

## I+IoT RLab

### Laboratorio Remoto de IoT e IIoT, para la enseñanza, la asistencia y consultoría a empresas

Gabriel Ambrosio<sup>1</sup>, Mariano Zapata<sup>1</sup>, Gustavo Mercado<sup>2</sup>, Carlos Taffernaberry<sup>2</sup>,  
Ana Laura Diedrichs<sup>2</sup>, Sebastián Tobar<sup>2</sup>, Cristian Pérez Monte<sup>2</sup>, Ana Lattuca<sup>3</sup>,  
Nelson Merino<sup>3</sup>, Néstor Manzur<sup>3</sup>, Antonio Álvarez<sup>3</sup>  
Ingeniería Electrónica, Facultad Regional Mendoza, UTN ambrosiogabrielgerman@gmail.com,  
marianozapata10@gmail.com  
gridTICs, Ingeniería Electrónica, Facultad Regional Mendoza, UTN  
{gmercado, cartaffe, ana.diedrichs, mstobar, cfperez}@frm.utn.edu.ar  
Cátedra Proyecto Final, Ingeniería Electrónica, Facultad Regional Mendoza, UTN  
ana.lattuca@docentes.frm.utn.edu.ar, nelson.merino@frm.utn.edu.ar,  
nestor.manzur@gmail.com, antonioalvarezabril@yahoo.com.ar

**Abstract.** Las redes de Internet de las Cosas (IoT) e Internet de las Cosas Industriales (IIoT) han tenido un enorme desarrollo en los últimos años, debido a su amplio campo de uso, amplia variedad y simplicidad en su desarrollo. En el presente trabajo se propone el desarrollo de un laboratorio remoto para poder enseñar, estudiar y desarrollar las técnicas, arquitecturas y protocolos de estos dispositivos. En el desarrollo se hará uso de infraestructura virtualizada para la administración de reservas/recursos de forma dinámica, una computadora embebida Raspberry Pi para la comunicación entre dicha infraestructura y los dispositivos finales, identificados como Motes.

**Keywords:** IoT · IIoT · Raspberry Pi · 6LoWPAN · Contiki · OpenMote · Infraestructura · Proxmox

#### Contexto

El presente trabajo está inserto en el Proyecto Final de Grado denominado “Laboratorio Remoto de IoT e IIoT, para la enseñanza, la asistencia y consultoría a empresas”, acreditado por la Cátedra Proyecto Final de la Carrera de Ingeniería de Electrónica de la Universidad Tecnológica Nacional.

El trabajo final es llevado adelante por alumnos tesistas y con la supervisión de docentes de la cátedra. Mientras que el grupo gridTICs, que cumple funciones de stakeholder, tiene las tareas de dirección técnica, asesoramiento, financiamiento y provisión de laboratorios.

#### 1. Introducción

El concepto "Internet de las Cosas"[1] (IoT, por sus siglas en inglés: Internet of Things), se refiere a la comunicación entre dispositivos sin la intervención directa de los seres humanos. En resumen, IoT consiste en la integración de dispositivos

electrónicos en objetos de uso cotidiano, permitiendo que se conecten a Internet, con el objetivo de lograr el acceso remoto a los datos generados, o el accionamiento de actuadores a distancia.

Estos son implementados con microcontroladores que tienen un bajo poder de cómputo, generalmente poseen comunicación inalámbrica pero no están restringidos a esta y sensores que permiten la medición de múltiples parámetros de acuerdo al ambiente en el que se encuentren instalado, entre los más conocidos se puede identificar humedad, temperatura, posición, pero también puede ser corrosión producida en una tubería de gas, concentración de gases tóxicos en tanques de petróleo, niveles de tensión, corriente y potencia en líneas de distribución de energía, entre otros.

El presente proyecto tiene como objetivo proporcionar a usuarios, universidades y pequeñas empresas interesadas en IoT/IIoT, un entorno para estudiar y enseñar técnicas, arquitecturas y protocolos de dispositivos IoT/IIoT.

En el desarrollo de hardware se utilizarán los sensores OpenMote cc2538 [2] como los nodos sensores de múltiples dispositivos de medición conectados de forma alámbrica a estos. El sistema operativo Contiki [3] será utilizado en los nodos, ya que cuenta con ventajas como el stack completo TCP/IP y compatibilidad con 6LoWPAN [4].

Los nodos sensores se conectarán a una computadora mediante un hub USB, lo que facilitará el acceso a los mismos mediante una terminal de línea de comandos. Esto permitirá a los usuarios programar cada nodo de forma independiente, brindando flexibilidad y control en el proceso de desarrollo y configuración.

Los múltiples nodos sensores serán enlazados de forma inalámbrica a un nodo coordinador (Gateway) que estará conectado a una placa Raspberry Pi. La comunicación entre los nodos utilizará el estándar IEEE 802.15.4 [5] y el protocolo 6LoWPAN para permitir la comunicación mediante IPv6, especialmente útil en entornos industriales donde el número de dispositivos asciende a miles o cientos de miles. Los datos obtenidos de los sensores se almacenarán en una base de datos, aunque el tipo específico de base de datos no ha sido decidido aún.

El nodo coordinador, funcionando como Gateway, se conectará mediante USB a una placa Raspberry Pi [6] seleccionada según los lineamientos del proyecto. Esta utilizará el sistema operativo Raspbian-OS, optimizado para su hardware, y será el intermediario para el intercambio de información con la infraestructura virtualizada posteriormente mencionada. La Raspberry Pi se encargará de programar el nodo coordinador y actuará como conector entre la computadora mencionada anteriormente y el propio nodo coordinador. Es decir que la configuración de los diferentes nodos coordinadores será realizada mediante interfaz USB o ethernet, pero la comunicación entre este y los nodos sensores será realizada mediante el estándar 6LoWPAN.

El resto de los componentes y sistemas se desplegarán utilizando el entorno de virtualización Proxmox™ [7]. Se ejecutarán máquinas virtuales, contenedores y otros recursos para administrar el uso de los nodos según las reservas realizadas por los usuarios.

La administración de conexiones remotas se realizará mediante un controlador de dominio con autenticación previa. Se requerirá la creación de usuarios con permisos adecuados para acceder a los recursos.

Finalmente se utilizará una herramienta libre y de código abierto que permita el acceso remoto al equipamiento utilizando únicamente un navegador web, sin la necesidad de ninguna aplicación cliente.

En la siguiente etapa se explica con mayor detalle los componentes mencionados anteriormente.

## 2. Componentes del Sistema

Se enumeran y describen a continuación todos los componentes utilizados para constituir el sistema completo del Laboratorio Remoto de IoT.

### 2.1 Red de sensores Inalámbricos

El diseño de la red se fundamenta en el uso de nodos sensores OpenMote CC2538, que estarán equipados con una variedad de sensores como temperatura, humedad y luz, entre otros. Cuentan con zócalos adaptadores para conectarse mediante USB o ser alimentados por baterías.

Para establecer la comunicación entre los nodos, se empleará el estándar IEEE 802.15.4, que se encarga de definir el nivel físico y el control de acceso al medio para redes inalámbricas de área personal. Este estándar es ideal para redes que necesitan transmitir datos a baja velocidad, ya que está diseñado para priorizar el ahorro máximo de energía en su funcionamiento. La figura 1 muestra los nodos sensor y coordinador.



**Figura 1.** Nodo sensor (izquierda) y nodo coordinador (derecha).

### 2.2 Nodo Coordinador o Router de Borde

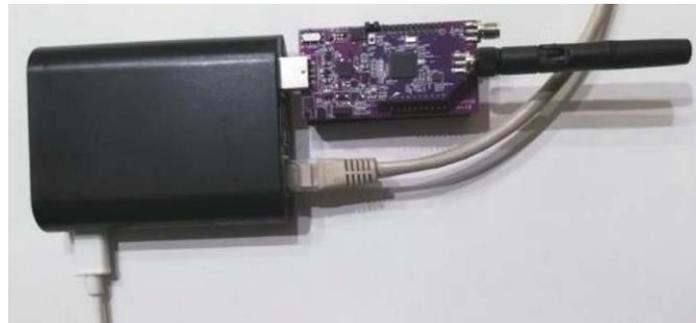
Los nodos OpenMoe ofrecen la posibilidad de configurar uno de ellos con un adaptador USB para que funcione como un router de borde. Esto les permite soportar una topología de red en malla, donde cada nodo está interconectado con uno o más nodos de la red. Esta configuración en malla reduce el riesgo de fallos en la red y, como resultado, disminuye la necesidad de mantenimiento periódico.

### 2.3 Gateway

El dispositivo se conecta al coordinador mediante una interfaz USB y a Internet (IPv6) a través de una interfaz Ethernet o WiFi. Su función principal es realizar la adaptación del protocolo IPv6 de Internet para que pueda ser utilizado en la capa de enlace de la red de sensores (802.15.4).

El gateway se implementará en una placa Raspberry Pi, específicamente en la Raspberry Pi 3 B+. Esta placa es una computadora de bajo costo y tamaño reducido, aproximadamente del tamaño de una tarjeta de crédito, diseñada con el propósito de fomentar la enseñanza de la informática en las escuelas. Está equipada con varios componentes esenciales para el funcionamiento de una computadora convencional y puede comportarse como tal.

Para este proyecto, se ha seleccionado la Raspberry Pi 3 B+, que ofrece las siguientes características: un procesador Cortex-A53 (ARMv8) de 64 bits con una velocidad de 1,4 GHz, 1 GB de RAM, conectividad LAN inalámbrica IEEE 802.11 de 2.4 GHz y 5 GHz, Bluetooth 4.2, Gigabit Ethernet, salida de video HDMI, 4 puertos USB 2.0 y una ranura para tarjetas micro SD utilizada para cargar el sistema operativo y almacenar datos, entre otras características.



**Figura 2.** Raspberry Pi con nodo coordinador o router de borde.

## 2.4 Almacenamiento de datos

Cada vez que la aplicación cliente de datos obtiene información de los nodos sensores, se guardará en una base de datos.

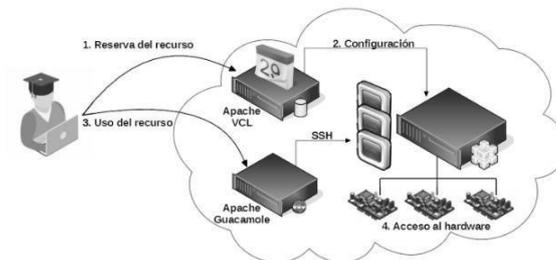
## 2.5 Visualización

El servidor tiene la capacidad de permitir la visualización y el control de los datos recopilados por los nodos sensores, así como también la programación de los tiempos de adquisición de datos y las alertas. Además, facilita la realización de comparaciones entre las diferentes medidas.

Para acceder a la funcionalidad de visualización como cliente, se utiliza un navegador o browser

## 2.6 Gestor de usuarios y máquinas virtuales

Los recursos demandados por los entornos de desarrollo serán esencialmente computacionales. Por este motivo, será conveniente la utilización de Apache VCL (Virtual Computing Lab) [8] para la gestión de los entornos, como se muestra en la figura 3. Apache VCL es una plataforma de computación en la nube libre y de código abierto cuyo objetivo principal es brindar entornos informáticos personalizados a los usuarios. Estos entornos podrán ser algo tan sencillo como una máquina virtual ejecutando software de oficina o algo tan poderoso como un clúster corriendo complejas simulaciones. Para el caso particular de este proyecto, Apache VCL gestionará los entornos de desarrollo de los módulos de IoT. La interfaz de usuario consistirá en un autoservicio web. A través de este portal, los usuarios podrán seleccionar los ambientes y hacer reservas en el futuro.



**Figura 3.** Gestión de usuarios y máquinas virtuales.

## 2.7 Acceso Remoto

El entorno de desarrollo implementado en el proyecto será accesible a través de emuladores de terminal en el futuro. Con el objetivo de simplificar el acceso al laboratorio, se optará por la interfaz de acceso web Apache Guacamole [9], que brinda emuladores de terminal dentro del navegador, sin requerir ningún software adicional.

## Referencias

1. Waher, P.: Learning Internet of Things, 1st Edition. Packt Publishing, UK (2015).
2. OpenMote-cc2538. Disponible en [https://doc.riotos.org/group\\_boards\\_\\_openmotecc2538.html](https://doc.riotos.org/group_boards__openmotecc2538.html). Julio 2023.
3. Contiki: The Open Source OS for the Internet of Things. Disponible en <https://www.contikios.org>. Mayo 2019.
4. Kushalnagar, N., Montenegro, G., Schumacher, C.: IPv6 over low-power wireless personal area networks (6LoWPANs): overview, assumptions, problem statement, and goals (2007).
5. Molisch, A.F., Balakrishnan, K., Chong, C.C., Emami, S., Fort, A., Karedal, J., Kunisch, J., Schantz, H., Schuster, U. and Siwiak, K.,: IEEE 802.15. 4a channel model-final report. IEEE P802, 15(04), p.0662 (2004).
6. Raspberry Pi. Disponible en <https://www.raspberrypi.org>. Julio 2023.
7. Proxmox. Disponible en <https://www.proxmox.com/en/>. Julio 2023.

8. Apache VCL. Disponible en <https://vcl.apache.org/> Julio 2023.
9. Apache Guacamole. Disponible en <https://guacamole.apache.org/releases/1.5.2/> Julio 2023.