

**PROPUESTA DE ARQUITECTURA IOT ORIENTADA A LA CREACIÓN
DE PROTOTIPOS PARA SU APLICACIÓN EN PLATAFORMAS
EDUCATIVAS Y DE INVESTIGACIÓN**

**CREATION-ORIENTED IOT ARCHITECTURE PROPOSAL
OF PROTOTYPES FOR APPLICATION ON PLATFORMS
EDUCATIONAL AND RESEARCH**

Camilo J. Medina-Barahona*, **Carolina Calvache-Pabón****, **Germán A. Mora***,
Jose A. Salazar-Castro*, **Héctor A. Mora-Paz*****, **Dagoberto Mayorca-Torres******

* **Corporación Universitaria Autónoma de Nariño**, Facultad de Ingeniería, Ingeniería
Informática. Carrera 28 No. 19-24, Pasto, Nariño, Colombia. (+57) (2) 7244419.
E-mail: camimed@gmail.com, {german.mora, jose.salazar} @aunar.edu.co.

** **Smart Data Analysis Systems Group**, Pasto, Nariño, Colombia.
(+57) 3108212316 | (+593) 992463728 E-mail: carolina.calvache@sdas-group.com

*** **Universidad CESMAG**, Carrera 20A 14-54, Pasto, Nariño, Colombia.
(+57) (2) 7374506-7374505. E-mail: hector.mora@unicesmag.edu.co

**** **Universidad Mariana**, Calle 18 No. 34-104, Pasto, Nariño, Colombia.
(+57) 7244460 - 3127306850. E-mail: dagoberto.mayorca@unimar.edu.co.

Resumen: Este artículo se centra en definir una arquitectura IoT viable para proyectos de prototipado en IoT. Esta arquitectura es la base para definir conceptos como estándares y protocolos de comunicación, almacenamiento y tratamiento de datos. Existe muy poca documentación relacionada con este aspecto del IoT, y las arquitecturas propuestas por los gigantes del mercado son demasiado complejas para servir de punto de partida en una metodología orientada al aprendizaje desde cero, por este motivo se optó por el estudio de artículos científicos que proponen su propia arquitectura. Gracias a esto se pudo definir un modelo de arquitectura con las características mínimas para ser reconocida como tal, que sea aplicable a modelos de prototipado, que son los ideales para proyectos de laboratorio óptimos para la enseñanza práctica de los conceptos. Finalmente se obtiene un listado de los estándares y protocolos más usados como punto de referencia para proyectos futuros del IoT.

Palabras clave: Arquitectura IoT, proyectos de prototipado, educativo, estándares, protocolos.

Abstract: This article focuses on defining a viable IoT architecture for prototyping projects on IoT. This architecture is the basis for defining concepts such as standards and protocols for communication, storage and data processing. There is very little documentation related to this aspect of IoT, and the architectures proposed by the giants of the market are too complex to serve as a starting point in a methodology oriented to learning from scratch, for this reason we opted for the study of scientific articles that propose their own architecture. Thanks to this, it was possible to define an architectural model with the minimum characteristics to be recognized as such, applicable to prototyping models, which are ideal for optimal laboratory projects for the practical teaching of concepts. Finally, a list of the most commonly used standards and protocols is

obtained as a reference point for future IoT projects.

Keywords: IoT architecture, prototyping projects, educational, standards, protocols.

1. INTRODUCCIÓN

El auge del IoT exige de los ingenieros la capacidad de ofrecer soluciones específicas para adaptarse a esta industria.

Actualmente no existe a nivel de pregrado una metodología que aporte los conocimientos necesarios para contar con expertos en el área dado que los conocimientos técnicos necesarios para desarrollar proyectos relacionados con el IoT provienen de diferentes áreas como la Informática, eléctrica, electrónica y telecomunicaciones entre otras, por lo cual es muy difícil establecer un punto de partida para involucrar a los estudiantes de ingeniería en este mundo.

Para resolver esto se propuso en artículos anteriores (Medina et al., 2018) la construcción de una plataforma IoT que permita el estudio de todos los temas relacionados de forma práctica, permitiendo a estudiantes de cualquier semestre interactuar con las tecnologías necesarias para producir resultados. Dando continuidad a este proyecto, este artículo propone una arquitectura para ser usada en dicha plataforma, que responda a los principios de Software y Hardware libre y un nivel de dificultad de prototipado, apropiado tanto para prácticas como para investigación.

Se estudian por lo tanto propuestas de artículos científicos orientadas a dar soluciones bajo estos principios y que permitan la extrapolación a diferentes entornos, esperando continuar con la implementación de esta arquitectura en la plataforma IoT para realizar estudios de rendimiento de los diversos protocolos disponibles. (Pramudianto et al, 2014), (Vargas, 2016) (Ferrari,2020), (Tanganelli, 2019).

Para este estudio se analiza el estado del arte de arquitecturas y protocolos mediante el estudio de documentación de arquitecturas usadas en artículos científicos, de forma que se pueden destacar los puntos en común, buenas prácticas y modelos que se adapten a una arquitectura orientada a prototipado.

De forma indirecta se pueden deducir qué protocolos son los más usados y bajo qué circunstancias tienen mejores resultados.

Para el estudio se usa el método lógico deductivo, que permite analizar lo mejor de los estudios realizados previamente ya sea que usen una arquitectura específica o hagan un estudio de varias arquitecturas, así como de sus protocolos. Cabe señalar que todo debe ser adaptado a un escenario experimental o de prototipado, lo que implica el uso exclusivo de componentes de software y hardware específicos, descartando todo aquello que involucre costos excesivos o que requiera la compra de licencias.

El resto del documento está organizado de la siguiente manera: En la sección 2, se esboza el estado del arte en torno a las arquitecturas de IoT y la sección 3 presenta la arquitectura propuesta basada en un modelo de cuatro capas. La sección 4 presenta un resumen con los protocolos de IoT más comunes utilizados en el examen del Estado del Arte. Finalmente, la sección 5 recoge algunas observaciones finales como conclusiones y trabajo futuro (Castellanos, W. A., et al 2018).

2. ESTADO DEL ARTE

En el desarrollo de soluciones IoT es posible el uso de diferentes medios de conexión, alámbrica e inalámbrica. Existen, asimismo, diferentes protocolos y estándares que deben ser tenidos en cuenta todos ellos con cierto grado de validez en función de los requerimientos del problema, el entorno y los recursos disponibles. Sin embargo, se nota en su arquitectura general ciertas similitudes que pueden ser abstraídas como la base para la construcción de una arquitectura más compleja, que puede evolucionar en función de los requerimientos del problema a solucionar.

Jurado, Velásquez and Vinueza (2014), En su estado del arte de arquitecturas IoT muestran el modelo descrito en la figura 1, donde se aprecia cómo los objetos inteligentes (devices) y la aplicación se encuentran en los extremos opuestos, así mismo la seguridad es un tema transversal a toda la arquitectura y finalmente existe, aunque no muy bien definido, un módulo dedicado a las comunicaciones.

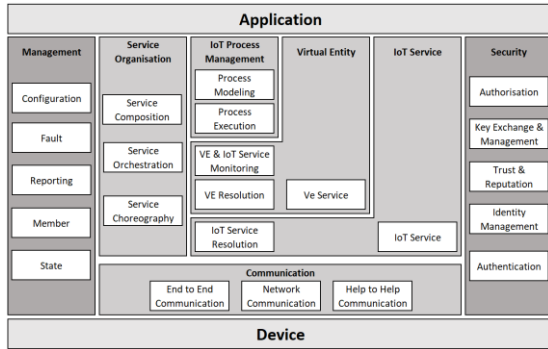


Figura 1 – Arquitectura IoT propuesta por Jurado, Velásquez and Vinuesa (2014)

González (2013), proponen una arquitectura basada en el modelo OSI, Figura 2, donde se aprecia nuevamente en los extremos opuestos los dispositivos inteligentes (capa física) y la aplicación (servicios web) en extremos opuestos, se destaca que dado su enfoque se describe claramente qué protocolos y estándares se usan en cada capa. Esta propuesta también incluye la capa de enlace dedicado a las comunicaciones, se considera que cada capa debe contar con seguridad, pero no se ve evidencia en su gráfica.

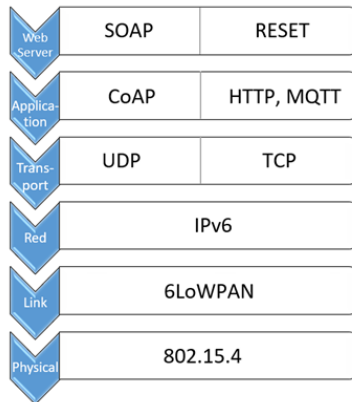


Figure 2 – Arquitectura IoT propuesta por González (2013)

En un estudio más reciente realizado por Taffernaberry and Mercadowith (2016) con la intención de crear un gateway para redes inalámbricas orientadas al IoT describieron la arquitectura mostrada en la figura 3, donde se aprecia los dispositivos y la interfaz de usuario en los extremos opuestos, resulta interesante notar cómo, en este modelo, ya se diferencia el trabajo realizado por un gateway y un web-server y, por otro lado se detalla, mediante un modelo OSI a tres componentes base de su arquitectura, Host/user, Dual Stack Gateway y 6LoWPAN Sensor Node, que no son más que la interfaz de usuario, las

comunicaciones y los equipos inteligentes. Cabe destacar que este modelo incluye una comunicación entre la interfaz de usuario en dos vías, tanto de forma directa como a través del Web server, pasando por la puerta de enlace, también destaca el uso de un protocolo tipo LoWPAN para comunicaciones inalámbricas de mediano rango, pero especializado en el uso del protocolo IPv6.

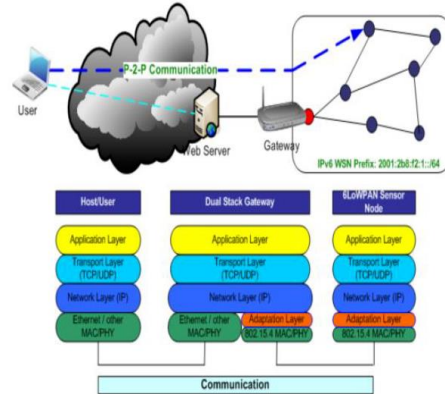


Figure 3 – Arquitectura IoT propuesta por Taffernaberry and Mercadowith (2016)

En otro estudio, también centrado en la construcción de un gateway para el IoT, Vargas and Salvador (2016) proponen un modelo de 4 capas, aplicación, Middleware, transporte y percepción, que tiene alguna similitud con el modelo OSI pero no lo es; sin embargo insiste en ubicar en extremos opuestos los dispositivos inteligentes (actuadores y nodos sensores) y la aplicación, pasando por una capa de transporte, se destaca en este modelo que no da información sobre protocolos y estándares a usar, pero si da importancia a que cada dispositivo inteligente debe contar con adaptadores que deben estar conectados a un Gateway que cuenta con capacidades embebidas de transformación de datos, procesamiento, almacenamiento y un servidor web, pero lo más interesante es un proceso de conversión de protocolos, lo que implica que en teoría se podría usar cualquier protocolo sin afectar el modelo.

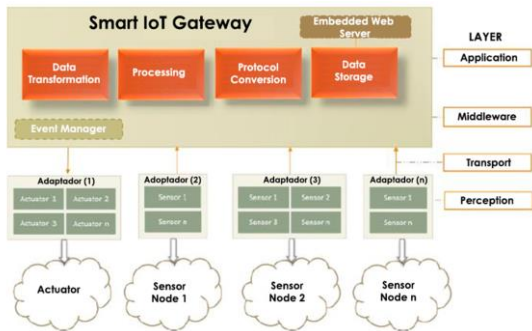


Figure 4 – Arquitectura IoT propuesta por Vargas and Salvador (2016)

Luzuriaga et al. (2013) aportan una visión simplificada de arquitectura puesto que fue diseñada para un escenario de pruebas, algo muy valioso para el presente artículo que está orientado al prototipado. Se notan los 4 principios básicos, los dispositivos inteligentes, la puerta de enlace, internet como plataforma de servicios y finalmente la aplicación que da acceso a los usuarios. Es de notar que este estudio usa el protocolo MQTT para la comunicación y el estándar 6LowPAN para enlaces 802.15.4.

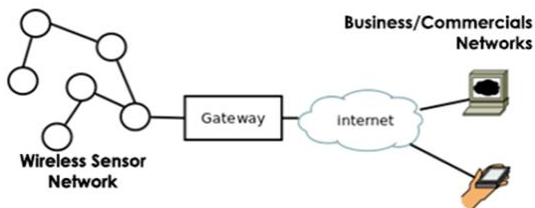


Figure 5 – Arquitectura IoT propuesta por Luzuriaga et al. (2013)

En el artículo IoT con IBM y NI, Larrañaga (2016) proponen una arquitectura separada en 4 bloques, Business Applications, M2M integration Platform, Multi-Service Gateway, sensors, Actuators, Displays. Destaca de otras arquitecturas que se preocupe por la integración de la comunicación M2M a la nube, otras arquitecturas simplemente optan por usar un protocolo HTTP(S) para enviar la información a un web server apoyado comúnmente por ReST API. Sin embargo, esta apuesta permite el uso de cualquier protocolo en función de la solución que se requiera implementar, por lo que se trata de una arquitectura abierta a cualquier protocolo.



Figure 6 – Arquitectura IoT propuesta por Larrañaga (2016)

Anaya-Isaza et al. (2016) muestran una arquitectura basada en módulos usando tecnología Xbee y el protocolo de comunicaciones Zigbee basada en el estándar IEEE 802.15.4, tanto para sensores como para la puerta de enlace. Es posible que los valores sean excesivos para un entorno de prototipado, pero se pueden emular los mismos resultados con placas arduino y otros accesorios. También es de tener en cuenta que en un laboratorio estos componentes se pueden reusar indefinidamente en caso de ser adquiridos y aprovechar la extensa documentación que Xbee tiene en línea.



Figure 7 – Arquitectura IoT propuesta por Anaya-Isaza et al. (2016)

Peña, Chuquimarca and Elizabeth (2016) optan por una arquitectura orientada a servicios, como se ha visto antes con los dispositivos inteligentes y la capa de aplicación en los extremos. Se destaca una capa de gestión y seguridad transversales a todo el esquema, y la capa de comunicaciones que está inmediatamente después de de los objetos inteligentes, sin embargo, no está claro dónde llegan los datos de los dispositivos, quién los procesa y por qué medio llega a la capa de aplicación.

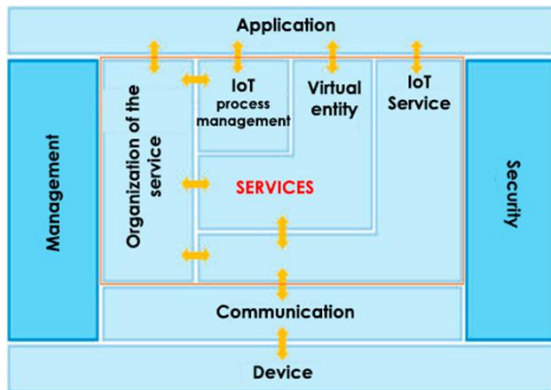


Figure 8 – Arquitectura IoT propuesta por Peña, Chuquimarca and Elizabeth (2016)

En su artículo científico, Guerrero-Ibáñez et al (2017) proponen una arquitectura por bloques que cuenta con 4 etapas, recolección, comunicación, gestión y consulta. Es muy apropiado desde el punto de vista pedagógico mostrarlo de esta forma, ya que los procesos involucrados en cada etapa se pueden desagregar más adelante, así como los protocolos, estándares y medios de comunicación usados. La etapa de gestión es la más ambigua, ya que varios procesos están involucrados, el almacenamiento implica un servidor, el cual puede ser físico o en la nube y los procesos de estadística y análisis implican una plataforma que a su vez necesitará comunicarse con la etapa de consulta, en términos informáticos, lo que implica un backend y un frontend.

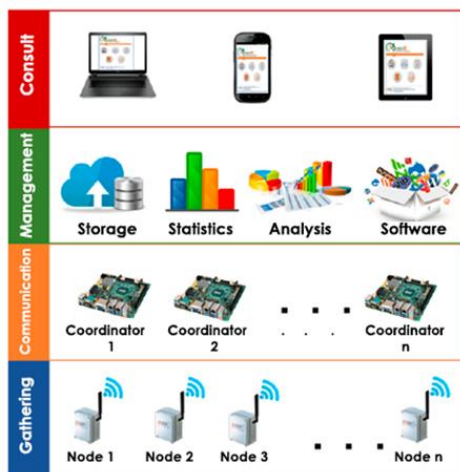


Figure 9 – Arquitectura IoT propuesta por Guerrero-Ibáñez & et al (2017)

La Arquitectura propuesta por Gómez (2017) se centra en el uso exclusivo de MQTT como protocolo de comunicación entre su capa de sensores - actuadores y la capa de administración gestionada por un servidor. Se menciona un

“Listener Sensor”, que se trata de una estación que hace las veces de Puerta de enlace y luego a partir de ese punto, los datos son llevados al servidor por MQTT. El estudio destaca el bajo consumo de energía y la eficiencia de este protocolo para datos típicos del IoT.

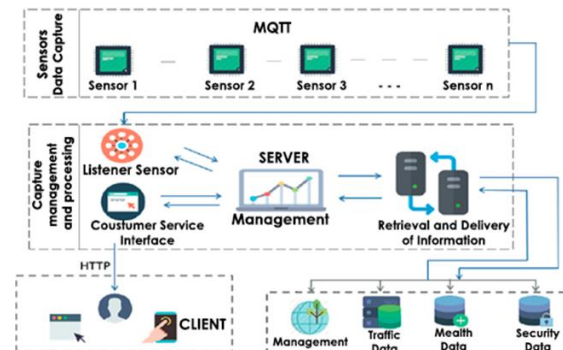


Figure 10 – IoT Arquitectura propuesta por Gómez (2017)

3. LA ARQUITECTURA IoT PROPUESTA

Tomando como base las arquitecturas revisadas y nuestra experiencia se propone un modelo en 4 capas, la Figura 11 resume la propuesta del modelo de 4 capas.

Desde el punto de vista de Hardware se tiene los siguientes elementos:

1. Hardware de Usuario: Se refiere a los dispositivos que interactúan directamente con el usuario, computadores de mesa, laptops, celulares, incluidos los display de algunos dispositivos IoT considerados como todo en uno.

2. Servidor: Puede ser un servidor al que tenemos acceso de forma física, o un servidor en la nube. La principal diferencia radica en el medio de comunicación que se requiere para comunicarse con la puerta de enlace.

3. Gateway: En caso de usar un servidor en la nube, la puerta de enlace deberá estar conectado obligatoriamente a internet, su configuración tanto de hardware y software debe ser acorde a este requerimiento, debido a esto si la conexión falla o fluctúa la interacción con los dispositivos y el almacenamiento de datos se ve afectada. En el caso de usar un servidor físico es posible tener un escenario de intranet donde los datos pueden ser almacenados y gestionados de forma local, se presta para etapas de prototipado ya que se pueden hacer pruebas sin depender de internet.

4. Dispositivos Inteligentes: Se refiere a las “cosas” del internet de las cosas, para que se puedan definir como inteligentes deben contar con las siguientes características:

a. Capacidad de procesamiento: Los sensores o actuadores en su mínima expresión no son suficientes, se requiere que sigan unas instrucciones definidas, por ende, es necesario programarlos para que cuenten con una capacidad de respuesta al entorno. En el caso de este estudio los sensores y actuadores siempre están acompañados de una placa de desarrollo como arduino o similares que les brinda esta característica.

b. Identificación: Cada dispositivo debe ser único, se prevé que tras la implementación definitiva de IPV6 cada dispositivo IoT cuente con su propia dirección IP pública, por ahora es posible seguir usando estructuras de red que permiten segmentaciones y la salida a internet se hace por alias, y en el caso de MQTT solo es necesario asignar una publicación-suscripción.

c. Interacción con el entorno: Esto se refiere a la parte electrónica que se encarga de percibir el entorno, convertir en datos análogos o digitales todo lo que esté diseñado para captar. Para el caso de los actuadores se refiere a dispositivos que convierten energía comúnmente eléctrica en movimiento de forma que se pueda afectar el entorno, los más usados son motores.

d. Conectividad: Es muy común en etapas de prototipado que se maneje dispositivos todo en uno, donde una placa de desarrollo como arduino preste el servicio de capacidad de procesamiento, almacenamiento y la puerta de enlace al tiempo, incluso puede manejar pantallas con las que puede interactuar el usuario final. También se refiere a la conectividad entre el dispositivo inteligente y la puerta de enlace.

Desde el punto de vista del software se manejan también 4 capas directamente relacionadas con el Hardware.

1. Frontend: Se refiere a la interfaz con la que interactúa el usuario final. Está directamente relacionada con los servicios que ofrezca la plataforma IoT. Normalmente es posible acceder a un histórico de los datos producidos por los dispositivos inteligentes, puede contar con opciones de visualización de estos datos, interacción con sensores o actuadores, en la mayoría de los casos no tiene acceso a la configuración de los dispositivos inteligentes.

2. Backend: Esta capa se encarga del manejo de los datos, Almacenamiento, procesamiento y transformación, existen diversos modelos de bases de datos relacionados con el protocolo que se use para que la información llegue desde la puerta de enlace al servidor.

3. Comunicación: Si bien existe comunicación entre capas, esta capa en particular se refiere a la comunicación entre la puerta de enlace y el servidor, teniendo en cuenta que el propósito de la arquitectura es educativo se requiere que admita cualquier protocolo, entre los más usados se destaca: MQTT, MQTT-SN, CoAP, HTTP, ReST API, AMQP.

4. Software de los dispositivos Inteligentes: Para el presente proyecto, teniendo en cuenta que la capacidad de procesamiento es aportada por placas de desarrollo como arduino, los lenguajes de programación están directamente relacionados con la placa que se elija, los más comunes son C, C++, Python, Micro Python.

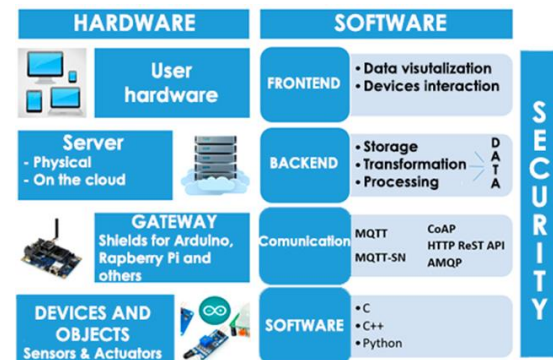


Figure 11 – Arquitectura IoT propuesta por este estudio

4. RESUMEN DE LOS PROTOCOLOS IoT MÁS COMUNES

En esta sección se presenta el resultado del examen del estado del arte en torno al uso de protocolos en IoT orientados a la comunicación; los resultados obtenidos de dicho examen se consolidaron y resumieron en la Tabla 1 con una descripción de cada protocolo.

Tabla 1 – Protocolos más usados en el Internet de las Cosas.

| PROTOCOLOS | DESCRIPCIÓN |
|------------|--|
| MQTT | Es un protocolo de mensajería tipo publicación/suscripción |

| | |
|---------------|--|
| | que cuenta con un flujo de datos optimizado que permite reducir el tráfico de red. Fue diseñado para redes de comunicación poco fiables y tiene un consumo mínimo de energía, es de destacar que trabaja sobre TCP/IP. |
| MQTT-SN | A diferencia del anterior trabaja sobre UDP, pensado para reducir aún más el consumo de energía y aprovechar las características típicas de la transferencia UDP. |
| CoAP | Un protocolo diseñado para microcomputadores con poca memoria y capacidad de procesamiento. |
| HTTP ReST API | Es el protocolo más usado en el internet de las personas, sencillo de implementar y que facilita el desarrollo de servicio en el IoT. Tiene la ventaja que muchas aplicaciones están ya desarrolladas para utilizar esta tecnología. |
| AMQP | Este protocolo da prioridad a garantizar la recepción de todos mensajes, trabaja sobre TCP y proporciona una conexión punto a punto fiable. |

5. CONCLUSIONES

El estudio del Internet de las cosas en general se hace más complejo cuando se abordan cuestiones interdisciplinarias, como en el caso de la arquitectura, donde convergen diferentes ingenierías, lo que puede obstaculizar el proceso de formación de quienes ingresan al IoT.

En diversos artículos relacionados con el IoT se ha visto una pauta al definir o proponer una arquitectura para su estudio, y se ha podido observar una pauta de la que se han extraído 4 componentes principales: Hardware de usuario, servidor, puerta de enlace, dispositivos inteligentes. Sin embargo, no basta con definir los componentes básicos de hardware que conforman la arquitectura, hay diferentes opciones disponibles a la hora de elegir el software, los estándares y los protocolos.

En términos generales, es el entorno en el que se debe aplicar la solución de IoT, el que define los estándares y protocolos más adecuados, cada uno tiende a resolver situaciones específicas, por eso se definen 4 componentes directamente relacionados con el hardware: Frontend, Backend, Comunicación y Software de los dispositivos inteligentes.

Transversal a todo hay una capa de seguridad que afecta a cada componente de manera diferente, cada uno tiene vulnerabilidades que deben ser tenidas en cuenta tanto a nivel de software como de hardware, este tema puede ser abordado con mayor profundidad en un artículo posterior. Existen protocolos que se utilizan con frecuencia en los estudios analizados, porque tienen características muy adecuadas al mundo de la IoT; El bajo consumo de energía, las reducidas tasas de transferencia, la fiabilidad de la conexión y la facilidad de integración con otras tecnologías han hecho que MQTT, CoAP, AMQP y HTTP ReST API sean los preferidos a la hora de implementar soluciones de IoT.

Para definir para qué casos es más útil una u otra tecnología de hardware, software, estándares y protocolos, es un estudio que puede realizarse una vez construido un laboratorio que permita evaluar cada una de ellas en igualdad de condiciones, es necesario contar con una arquitectura y plataforma básica de IoT, que es el siguiente paso de este estudio.

RECONOCIMIENTO

Este trabajo está apoyado por el Grupo de Investigación de SEDMATEC y el semillero de Investigación KERNEL# y SINAPSIS, de la Corporación Universitaria Autónoma de Nariño, así como el grupo de investigación “SDAS Research Group” (www.sdas-group.com).

REFERENCES

- Anaya-Isaza, A., Peluffo-Ordoñez, D. H., Ivan-Rios, J., Castro-Silva, J. A., Ruiz, D. A. C., & Llanos, L. H. E. (2016). Sistema de Riego Basado En La Internet De Las Cosas (IoT).
- Castellanos, W. A., Suarez, O. J., & Garcia, A. P. (2018). Usability in virtual learning environments, an approach to the integrated grid (IG) application. Paper presented at the Proceedings of the LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education

- and Technology, , 2018-July doi:10.18687/LACCEI2018.1.1.497
- Ferrari, F., Striani, R., Minosi, S., De Fazio, R., Visconti, P., Patrono, L., & Greco, A. (2020). An innovative IoT-oriented prototype platform for the management and valorisation of the organic fraction of municipal solid waste. *Journal of Cleaner Production*, 247, 119618.
- Gómez, J. E., Castaño, S., Mercado, T., Fernandez, A., & Garcia, J. (2017). Sistema de Internet de las cosas (IoT) para el monitoreo de cultivos protegidos. *Ingeniería e Innovación*, 5(1).
- González, D. R. (2013). Arquitectura y Gestión de la IoT. *Revista Telemática*, 12(3), 49-60.
- Guerrero-Ibáñez, J. A., Estrada-González, F., Medina-tejeda, M., Rivera-Gutierrez, M. G., Alcaraz-Aguirre, J. M., Maldonado-Mendoza, C., ... & López-González, V. (2017). SgreenH-IoT: Plataforma IoT para agricultura de precisión. *Revista Iberoamericana de sistemas, cibernética e informática*, 14(2).
- Jurado, L. A., Velásquez, W. A., & Vinueza, N. F. (2014). Estado del arte de las arquitecturas de internet de las cosas (IoT).
- Larrañaga Fuerte, J. (2016). IoT con IBM y NI.
- Luzuriaga, J. E., Zennaro, M., Cano, J. C., Calafate, C., & Manzoni, P. (2016). Evaluando un escenario de pruebas para el IoT entre la emulación y el uso de dispositivos reales. *Actas Jornadas Sarteco*, 441-445.
- Manavalan, E., & Jayakrishna, K. (2019). A review of Internet of Things (IoT) embedded sustainable supply chain for industry 4.0 requirements. *Computers & Industrial Engineering*, 127, 925-953.
- Medina, C., Calvache, C., Mora, G., & Cruz, L. (2018). Análisis de requerimientos de hardware y software libre para la creación de un laboratorio de internet de las cosas (iot) como entorno de investigación en ciudades inteligentes. *I Congreso Internacional de Emprendimiento*, I, 156-161.
- Peña Merizalde, J. L., Chuquimarca, S., & Elizabeth, G. (2016). Estudio del modelo de referencia del Internet de las Cosas (IoT), con la implementación de un prototipo doméstico (Bachelor's thesis, Quito, 2016.).
- Pramudianto, F., Kamienski, C. A., Souto, E., Borelli, F., Gomes, L. L., Sadok, D., & Jarke, M. (2014, December). Iot link: An internet of things prototyping toolkit. *IEEE 14th Intl Conf on Scalable Computing and Communications and Its Associated Workshops* (pp. 1-9). IEEE.
- Salazar-Castro, J. A., Rosas-Narváez, Y. C., Pantoja, A. D., Alvarado-Pérez, J. C., & Peluffo-Ordóñez, D. H. (2015, September). Interactive interface for efficient data visualization via a geometric approach. In *2015 20th Symposium on Signal Processing, Images and Computer Vision (STSIVA)* (pp. 1-6). IEEE.
- Taffernaberry, J. C., & Mercado, G. (2016, May). GW-CIAA-IoT: Gateway con CIAA para red inalámbrica de IoT. In *XVIII Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación (WICC 2016, Entre Ríos, Argentina)*.
- Tanganelli, G., Vallati, C., & Mingozzi, E. (2019). Rapid Prototyping of IoT Solutions: A Developer's Perspective. *IEEE Internet Computing*, 23(4), 43-52.
- Vargas, D. C. Y., & Salvador, C. E. P. (2016). Smart IoT gateway for heterogeneous devices interoperability. *IEEE Latin America Transactions*, 14(8), 3900-3906.