

## Puerta de Enlace para Internet de las Cosas usando Computadora Industrial Abierta.

Carlos Taffernaberry, Gustavo Mercado, Matías Pecchia,  
Sebastian Tobar, Ariel Verdejo, Juan Sayago

GridTICs – Grupo en Tecnologías de la Información y las Comunicaciones

Departamento de Electrónica / Facultad Regional Mendoza / UTN

{carlos.taffernaberry, gustavo.mercado, matias.pecchia,  
sebastian.tobar, ariel.verdejo, juan.sayago}@gridtics.frm.utn.edu.ar

### Resumen

Este trabajo describe un prototipo de software y hardware libre, que fue empleado exitosamente como gateway (pasarela) en sistemas de Internet de las Cosas (IoT - Internet of Things).

Normalmente un gateway de IoT es el dispositivo que actúa de interfaz de conexión entre dispositivos internos a la red IoT y el mundo exterior, normalmente la Internet.

El prototipo fue construido tomando como base de la placa CIAA (Computadora Industrial Abierta Argentina) a la que se adicionaron hardware/software de comunicación interna y externa.

La comunicación interna se basó en una pila de protocolos. El protocolo de capa de enlace usado fue el protocolo IEEE 802.15.4, que es el que normalmente utilizan las Redes de Sensores Inalámbricos. Los protocolos de capas superiores fueron el conjunto de la familia TCP/IP, entre los que tiene significativa importancia el “middleware” 6LoWPAN. Este último permitió que todo el sistema de IoT (interno y externo) pueda utilizar el nuevo protocolo de red denominado IPv6 de manera transparente y extremo a extremo, con las ventajas que esto representa.

El sistema operativo de IoT denominado “Contiki” fue usado en los dispositivos de la Red de Sensores Inalámbricos.

En el gateway fue implementado el SO FreeOSEK.

El almacenamiento de los datos sensados y transmitidos por los motes se hizo en una base de datos del tipo Time-Series llamada InfluxDB y la representación de los mismos

fue realizada usando la plataforma abierta Grafana.

**Palabras Clave:** Internet of Things, Internet de las Cosas, 6LoWPAN, Computadora Industrial Abierta Argentina (CIAA), OpenMote.

### Contexto

El presente trabajo está inserto en el proyecto de investigación acreditado por la Universidad Tecnológica Nacional código EIUTIME0003646TC denominado “RED SIPIA-LP: Estudio de mecanismos de bajo consumo energético para aplicar a una red de sensores inalámbricos en el ámbito de agricultura de precisión”. El proyecto fue llevado adelante por investigadores y becarios de la Facultad Regional Mendoza.

Uno de los objetivos de este proyecto fue “Estudiar, simular y evaluar los protocolos de comunicación de internet de las cosas”. Para cumplir con ello se participó y se obtuvo financiamiento de la convocatoria “Proyectos de Innovación, Desarrollo y Adopción de la Computadora Industrial Abierta Argentina (CIAA) del MINCYT, de acuerdo a resolución Ministerial 613/15.

El trabajo en la convocatoria se denominó “GW-CIAA-IoT: Gateway con CIAA para red inalámbrica de IoT” y es el detallado en el presente trabajo.

### 1. INTRODUCCIÓN

Gracias a los avances y reducción de costos en dispositivos electrónicos y de comunicación inalámbrica, es posible, en la actualidad, construir sistemas de sensores

multifuncionales y multipropósito de bajo costo que operan con poca energía, de un tamaño pequeño, y con una capacidad de comunicación del tipo inalámbrica a corta distancia.

Estos dispositivos, denominados comúnmente motes o motas, constan de una unidad de procesamiento con un poder de cómputo mínimo, memoria, un módulo de comunicación inalámbrica y uno o varios dispositivos de sensado que capturan parámetros como temperatura, aceleración, humedad, etc. Un conjunto de motes comunicados entre sí es lo que se conoce como una Red de Sensores Inalámbrica (WSN - Wireless Sensor Network) [1].

OpenMote [2] es un fabricante de motes de hardware abierto para el desarrollo de la Internet de las Cosas. Estos dispositivos son complementados por un conjunto de herramientas de software de código abierto. La plataforma de OpenMote fue diseñada “a medida” para correr con el sistema operativo de código abierto OpenWSN [3] usando los estándares de IoT. También es posible el uso de OpenMote con otros sistemas operativos para embebidos de código abierto tales como FreeRTOS, RIOT and Contiki-OS. La combinación seleccionada de OpenMote y Contiki-OS nos permitió desarrollar, para el presente trabajo, las características de bajo consumo energético [4] y [5].

Por otro lado, hace 20 años, Internet se usaba principalmente como herramienta para acceder a información. En los últimos 10 años hemos vivido una nueva forma de uso de Internet, donde todo se ha convertido en social, transaccional y móvil. En la actualidad estamos atravesando una nueva transformación, en la que cada objeto tiene una identidad virtual propia y es capaz de integrarse e interactuar de manera independiente con cualquier otro objeto, sistema, o humanos. De esta forma estamos en presencia de un nuevo cambio en nuestra forma de vida, creándose nuevos modelos de negocio, productos y compañías, denominándose a esto la Internet de las Cosas (IoT - Internet of Things). Este desarrollo no

sería posible sin el soporte del nuevo protocolo de red de Internet, llamado IPv6, que permite contar con direcciones de red suficientes como para dotar a cada uno de los componentes de una red de sensores de una dirección pública IPv6.

Puntualmente, el ámbito de las WSN ha despertado un interés especial para lograr asociar a cada uno de los motes que la componen una WSN a la IoT. Contemplando los requerimientos de la IoT y las WSNs de área personal (PAN), un grupo de trabajo de la IETF desarrolló el protocolo 6LoWPAN [6] que brinda soporte a redes LowPAN para el protocolo IPv6.

Por medio de esta capa de adaptación 6LoWPAN, como se puede observar en la Fig. 1, se permite la interacción de los nodos de sensores que usan el protocolo 802.15.4, con el backbone de Internet conectado al protocolo 802.3, permitiendo que cada sensor pueda ser accedido desde cualquier host en cualquier parte del mundo.

Para permitir extender el alcance de una WSN, debido a que no siempre todos los nodos están en alcance entre sí, se creó otro grupo de trabajo en la IETF llamado ROLL (Routing Over Low power and Lossy Networks) para evaluar problemas de encaminamiento y proponer soluciones. El resultado fue el diseño de un protocolo de enrutamiento para LLN (Low power and Lossy Networks) denominado RPL [7], con soporte de una variedad de capas de enlace (IEEE 802.15.4, IEEE 802.15.4g o Powerline Communication), que comparten características comunes, como ser bajo ancho de banda, alta tasa de pérdidas y baja potencia.

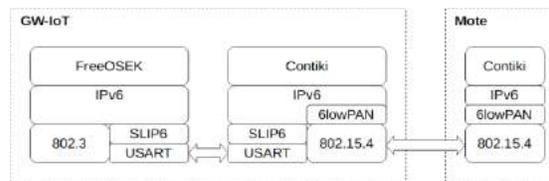


Fig 1. Capas de Protocolos de IoT

El Proyecto CIAA (Computadora Industrial Abierta Argentina) [8] nació en el año 2013 como una iniciativa conjunta entre el sector

académico y el industrial con el objetivo de impulsar el desarrollo tecnológico nacional, darle visibilidad positiva a la electrónica argentina y generar cambios estructurales en la forma en que se desarrollan y utilizan los conocimientos. Todo esto en el marco de un trabajo libre, colaborativo y articulado entre la industria y la academia.

La CIAA es la primera y única computadora del mundo que reúne dos cualidades:

- Es industrial: ya que su diseño está preparado para las exigencias de confiabilidad, temperatura, vibraciones, ruido electromagnético, tensiones, cortocircuitos, etc. Que demandan los productos y procesos industriales
- Es abierta: ya que toda la información sobre su diseño de hardware, firmware, software, etc. está libremente disponible en internet bajo la Licencia BSD, para que cualquiera la utilice como quiera. Por otro lado, su diseño no está atado a los procesadores de una determinada compañía, como ocurre con otras computadoras abiertas.

## 2. LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN y DESARROLLO

Como fue indicado en el apartado Contexto, el **Objetivo Principal** para el diseño e implementación del Gateway fue:

“Diseñar, ensayar e implementar una mejora de un sistema de redes inalámbricas agrícolas aplicadas, usando tecnología CIAA.”

### Objetivos secundarios

- Análisis y estudio de protocolos de comunicación de la IoT aplicado a WSN.
- Diseño y desarrollo de hardware de Gateway de red SIPIA [9] de WSN utilizando CIAA.
- Evaluación y selección de sistema operativo embebido aplicable a CIAA con soporte de protocolos IoT.
- Diseño y desarrollo de software de Gateway de red SIPIA de WSN utilizando CIAA.
- Evaluación, selección e implementación de motes de WSN con soporte de IoT.

- Capacitación y difusión de los conocimientos adquiridos, como compromiso social en el ámbito empresarial y académico.

## 3. RESULTADOS OBTENIDOS

El objetivo general, de acuerdo a lo planteado en [10], se cumplió en su totalidad. Se logró implementar un sistema sobre la plataforma CIAA para comunicaciones extremo a extremo desde Internet hacia redes Inalámbricas de Sensores. El sistema utilizó el protocolo IPv6 en CIAA para acceder a Internet, haciendo uso del firmware oficial del proyecto CIAA. Adicionalmente se utilizó hardware de OpenMote Technologies para implementar la red Inalámbrica de Sensores.

En cuanto a los objetivos secundarios planteados, se puede decir que:

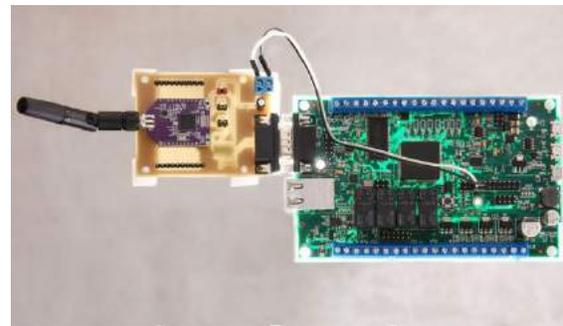


Fig 2: Gateway compuesto por placa CIAA, placa de interconexión y placa OpenMote.

- Fueron estudiadas distintas alternativas de protocolos de comunicación y se optó por continuar con la propuesta original de 6LoWPAN por ser éstos estándares abiertos del IETF.
- Se diseñó y desarrolló un circuito impreso que interconecta una CIAA-NXP con un mote OpenMote CC2538 o compatible, para permitir la implementación de SLIP6 [11] entre ambos, de acuerdo a la Fig 2.
- Se estudió la posibilidad de usar distintos sistemas operativos para la plataforma CIAA, entre ellos Linux, Mbed OS, RiotOS, FreeRTOS y FreeOSEK usado en el proyecto CIAA. Linux fue descartado porque el procesador de la CIAA-NXP no cuenta con Unidad de Gestión de Memoria. Mbed OS está orientado para embebidos y dispositivos ARM, pero no está portado para LPC4337 (el

Sistema en Chip Principal de la plataforma CIAA) y limita el desarrollo a esos dispositivos. Riot no presentaba documentación ni mucha actividad como proyecto al momento de estudio. Descartando las opciones anteriores, se consideró que el proyecto era viable usando FreeRTOS [12] o FreeOSEK [13]. Finalmente fue seleccionado para hacer el gateway el firmware oficial del proyecto CIAA (CIAA-Firmware), que está basado en FreeOSEK. De esta manera se propuso hacer nuevos aportes al proyecto CIAA y así generar vinculación local.

- Debido a que el firmware del proyecto CIAA no constaba con soporte para protocolos IoT, el trabajo implicó el diseño e implementación de los protocolos IPv6 y SLIP6. Este diseño y el código correspondiente está descrito en [14].

- Fueron seleccionado el proyecto los motes OpenMote CC2538 de OpenMote Technologies por ser compatibles con firmware Contiki, Openwsn, Riot entre otros asequibles y tener como componente principal el SoC (Sistema en un Chip) Texas Instruments CC2538 que está presente también en otros dispositivos que proveen distintos fabricantes de hardware. Adicionalmente, OpenMote fue la opción más conveniente, respecto al costo-beneficio del producto.

- El software adicional de almacenamiento de la información fue desarrollado sobre una plataforma de PC compatible, con Sistema Operativo GNU-LINUX y lenguaje de programación Python. Esta aplicación es un servidor de socket tipo datagrama, que recibe los datos que envían los motes, y los almacena en una Base de Datos INFLUXdb [15], ideal para series temporales, especialmente diseñada para IoT.

- La presentación de la información se llevó a cabo mediante una plataforma abierta para monitoreo y análisis de información llamada Grafana [16], la cual puede ser accedida por un cliente HTTP o Browser desde cualquier lugar del mundo con conectividad a Internet. Fue instalado sobre una plataforma de PC compatible, con Sistema Operativo GNU-

LINUX.

En la Fig 3 se puede observar una captura de pantalla de los datos graficados,

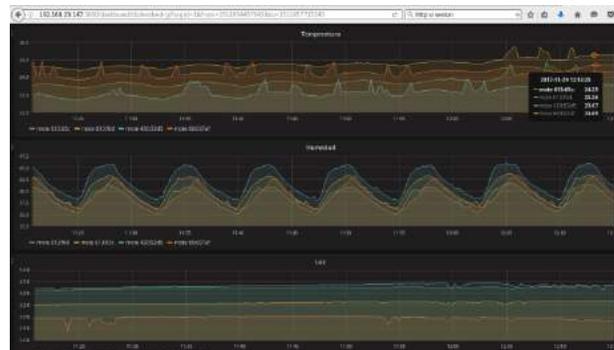


Fig 3: Información de gráficos presentados por Grafana

#### 4. FORMACIÓN DE RECURSOS HUMANOS

Uno de los principales objetivos del proyecto es la capacitación de los recursos humanos.

La meta como investigadores es fortalecer la capacidad para realizar investigación científica, generar conocimientos y facilitar la transferencia de tecnología que permita el desarrollo humano.

Este proyecto de investigación posibilitará la colaboración inter-institucional y la ejecución de proyectos conjunto entre grupos I+D de diferentes disciplinas.

Para lograr estos objetivos se dispuso del siguiente personal:

- 2 Investigadores formados
- 1 Becario doctoral (beca UTN)
- 1 Becario graduado (Beca BINID UTN)
- 2 Becarios alumnos (Beca alumno UTN)
- 1 Tesista de carrera de grado

Adicionalmente se realizaron:

- Dictado de Cursos, Seminarios y Conferencia para público especializado.
- Promoción, coordinación y asistencia técnica de tesis de grado para alumnos de la FRMza.
- Promoción, coordinación y asistencia técnica a pasantes alumnos, cursantes de carreras de grado y de pre-grado en el ámbito de la UTN FRMza.

- Promoción, coordinación, dirección y asistencia técnica a Tesis doctorales, postgrado y/o maestría.
- Presentación de Trabajos en Congresos y Reuniones Técnicas/Científicas.
- Publicación de Trabajos en revistas con/sin referato.
- Publicación de todo el código fuente desarrollado en el presente proyecto, en <https://github.com/GridTICs/gw-ciaa-iot>.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Peter Waher, "Learning Internet of Things", 1st Edition, O'Reilly Ed.
- [2] OpenMote: Open-Source Prototyping Platform for the Industrial IoT Conference Paper · September 2015 ISSN 1867-8211
- [3] "OpenWSN" disponible en <http://www.openwsn.org/> consultado el 15 de Marzo de 2018.
- [4] A. Moschitta, and I. Neri. "Power consumption assessment in wireless sensor networks." ICT-energy-concepts towards zero-power information and communication technology. InTech, 2014.
- [5] The ContikiMAC Radio Duty Cycling Protocol. Adam Dunkels adam@sics.se. SICS Technical Report T2011:13. ISSN 1100-3154. December 2011.
- [6] S. Chakrabarti, "IPv6 over Low-Power Wireless Personal Area Network (6LoWPAN)", RFC 8066, ISSN: 2070-1721, IETF, February 2017
- [7] T. Winter, Ed. "RPL: IPv6 Routing Protocol for Low-Power and Lossy Networks", RFC 6550, ISSN: 2070-1721, IETF, March 2012
- [8] Proyecto CIAA, Disponible en: <http://www.proyecto-ciaa.com.ar/> consultado el 14 Marzo 2018
- [9] A. Diedrichs, C. Taffernaberry, G. Mercado, G. Grunwaldt, M. Pecchia, G. Tabacchi, M. González, N. Altamiranda, "RED SIPIA-LP Estudio de mecanismos de bajo consumo energético aplicados a Red de Sensores Inalámbricos en el ámbito de Agricultura de Precisión", WICC 2016, ISBN: 978-950-698-377-2, Abril 2016.
- [10] C. Taffernaberry, G. Mercado, "GW-CIAA-IoT: Gateway con CIAA para red inalámbrica de IoT", WICC 2016, ISBN: 978-950-698-377-2, Abril 2016
- [11] J. Romkey, A "Non Standard For Transmission Of IP Datagrams Over Serial Lines: SLIP", RFC 1055, June 1988
- [12] FreeRTOS. Disponible en <https://www.freertos.org/>, consultado el 14 de Marzo de 2018.
- [13] FreeOSEK. Disponible en: <http://opensek.sourceforge.net/> consultado el 14 de Marzo de 2018.
- [14] Código abierto del proyecto disponible en <https://github.com/GridTICs/gw-ciaa-iot/>
- [15] "InfluxDB open-source time series database". Disponible en: <https://www.influxdata.com> consultado el 14 Marzo 2018.
- [16] Grafana "The open platform for beautiful analytics and monitoring". Disponible en: <https://grafana.com> consultado el 16 de Marzo de 2018.