

SISTEMA COLABORATIVO DE MEDICIÓN DE PARÁMETROS AMBIENTALES BASADO EN IoT

Maureen Parra ¹, Edward Guillen ², Frédéric Le Mouél ³ y Oscar Carrillo ⁴

¹⁻² Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, COLOMBIA

³⁻⁴ Institut National des Sciences Appliquées (INSA), Lyon, FRANCIA

u1401167@unimilitar.edu.co

edward.guillen@unimilitar.edu.co

frederic.le-mouel@insa-lyon.fr

oscar.carrillo@cpe.fr

Resumen. Las alertas ambientales declaradas en Bogotá, los informes mundiales sobre la situación actual del medio ambiente y los efectos de la contaminación sobre la salud de las personas son las principales causas por las que el grupo de investigación GISSIC (Grupo de Investigación en Seguridad y Sistemas de Comunicación) decidiera elaborar un proyecto que pudiera entregar una solución tecnológica alternativa, en tiempo real y a una escala importante.

El despliegue de nodos IoT capaces de realizar las medidas de las variables contaminantes que se encuentran suspendidas en el aire se realizará inicialmente en el campus Nueva Granada que se encuentra ubicado en Cajicá y posteriormente a las demás sedes de la universidad Militar Nueva Granada. Los datos recolectados serán enviados a una interfaz de usuario en la que se podrá visualizar el comportamiento de las variables seleccionadas. Estos datos serán públicos para que la comunidad tenga acceso a esta información y pintos de voluntariado podrán acrecentar la red para hacerla colaborativa.

La arquitectura que se está desarrollando se compone por sensores distribuidos y una plataforma escalable con capacidades de administración y gestión remota, así como procesamiento en edge computing. La plataforma tendrá la capacidad de integrarse con la plataforma de administración de servicios que se está implementando en el WIRID LAB y las plataformas de Future Internet of Things de INSA en Francia.

Palabras claves: Calidad del aire, Datos abiertos, Escalable, Autoconfigurable, Bajo costo.

1 INTRODUCCIÓN

Hoy en día estamos viviendo el posicionamiento de nuevas tecnologías en donde se integran dispositivos como sensores inalámbricos y servicios como Computación en la nube. La tecnología es ahora más interactiva con los usuarios finales, entregando soluciones de conectividad que facilitan la vida de estos. Tecnologías como el Internet de las cosas están revolucionando el mundo ya que son capaces de ofrecer modelos tecnológicos en el área del transporte, salud, hogar, entre otras. La contaminación es uno de

los principales problemas que afecta la salud de las personas ya que el medio ambiente y la salud humana están directamente relacionadas. El material particulado más dañino es de un tamaño menor a 10 micros, este es capaz de producir problemas cardiovasculares y respiratorios. Por otra parte, los gases de efecto invernadero, principalmente el Dióxido de carbono –CO₂, es el responsable del cambio climático, por estas razones se quiere desarrollar un proyecto orientado al internet de las cosas que entregue diferentes datos que informen sobre el estado de la calidad del aire. El modelo de la plataforma propuesta en el desarrollo del presente artículo permitirá la implementación y conexión de nodos IoT medidores de la contaminación creados por investigadores del grupo GISSIC y adquiridos por usuarios externos que quieran conectarse a esta plataforma de servicios y compartan los datos recolectados mediante sus nodos IoT a la comunidad. Este proyecto está basado en la plataforma experimental FIT/IoT-LAB que ofrece servicios y aplicaciones IoT a gran escala mediante el laboratorio IoT-LAB. Los principales servicios que soporta es una arquitectura heterogénea, es decir, hardware, topologías de red, protocolos y bibliotecas orientadas a IoT. La gestión y administración de los experimentos, además, la realización de estas actividades mediante herramientas de visualización y ejecución. Este laboratorio fue implementado con la intención de avanzar en pruebas del sector de IoT, por esta razón es de acceso libre para la academia, para empresas y para enseñanza [1].

2 ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE

Existen diferentes proyectos en el mundo sobre la medición a gran escala de la calidad del aire mediante trabajos orientados a internet de las cosas, a continuación, se explicarán las principales características de cada uno.

En Colombia, existe un sistema de monitoreo del aire implementado en la ciudad de Medellín (Antioquia), este sistema es llamado SIATA (Sistema de Alerta Temprana de Medellín y el Valle de Aburrá) es un conjunto de red de monitoreo de variables ambientales creado por un grupo de investigación en ciencia y tecnología. Una de las redes que se desarrollaron es responsable de monitorear la calidad del aire en el Valle de Aburrá. Las principales variables medidas por estas estaciones son: ozono, óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono, PM 10 y PM 2.5.

Las 43 estaciones instaladas en la ciudad recolectan los datos tomados por los sensores y los envían a los servidores que están en la planta, allí procesan y analizan esta información para establecer si son datos correctos y confiables. Según los resultados del análisis de datos, el equipo tomará una decisión, por ejemplo, si existe una situación que puede afectar la salud pública, se seguirá un protocolo establecido [2].

AIRBEAM: SHARE & IMPROVE YOUR AIR (AIRBEAM: COMPARTE Y MEJORA TU AIRE) es un proyecto desarrollado por la empresa HabitatMap, una compañía ambiental sin ánimo de lucro que se encuentra ubicada en Nueva York. HabitatMap lanzó un dispositivo llamado AIRBEAM que realiza medidas sobre la calidad del aire del entorno, el dispositivo cuenta con sensores que son capaces de detectar partículas o material articulado que se encuentra suspendido en el aire como lo es el PM 2.5,

concentraciones de gases como Dióxido de Nitrógeno y Monóxido de Carbono, además, mide variables ambientales como la temperatura y la humedad.

AIRBEAM está conectado con una plataforma llamada AirCasting en la que se recolectan datos de cada AIRBEAM y se publican para que la comunidad los conozca y así se pueda evitar o mejorar daños en la salud.

La forma de funcionamiento de este dispositivo es mediante una luz led que produce la dispersión de las partículas que se encuentran en el aire, esta dispersión es registrada por el detector y con esto se estima cierta concentración o cantidad de partículas en el aire. El dispositivo medidor envía las medidas tomadas mediante Bluetooth a la aplicación AirCasting que estaría ubicada en el Smartphone del usuario y al final de cada sesión se envían el total de datos recolectadas a la página web de la plataforma para formar el mapa que indica las zonas con mayor concentración de PM 2.5.

Después de la recolección de datos, el sensor recibe respuesta de la aplicación y el dispositivo se ilumina según la concentración de la medida indicando con el verde, amarillo, naranja o rojo para alta concentración [3].

IoT ha permitido la creación e integración de diferentes dispositivos tecnológicos para la prestación de servicios en la sociedad. La variedad de aplicaciones de esta tecnología hace que incremente el número de usuarios en esta red heterogénea. Estos nuevos dispositivos creados deben ser interconectados, aunque su capa física y su protocolo de comunicación varíe. EL-MOUGY y los demás autores explican cómo podría formarse una arquitectura que integraría dispositivos IoT conformados por diferentes tipos de sensores y como esta arquitectura podría ser escalable y personalizada, según sus aplicaciones, para cada usuario [4].

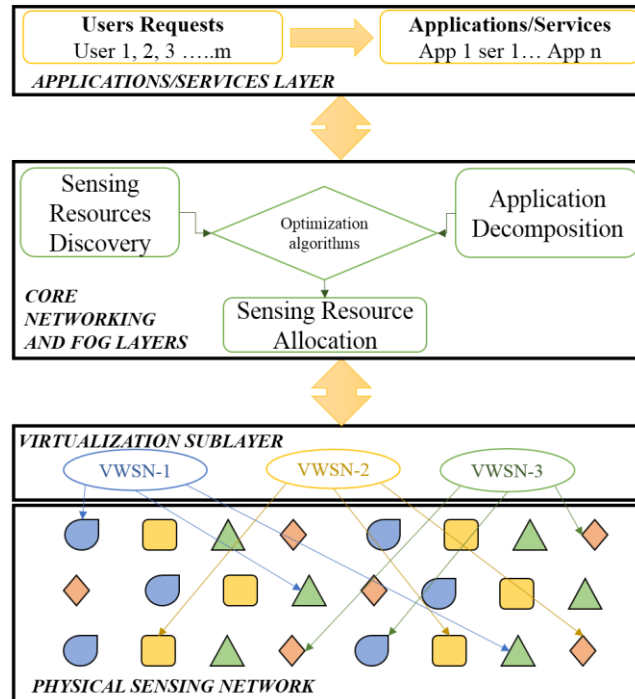


Fig. 1. Arquitectura IoT con hardware heterogéneo [4].

El aumento de los usuarios en las tecnologías como IoT genera la creación de arquitecturas como la observada en la figura 1, en donde se busca implementar una virtualización de recursos que permite reducir costos, facilitar el escalamiento y reusar hardware ya instalado. A demás se crea una capa de aplicación que se configura con la capacidad de responder mediante diferentes a los servicios que solicitan los usuarios. La capa física y la capa de aplicación está interconectada mediante la capa Fog permite la escalabilidad y soporte en tiempo real para aplicaciones de IoT y análisis en paralelo de los datos recolectados [4].

Los servicios desarrollados para IoT actualmente utilizan middleware para el establecimiento de comunicación entre la infraestructura en la que se encuentran. Cada elemento IoT trae por defecto su middleware configurado y una API que el proveedor entrega para poder programar el dispositivo, esto hace difícil tener acceso a varios recursos de IoT porque no pueden conectarse a middleware diferentes. En la plataforma propuesta que se puede observar en la figura 2, se muestra un método de acceso unificado que puede superar los problemas que presenta la heterogeneidad de los dispositivos IoT [5].

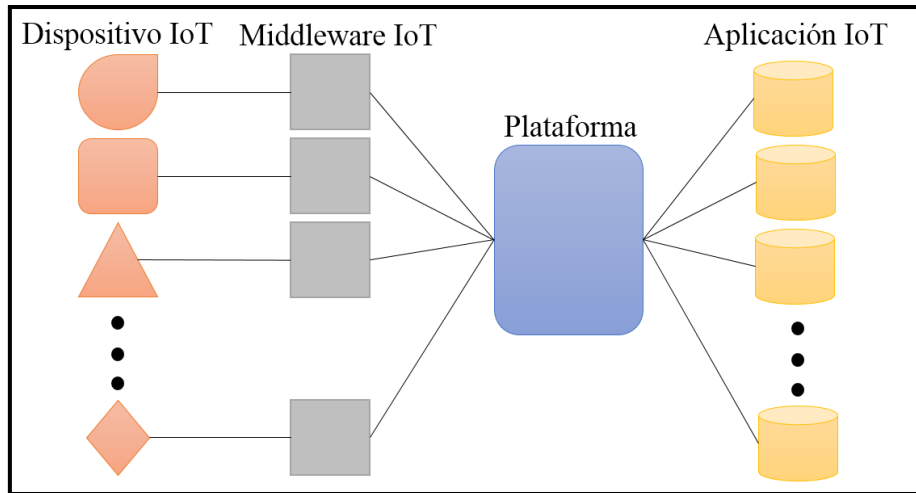


Fig. 2. Arquitectura de plataforma de servicios con hardware heterogéneo [10].

En la plataforma abierta de servicios desarrollada cada aplicación IoT no necesita conocer el middleware de cada dispositivo heterogéneo ni a que recursos debe acceder. En esta arquitectura propuesta las aplicaciones IoT solicitan apertura a la plataforma de servicios y el procedimiento restante lo realiza la plataforma. Esta plataforma actúa como un intermediario para realizar la solicitud específica a cada middleware IoT diferente [5].

- Uso completo y fácil acceso al recurso IoT y a los datos recolectados.
- Conexión y comunicación fácil con los recursos IoT.
- Optimización y distribución de las aplicaciones.

FIT IoT-LAB

La plataforma FIT (Future Internet of the Things) es una herramienta que complementa el IoT-LAB que ayuda a la realización de experimentos mediante conexión remota con los nodos ya instalados. Los nodos implementados permiten realizar experimentos libres para cada usuario y medir variables como el consumo de energía, la interferencia de señal y métricas de evaluación de la red como, por ejemplo, rendimiento, delay, entre otras. Los resultados de los experimentos ejecutados con los nodos pueden ser analizados y evaluados [6].

El FIT IoT-LAB posee 2728 nodos inalámbricos y 117 robots móviles para la ejecución de los experimentos en IoT, estos elementos están distribuidos en 6 diferentes lugares en Francia y esta infraestructura lo hace el laboratorio remoto de pruebas y experimentos más grande del mundo. Los nodos IoT están ubicados en diferentes topologías de red y poseen una variedad de sensores inalámbricos que son completamente programables. Existe un alto nivel de accesibilidad a las puertas de enlace de cada nodo,

lo que permite controlar, monitorear y programar los nodos, además, también se puede movilizar los robots y ver como se afectan los protocolos de comunicación con estos cambios en tiempo real [1].

Los nodos IoT están conectados físicamente mediante un backbone que les provee la energía de alimentación y los conecta a los servidores [1]. Existen 3 principales componentes de los nodos en el IoT-LAB:

1. ON (Open Node): es el dispositivo de bajo consumo que el usuario reprograma, además está conectado directamente a la puerta de enlace mediante un puerto serial [1].
2. GW (Gateway): o puerta de enlace está conectado al backbone mediante una conexión ethernet, además de esto, monitorea y reporta la actividad realizada por el Open Node (ON) [1].
3. CN (Control Node): o nodo de control se encarga de coordinar la reprogramación que realiza el Open Node, puede apagar, encender y reiniciar el nodo, así mismo, elegir la fuente de alimentación, entre otras actividades [1].

Existen diferentes tipos de nodos implementados en el laboratorio, como los siguientes: WSN430 ON (862MHz), WSN430 ON (2.4GHz), M3 ON, A8 ON y Generic host node (no ON) y dos tipos de robots como: Turtlebot y Wifibot [1].

WIRID LAB

El WIRID LAB es un laboratorio en el que se realizan proyectos de comunicación inalámbrica. Está conformado por diferentes elementos que permiten una comunicación inalámbrica y su respectivo análisis. Algunos equipos son los de radio definido por software como, por ejemplo, las USRP, también se encuentran en el laboratorio los analizadores de espectro, diferentes tipos de antenas que son clasificadas por alta o baja frecuencia de operación y generadores RF que también actúan en diferentes frecuencias [7].

Estos equipos están distribuidos a lo largo del laboratorio y permiten simular estaciones de transmisión y recepción como estaciones base de comunicaciones móviles. En la infraestructura del WIRID LAB se instalaron varios puntos de conexión a internet por ethernet para lograr comunicar los elementos que no se pueden conectar por WIFI. La conectividad que hay en el laboratorio permite el despliegue de más elementos de comunicación y medición en una misma red que es administrada por una plataforma de gestión que ya se está implementando [7].

CALIDAD DEL AIRE

La contaminación en el aire es uno de los principales factores que afectan la salud de las personas y ha producido entre 6 y 7 millones de muertes prematuras, según el último informe de la ONU [8]. El material particulado que se encuentra en el aire puede ingresar a los pulmones y generar enfermedades como disminución en la función pul-

monar, enfermedades cardiovasculares, inflamación del pulmón, problemas respiratorios y muertes por enfermedades cardiopulmonares. Estas partículas se deben clasificar según su diámetro para poder ser monitoreadas. Existen tres principales categorías de PM, las PM 10 y PM 2.5 son partículas de diámetro grueso porque se encuentran entre 2.5 y 10 micrómetros, son inhalables y respirables, pero no se depositan en los pulmones. Las PM 1.0 son partículas ultrafinas de un diámetro menor a 1 micrómetro [9].

Los gases son partículas de sustancias químicas que afectan la calidad del aire. La emisión de gases como por ejemplo el dióxido de carbono (CO₂) generan el efecto invernadero, la principal causa del cambio climático. Esta emisión de gases es generada principalmente por la quema de combustibles para ser utilizados en la industria, la electricidad y el transporte [8]. El sector del transporte es el principal contaminante de la atmósfera. Las partes más habitadas de las ciudades son muy afectadas por el tráfico que se encuentra siempre cerca del entorno de las personas afectando su estado de salud. Como consecuencia de esto, se producen enfermedades como asma, alergia, bronquitis, entre otros [10].

La medición de estas variables contaminantes permite la creación de bases de datos que ayudan a la toma de decisiones en diferentes aspectos que generan la contaminación en el medio ambiente. IoT es una tecnología que permite la conexión de diferentes dispositivos inteligentes y el intercambio de datos por medio de la red. El internet de las cosas se ha utilizado en diferentes sectores como la vivienda, el transporte, sistemas de seguridad, entre otros. El monitoreo de la calidad del aire se ha convertido en una actividad muy importante en diferentes ciudades debido al efecto negativo de la contaminación en la salud de la comunidad [11].

3 PROPUESTA DE ARQUITECTURA

La herramienta que se está utilizando para administrar los dispositivos es Kubernetes, una plataforma que se utiliza para gestionar servicios y recursos basados en contenedores, además, facilita la configuración y automatización de un sistema implementados en cluster (conjunto de nodos). Al ser una aplicación en la nube se puede implementar en sistemas escalables y de rápido crecimiento. Esta plataforma presta diferentes servicios entre ellos: la administración de contenedores, además de esto, es portable para servicios de computación en la nube y otros microservicios que pueda ejecutar. En la arquitectura de Kubernetes se encuentran dos principales objetos el master y el nodo, el master se encarga de controlar y administrar los nodos, además tiene un conjunto de procesos que solo el puede ejecutar y dentro de cada nodo se encuentran los pods, que son conjuntos de contenedores que contienen diferentes aplicaciones [12]. Existen dos tipos de pods, los pods de servicio y los pods de trabajo. Los pods de servicio o service pods se están ejecutando todo el tiempo en el segundo plano del cluster, a este pod se asocian dos métricas la disponibilidad y la utilización del servicio. Los pods de trabajo se encargan de ejecutar o terminar una tarea, a este pod se asocian las métricas de desarrollo y tiempo de ejecución. El de los contenedores que se encuentren dentro del pod determinarán el tiempo de vida del mismo [13].

Los contenedores y las máquinas virtuales se diferencian principalmente por los recursos físicos que cada herramienta utiliza en el equipo. Las máquinas virtuales realizan una copia completa de su sistema operativo y de los recursos de hardware que necesitan para ser ejecutadas. Por otro lado, el contenedor se ejecuta en la capa de aplicación, es decir, las copias que realiza para su ejecución son de menor tamaño como, por ejemplo, el peso de la imagen de un contenedor se encuentra en decenas de MB (MegaBytes). Así mismo, la ejecución de varias aplicaciones al tiempo con una baja utilización de recursos hace que esta unidad de software sea más óptima [14].

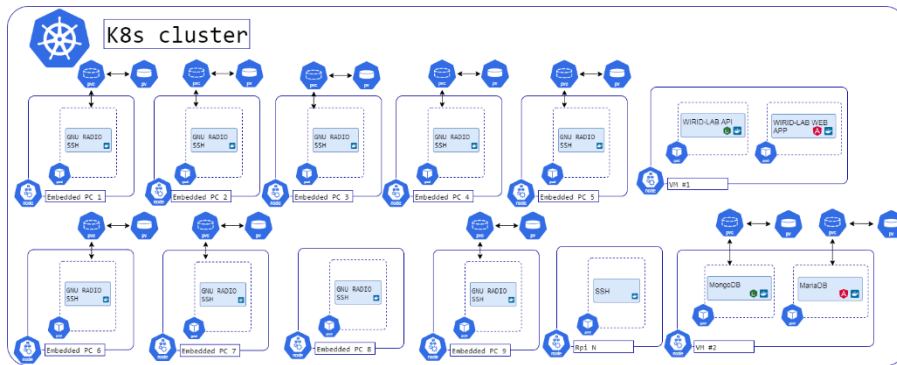


Fig. 3. Arquitectura en Kubernetes del WIRID LAB

En la arquitectura modelada del WIRID LAB en Kubernetes que se puede observar en la figura 3. Se encuentra un cluster con 10 nodos y cada nodo es un computador embebido en el cual se encuentran diferentes aplicaciones como SSH, la API del laboratorio, el servidor web o GNU para las USRPs, entre otros. Todos los nodos dentro de la infraestructura se pueden comunicar entre sí y además de esto poseen un Volumen Persistente (PV) que les permite guardar información en el equipo en donde se está alojando esto se realiza mediante una petición de almacenamiento llamada Reclamo de Volumen Persistente (PVC) [12]. En las principales aplicaciones instaladas en los nodos se encuentra MongoDB, una base de datos creada para aplicaciones modernas que provee soporte en cualquier escala y se caracteriza por tener alta disponibilidad, escalabilidad, es decir, que tiene la capacidad de crecer según la arquitectura, ejecuta cargas de trabajo en el mismo clúster, puede distribuir los datos en dispositivos seleccionados y en cualquier zona geográfica, además es una base de datos portable que funciona correctamente en cualquier parte, además, esta puede ser implementada en la nube. Estas características permiten que se pueda crear una plataforma que gestione datos operacionales respaldados por Mongo DB [15]. En la plataforma se utilizó para almacenar la API y la base de datos del WIRID LAB.

Maria DB es otra aplicación instalada en uno de los nodos creados y es utilizada para soportar la página web del WIRID LAB, esta aplicación es un servidor de bases de datos que convierte los datos estructurados en aplicaciones como, por ejemplo, un sitio web. Se caracteriza porque se puede desarrollar en entornos escalables y posee herramientas como el almacenamiento que lo hace útil en diferentes aplicaciones [16].

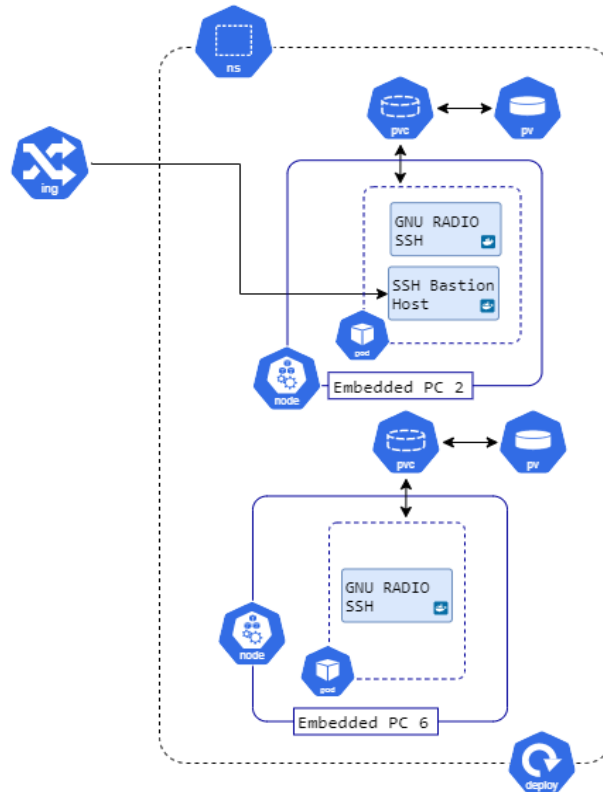


Fig. 4. Nodo de servicio de Kubernetes aislado.

En la figura 4, se pueden observar un nodo aislado de la arquitectura, una de las funcionalidades que también permite realizar Kubernetes, en este gráfico se encuentran nuevos elementos como Ingress que actúa como puente para exponer puertos que permiten el uso de diferentes servicios que son externos al nodo. Name services o ns permite la separación de nodos por grupos y Deploy es una herramienta que se encarga de llevar al nodo a un estado deseado mediante una actualización [12].

Las características de este laboratorio permiten el despliegue de más equipos que sean capaces de enviar información a la plataforma de gestión, por esto, los investigadores del grupo GISSIC (Grupo de Investigación en Seguridad y Sistemas de Comunicación) crearon unos nodos IoT que realizan medidas sobre diferentes variables del entorno, estos dispositivos también están siendo agregados a la plataforma Kubernetes para poder ser administrados.

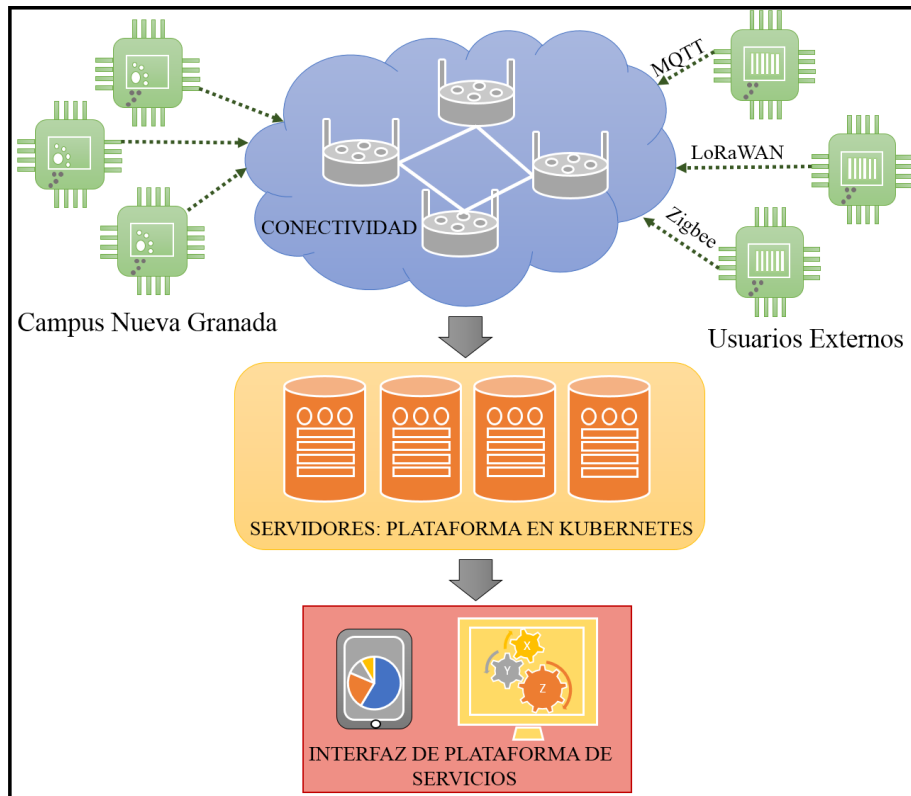


Fig. 5. Arquitectura propuesta de un sistema IoT de medición de calidad del aire con hardware heterogéneo

Este proyecto de despliegue de nodos IoT medidores de calidad del aire en el Campus Nueva Granada nace de la necesidad de aportar a la sociedad una alternativa de datos sobre contaminación en el aire diferente a las estaciones que implementó el estado porque el proyecto está orientado a que la comunidad tenga accesibilidad a la plataforma. Aunque la plataforma esté implementada en esta sede de la universidad estará abierta para que cualquier ciudadano conecte su nodo medidor de contaminación y aporte datos a la plataforma.

En la figura 5, se puede observar una imagen de la arquitectura propuesta en donde se puede encontrar el hardware o los sensores utilizados para la medición de las variables ambientales contaminantes como PM 10, PM 2.5, gases específicos, entre otros. Como ya se ha mencionado, los medidores adquiridos por los usuarios tendrán la capacidad de conectarse a la plataforma ya que estos se pueden configurar para que establezca una comunicación mediante cualquier protocolo como los que se explican más adelante. Una vez conectados al servidor, los usuarios tendrán acceso a la plataforma

de servicios en donde pueden publicar los datos tomados con los medidores IoT, además pueden observar mediciones que otras personas han publicado y que los nodos instalados en la universidad también han realizado. Posteriormente, se encuentra la interfaz gráfica de la plataforma de servicios que se refiere a la muestra de los datos recolectados a la comunidad interesada en conocer el estado actual de la calidad del aire en su entorno.

La comunicación y el envío de datos del nodo a la plataforma se puede realizar mediante diferentes protocolos de comunicación como por ejemplo MQTT, LoRaWAN o Zigbee, entre otros. A continuación, se explica el funcionamiento básico de cada uno de estos protocolos de comunicación.

1. MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) o en español transporte de telemetría de colas de mensajes, es un protocolo que pertenece a la capa de transporte según el modelo OSI, así mismo este protocolo se encarga de transportar la información desde un extremo al otro. Este protocolo está diseñado para la transmisión de datos generados por dispositivos IoT mediante una red inalámbrica [17].

MQTT está basado en la interacción entre dos extremos llamados: suscriptor y publicador, en donde ninguno conoce la identidad del otro. Está conformado por dos partes como son: los clientes (suscriptor y publicador) y Broker [17].

Los clientes MQTT son los dispositivos, nodos IoT, sensores o elementos con capacidad de conectarse a la red que se comunican o envían y reciben información que es transportada por este protocolo. El Broker es la parte que se comporta como central de conexión de todos los clientes. Los datos intercambiados mediante el protocolo MQTT son llamados mensajes los cuales están contenidos dentro de un Tópico, estos son los temas o divisiones de información general que se puede transmitir después de ser recolectada [17].

2. LoRaWAN es una tecnología que ofrece un servicio de comunicación en una larga cobertura y con un bajo consumo de energía en los dispositivos finales. LoRaWAN está basado en el CSS (chirp espectro ensanchado), que es una técnica en la que la frecuencia de la señal aumenta con el tiempo hasta que ocupa todo el ancho de banda de la señal. Básicamente LoRa es la tecnología base de la comunicación y LoRaWAN se encarga de gestionar la comunicación establecida. Gracias a la modulación que realiza LoRa se pueden alcanzar grandes distancias de comunicación, esta tecnología está estandarizada por la alianza LoRa y ha establecido aspectos como administración de dispositivos y mensajes, formato de las tramas generadas, acceso al medio, entre otros [18]. LoRaWAN provee funcionalidades como la conexión de muchos nodos finales que se pueden comunicar por medio de uno o varios gateways de esta tecnología. Los gateways actúan como canales de transmisión de mensajes hacia servidores [19].
3. Zigbee es un protocolo de comunicación inalámbrico, se caracteriza por funcionar con un bajo consumo de energía a cortas distancias y con una tasa baja de datos, alcanzando los 250 Kbps en distancias de 10 a 70 metros. El consumo promedio de corriente es de 30 mA en modo standby [20]. Zigbee es un protocolo muy seguro en

comparación a otras tecnologías como WIFI y se encuentra estandarizado en IEEE 802.15.4, además de esto, trabaja sobre las frecuencias 915 y 868 MHz con una longitud de onda de 2.4 GHz, cuando se trabaja en la frecuencia más baja la potencia recibida es más alta pero la tasa de datos se ve limitada. La comunicación de este protocolo se basa en el esquema servidor y cliente, en la puerta de enlace se configura el coordinador que cumple la función de servidor y otro subdispositivo de Zig-bee actúa como cliente, estos componentes se envían y responden mensajes de control, consulta y estado [21].

El medidor de contaminación que se construirá en el grupo de investigación GISSIC para la formación de la base de datos de las medidas contaminantes del aire, debe conformarse con sensores de bajo costo que midan los siguientes parámetros:

- **Material Particulado:** como se explicó anteriormente, este tipo de partículas afectan negativamente el estado de salud de las personas por esto es importante realizar medidas de concentración de PM en el entorno en que se convive y con base a esto poder tomar y generar decisiones con respecto a los cambios que se deben hacer en la ciudad.
- **Gas:** una de las mediciones de gas que se debe realizar es la del Dióxido de carbono (CO₂), el cual es producido por los medios de transporte principalmente, el conocimiento de la concentración de este gas puede ayudar a incentivar cambios en combustibles que se utilizan en el sector del transporte y a retirar los autos, buses, camiones de carga, entre otros, que por su estado de antigüedad generan estos gases dañinos. Sin embargo, si el usuario quiere medir y compartir datos sobre otros gases como el metano, monóxido de carbono, entre otros puede incluir este tipo de sensores en su medidor.
- **Temperatura y humedad:** Es importante conocer estos dos aspectos porque las medidas varían según el cambio de la temperatura y humedad del ambiente y es necesario tener en cuenta estas características.
- **Tarjeta de comunicación:** una herramienta que le permita comunicar el medidor a la plataforma y enviar los datos recolectados para la construcción y organización de la información que se mostrará a la comunidad.

4 CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

Finalmente, en este documento se realizó la propuesta de una plataforma de servicios de datos públicos relacionados con la calidad del aire en el entorno en donde se realicen las medidas, por esto, también se entrega la posibilidad de la conexión de usuarios externos a la plataforma implementada en el servidor del laboratorio y así lograr la formación de una amplia base de datos que pueda informar a las personas el estado ambiental actual mediante una página web. Como trabajo futuro, se busca implementar la plataforma propuesta con base a la infraestructura del WIRID LAB que se creó en Kubernetes puesto que esta será la que soporte la conexión e integración de los nodos implementados en el Campus Nueva Granada y los adquiridos por los usuarios externos a la universidad.

Referencias

1. Adjih, C., Baccelli, E., Fleury, E., Harter, G., Mitton, N., Noel, T., ... & Watteyne, T. (2015, December). FIT IoT-LAB: A large scale open experimental IoT testbed. In 2015 IEEE 2nd World Forum on Internet of Things (WF-IoT), pp. 459-464, IEEE (2015).
2. SIATA Sistema de Alerta Temprana de Medellín y el Valle de Aburrá, https://siata.gov.co/sitio_web/index.php/calidad_aire, último acceso 2019/10/15
3. Kickstarter. AIRBEAM: share and improve your air, <https://www.kickstarter.com/projects/741031201/airbeam-share-and-improve-your-air>, último acceso 2019/10/14
4. El-Mougy, A., Al-Shiab, I., & Ibnkahla, M. Scalable Personalized IoT Networks. Proceedings of the IEEE, 107(4), pp. 695-710, IEEE (2019).
5. Park, D. H., Bang, H. C., Pyo, C. S., & Kang, S. J. Semantic open IoT service platform technology. In 2014 IEEE World Forum on Internet of Things (WF-IoT), pp. 85-88, IEEE (2014).
6. FIT FUTURE INTERNET OF TESTING FACILITY. FIT IOT-LAB: SENSING EMBEDDED MOBILE, <https://www.iot-lab.info/>, último acceso 2019/9/20
7. WIRID LAB, <http://wirid-lab.umng.edu.co/>, último acceso 2019/10/10
8. ONU: Medio Ambiente.: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (2019), Perspectivas del Medio Ambiente Mundial, GEO 6: Planeta sano, personas sanas, Nairobi. PNUMA (2019).
9. Marques, G., Roque Ferreira, C., & Pitarma, R. A system based on the Internet of Things for real-time particle monitoring in buildings. International journal of environmental research and public health, 15(4), 821 (2018).
10. Forehead, H., & Huynh, N. Review of modelling air pollution from traffic at street-level-The state of the science. Environmental Pollution, 241, pp. 775-786 (2018).
11. Kaivonen, S., & Ngai, E. Real-time air pollution monitoring with sensors on city bus. Digital Communications and Networks. (2019).
12. Kubernetes, <https://kubernetes.io/es/docs/concepts/overview/>, último acceso 2019/10/18
13. Medel, V., Tolosana-Calasanz, R., Bañares, J. Á., Arronategui, U., & Rana, O. F. Characterising resource management performance in Kubernetes. Computers & Electrical Engineering, 68, pp. 286-297. (2018).
14. Docker: The Modern Platform for High-Velocity Innovation, <https://www.docker.com/why-docker>, último acceso 2019/10/18
15. MongoDB Architecture, <https://www.mongodb.com/mongodb-architecture>, último acceso 2019/10/19
16. MariaDB Foundation: Supporting continuity and open collaboration, <https://mariadb.org/about/>, ultimo acceso 2019/10/19
17. Kashyap, M., Sharma, V., & Gupta, N. Taking MQTT and NodeMcu to IOT: Communication in Internet of Things. Procedia computer science, 132, pp. 1611-1618. (2018).
18. Van den Abeele, F., Haxhibeqiri, J., Moerman, I., & Hoebeke, J. Scalability analysis of large-scale LoRaWAN networks in ns-3. IEEE Internet of Things Journal, 4(6), pp. 2186-2198 (2017).
19. Barro, P. A., Zennaro, M., & Pietrosevoli, E. TLTN—The local things network: on the design of a LoRaWAN gateway with autonomous servers for disconnected communities. In 2019 Wireless Days (WD) (pp. 1-4). IEEE (2019).
20. Nugroho, E., & Sahroni, A. ZigBee and wifi network interface on Wireless Sensor Networks. In 2014 Makassar International Conference on Electrical Engineering and Informatics (MICEEI) pp. 54-58. IEEE (2014).

21. Pan, G., He, J., Wu, Q., Fang, R., Cao, J., & Liao, D. Automatic stabilization of Zigbee network. In 2018 International Conference on Artificial Intelligence and Big Data (ICAIBD) pp. 224-227. IEEE (2018).