

## Redes de Sensores Inalámbricos en Entornos Industriales para monitorear Condiciones de Higiene y Seguridad

Eduardo Rodríguez, Claudia Deco, Luciana Burzacca, Mauro Pettinari, Santiago Costa, Cristina Bender

Departamento de Investigación Institucional,  
Facultad de Química e Ingeniería del Rosario,  
Universidad Católica Argentina Campus Rosario  
Avda. Pellegrini 3314, S2002QEO, Rosario, Santa Fe  
{ejrodriguez, cdeco, lburzacca, mauro\_pettinari, santiagocosta, cbender}@uca.edu.ar

### Resumen

Las redes de sensores inalámbricos consisten en una serie de nodos equipados con capacidades de procesamiento, comunicación y sensado. Utilizan protocolos especiales de radio para transmitir datos en un modo multisalto de operación. La medición de parámetros físicos hace que los sensores sean la tecnología más adecuada para el monitoreo y reporte de mediciones cuantificables. En este proyecto se propone utilizar una red de sensores para el monitoreo de las condiciones ambientales de Higiene y Seguridad en entornos industriales. En este proyecto se monitorean temperatura, humedad, ruido y luminosidad, con el fin de dar soporte a la inspección anual de un auditor externo, por lo que no se considera esta recolección como crítica dado que no controlan ningún dispositivo. En primera instancia se aborda el problema utilizando una red de sensores con una plataforma Arduino anexada a módulos Xbee. En una segunda instancia se aborda este problema con el enfoque de Internet de las Cosas (IoT), utilizando módulos Arduino con WiFi embebido, denominados Wido, que permiten la comunicación de datos directamente al servidor de almacenaje.

**Palabras Claves:** Redes de Sensores, Monitoreo Condiciones de Higiene y Seguridad, Entornos Industriales, Internet de las Cosas.

### Contexto

Esta línea de I+D se está llevando a cabo a través de proyectos del Departamento de Investigación Institucional de la Facultad de Química e Ingeniería del Rosario de la Universidad Católica Argentina.

Los proyectos involucrados son: PID UCA “Optimización de Redes Inalámbricas de uso Comunitario” (2011 - 2014); y PID UCA “Monitoreo y Análisis de Condiciones de Higiene y Seguridad en Entornos Industriales usando Redes de Sensores Inalámbricos” (2014 - 2017).

### Introducción

El objetivo del monitoreo de condiciones ambientales es una recolección de información eficiente, que se utiliza tanto para la prevención (en tiempo real o pospuesto) como para el análisis. La migración de las redes de sensores cableadas a las redes inalámbricas trae numerosas ventajas al facilitar el proceso de despliegue y la recolección de la información. De hecho,

debido a su pequeño tamaño, los sensores pueden ser fácil y rápidamente desplegados en grandes escalas a bajo costo. Sus funciones inalámbricas los hacen independientes de cualquier infraestructura costosa y fija y también contribuyen a su éxito.

Una red de sensores inalámbrica (Wireless Sensor Network o WSN) se caracteriza por su facilidad de despliegue y por ser auto-configurables, pudiendo un nodo convertirse en todo momento en emisor, receptor, ofrecer servicios de encaminamiento entre nodos sin visión directa, así como registrar datos referentes a los sensores locales de cada nodo. Otra de sus características es su gestión eficiente de la energía, que les permite obtener una alta tasa de autonomía que las hacen plenamente operativas.

La evolución tecnológica trajo aparejado equipamiento de pequeño tamaño con capacidad de procesamiento, conectividad inalámbrica y de bajo costo. Estos dispositivos se denominan motes con una unidad de procesamiento de cómputo mínimo, memoria, una unidad de comunicación inalámbrica y uno o varios dispositivos de sensado que capturan parámetros como temperatura, humedad, etc. Una red de sensores inalámbrica está formada por un conjunto de motes comunicados entre sí. Su distribución puede ser aleatoria o planificada. Los nodos pueden trabajar de modo cooperativo [1, 2].

Las aplicaciones de redes de sensores inalámbricos en entornos industriales ha crecido mucho en los últimos años y prueba de ello son los distintos trabajos de investigación y artículos existentes [3, 4, 5, 6, 7].

Si bien desde la concepción del proyecto se pensó en una red de sensores inalámbricos para abordar el problema, posteriores avances nos llevan a la necesidad de contrastar la propuesta con

un enfoque de Internet de las Cosas (IoT), a los fines de evaluar los costos de una y otra solución.

Se denomina Internet de las Cosas al concepto que define la red global de información y comunicación en donde todos los objetos que nos rodean, independientemente de su naturaleza, tamaño y geometría, se encuentran identificados y conectados permanentemente a Internet. Esto permite la captura, el almacenamiento y la gestión de toda la información emitida por dichos objetos con la finalidad de automatizar actividades y procesos diarios en la vida cotidiana así como analizar todos los datos generados aportando información útil que ayude a la correcta toma de decisión frente a determinadas situaciones [8]. Las tecnologías de software y hardware en las que se apoya están totalmente desarrolladas y listas para implantarse. Por ejemplo, tecnologías como Big Data, Business Intelligence, Analytics, Cloud Computing, dispositivos Wearables, etiquetas RFID, fibra óptica, comunicaciones Wireless, Smart cities, etc. Una ventaja es la capacidad de poder ser aplicada por ejemplo a sensores ubicados en múltiples puntos recogiendo información sobre parámetros ambientales.

El proyecto comprende la caracterización del problema, la elección del hardware, el diseño de la red y la realización de pruebas para demostrar su funcionamiento. La recolección de estos datos no se considera crítica ya que no controlan ningún dispositivo y se propone esta recolección de datos para dar soporte a la inspección anual de un auditor externo. Esto nos lleva a que para solucionar el problema se pueden utilizar protocolos y dispositivos que no están necesariamente diseñados para entornos industriales [9]. En este proyecto se monitorean Temperatura, Humedad,

Ruido y Luminosidad. Los valores límites de estos parámetros y la forma de realizar estos controles son los establecidos por la Ley N° 19587 de Higiene y Seguridad y reglamentaciones correspondientes [10]. Esta ley fue consultada a los efectos de tener en cuenta los criterios y valores para Temperatura y Humedad (índice TGBH), Ruido (valores de dBA) y Luminosidad (unidad de medida LUX) establecidos.

Si bien existen trabajos de investigación en el área para entornos industriales no conocemos específicamente trabajos aplicados al área de higiene y seguridad general en estos entornos. Dada la importancia de este tema en la industria creemos que nuestro proyecto es un aporte significativo a la utilización de redes de sensores en dichos entornos. La realización de este proyecto permite traducir el conocimiento generado en investigación en un importante desarrollo tecnológico para un sector de alta relevancia como es el de la industria.

## Líneas de Investigación, Desarrollo e Innovación

En este proyecto, se utilizan dos abordajes para resolver el problema: uno usando redes de sensores inalámbricos y otro según el enfoque utilizado en Internet de las cosas. En ambos casos se emplean plataformas Arduino o compatibles que manejan la recolección de los datos provenientes de sensores que se anexan a las mismas. Para la transmisión de los datos existen distintos protocolos. En particular, en este proyecto se utiliza el protocolo MQTT (MQ Telemetry Transport, <http://mqtt.org/>) con el Servidor Mosquitto, dado que este protocolo se encuentra disponible para plataformas Arduino y puede ser utilizado en ambos abordajes. MQTT es un

protocolo de transporte de mensajes en la forma Cliente/Servidor. Es liviano, abierto, sencillo y está diseñado para que sea fácil de implementar. Estas características lo hacen ideal para su uso en muchas situaciones, incluyendo entornos limitados como para la comunicación de máquina a máquina (M2M) y el Internet de las Cosas (IoT).

Para el enfoque de Redes de Sensores se utilizan módulos inalámbricos Xbee los cuales están conectados a los Arduino recibiendo los datos de ellos y transmitiéndolos a los otros nodos. La red que forman los Xbee es una red mallada que una vez configurada se encarga de transmitir los datos que recibe cada uno de los nodos a un nodo central. En dicha red existen tres tipos de nodos: Coordinador, Router y End Device. El Coordinador es responsable de establecer el canal de comunicaciones y del PAN ID (identificador de red) para toda la red. Una vez establecidos estos parámetros, el Coordinador puede formar una red, y participa en el enrutamiento de paquetes y es origen y/o destinatario de información. El Router crea y mantiene información sobre la red para determinar la mejor ruta para enrutar un paquete de información. Y los End Device son los dispositivos finales no tienen capacidad de enrutar paquetes. La arquitectura de esta red es sencilla y puede observarse en la Figura 1, donde C es el nodo Coordinador, R son los nodos Routers y E son los dispositivos finales.

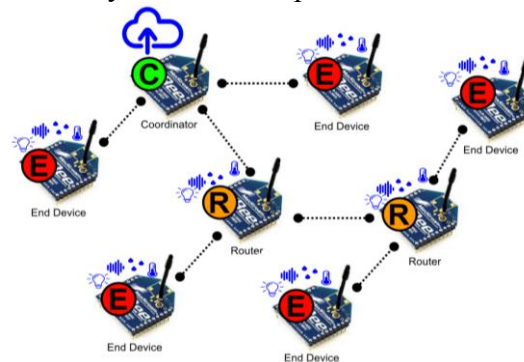


Figura 1 *Arquitectura Red de sensores.*

Desde el punto de vista de Internet de las Cosas (IoT) se utilizan módulos Arduino compatibles denominados Wido que tienen un módulo WiFi embebido. Estos dispositivos toman los datos de los sensores de la misma manera que en el abordaje anterior y los transmiten directamente al host donde se encuentra el servidor que recoge los datos y los almacena en una base de datos. Para lograr esta transmisión el Wido se conecta a un Punto de Acceso inalámbrico o a una red mallada que está conectada a Internet. La arquitectura de esta red también es sencilla y puede observarse en la Figura 2.

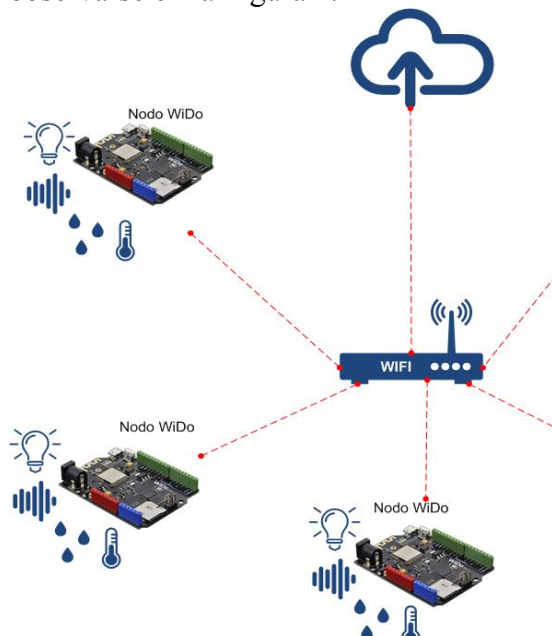


Figura 2 *Arquitectura Red IOT.*

## Resultados y Objetivos

En este proyecto se trata la implementación de un sistema de sensado y monitoreo permanente de condiciones ambientales en entornos industriales, lo cual redundará en beneficio de las condiciones laborales de los operarios. De todas maneras dado que la ley no exige este tipo de monitoreo su implementación depende de la voluntad de la empresa.

Se presentan dos tipos de abordaje

para el problema. En los primeros análisis para hacer una estimación de la cantidad de datos a manejar, se calculó una frecuencia de muestreo de 1 minuto, por lo que se tienen 4 datos por minuto por cada nodo, lo que implica 5760 datos diarios por nodo. En este proyecto se trabajó con 10 nodos pero una aplicación real debe ser capaz de manejar cientos de ellos. Un cálculo estimativo del costo para el abordaje con redes de sensores, es de 210 dólares por nodo; y para el abordaje de IoT, este costo estimativo es de 130 dólares por nodo. Con lo cual, implementar una red IoT para 10 nodos, resulta un 65% del costo de implementar una red de sensores para la misma cantidad de nodos [11].

Actualmente, siguiendo la línea de IoT, se está realizando la evaluación del reemplazo de los Wido por dispositivos similares denominados NodeMCU. Estos dispositivos de reciente aparición tienen un costo mucho menor y eso haría la propuesta mucho más atractiva para la industria. En este momento un Wido cuesta U\$S 25 y un NodeMCU U\$S 5, si las pruebas de desempeño son satisfactorias se tendría una reducción de costo significativa para la misma cantidad de nodos.

La evaluación de los resultados obtenidos se está realizando mediante un análisis cuantitativo y cualitativo de las propuestas en comparación con la utilización de sensores cableados tradicionales o mediciones esporádicas con elementos manuales. En este sentido, se valida si los datos obtenidos del monitoreo y el comportamiento de la red experimental son relevantes y dan cuenta de si este abordaje puede reemplazar al tradicional y cuáles son sus principales ventajas.

La conformación del grupo de investigación por docentes de la carrera de Ingeniería Industrial y de la carrera de Licenciatura en Sistemas permite un

enfoque multidisciplinario y adecuado de esta problemática. La viabilidad del proyecto está sustentada en los avances obtenidos mediante trabajos previos de los integrantes en el área y su interacción con otros grupos de investigadores tanto latinoamericanos como europeos.

Se espera que los resultados obtenidos en el proyecto ayuden y/o mejoren la implementación del monitoreo de condiciones de higiene y seguridad en la industria mejorando significativamente la condiciones de trabajo del personal al estar éstas controladas en forma más efectiva.

## Formación de Recursos Humanos

El equipo de trabajo está integrado por los Magisters Eduardo Rodríguez y Cristina Bender, la Doctora Claudia Deco, la especialista Luciana Burzacca, y los Licenciados Santiago Costa y Mauro Pettinari, investigadores de la Universidad Católica Argentina.

En particular, el Lic. Santiago Costa está cursando la Maestría en Redes de Datos en la Universidad de La Plata

Además, los conocimientos adquiridos se volcarán en la comunidad académica a través de las actividades docentes que los investigadores de este proyecto realizan en las carreras Ingeniería Industrial, Ingeniería Ambiental y Licenciatura en Sistemas. Asimismo, es intención incorporar alumnos de estas carreras y proponer subproblemas identificados durante el trabajo de investigación de este proyecto para la realización de tesinas y proyectos finales de grado.

## Referencias

[1] D. Culler and W. Hong. Eds. Special issue on Wireless Sensor Networks. *Communications of the ACM*, 47(6):pag 30–34, June 2004

- [2] G. Mercado, A. Diedrichs y M. Aguirre “The Wireless Embedded Internet”, *Annals of CASE 2011*, ISBN 978-987-9374-69-6, Buenos Aires Marzo 2011.
- [3] D. Culler; D. Estrin, M. Srivastava: “Overview of Sensor Networks” *IEEE Computer Mag.* 2004, 37, 41–49
- [4] S Yoo, PK Chong, D Kim, Y Doh. Guaranteeing real-time services for industrial wireless sensor networks with IEEE 802.15. 4. *Industrial Electronics*, 2010 – [ieeexplore.ieee.org](http://ieeexplore.ieee.org)
- [5] V. Güngör, B. Lu, G. Hancke. Opportunities and challenges of wireless sensor networks in smart grid. *Industrial Electronics. IEEE Transactions on*, 57 (10): 3557-3564. Oct 2010
- [6] J Åkerberg, M Gidlund, T Lennvall, J Neander. Efficient integration of secure and safety critical industrial wireless sensor networks. *Journal on Wireless*, Springer, 2011
- [7] V. Güngör; G. Hancke *Industrial Wireless Sensor Networks: Applications, Protocols, and Standards*. CRC Press. April 04, 2013 - 978-1-4665-0051-8
- [8] Conner, Margery. Sensors empower the "Internet of Things". *EDN Network (Issue 10)*. pp. 32–38. Disponible en [www.edn.com/design/sensors/4363366/Sensors-empower-the-quot-Internet-of-Things-quot-](http://www.edn.com/design/sensors/4363366/Sensors-empower-the-quot-Internet-of-Things-quot-). 2010. ISSN 0012-7515
- [9] V. Güngör, V. Çağrı; G. Hancke. *Industrial Wireless Sensor Networks: Applications, Protocols, and Standards*. CRC Press. April 4, 2013.
- [10] R. A. Parada (comp.) y J. D. Errecaborde (comp.). *Higiene y seguridad en el trabajo. Versión 2.1. ERREPAR S.A.*. Páginas 7-92. Buenos Aires. ISDN 978-987-01-1750-6. 2015.
- [11] E. Rodríguez, C. Deco, L. Burzacca, M. Pettinari, S. Costa, C. Bender. Análisis y diseño de una red sensores con tecnología inalámbrica para el monitoreo de condiciones de Higiene y Seguridad del ambiente en entornos industriales. *Congreso Argentino Ingeniería Industrial. Facultad Regional Córdoba, UTN Córdoba, Argentina. Noviembre 2015.*