

Arquitectura M2M para el monitoreo ambiental en tiempo real

M2M Architecture for environmental monitoring in real time

Elaine Cubillas-Hernández¹ ; Caridad Anías-Calderón² ; Tatiana Delgado-Fernández³

¹Technological University of Havana (CUJAE), Cuba; ela90ch@gmail.com

²Technological University of Havana (CUJAE), Cuba; cacha@tesla.cujae.edu.cu

³Universidad Tecnológica de La Habana, Unión de Informáticos de Cuba, Cuba; tatiana.delgado@uic.cu

Recibido: 27 de agosto de 2020. Aceptado: 23 de noviembre de 2020

Resumen– En el Instituto de Geografía Tropical (IGT), y en el resto de los centros que desarrollan el Sistema de Información Ambiental del país, no se obtienen en tiempo real las mediciones ambientales. Esto se debe a que la tecnología utilizada para la comunicación de dicha información, desde los sensores que la capturan al centro donde se procesa, se encuentra obsoleta. El objetivo de este trabajo es dar solución a la problemática antes planteada, empleando la comunicación Máquina a Máquina (M2M) como parte de la tecnología del Internet de las Cosas (IoT). Para lograr lo anterior se revisó la arquitectura M2M definida por Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones y, a partir de ella, se precisó la que se debía emplear en la obtención de datos ambientales en tiempo real. Se seleccionó un área geográfica con características especiales, ubicada en una zona de premontaña de difícil acceso en las afueras del municipio Consolación del Sur, provincia Pinar del Río de Cuba, donde en la actualidad se monitorizan factores ambientales de interés para el país empleando métodos rudimentarios. En el área M2M de dicho escenario se analizaron varias alternativas para la obtención de los datos, lo que permitió seleccionar la más adecuada, que es la que se explica en este trabajo.

Palabras clave– M2M; IoT; redes de sensores ambientales; arquitectura.

Abstract– In the Institute of Tropical Geography (IGT), and in the rest of the centers that develop the Environmental Information System of the country, environmental measurements are not obtained in real-time. This is because the technology used to communicate

this information, from the sensors that capture it to the center where it is processed, is obsolete. The objective of this work is to provide a solution to the problems raised above using Machine to Machine communication (M2M), as part of the Internet of Things (IoT) technology. To achieve the above, the M2M architecture defined by the European Telecommunications Standards Institute was revised and, based on it, the one that should be used to obtain environmental data in real-time was specified. Then, a geographical area with special characteristics was selected, located in a difficult-to-access pre-mountain zone on the outskirts of the Consolación del Sur municipality, in the Pinar del Río province of Cuba, where environmental factors of interest for the country are currently monitored using archaic methods. In the M2M area of this scenario, several alternatives were analyzed to obtain the data, which allowed selecting the most appropriate one, which is the one explained in this work.

Keywords– M2M; IoT; networks of environmental sensors; architecture.

1. INTRODUCCIÓN

Las tecnologías que soportan el paradigma de Internet de las Cosas (IoT) se tornan cada vez más importantes a medida que se incrementa la necesidad de mejorar la comprensión de nuestro entorno y de convertirlo en inteligente.

Las redes de sensores inalámbricos (WSN) deben ser capaces de organizar cientos o incluso miles de nodos y proporcionar una comunicación confiable, por lo que es-

tos nodos deben tener las características de alta confiabilidad, baja potencia, bajo costo, facilidad de instalación y mantenimiento [1]. Las redes máquina-a-máquina (M2M) que permiten que máquinas, sensores y controladores para comunicarse entre sí sean muy similares a LAN o WAN, por eso a menudo se les denomina Internet de las cosas (IoT).

Una red M2M consiste de una gran cantidad de nodos M2M y un *gateway* que forman un área de dominio M2M. Cada nodo M2M es un dispositivo muy flexible e inteligente equipado con algunas tecnologías de detección específicas y puerta de enlace M2M que es responsable de conectar el dominio de área M2M con el dominio de red [2]. En la comunicación de máquina a máquina, los dispositivos se comunican sin o casi sin intervención humana. Tareas como vigilancia remota, salud y monitoreo ambiental, redes inteligentes, ciudades inteligentes [3], hogar y la seguridad del tráfico y el transporte inteligente son ejemplos bien conocidos de comunicaciones M2M [1].

Las aplicaciones ambientales que emplean tecnología M2M suelen ser inteligentes, propiciando la detección de incendios forestales, contaminación del aire, terremotos y deslizamientos de tierra. Este tipo de aplicaciones facilitan el monitoreo de agua potable, el descubrimiento de productos químicos que contaminan los ríos y el mar y la detección temprana del desbordamiento de los ríos. También se emplean en la agricultura inteligente para, por ejemplo, mejorar la calidad de los vinos y los cultivos y controlar las condiciones de microclima en las casas verdes.

En los centros de información ambiental en Cuba existen cada vez mejores condiciones tecnológicas para el monitoreo ambiental; sin embargo, aún no se completa la medición en tiempo real de sus observaciones en todas las estaciones dispersas a lo largo del país, o la tecnología utilizada para la comunicación de los datos, desde los sensores que los capturan al centro donde se procesa, se encuentra obsoleta.

Debido a la problemática existente en los centros de monitoreo ambiental, en nuestro país, se decidió explorar la implementación de un sistema IoT para obtener en tiempo real las mediciones ambientales. En este trabajo se presenta una arquitectura M2M para monitorear los datos ambientales en tiempo real, la cual debe también beneficiar la coordinación entre centros de monitoreo, al habilitar la capacidad de anticiparse ante cualquier variable climática o agrícola.

2. Sistemas M2M

Los sistemas M2M constituyen una sub-área de IoT que juega un importante papel en su implementación [4]. El número de dispositivos conectados M2M alcanzarán los 13 mil millones en 2021, el 51% estarán conectados directamente a Internet [5].

M2M se centra en la conectividad y se refiere a sistemas autónomos o controlados por humanos, que involucran dispositivos que automáticamente recopilan datos (temperatura,

humedad, velocidad, sitio, biológicos, señales, etc.), intercambian información e interactúan con el medio ambiente según la necesidad y sin intervención del hombre [5]. Un dispositivo en un sistema M2M no solo recopila datos para su propio uso, también comparte los datos con otros dispositivos automáticamente para lograr ciertos objetivos [4].

Este paradigma de comunicación facilita las comunicaciones ubicuas con un gran número de dispositivos inteligentes conectados por enlaces alámbricos / inalámbricos, que interactúan entre sí sin intervención humana directa. Las aplicaciones basadas en comunicación M2M están ampliamente difundidas en escenarios como redes inteligentes, e-salud, redes de área doméstica, transporte inteligente, sistemas de gestión ambiental, monitoreo ambiental, ciudades inteligentes y automatización industrial, entre otros [6].

Para seleccionar las tecnologías apropiadas para la gestión de acceso y durante el diseño del protocolo, se deben considerar las características únicas y los requerimientos generales de M2M [7]. Por ejemplo, Wi-Fi tiene un rango de acceso de 100 m en Wireless Local Areas Networks (WLANs), lo cual es bastante corto para atender MTCD densamente desplegados en grandes ambientes al aire libre. Así, IEEE 802.11ah (Wi-Fi HaLoW) considerando diversos requisitos de calidad del servicio (QoS), se puede integrar en productos Wi-Fi, ya que puede ser configurado de forma flexible para diferentes aplicaciones. IEEE 802.11 es una de las tecnologías inalámbricas que se está modificando para su uso en IoT debido a su implementación de amplio rango y soporte para conectividad IP. Por lo tanto, es un protocolo prometedor para la implementación de M2M a gran escala de bajo costo y eficiencia energética. De acuerdo con Amudo & Othman [7], algunas características asociadas con la gestión de acceso en tecnologías M2M específicas son las siguientes:

- Wi-Fi: es posible que Wi-Fi no satisfaga completamente los diversos requisitos de QoS para MTC, debiendo modificarse para adaptarse a diferentes casos de uso.
- IEEE 802.11: las soluciones personalizadas para IEEE 802.11 pueden ser diseñadas para atender a diversas aplicaciones de MTCD.
- ZigBee: las redes Mesh ZigBee se caracterizan por una baja utilización, ya que no tienen balizas. Las topologías basadas en árboles también tienen limitaciones que se manifiestan en una menor eficiencia de transmisión y una estrecha sincronización.
- Bluetooth: tiene problemas de gestión de energía, así como de agrupación de terminales y agregación de datos cuando los terminales M2M deben conectarse en una piconet (dispositivos de red que se conectan a través de Bluetooth). Sin embargo, puede ser empleado eficazmente en domótica [8].

En relación con las arquitecturas M2M, Chen & Lien [9] abogan por un modelo de referencia de arquitectura M2M para facilitar la colaboración durante la implementación práctica y operación entre subsistemas y entre *hardware* y

software. Las comunicaciones M2M admiten información autónoma (incluyendo datos y control) transporte dentro de todo el sistemas IoT basados en la nube o sistemas ciberfísicos. Por tanto, el modelo de referencia de comunicación M2M que proponen los autores referidos proveerá transparencia al *software* de aplicación y escalabilidad de *hardware*.

Cuerpos de estándares a nivel global y regional han sistematizado modelos de referencia de arquitectura IoT. Por ejemplo, el Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones (ETSI), junto con oneM2M han desarrollado estándares para M2M [6]. En acápite posteriores se profundiza en la arquitectura M2M de ETSI.

Entre los trabajos relacionados estudiados que implementan arquitecturas M2M se encuentra la propuesta de Datta et al. [10] que plantea una arquitectura IoT que permite la interacción en tiempo real entre clientes móviles y cosas inteligentes (sensores y actuadores) a través de un *gateway* inalámbrico. En [11] se propone una solución basada en IoT para detección de gases ambientales que preceden a un enfoque *plug and play*, cuya interfaz se define utilizando el protocolo receptor/transmisor asíncrono universal. La comunicación inalámbrica se realiza a través de los estándares IEEE 802.15.4 y IEEE 802.11 (Wi-Fi). El sensor propuesto en ese artículo detecta humo, oxígeno, hidrógeno, monóxido de carbono, vapor de alcohol, petróleo licuado, gas, benceno, amoníaco, metano y propano. Mientras en [12] se centran en el desarrollo de una arquitectura M2M para aplicaciones domésticas e industriales. Específicamente, para seguimiento ambiental implementado con tecnología WebSocket y ZigBee, donde la red de sensores ZigBee se utiliza para recoger datos de temperatura y humedad. Una implementación de sistema IoT para la medición de calidad del aire es descrita en [13]. Se monitorean, en este estudio, la temperatura, humedad, presión atmosférica, densidad de polvo y concentraciones de monóxido y dióxido de carbono, metano y óxidos de nitrógeno. Se basa en tecnologías de código abierto de *software* y *hardware*.

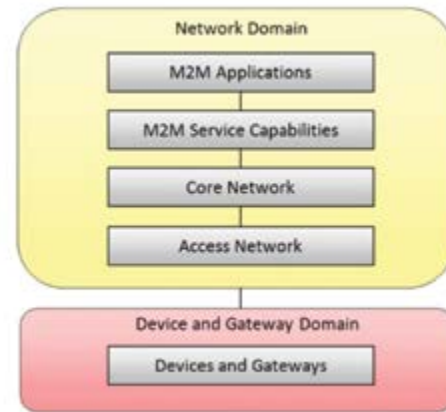
La principal contribución del presente artículo radica en la arquitectura M2M, propuesta que, con el empleo de buenas prácticas de tecnologías M2M, es implementada a la medida de un caso real en una granja agrícola ubicada en una zona pre-montaña de difícil acceso en las afueras del municipio Consolación del Sur, provincia Pinar del Río, en Cuba, donde anteriormente se monitorizaban factores ambientales empleando métodos rudimentarios, desconectados del centro de análisis de la provincia. Con la solución propuesta, se habilita el monitoreo ambiental desde un centro regional, con lo cual se logra analizar los datos en tiempo real y hacer más efectivas las decisiones en el marco del Sistema de Información Ambiental en Cuba.

3. METODOLOGÍA

El modelo de alto nivel de arquitectura funcional ETSI propuesto en la especificación "TS 102690" [14] consiste en

un dominio de red y dominio de dispositivo y puerta de enlace, como se refleja en la Fig. 1.

Fig. 1. DOMINIOS DE LA ARQUITECTURA FUNCIONAL M2M DE ETSI [14]



Fuente: Los autores.

Para aplicar la comunicación M2M a la monitorización ambiental en tiempo real del Sistema Nacional de Información Ambiental, se revisó la arquitectura de referencia M2M definida por la ETSI [14], la cual se muestra en la Fig. 2, lo que constituye el punto de partida metodológico.

Los elementos que se destacan en dicha arquitectura son:

- **Dispositivo M2M (Sensor):** Módulo que se encuentra en una máquina remota y que provee comunicación con el servidor. Usualmente, el dispositivo M2M también tiene capacidad de proceso pudiendo ejecutar la aplicación de negocio. Debe implementar un protocolo para poder comunicarse con la máquina donde se encuentra, y otro de comunicación, para el envío de información.
- **Red de acceso:** Puede ser de fija o inalámbrica. Permite la conectividad entre el dispositivo M2M y el *gateway*. Emplea diversas tecnologías: PLC (por las siglas del término en inglés Power Line Communication), Ethernet, RDSI (Red Digital Servicios Integrados), ADSL (por las siglas del término en inglés *Asincronyc Digital Subscriber Line*), GSM (por las siglas del término en inglés *Global System for Mobile Communications*), UMTS (por las siglas del término en inglés *Universal Mobile Telecommunications System*), HSDPA (por las siglas del término en inglés *High Speed Digital Packet Access*), WiFi, Bluetooth, RFID, ZigBee, UWB.
- **M2M Gateway:** Actúa como intermediario entre la red de acceso y la red de núcleo y provee intercomunicación e interacción entre los dispositivos M2M y entre estos y las aplicaciones. Puede ser configurado para encargarse del direccionamiento y la gestión de los dispositivos M2M.

- **Red de núcleo (Core network) M2M:** Es la red encargada de unir y transportar la información desde los *gateways* a las aplicaciones.
- **Aplicaciones M2M:** Las aplicaciones M2M se encargan de realizar el análisis de los datos, procesarlos y hacerlos entendibles por los seres humanos, tanto en forma de tabla como de gráfico, según el tipo de aplicación y sus funcionalidades, las que son especificadas por los desarrolladores. Pueden estar vinculadas con la gestión de los dispositivos. En cada implementación en particular se decide si la gestión se hace donde se encuentra la aplicación o desde otro lugar, que pudiera ser un centro intermedio.

La arquitectura de comunicación M2M que se propone para la medición ambiental se inspira en la arquitectura M2M de la ETSI [14]. Se divide en tres partes fundamentales: área M2M (zona de medición), red de comunicación y aplicación.

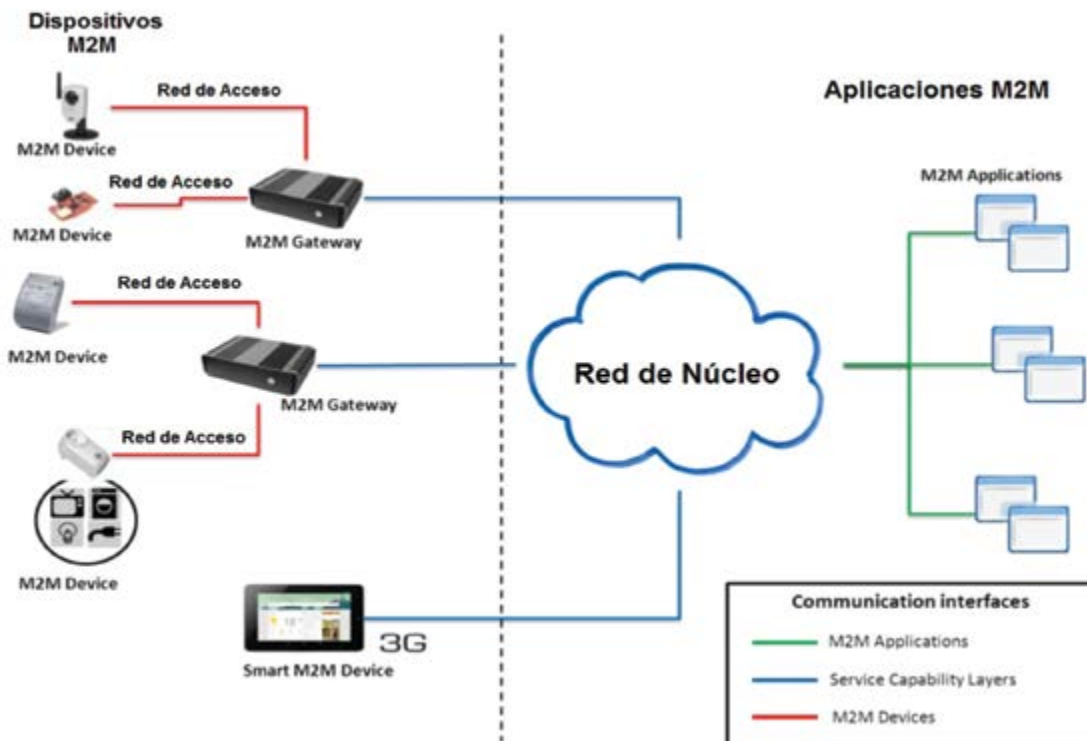
En el área M2M (zona de medición) se encuentran los sensores ambientales M2M que se comunican con él o los *gateways*, utilizando diferentes protocolos de comunicación, típicamente estándares (Ej.: Modbus y MQTT o protocolo de colas de mensajes de transporte de telemetría), que deben ser entendidos tanto por el sensor como por el *gateway*. En dependencia del protocolo de comunicación que

se emplee entre estos dispositivos y del número de sensores que admite cada *gateway*, se utilizará por cada grupo de sensores uno o más *gateways*. En el área M2M también pueden existir nodos de sensores, formando parte de la red de sensores ambientales. Los nodos de sensores son dispositivos a los cuales se les puede conectar otros sensores no M2M, brindando la posibilidad de convertir su comunicación a M2M.

Los *gateways* M2M permiten la interconexión entre la red de sensores y la red de comunicación. En el área M2M pueden existir uno o varios *gateways* dependiendo del número y tecnología de sensores que se vayan a emplear. La mayoría de las pasarelas que se utilizan en el área M2M son dispositivos diseñados específicamente para aplicaciones M2M con capacidades de almacenamiento, en memoria RAM integrada, de los mensajes que transmiten los sensores, y con soporte de varias decenas de estos conectados al mismo tiempo. Los *gateways* pueden conectar sensores o nodos de sensores empleando puerto USB o puerto serie.

Entre los sensores y el *gateway* existe una red de pequeño alcance, la cual constituye la red M2M. En esta se utilizan típicamente los estándares de comunicación WiFi, ZigBee, GSM, GPRS y Bluetooth, aunque pudieran emplearse otros teniendo en cuenta, principalmente, las especificaciones de los dispositivos M2M.

Fig. 2. ELEMENTOS DE LA ARQUITECTURA M2M DE REFERENCIA [14]



Los datos obtenidos en el área M2M son enviados desde el *gateway* a las aplicaciones finales que los procesan a través de la red de comunicaciones, la cual emplea diferentes tecnologías de acceso sobre la que típicamente se soporta el protocolo IP.

Como caso de estudio, se seleccionó un área geográfica con características especiales, ubicada en una zona pre-montaña de difícil acceso en las afueras del municipio Consolación del Sur, Pinar del Río, donde en la actualidad se obtienen parámetros ambientales de interés. Una vez establecido el escenario a utilizar se analizó cómo lograr la obtención y transmisión de los datos a la aplicación final, de manera que los mismos se puedan leer en tiempo real.

A continuación, partiendo de la arquitectura de referencia, se analizaron varias alternativas para el área M2M de dicho escenario, escogiéndose la que se explica en este trabajo, que es la mejor solución a la situación existente y que, a la vez, se ajusta al presupuesto con que se cuenta para la implementación de la comunicación M2M en el sistema de información ambiental.

Finalmente, los datos obtenidos se deben transmitir en tiempo real a una aplicación final, situada en un centro de monitoreo ambiental, que los debe procesar.

4. RESULTADOS

Para el empleo de la tecnología M2M en el monitoreo ambiental en tiempo real, se parte de lo que en la actualidad se realiza para la obtención de los datos ambientales en un área geográfica. La misma está ubicada en una pre-montaña en las afueras del municipio Consolación del Sur, provincia de Pinar del Río, específicamente en una finca llamada "Cascajales". Que se encuentra a una distancia apro-

ximadamente de 40 kilómetros del centro meteorológico de Pinar del Río.

En esta ubicación geográfica y en la mayoría de las zonas de monitoreo importantes para el país, no es posible obtener los datos ambientales en tiempo real, debido a que es necesaria la presencia de personas para la obtención y transmisión de los datos dado que:

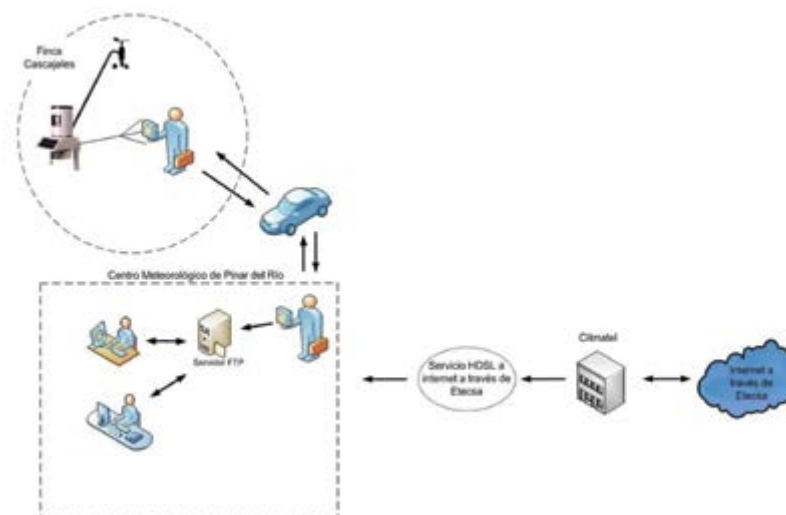
- La estación de monitoreo no tiene posibilidad de enviar los datos de manera automática a medida que los obtiene.
- No se utiliza una red de comunicación desde donde se miden los datos hasta el centro meteorológico provincial.

La figura 3 ilustra la situación de monitoreo en el caso de estudio antes de proponer la solución M2M.

En función del objetivo planteado y para resolver la problemática existente, se decidió proponer la tecnología M2M para la obtención de datos ambientales en tiempo real. Se analizaron varias alternativas para el área M2M de la arquitectura propuesta (Fig. 3) en las que fue necesario tener en cuenta:

- Los indicadores ambientales que exige el Sistema de Información Ambiental (temperatura y humedad del suelo, punto de rocío, velocidad del viento, temperatura del ambiente, humedad relativa, presión atmosférica, calidad del aire y cantidad de lluvia), así como de otros recomendables para la ampliación de este tipo de mediciones.
- Los dispositivos M2M ambientales que proveen varios fabricantes.

Fig. 3. MONITOREO DE DATOS AMBIENTALES ANTES DE LA SOLUCIÓN M2M



Finalmente, se escogió la alternativa que mejor soluciona la situación existente y que, a la vez, se ajusta al presupuesto con que se cuenta para la implementación de la comunicación M2M en el sistema de información ambiental. En esta alternativa la red de sensores ambientales está compuesta por dispositivos de los fabricantes Libelium y Eurotech. Se escogió para la misma el nodo de sensores integrado de Libelium, Fig. 4; llamado *Waspote Plug & Sense!* [15], pero solo empleando la placa de agricultura, y el sensor ReliaSENS 18-12 [16] de la alternativa del fabricante Eurotech, Fig.4. Ambos dispositivos admiten comunicación WiFi y GPRS hacia el *gateway*.

Fig. 4. DISPOSITIVOS IOT SELECCIONADOS EN LA SOLUCIÓN PROPUESTA.
3-a WASPMOTE PLUG & SENSE [15] (IZQUIERDA); RELIASENS 18-12 [16] (DERECHA)



Fuente: Los autores. .

Adicionalmente, se plantea considerar, para la estación agrometeorológica que se encuentra actualmente instalada en la zona de interés, el nodo de sensores estandarizado SN802GR420-4 del fabricante Murata [17] que posibilita la conversión de los datos de dicha estación a la tecnología M2M. Para esto es necesario conectar el puerto serie RS-232 de la estación agrometeorológica al puerto serie RS-232 que posee el nodo de sensor. De esta forma, el nodo de sensor actúa como un intermediario entre la estación y el *gateway* posibilitando la comunicación entre estos dos elementos en el área M2M.

El nodo de sensores por el que se optó para la estación agrometeorológica, además del puerto serie RS-232, tiene conexión WiFi y admite los estándares 802.11b/g/n. La batería interna que posee puede, como promedio, superar los cinco años de uso, y al agotarse lo que requiere son tres baterías de tipo AA, que son fáciles de obtener no siendo muy costoso.

En esta solución, los dispositivos M2M seleccionados se puedan conectar de dos maneras:

1. Utilizando un solo *gateway* que conecte todos los dispositivos mediante WiFi, que es la tecnología de conexión que admite tanto el nodo de sensores SN802GR420-4, como el Waspmote Plug & Sense y el ReliaSENS 18-12.

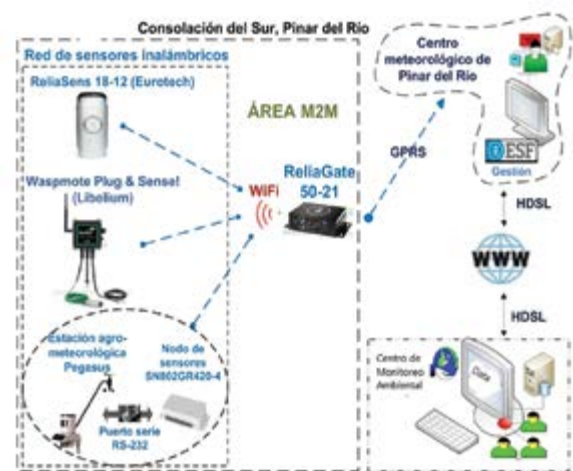
2. Utilizando dos *gateway*: uno para comunicar, mediante la tecnología celular GPRS, el Waspmote Plug & Sense! y el ReliaSENS 18-12 y, el otro, para conectar el nodo de sensores SN802GR420-4 vía WiFi.

De estas dos posibilidades se escoge la primera ya que es más económica. El *gateway* seleccionado es el ReliaGATE 50-21 [18] que tiene variedad de estándares de conexión, los cuales pudieran ser necesarios posteriormente para ampliar la red de sensores en la zona de la premontaña. Además, dicho *gateway* está específicamente diseñado para el transporte de datos con el protocolo MQTT que es el protocolo M2M que se ha seleccionado para la implementación de la comunicación M2M.

Esta alternativa, además, considera, para la gestión de los dispositivos, el software de gestión de Eurotech ESF [19], el cual da la posibilidad de mostrar los datos de los sensores en tiempo real y exportarlos al formato MS Excel para ser colocados en un servidor FTP. Se recomienda que dicha gestión y servidor se encuentren en el Centro Meteorológico de Pinar del Río.

Esta solución, que permite la obtención de los datos ambientales empleando la tecnología M2M, puede adaptarse a diferentes aplicaciones, de manera que es fácil su expansión a otros proyectos del territorio nacional, específicamente a lugares donde se requiera la monitorización ambiental. La Fig. 5 muestra la arquitectura M2M propuesta.

Fig. 5. ARQUITECTURA M2M EN ESTACIÓN DE MONITOREO AMBIENTAL



Fuente: Los autores.

El descubrimiento de sensores se inicia estableciendo una conexión de los dispositivos M2M con el *gateway* (ReliaGate 50-21). Esta fase es necesaria debido a que los dispositivos y terminales M2M se pueden agregar o eliminar en tiempo real. Para esta fase de descubrimiento se ofrece

una API en el *Gateway*; una vez descubiertos, los sensores pueden ser elegidos por el usuario para recibir las observaciones codificadas en el Lenguaje de Etiquetado de Sensores SenML (Sensor Markup Language) que está implementado en JSON. Con ello se habilita la posibilidad de que el servidor analice eficientemente un gran número de metadatos del sensor en un período de tiempo muy corto.

La arquitectura propuesta se aplicó de forma experimental en una estación de monitoreo ubicada en la Finca Cascajales del municipio Consolación del Sur en la provincia Pinar del Río.

Se emplea, para este ejemplo, la Mapoteca Digital del Instituto de Geografía Tropical, soportada en la plataforma OpenGeo Suite [20], para mostrar en el mapa la zona de medición y los valores medidos desde los sensores ubicados en la finca y sus alrededores. Una muestra se puede ilustrar en la Fig. 6.

Fig. 6. APLICACIÓN CLIENTE DE MONITOREO DE VARIABLES AMBIENTALES BASADA EN LA ARQUITECTURA M2M



Fuente: Los autores.

5. CONCLUSIONES

La comunicación M2M y su incorporación en los sensores ambientales permite actualizar las tecnologías de monitorización existentes, y crear una red inteligente y eficiente para la transmisión de datos en tiempo real.

En este trabajo se definió una arquitectura para el empleo de la tecnología M2M en el monitoreo ambiental en tiempo real. Además, en el mismo se explica, entre varias alternativas analizadas, la que mejor resuelve el monitoreo ambiental en tiempo real en un área geográfica de interés para la Agencia de Medio Ambiente y al Instituto de Geografía Tropical.

Mientras la solución que se propone tiene la posibilidad de ser expandida a otros proyectos del territorio nacional, el equipo de trabajo se encuentra laborando en otras tareas de investigación complementarias que deben tener su fruto en un futuro cercano. Entre estas investigaciones, cabe mencionar las siguientes:

- El desarrollo de un *gateway* para redes de sensores inalámbricos, basado en plataforma Raspberry Pi, y la evaluación de su desempeño respecto a la propuesta de arquitectura aquí presentada.
- La orquestación de nodos niebla entre la nube y los dispositivos IoT usando FogFlow y la plataforma IoT FIWARE como middleware.

6. AGRADECIMIENTOS

Este artículo se desarrolló en el marco del proyecto InfoGeo: Sistema de Información Ambiental en Cuba, coordinado por el Instituto de Geografía Tropical.

7. REFERENCIAS

- [1] K.-L. Huang, L.-H. Yen, J.-T. Wang et. al., «A Backbone-Aware Topology Formation (BATF) Scheme for ZigBee Wireless Sensor Networks,» *Wireless personal communications*, vol. 68, nº 1, pp. 47-64, 2013, DOI: <https://doi.org/10.1007/s11277-011-0438-9>
- [2] D. Niyato, L. Xiao y P. Wang, «Machine-to-machine communications for home energy management system in smart grid,» *IEEE Commun. Mag.*, vol. 49, nº 4, pp. 53-59, 2011, DOI: <https://doi.org/10.1109/MCOM.2011.5741146>
- [3] M. S. H. Ansari y M. Mehrotra, «Securing M2M communication in Smart Cities,» de *International Conference for Emerging Technology (INCET)*, 2020, june. DOI: <https://doi.org/10.1109/INCET49848.2020.9154158>
- [4] Y. Cao, T. Jiang y Z. Han, «A survey of emerging M2M systems: Context, task, and objective,» *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 3, nº 6, pp. 1246-1258, 2016, DOI: <https://doi.org/10.1109/JIOT.2016.2582540>
- [5] S. D. Castilho, E. P. Godoy y F. Salmen, «Implementing Security and Trust in IoT/M2M using Middleware,» de *International Conference on Information Networking (ICOIN)*, 2020, DOI: <https://doi.org/10.1109/ICOIN48656.2020.9016435>
- [6] P. K. Verma, R. Verma, A. Prakash, A. Agrawal, K. T. R. Naik, T. Khalifa, M. Alsabaan, T. Abdelkader y A. Abogharaf, «Machine-to-Machine (M2M) communications: A survey,» *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 66, pp. 83-105, 2016, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2016.02.016>
- [7] O. A. Amodu y M. Othman, «Machine-to-Machine Communication: An Overview of Opportunities,» *Computer Networks*, 2018, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2018.09.001>
- [8] N. Xia, H. Chen y C. Yang, «Radio resource management in machine-to-machine communications—A survey,» *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 20, nº 1, pp. 791-828, 2017, DOI: <https://doi.org/10.1109/COMST.2017.2765344>
- [9] K. Chen y S. Lien, «Machine-to-machine communications: Technologies and challenges,» *Ad Hoc Networks*, vol. 18, pp. 3-23, 2014, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2013.03.007>
- [10] S. K. Datta, C. Bonnet y N. Nikaiein, «An IoT gateway centric architecture to provide novel M2M services,» de *2014 IEEE World Forum on Internet of Things (WF-IoT)*, 2014, DOI: <https://doi.org/10.1109/WF-IoT.2014.6803221>

- [11] J. B. Gomes, J. J. Rodrigues, R. A. Rabêlo, S. Tanwar, J. Al-Muhtadi y S. Kozlov, «A novel Internet of things-based plug-and-play multigas sensor for environmental monitoring,» *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*, vol. e3967, pp. 1-11, 2020, DOI:<https://doi.org/10.1002/ett.3967>
- [12] K. Shuang, X. Shan, Sheng, Z. y C. Zhu, «An efficient ZigBee-WebSocket based M2M environmental monitoring system,» de 2014 *IEEE 12th International Conference on Dependable, Autonomic and Secure Computing*, 2014, DOI: <https://doi.org/10.1109/DASC.2014.64>
- [13] A. Ochoa, L. Cangrejo y T. Delgado, «Alternativa Open Source en la implementación de un sistema IoT para la medición de la calidad del aire,» *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, vol. 12, n° 1, pp. 189-204, 2018.
- [14] ETSI, «Machine-to-Machine communication (M2M): Functional architecture», *Technical Specification ETSI TDS 102 690 V1.2.1*, 2013, https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/102600_102699/102690/02.01.01_60/ts_102690v020101p.pdf
- [15] Libelium, «Plug & Sense! Technical guidej», *Development website*. <https://development.libelium.com/plug-and-sense-technical-guide/>. 2019.
- [16] Eurotech, «ReliaSENS 18-12-01 Cloud-connected Environment Monitoring System», *User Manual. RESENS-18-12-01_UsrMan_EN_1.0*. 2014, file:///C:/Users/arturo/Downloads/RESENS-18-12-01_UsrMan_EN_1.0.pdf
- [17] Murata, «SN802GR420-4», *Innovation in electronics*. 2018, <https://wireless.murata.com/datasheet?/RFM/data/sn802gr420-4.pdf>
- [18] Eurotech, «ReliaGATE 50-21- Especifications», *Multi-Service Gateway & Edge Controller*. 2014, https://www.eurotech.com/DLA/datasheets/Products_Eurotech/ReliaGATE50-21_sf.pdf
- [19] Eurotech, «IoT Edge Framework» *Everyware Software Framework Developer's Hub*. 2020, <https://esf.eurotech.com/docs>
- [20] Geoicon, «OpenGeo Suite» 2020, <http://www.geoicon.com/products/third-party-products/opengeosuite>