

## Plataforma Middleware para la Gestión Datos de WSN de Manera Interoperable

Diego Alberto Godoy<sup>1,2,a</sup>, Eduardo O. Sosa<sup>1,b</sup>, Hernán Bareiro<sup>1,c</sup>, Juan de Dios Benitez<sup>1,d</sup>, Edgardo A. Belloni<sup>1,e</sup>, Rebeca Díaz Redondo<sup>2,f</sup>

<sup>1</sup>Centro de Investigación en Tecnologías de la Información y Comunicaciones (C.I.T.I.C.) - Universidad Gastón Dachary (UGD)

<sup>2</sup>Universidad de Vigo, Departamento de Ingeniería Telemática. E. E. Telecomunicación.

<sup>a</sup>diegodoy@citic.ugd.edu.ar, <sup>b</sup>es@fceqyn.unam.edu.ar, <sup>c</sup>hernanbareiro@gmail.com, <sup>d</sup>juan.benitez@citic.ugd.edu.ar, <sup>e</sup>ebelloni@ugd.edu.ar, <sup>f</sup>rebeca@det.uvigo.es

### Resumen

En el presente trabajo se presenta una plataforma middleware para la gestión de datos obtenidos de redes de sensores inalámbricos (WSN) como parte indisoluble de Internet de las Cosas, permitiendo la publicación de resultados en formatos interoperables. El middleware se ha utilizado en varios casos de estudio, como la interacción con la industria del Té y otros en común con la intendencia municipal, facilitando la recolección de residuos, detectando a aquellos que ameriten ser recogidos, en la senda de proyectos convergentes con *Smart Cities*. La plataforma es una línea dentro del proyecto denominado “Diseño de arquitecturas de soporte a la Internet del futuro y Ambientes Inteligentes para su Aplicación en Ciudades Inteligentes – Fase II” de la Universidad Gastón Dachary.

**Palabras clave:** Simulación, WebML, Redes de Sensores Inalámbricos, IoT

### Contexto

El trabajo se enmarca en el proyecto de investigación denominado “Diseño de Arquitecturas de Soporte a la Internet del Futuro y Ambientes Inteligentes” y “Diseño de arquitecturas de soporte a la Internet del futuro y Ambientes Inteligentes para su Aplicación en Ciudades Inteligentes – Fase

II”, acreditados en la Secretaría de Investigación y Desarrollo de la UGD por RR.19/A/12 y RR.18/A/14 respectivamente.

Se relaciona y articula directamente con diversos proyectos de investigación acreditados en la Secretaría de Investigación y Posgrado (SECIP) de la Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales de la UNaM, enfocados en las temáticas “*Internet del Futuro*” e “*Internet de las Cosas*”, entre los que se incluyen: Proyecto 16Q457 “Hacia la Programación de Sensores Inalámbricos en la Forma Web 2.0”; Proyecto 16Q474 “Simulaciones de Sistemas Modernos de Comunicación”; y Proyecto 16Q519 “Ambientes Inteligentes. Una Mirada a Internet del Futuro”.

Referente a este proyecto existen 5 tesinas de grado en curso, 3 tesinas de grado finalizadas, un trabajo final de Especialización finalizado, un trabajo de fin de Máster en curso y una Tesis Doctoral en etapa de redacción final.

### Introducción

El aumento de la capacidad de cómputo, la miniaturización de los componentes y el abaratamiento de los dispositivos hacen posible la realización de la Internet de las Cosas (IoT, Internet of Things) [1] y de la Inteligencia Ambiental [2], en la que los objetos cotidianos contarán con sensores conectados a Internet.

El desarrollo de estas tecnologías brinda oportunidades de aprovechamiento económico e industrial, y a la vez representa un enorme desafío tecnológico. Como parte del desarrollo de las tecnologías de la IoT, las Redes de Sensores Inalámbricos (WSN, Wireless Sensor Network) [3] son un área de álgido estudio y desarrollo [4]. Hoy en día existen WSNs con miles de nodos, recolectando datos en infinidad de entornos, para todo tipo de fines y a un costo relativamente razonable.

## Objetivos

El objetivo general del proyecto marco es: "Diseñar arquitecturas de soporte a Internet del futuro y Ambientes Inteligentes para su aplicación a Ciudades Inteligentes". Como objetivos específicos se indican: A) Especificar el Estado del Arte de la Internet del de Futuro y los Ambientes y Ciudades Inteligentes. B) Diseñar una arquitectura interoperable para la publicación y aprovechamiento de datos obtenidos desde Redes de Sensores Inalámbricos. C) Construir middlewares que capturen datos de redes de sensores inalámbricos. D) Diseñar arquitecturas de software mashups como soporte de aplicaciones para Ciudades Inteligentes. E) Simular escenarios de Ciudades inteligentes de redes de sensores inalámbricos. F) Desplegar una red inalámbrica para aplicaciones específicas, en dominios como recolección de residuos, sistemas de alertas tempranas, ubicación de ganado, procesos productivos. G) Realizar pruebas en escenarios de Ciudades Inteligentes que involucren luminosidad, humedad, presencia, presión atmosférica, etc.

## Construcción de la Plataforma

Para la determinación de requisitos del middleware se han seguidos los lineamientos propuestos por la Union Internacional de Telecomunicaciones (UIT/ITU) en [5]. Algunos requerimientos, siguiendo la clasificación propuesta por la UIT, son de interfaz, en términos de la definición de los mecanismos de interacción con el sistema, y

otros son de funcionalidad [6]. Esto es, están relacionados al funcionamiento que exhibe el middleware exteriormente. Es así que se proponen considerar también algunos requerimientos no funcionales, para asegurar la cohesión y el desacoplamiento.

Así, en este trabajo se propone organizar los requerimientos del middleware en requerimientos generales y en las tres tareas fundamentales del desarrollo: captura de datos desde la red de sensores, almacenamiento de los datos obtenidos, y publicación de los datos en la web. Estas actividades conforman y administran las actividades de gerenciamiento de una WSN. Para ver detalles de este trabajo puede consultarse [7]

En cuanto a los requerimientos generales el middleware debería ser adaptable a la gran diversidad de escenarios posibles de la IoT. Estos escenarios pueden abarcar desde aplicaciones sencillas en las que el sistema se ejecute en una computadora pequeña, hasta grandes aplicaciones en las que deban ejecutarse servidores de altas prestaciones, o incluso en la nube, para ser capaz de cumplir las demandas y requerimientos de aplicaciones de usuario.

Referente a los requerimientos de captura, el middleware debe ser capaz de obtener los datos desde una WSN y acondicionarlos de tal manera que sean convenientemente almacenados. Entonces, es posible observar dos aspectos: la captura de los datos crudos desde la red y la conversión de los mismos a una representación interna adecuada.

Respecto a la captura, se requiere que el diseño del middleware ofrezca una interfaz de conexión a dispositivos que sea independiente del hardware subyacente. Así se garantiza la flexibilidad, escalabilidad y robustez para conectarse a interfaces como USB, Ethernet u otras, según la necesidad utilizando controladores de dispositivo o programas especializados que puedan requerirse para la interacción con los nodos de la WSN. Algunos fabricantes de sensores, como Libelium [8] o Arduino [9] ofrecen programas tipo sniffers para obtener los datos de la red a través de un comando de consola.

Otro aspecto a considerar en la captura es el parsing, que consiste en el análisis sintáctico de los datos crudos, para transformarlos a una representación interna. Este debe soportar diversos tipos de formatos de entrada, no necesariamente estándares, soportando desde formatos de texto simples, hasta los más elaborados, como XML o JSON o incluso contenido binario.

Respecto al almacenamiento, el proceso es responsable de definir la representación interna de los datos, de manera de unificar el formato en el que estos son comunicados a través de las interfaces del sistema. Adicionalmente debe abstraer las cuestiones relacionadas a la persistencia de estos datos y su posterior recuperación. Debe considerarse además que, debido a la naturaleza heterogénea de los sensores en el contexto de la IoT, no es posible definir un tipo de dato estático para representar la información obtenida desde la WSN. Un aspecto importante es la imperiosa necesidad que el módulo de almacenamiento posibilite la integración con programas de tipo ORM/DBAL (Mapeadores Objeto-Relacional/Capas de Abstracción de Base de Datos).

Por último, cuando el módulo de almacenamiento recupere datos deberá hacer uso de un mecanismo de consultas abstracto, que permita realizar consultas sobre los almacenados. Otro requerimiento es que el diseño considere los tipos más comunes de formatos de publicación basados en hipertexto como HTML, JSON y XML; y que asimismo sea extensible a nuevos formatos. Esto resulta central considerando la variedad de consumidores de datos en la capa de servicios propuestos por la UIT [5].

## Diseño de la Plataforma Middleware

Siguiendo los requerimientos, se consideraron tres módulos en el diseño, en correspondencia con las tres etapas del ciclo completo de gerenciamiento de los datos de las WSN. El módulo captura se encarga de la obtención de datos desde la WSN incluyendo la interpretación de los mensajes obtenidos de

la WSN, como también de construir con la información obtenida, un objeto de datos que abstrae la estructura de datos del dominio. El módulo de almacenamiento permite la persistencia y consulta de los datos. El módulo Publicador realiza las labores de publicación en la Web. El esquema propuesto se presenta en la Figura 1.

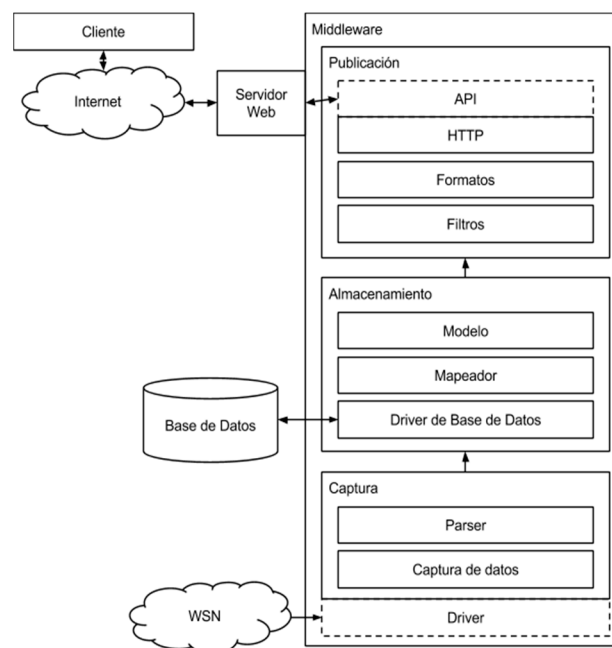


Figura 1 – Esquema propuesto de la solución

El módulo de captura incluye la abstracción de la manera en que se obtienen los datos desde la WSN para luego realizar el análisis sintáctico de las cadenas y las convertirlas a una representación interna. El formato de los datos provenientes de los nodos sensores, los definen los desarrolladores del firmware del nodo. Para cada formato de datos que puedan proveer los nodos, se necesitará extender la clase Parser, para que se pueda reconocer el formato.

El módulo de almacenamiento representa la abstracción de la forma de almacenamiento en tablas físicas e independiza al resto de middleware, del ORM o motor de base de datos.

El módulo de publicación opera sobre HTTP y está basado en REST (*Representational State Transfer*) y permite múltiples formatos como interoperables como

JSON y XML y otros formatos como HTML y CSV.

## Testeo de Plataforma

La plataforma middleware, se probó en un escenario concreto tomado del trabajo "Sistema de Monitoreo de la Temperatura y la Humedad para el Proceso de Fermentado en la Industria de Manufactura del Té Negro Basado en una Red de Sensores [10] El trabajo referenciado tenía como objetivo la asistencia en la toma de decisiones respecto al control de los reguladores de temperatura brindando una herramienta de monitoreo a partir de datos obtenidos desde una WSN. El montaje se materializó con nodos ISense [11]: un gateway y dos nodos con módulos climáticos. El sistema cliente consulta al middleware el promedio por minuto de los datos de temperatura y humedad relativa recibidos desde los sensores. Esta consulta se realiza mediante la URL (este ejemplo es para obtener los datos promedio por minuto de temperatura, humedad relativa del sensor 0x1c34):

<http://nodeaddress/middleware/datos?format=json&avg=temp1,rh&avg-interval=minute&sensorid=0x1c34>

En la figura 2 se muestra la interfaz de usuario del sistema y el formato de representación interna de los datos obtenidos de los sensores.

Este ejemplo muestra la utilidad práctica de contar con un middleware, permitiendo reducir el tiempo de desarrollo, gestionando la comunicación con la WSN subyacente, y realizando la persistencia de datos de manera transparente al sistema cliente. De igual manera ofrece ayuda al momento de obtener los datos, proveyendo información de resumen. Paralelamente, el diseño interno del middleware demuestra en este caso su extensibilidad (se agregó el dato de ID de sensor), permitiendo la adición de un nuevo parámetro sin necesidad de realizar modificaciones de consideración. El middleware permite así independizarse de aplicaciones de terceros que no abarcan el

ciclo completo de gestión de datos de WSN. El middleware reemplazó al desarrollo que se había realizado específicamente para la medición del de la temperatura del Té, posibilitando extender la funcionalidad en el futuro para este dominio.

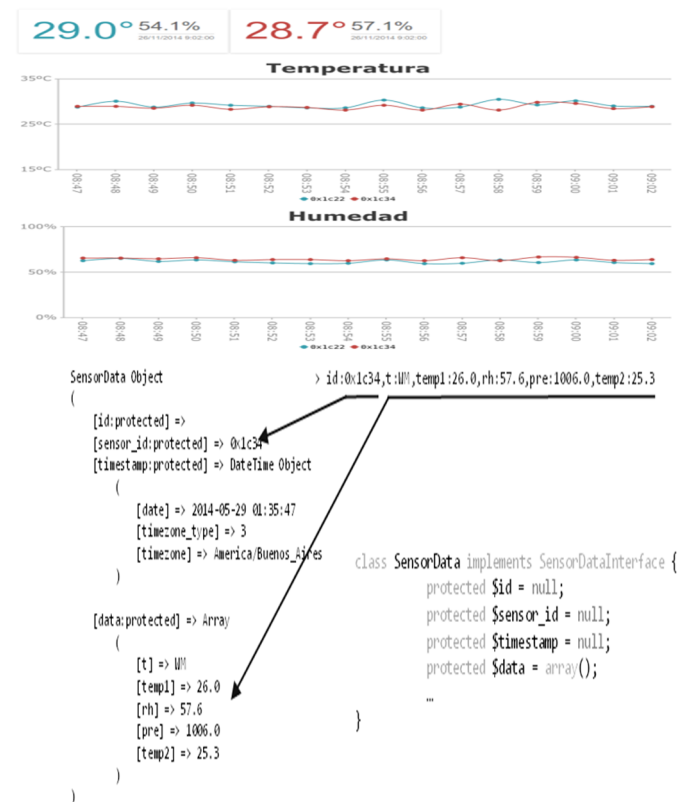


Figura 2: Interfaz de usuario y formato de cadena, Objetos Json y clase SensorData

## Resultados

Se ha presentado una plataforma útil a los desarrolladores de aplicaciones orientadas de IoT de las peculiaridades de las distintas redes de sensores inalámbricas, formatos de datos, motores de gestión de persistencia bases datos y formatos de datos interoperables. Esta abstracción se presenta en formato de framework, el cual se puede extender según la aplicación y la WSN subyacente. El middleware permite capturar, almacenar y publicar datos en formatos interoperables. Esto constituyen una alternativa de soporte a aplicaciones Mashups como las estudiadas en

[12] aunque multiplataforma y extensible. Se han realizado pruebas del ciclo completo del middleware con resultados satisfactorios. El prototipo se ha utilizado en otros proyectos en ámbitos de ciudades inteligentes [13] y de interacción con industrias de la zona [10]; reemplazando los desarrollos específicos existentes.

## Formación de Recursos Humanos

El equipo de trabajo se encuentra formado por una Doctora en Ingeniería Telemática, un Doctor en Ciencias Informáticas, un Doctorando en Tecnologías de la Información y Comunicaciones, Magister y Especialista en Ingeniería de Software, un Maestrando de Ingeniería de la Web, un Maestrando de Redes de Datos, tres auxiliares de investigación graduado, un auxiliar de investigación graduado residente en la ciudad de Córdoba Capital, y ocho auxiliares de investigación en período de realización de trabajos de grado. El número de tesinas de grado en curso con proyecto aprobado es de cinco y el número de trabajos de especialidad finalizado es tres dentro de la línea de investigación. Los proyectos de grado se titulan “Diseño de un prototipo para monitoreo eficiente de iluminación basado en WSN utilizando HTML5”, “Contribución a la Gestión de Residuos Domiciliarios como una Aplicación en Ciudades Inteligentes” y “Análisis y comparación de modelos de propagación para optimizar la localización geográfica de Ganado”.

## Bibliografía

- [1] K Ashton, "“That 'Internet of Things' Thing”,” 2009 (rev. 2011).
- [2] Ahola J., *Ambient Intelligence*, 2001.
- [3] W. Dargie and C. Poellabauer, “*Fundamentals of Wireless Sensor Networks - Theory and Practice*.” Reino Unido: Wiley, West Sussex, 2010.
- [4] Eduardo O. Sosa, Contribuciones al establecimiento de una red global de Sensores Inalámbricos. Tesis Doctoral, Junio 17, 2011.
- [5] International Telecommunication Union ITU, *Service description and requirements for ubiquitous sensor network middleware.*: ITU-T Recommendation F.744, 2009.
- [6] IEEE, *IEEE Recommended Practice for Software Requirements Specifications*. New York, 1998.
- [7] Diego Alberto Godoy, Eduardo Omar Sosa, and Rebeca Díaz Redondo, "Internet De Las Cosas: Middleware De Gestion De Datos De WSN," in *CONFERENCIA WWW/INTERNET 2015 e COMPUTAÇÃO APLICADA 2015 FLORIANÓPOLIS*, Florianópolis, 2015.
- [8] Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L., *Waspmote Technical Guide.*, 2014.
- [9] Arduino. (2014) USB Serial Light Adapter. [Online]. <http://bit.ly/20MsGMg>
- [10] P. Quiñones, D. Godoy, and E. Sosa, "Redes Inalámbricas de Sensores: Una Experiencia En La Industria Del Té," in *42º Jornadas Argentina de Informática*, Córdoba, 2013.
- [11] Coalesense. (2015) iSense Wireless Sensor Network Software. [Online]. <http://bit.ly/1WMMiR0>
- [12] Diego Alberto Godoy, Plataformas para la creación de mashups sensibles al contexto en entornos de inteligencia ambiental. Trabajo Final de Especialidad en Ingeniería de Software, 2013, Universidad Nacional de Plata.
- [13] E. Sosa et al., "Internet del futuro y ciudades inteligentes," , Paraná, 2013.