control y automatización, otorgándoles funcionalidades de soporte y compatibilidad de interconexión de la plataforma de desarrollo Arduino y su gama de sensores disponibles.

La tecnología de transmisión y recepción de información LoRa permite el envío de pequeños paquetes de datos entre

dispositivos a distancias considerables, que van desde unos pocos centímetros hasta varios kilómetros, permitiendo la ubicuidad de la red de sensores distribuidos en espacios abiertos sin la necesidad de conexión a internet.

Un sistema de Internet de las Cosas IoT, incluye en sus componentes de hardware como de software, trabajando de manera conjunta para lograr un objetivo común, que van desde captar parámetros del ambiente, datos de industrias o incluso monitorización de estado de la salud de personas (Landaluce et al., 2020).

### 2. REVISIÓN DE LA LITERATURA

La literatura referente al campo de las Redes Inalámbricas de Sensores WSN se enfocan en aspectos de la fabricación de sensores, las tecnologías disponibles de los canales de comunicación de los Nodos IoT, las topologías de las WSN, los protocolos de comunicación y los campos de aplicación.

#### 2.1 RFID, Sensores y las WSN

Parte fundamental de las redes WSN es el uso de los RFID, que son capaces de identificar y rastrear dispositivos, mientras que las WSN cooperan para recopilar y proporcionar información a partir de sensores interconectados (Landaluce et al., 2020). En los sistemas de transporte inteligentes toman la identificación proporcionada por los RFID para el control y seguimiento interno (Kavitha et al., 2022). Y la interrelación entre las redes 3G, las WSN y los RFID son determinantes para el control de acceso y gobernabilidad de las redes inalámbricas (Heydari et al., 2020), para el aseguramiento de la identificación de los nodos IoT que son generadores de la



información recabada se asocia la información obtenida con el identificador del RFID tal como es requerido para el uso en aplicaciones de seguimiento y monitores de datos médicos, obtenida por bioparches y transmitidos en tiempo real mediante redes 3G hacia los médicos, para el análisis de datos y elaboración de los planes de tratamiento para su posterior ejecución en los pacientes (Afef Mdhaffar, 2017). El desarrollo de metamateriales que incluyen la integración de los sensores en la ropa, mediante superficies conductoras estructuradas en láminas de metal incorporadas en la ropa, cableado y placa de circuitos flexibles (Tian et al., 2019) permiten disponer de un adecuado seguimiento de los signos. La miniaturización de los sensores fabricados en materiales piezoeléctricos con cableados de óxido de zinc para convertir la energía vibratoria del cuerpo en electricidad, almacenarla en una nano batería y utilizada en el dispositivo (Queiroz et al., 2020) han permitido tener integrados en la ropa los medios necesarios para una adecuada monitorización.

## 2.2 Tecnologías de comunicación y protocolos

La disponibilidad de los canales de comunicación, para las WSN, han evolucionado adaptando las necesidades de conectividad, en base a las nuevas necesidades del mercado, dado que existen disponibles actualmente tecnologías de conectividad de dispositivos que van desde unos pocos centímetros hasta llegar a varios kilómetros de distancia entre ellos.

La tecnología Bluetooth Low Energy BLE, reduce el consumo de energía para realizar las conexiones entre teléfonos inteligentes, ofreciendo conectividad de fácil manejo, pero reduciendo la distancia de conexión, lo que hace que éste protocolo de comunicación sea poco eficiente para las WSN (Abella et al., 2019).

Los protocolos más extendidos para comunicación entre dispositivos inalámbricos, es la tecnología WiFi que opera en las bandas de 2.4 y 5.0 Ghz (Abella et al., 2019) su capacidad de escalabilidad es elevada al poder integrar más nodos en la red (Begum & Nandury, 2023) sin mucho esfuerzo.

Al ser masivamente utilizado los usuarios de dicha tecnología poseen mayores destrezas para lanzar un ciberataque como la denegación de servicio a la red (Halder & Newe, 2023) pero la potencia de conectividad a internet en combinación con tecnologías como ZigBee o Lora dan buenos resultados en espacios abiertos como granjas (Routis & Roussaki, 2023) y actualmente existen en el mercado, ensambles de módulos de energía inspirados en el WiFi con parámetros de energía y modelos de potencia específicos para las transmisiones Lora (Dawaliby et al., 2019), y en aplicaciones de uso doméstico donde están integradas estas dos tecnologías (Pueyo Centelles et al., 2021).

El aumento del tráfico en las redes WSN exigen un mayor consumo de energía (Heydari et al., 2020), la tecnología LoRa identifica dispositivos finales que tienen energía restringida y transmiten pocos datos por el canal de comunicación y estableciendo la comunicación como una entidad externa a las redes tradicionales, lo que la vuelve una excelente opción de interconectividad para aplicaciones de ciudades inteligentes, cuidado de la salud, monitoreo ambiental e industrias (De J,

Silva et al., 2017). Dicha tecnología se ha propuesto para la optimización de las redes de área amplia, pero de bajo consumo energético LPWAN, mejorando su vida útil, el costo y la eficiencia de las baterías utilizadas en los dispositivos (Naoui et al., 2016).

La realización de redes sobre el protocolo IPV6 de redes de área personal inalámbricas de bajo consumo (6LowPAN) en la cuales cada nodo dispone de su propia dirección IPV6, lo que permite una conexión directa a internet mediante el uso de estándares abiertos. (Abella et al., 2019), en la red IPV6 que consta de 10,128 direcciones, en dicho concepto de protocolos, se almacena la dirección del emisor y receptor integrados en la red, y no se requiere de ningún servidor centralizado (Shafique et al., 2020), el enrutador conectado a nodos 6LowPAN realiza la conversión a la red IPV6 (Afef Mdhaffar et al., 2017), para la salida de datos entre la red WSN hacia la red conectada a internet.

En la arquitectura TCP/IP, cada capa tiene sus aplicaciones ligeras y específicas, pero en la Capa 7 (Aplicación), los protocolos alternativos al estándar HTTP son: protocolos de cola de transferencia de mensajes (MQTT), de aplicación restringida (CoAP), de Servicio de Distribución de Datos (DDS), protocolo extensible de mensajería y presencia (XMPP) y web sockets (Cruz et al., 2019). Por lo tanto, para la capa 7 se pueden fabricar aplicaciones específicas y diseñar un protocolo para cada solución buscada en el traslado de información entre nodos de la red WSN.

## 2.3 Topologías de red

Las topologías de red utilizadas en las WSN, varían según la aplicación de la red, pueden ser: estrella, malla e hipercubo, dicha configuración modifica el desempeño de la red en diversos aspectos como la precisión, eficiencia y resiliencia; mostrando mayor desempeño las redes que proporcionan menor tiempo de demora y mejor consumo energético (Almajed et al., 2019).

La topología de estrella se utilizó siguiendo el protocolo ALOHA. Realizando mediciones de la calidad del servicio del tráfico de los nodos y las estaciones base (Khutsoane et al., 2017). En general, LoRa considera una capa física mientras que LoRaWAN es la capa de control de acceso al medio (MAC) de la pila LoRa, esta topología en red permite la comunicación entre múltiples dispositivos finales y la puerta de enlace (Jouhari et al., 2022).

Las redes locales de baja potencia con alcance inferior a los 1,000 metros, son aplicables a redes que tienen poca cobertura espacial, sin embargo, en una topología de malla, se puede aplicar a redes de cobertura más grandes (De J. Silva et al., 2017). La solución propuesta para una red LoRaWAN se basa en una topología de estrella a estrella, compuesta por tres elementos básicos, dispositivos finales, una puerta de enlace y un servidor central de la red (Evizal Abdul Kadir et al., 2018) y en comparación con la topología de malla de ZigBee, la cual no necesita nodos adicionales que funcionen como enrutadores, reduce el costo y la complejidad de la red (Danco Davcev et al., 2018).



### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Propuesta del experimento de comunicación

Se realizó un experimento de comunicación bidireccional entre dos dispositivos desarrollados utilizando dos modelos diferentes de antenas LoRa. Las ubicaciones variaron a medida que se lograron mayores distancias de conectividad, como se muestra en la Fig. 1



Fig. 1.- Vista 3D Chilpancingo, Gro.

#### 3.2 Diseño del dispositivo IoT

Para el envío de datos se basó el dispositivo en la configuración de sensores comúnmente encontrados en estaciones climatológicas. Los sensores considerados fueron: nivel de agua, temperatura ambiental, humedad y panel solar.

Los dispositivos tipo SensorNode disponen de un sensor de temperatura de la tarjeta de comunicación Lora y un GPS incorporado. El dispositivo GatewayNode dispone adicionalmente la conectividad WiFi para el traslado de información de la red WSN hacia los WebServices. El diagrama del componentes se muestra en la Fig. 2.



Fig 2. Componentes del dispositivo del SensorNode.

El ciclo de operación del dispositivo IoT incluye las fases de: Arranque, Detección, Lectura, Paquete, Comunicación, Hibernación. Cada una de las fases contiene su propio flujo interno de actividades, ver Fig. 3.



Fig. 3. Fases de operación del SensorNode.

La topología de red propuesta para el experimento es en conectividad de estrella, sin embargo, el experimento se realizará solo con dos dispositivos uno de tipo SensorNode y otro de tipo GatewayNode, ver Fig. 4.

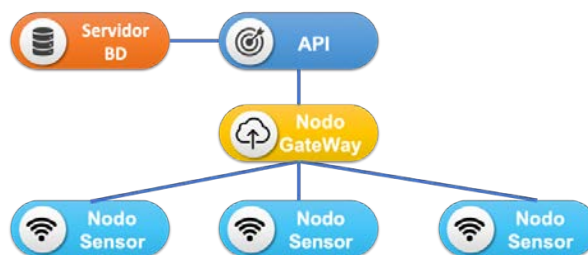


Fig. 4. Topología de red.

#### 3.3 Componentes del nodo sensor

Los componentes funcionales de los nodos son:

- Unidad central basada en Arduino.
- Antena LoRa con sensor de temperatura.
- Sensor nivel de agua.
- Sensor de temperatura ambiental y humedad.
- Panel solar.
- GPS.

### 4. HARDWARE

Una parte fundamental del desarrollo del prototipo de dispositivo SensorNode es el hardware, el cual en sí mismo proporciona energía, conectividad física a los sensores conectados, obtiene las lecturas de los sensores, procesa los datos, forma el paquete de información y realiza el envío de información hacia el dispositivo GatewayNode.

En la revisión bibliográfica se ha comprobado la eficiencia de la combinación de tecnologías WiFi-Lora utilizado como puente de información inicialmente transmitida mediante LoRa y enviándola posteriormente hacia internet via WiFi.

#### 4.1 Placa de desarrollo Arduino

La placa de desarrollo de Arduino ESP32-WROOM-32 es un módulo aplicable para diversas aplicaciones, como sensores IoT, redes de bajo consumo energético y alta demanda de procesamiento. El chip posee dos núcleos que pueden ajustar la velocidad de frecuencia de reloj, desde los 80 MHz hasta los 240 MHz.

El usuario final puede decidir el modo de trabajo encendiendo o apagando el procesador para minimizar el consumo energético. La integración con WiFi lo hace ideal como puerta de enlace entre las dos tecnologías de comunicación de datos.

El canal WiFi soporta los protocolos 802.11 b/g/n con velocidades de transmisión de datos hasta 150 Mbps. Soporta el rango de frecuencia de los 2.4 Ghz. Y rangos de temperatura operacional de  $-40^{\circ}\text{C}$  hasta los  $+85^{\circ}\text{C}$ .

La placa de desarrollo Arduino UNO es una placa de desarrollo que permite la conexión de diversos tipos de periféricos. Su rango de operacional de temperatura de  $-40^{\circ}\text{C}$  a  $+85^{\circ}\text{C}$ . En temperatura extrema el componente EEPROM, el regulador de voltaje y el cristal del oscilador no funcionan de manera correcta. La información de estos periféricos conectados se traslada al microcontrolador, el cual se encargará de procesar los datos obtenidos.

#### 4.2 Antena LoRa

Las antenas del fabricante REYAX modelo RYL998 y RYL993, tienen una interface de comandos UART compatible con Arduino. El control de la comunicación mediante comandos AT y se pueden establecer los parámetros de operación como Baudios, cantidad de bits de datos, paridad, bit de parada, conectar a la red LoRaWAN, definir el ID único del dispositivo, la sesión de la red, y el identificador en la red, banda de transmisión y la clase de la tecnología LoRa.

#### 4.3 Sensor de nivel de agua

Es un dispositivo con una serie de alambres paralelos expuestos con el fin de determinar el nivel de agua en valores de salida de conversión de señales analógicas y digitales. Puede obtener nuevos datos cada 2 segundos. Se alimenta a 5V, devuelve un pin de valor analógico comprendido entre VCC y GND. El pin S se conecta al Arduino como entrada analógica, el valor de la lectura será mayor en función de la superficie del sensor esté cubierto de agua.

#### 4.4 Sensor de temperatura ambiental y humedad

Es un sensor que mide la temperatura y la humedad con salida digital hacia el microcontrolador de 8 bits, garantizando la adquisición como señal digital confiable dado el sensor de temperatura de tipo resistivo NTC. Da respuesta rápida para mediciones frecuentes con capacidad de anti interferencias. Posee coeficientes de mediciones almacenadas y utilizadas en el proceso de detección de señal en el sensor. Bajo consumo de energía y un solo cable serial como interfaz de salida de datos. Rangos de mediciones desde  $0$  a  $50^{\circ}\text{C}$  y de  $20$  a  $90\%$  de humedad, consumo de energía de  $3$  a  $5.5$  VCC.

#### 4.5 Panel solar

Es un dispositivo que aprovecha la energía solar y la transforma en electricidad. Otorga la energía necesaria para el funcionamiento del dispositivo, elaborado en silicio policristalino que otorga  $5$  Vcc y  $160$  mA en condiciones de buena luminosidad solar.

#### 4.6 GPS

Es una antena inteligente detectora de hasta 66 satélites a la vez, otorga actualización de la navegación, actualización de lecturas desde  $1$  Hz hasta  $10$  Hz, de bajo consumo de energía y buena recepción en ciudades y caminos con follaje denso. Rango de operación desde  $-515$  hasta  $18,000$  msnm. Voltajes desde  $3$  hasta  $5.25$  Vcc a  $2$  mA. Su rango de operacional de temperatura de  $-30^{\circ}\text{C}$  a  $+85^{\circ}\text{C}$ .

### 5. SOFTWARE

El grupo de componentes del dispositivo es el software utilizado desde el proceso de diseño, programación, modelado de datos, programación de APIs y aplicaciones de servicio.

#### 5.1 IDE Arduino

Es un programa integrador de las funcionalidades requeridas para el desarrollo de programas basados en Arduino integra un editor de código, con instalador de bibliotecas de forma directa y un administrador de paquetes para las placas de desarrollo, integra el compilador y el cargador de código hacia las placas de desarrollo, administrador de librerías, monitor y graficador de datos del puerto serial.

#### 5.2 JSON formater

Es un software en línea que permite administrar nodos de datos en notación JavaScript Object Notation (JSON). Es un formato creado por Douglas Crockford dado a que el formato XML y otros formatos de datos eran demasiado detallados y no lo suficientemente legibles para los humanos. La estructura del contenido del JSON establece una colección de pares ordenados nombre/valor donde los nombres son cadenas y los valores pueden ser cadenas, números, valores booleanos, nulos o incluso otros objetos. JSON es un estándar en el consumo e las API web debido la cantidad de caracteres optimizada y no requiere ninguna declaración previa de variables. Se puede utilizar en cualquier lenguaje de programación en lugar de limitarse a un solo lenguaje, lo que lo hace más interoperable con otros lenguajes e interfaces de software.

#### 5.3 Plataforma WEB

Es un software de consulta y visualización de datos generados desde los dispositivos SensorNode, realizado en Framework Angular v11.0.2 programado con el lenguaje de programación TypeScript.

### 6. WEBSERVICES

Componente intermedio entre los dispositivos GatewayNode, la base de datos y la plataforma de consulta o entre la base de datos y las aplicaciones móviles.



### 6.1 API de servicio

Este componente de software disponible como recurso en la nube, recibe y entrega peticiones desde los nodos hacia la base de datos y es intermediario entre la base de datos y los aplicativos de consulta de datos. Desarrollada en Framework Laravel v8.83.27 para internet con núcleo desarrollado en lenguaje PHP v8.0.29. Dispone de métodos de manipulación de datos GET, POST, PUT, DELETE y se utiliza como el estándar para el consumo de servicios web. Cada entidad en la base de datos tiene signado un punto de conexión para cada tabla o entidad y ofrece un adecuado control de los datos ingresados y consultados.

## 7. RESULTADOS

La propuesta de diseño funcional y operacional de los dispositivos SensorNode, ver Fig. 5, y GatewayNode, ver Fig. 6, Se realizó de forma satisfactoria su integración, tanto en sus componentes de hardware como de software. Logrando que los dispositivos se energizaran con los paneles solares, que inician la lectura de los sensores conectados, la formación del JSON de datos y el envío mediante la antena LoRa.

Del lado del GatewayNode se logró energizar mediante el panel solar del dispositivo, realizando la conectividad a una red WiFi cercana, disponible y cada vez que se recibía un paquete de datos vía LoRa, se realizaba el reenvío a la API vía WiFi.

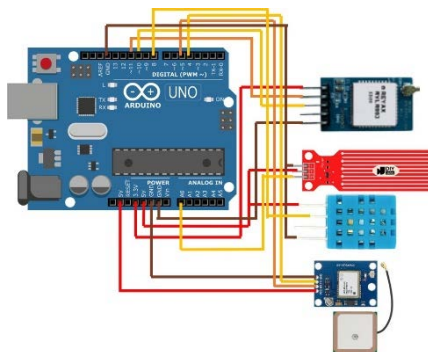


Fig. 5. SensorNode.

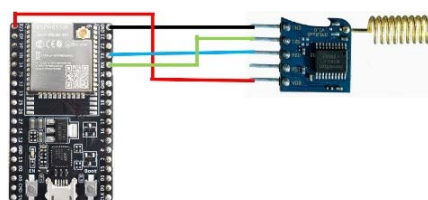


Fig. 6. GatewayNode.

Las distancias de comunicación bidireccional que se lograron inicialmente fueron de solo algunos metros de distancia, y realizando ajustes tanto de hardware como de software logrando establecer la comunicación a un poco más de 9 kilómetros de separación entre los dispositivos.

Derivado de la orografía de la ciudad las distancias disponibles para realizar las transmisiones de lado a lado de la misma no exceden los 4 kilómetros. Y los intentos de conectividad a lo largo de la ciudad son infructuosos debido a que existen muchos obstáculos físicos y electrónicos que además de generar interferencia de radiofrecuencia, y no lograr la línea de vista entre los dispositivos, lo cual es requisito indispensable para lograr pruebas satisfactorias de comunicación.



Fig. 7. SensorNode en funcionamiento.



Fig. 8. GatewayNode en funcionamiento.

Posteriormente, al realizar pruebas de conectividad en localidades foráneas a la ciudad, se logró un enlace de los dispositivos a una distancia de 9,001 metros de separación, ver Fig. 9. Una vez establecido el enlace, se realizó la carga de lecturas a la API de servicio, la cual almacena la información en una base de datos en la nube.

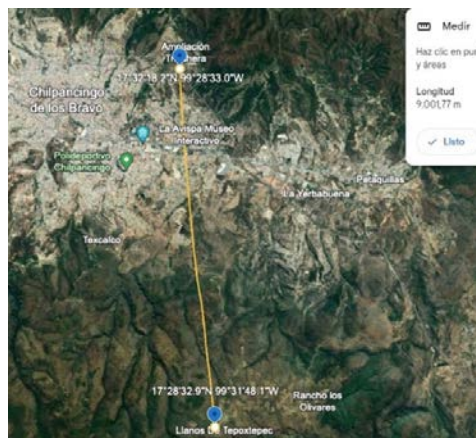


Fig. 9. Distancia de conectividad de 9,001m.

## CONCLUSIONES

Este trabajo contempló el diseño de dos dispositivos IoT, uno SensorNode que integra sensores ambientales para ser adquiridos, procesados y enviados; y los dispositivos GatewayNode que son los que reciben información desde la antena LoRa y retrasmiten los datos vía WiFi a la API disponible en la nube como un Webservice.

Realizar la comunicación bidireccional entre los SensorNodes y GatewayNode utilizando un cifrado de datos AES y un estándar de intercambio de datos JSON a distancias relativamente grandes, logrando la conectividad a 9 kilómetros, permitió comprobar y validar el diseño de los dispositivos, el establecimiento de una red ad hoc entre ellos, la lectura de los sensores conectados, la transmisión y recepción de la información de manera cifrada, el consumo de la API de servicio y el almacenamiento de los datos en la base de datos en la nube, demostró que es factible realizarlo mediante el uso de tecnologías Lora-WiFi para proyectos de conectividad en grandes extensiones.

En temas de trabajos futuros se recomienda revisar aspectos del rendimiento del consumo de energía, el uso de baterías de respaldo para disponer de autonomía en horas donde el panel solar no ofrece el soporte necesario.

Respecto a la mejora de la latencia de los dispositivos SensorNode y los GatewayNode se deberá explorar técnicas de ruteo incorporadas en los dispositivos y procedimientos disparadores de esos procesos de exploración de mejores rutas invocadas desde la plataforma web e inyectada a los dispositivos SensorNode y GatewayNode.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Abella, C. S., Bonina, S., Cucuccio, A., D'Angelo, S., Giustolisi, G., Grasso, A. D., Imbruglia, A., Mauro, G. S., Nastasi, G. A. M., Palumbo, G., Pennisi, S., Sorbello, G., & Scuderi, A. (2019). Autonomous Energy- Efficient Wireless Sensor Network Platform for Home/Office Automation. *IEEE Sensors Journal*, 19 (9), 3501–3512.
- Begum, B. A., & Nandury, S. V. (2023). Data aggregation protocols for WSN and IoT applications – A comprehensive survey. *En Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences* (Vol. 35, Número 2, pp. 651–681). King Saud bin Abdulaziz University.
- Cruz, M. A. A., Rodrigues, J. J. P. C., Lorenz, P., Solic, P., Al-Muhtadi, J., & Albuquerque, V. H. C. (2019). A proposal for bridging application layer protocols to HTTP on IoT solutions. *Future Generation Computer Systems*, 97, 145–152.
- Dawaliby, S., Bradai, A., & Pousset, Y. (2019). Adaptive dynamic network slicing in LoRa networks. *Future Generation Computer Systems*, 98, 697–707.
- De, J., Silva, C., Rodrigues, J., Alberti, A. M., Šolić, P., De Carvalho Silva, J., Rodrigues, J. J. P. C., Alberti, A. M., Solic, P., & Aquino, A. L. L. (2017). LoRaWAN-A Low Power WAN Protocol for Internet of Things: a Review and Opportunities Modeling and Simulation of ATM Networks View project NovaGenesis View project LoRaWAN-A Low Power WAN Protocol for Internet of Things: a Review and Opportunities.
- Halder, S., & Newe, T. (2023). Radio fingerprinting for anomaly detection using federated learning in LoRa-enabled Industrial Internet of Things. *Future Generation Computer Systems*, 143, 322– 336.
- Heydari, M., Mylonas, A., Tafreshi, V. H. F., Benkhelifa, E., & Singh, S. (2020). Known unknowns: Indeterminacy in authentication in IoT. *Future Generation Computer Systems*, 111, 278–287.
- Kavitha, T., Pandeewari, N., Shobana, R., Vinothini, V. R., Sakthisudhan, K., Jeyam, A., & Malar, A. J. G. (2022). Data congestion control framework in Wireless Sensor Network in IoT enabled intelligent transportation system. *Measurement: Sensors*, 24.
- Landaluce, H., Arjona, L., Perallos, A., Falcone, F., Angulo, I., & Muralter, F. (2020). A review of iot sensing applications and challenges using RFID and wireless sensor networks. *Sensors Vol. 20, Número 9*.
- Naoui, S., Elhdhili, M. E., & Saidane, L. A. (s/f). Enhancing the security of the IoT LoraWAN architecture.
- Pueyo Centelles, R., Meseguer, R., Freitag, F., Navarro, L., Ochoa, S. F., & Santos, R. M. (2021). LoRaMoto: A communication
- Queiroz, D. V., Gomes, R. D., Fonseca, I. E., Benavente-Peces, C., & Alencar, M. S. (2020). Using nanosensors in wireless sensor networks. *En Nanosensors for Smart Cities* (pp. 515–526). Elsevier.
- Routis, G., & Roussaki, I. (2023). Low Power IoT Electronics in Precision Irrigation. *Smart Agricultural Technology*, 5.
- Shafique, K., Khawaja, B. A., Sabir, F., Qazi, S., & Mustaqim, M. (2020). Internet of things (IoT) for next-generation smart systems: A review of current challenges, future trends and prospects for emerging 5G-IoT Scenarios. *En IEEE Access* (Vol. 8, pp. 23022–23040).
- Tian, X., Lee, P. M., Tan, Y. J., Wu, T. L. Y., Yao, H., Zhang, M., Li, Z., Ng, K. A., Tee, B. C. K., & Ho, J. S. (2019). Wireless body sensor networks based on metamaterial textiles. *Nature Electronics*, 2(6), 243–251.