

# Ciudades Inteligentes: Optimización en la Recolección de Contenedores de Residuos Domiciliarios

Diego Alberto Godoy<sup>1,a</sup>, Eduardo O. Sosa<sup>1,2,b</sup>, Raúl Luft<sup>1,c</sup>, Darío Sosa<sup>1,d</sup>, Edgardo Belloni<sup>1,e</sup>,  
Juan de Dios Benitez<sup>1,f</sup>

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

Av. López y Planes 6519. Posadas - Teléfono: +54-376-4438677

<sup>2</sup>Secretaría de Investigación y Posgrado (SECIP)/Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales/  
Universidad Nacional de Misiones (UNaM)

Félix de Azara N° 1552 - 6to Piso. Posadas – Teléfono: 376 4432356 / 4437023

<sup>a</sup>diegodoy@citic.ugd.edu.ar, <sup>b</sup>es@fceqyn.unam.edu.ar, <sup>c</sup>raulluft@citic.ugd.edu.ar,  
<sup>d</sup>suedsosa@citic.ugd.edu.ar, <sup>e</sup>ebelloni@citic.ugd.edu.ar, <sup>f</sup>juan.benitez@citic.ugd.edu.ar

## Resumen

En este trabajo se presenta una línea de investigación y desarrollo enfocada en la experimentación con aplicaciones de Redes de Sensores Inalámbricos para soportar servicios en un contexto de Ciudades Inteligentes.

El objetivo inicial de producción de la línea, radica en el diseño e implantación de un prototipo de sistema que determine una ruta óptima de recolección para aquellos contenedores de residuos urbanos que ameriten ser recogidos.

La arquitectura propuesta para el sistema está conformada por tres capas: infraestructura, procesamiento y presentación. La capa de infraestructura se compone de una serie de nodos sensores ubicados dentro de los contenedores. Los nodos capturan los movimientos y la iluminancia del interior del contenedor y posteriormente envían tramas con esta información a una estación base. La capa de procesamiento, analiza y procesa las tramas recibidas, calculando una ruta óptima de recolección. La capa de presentación utiliza una interfaz web para brindar información sobre la ubicación de los contenedores a recoger.

El prototipo ha sido probado en laboratorio y en campo resultando exitoso.

**Palabras clave:** Ciudades Inteligentes, Internet de las Cosas, Redes de Sensores Inalámbricos, Recolección de residuos urbanos.

## Contexto

La línea descrita en este trabajo se enmarca en el proyecto de investigación denominado “Diseño de Arquitecturas de Soporte a la Internet del Futuro y Ambientes Inteligentes”, acreditado en la Secretaría de Investigación y Desarrollo de la UGD (RR.19/A/12 y RR.18/A/14).

Asimismo, la línea se relaciona y articula directamente con diversos proyectos de investigación acreditados en la Secretaría de Investigación y Posgrado 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”.

## Introducción

En la actualidad el mayor porcentaje de la población mundial reside en ciudades, por lo que se deben afrontar problemas relativos a la gestión de recursos, movilidad urbana, tráfico, eficiencia energética y servicios públicos.

El avance de las tecnologías de la información y las comunicaciones (TICs), el abaratamiento de equipos y servicios de telecomunicaciones, y su disponibilidad, hace pensar que la aplicación de las mismas proveería grandes beneficios para resolver estos problemas.

Surge así el concepto de Ciudad Inteligente, es decir una ciudad que utiliza las tecnologías de la información y las comunicaciones, para hacer que sus actividades, elementos y servicios públicos, sean más eficientes e interactivos [1].

Uno de los servicios públicos indispensables es la recolección de residuos generados por la comunidad. El objetivo de este servicio consiste en retirar los residuos de la vía pública y gestionarlos de manera adecuada para evitar perjuicios a la salud y al ambiente.

La ciudad de Posadas, Misiones, posee actualmente una población de 324.756 habitantes [2] por tanto puede ser considerada una ciudad con una población importante, que genera una gran cantidad de residuos urbanos. Para llevar a cabo el servicio de recolección de residuos, la municipalidad de esta ciudad, cuenta con camiones especializados, contenedores de distintos tipos y capacidades, y personal calificado para realizar la tarea.

Además, existen rutas de recolección preestablecidas que cubren la totalidad de las zonas de la ciudad. Dichas rutas poseen distintas frecuencias de recolección. En el trayecto mencionado, los recolectores pueden encontrarse con contenedores con niveles variables de desechos, sin embargo, deben revisar cada uno de los mismos, produciendo pérdida de tiempo, provocando mayor cantidad de viajes, mayor gasto en combustible y por lo tanto mayores emisiones de CO<sub>2</sub>.

Se destaca que dicho gas (CO<sub>2</sub>) es considerado causante directo del efecto invernadero [3].

Ante esta situación, es interesante contar con un sistema basado en el nuevo paradigma de Internet de las Cosas [4] [5] utilizando Redes de Sensores Inalámbricos para la detección de los contenedores de residuos que merecen ser recogidos y calcular la ruta óptima para recogerlos.

## Construcción del Prototipo

En conjunto con la Dirección de Servicios Públicos de la Municipalidad de la ciudad de Posadas, se realizó un relevamiento y análisis de: Recursos utilizados para recolección (contenedores y camiones); Frecuencia de tarea y problemática de la misma. A partir de tal relevamiento y análisis se propone una arquitectura para el sistema (Figura 1) que consta de tres capas:

**1. Capa de infraestructura:** Se compone de una serie de nodos sensores ubicados dentro de los contenedores de residuos urbanos y de un nodo *gateway*. Está compuesta a su vez por tres subsistemas: detección de movimientos del nodo PIR, detección de luz del nodo iluminancia y sumidero de datos.

Los nodos con sensores PIR, capturan los movimientos que ocurren en el interior de los contenedores, causados por la introducción de objetos. Luego se generan tramas de datos en las que incluyen, la dirección MAC del nodo y el valor actual del contador de movimientos.

Los nodos con sensores de luz, capturan el valor de iluminancia en el interior del contenedor.

Posteriormente se generan tramas de datos que se envían al nodo *gateway* inalámbricamente vía radio, conteniendo la dirección MAC del nodo y el valor de iluminancia detectado.

El nodo *gateway*, recibe las tramas y las envía a la estación base mediante un puerto USB.

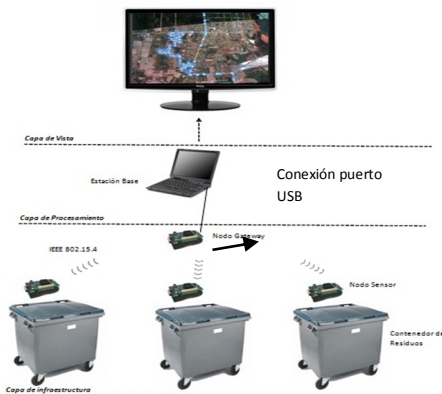


Figura 1 - Arquitectura del prototipo

**2. Capa de procesamiento:** se compone de una computadora que actúa como estación base.

En esta capa se encuentra el subsistema de captura y almacenamiento de datos de la estación base, el cual analiza la trama recibida para determinar si es válida, si esto se cumple, se examina la sección de datos (*payload*).

Si la trama proviene de un nodo sensor pir, se extrae de la trama la dirección MAC y el contador actual, luego se actualiza el contador asociado al contenedor y se almacena la trama leída en la base de datos.

Si la trama proviene de un nodo sensor iluminancia, se extrae de la trama la dirección MAC y el valor de iluminancia recibida, posteriormente se actualiza en la base de datos, el valor de iluminancia del contenedor asociado.

En ésta capa también se realiza el cálculo de ruta óptima a través del Subsistema de Cálculo de ruta, el cual utiliza el algoritmo A\* (A estrella).

**3. Capa de Presentación:** Esta capa utiliza una interfaz web para brindar información a los usuarios, sobre la ubicación de los contenedores a recoger (ver Figura 2).

En esta capa se encuentra el Subsistema de visualización de ruta. El lector interesado en mayores detalles de la arquitectura propuesta, sus aspectos estructurales y de comportamiento, puede revisarlos en [6].

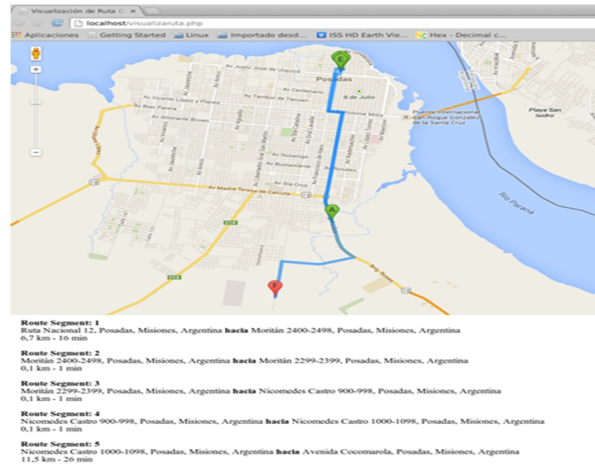


Figura 2 - Visualización de ruta óptima

## Materiales y herramientas

Los nodos sensores utilizados en la capa de infraestructura poseen un esquema modular, son de la marca *iSense* [7], y están fabricados por la empresa *Coalesenses* [8]. Se ha utilizado el módulo de seguridad, que dispone de un sensor pasivo infrarrojo (PIR) y un acelerómetro, y el módulo ambiental que dispone de un sensor de luz y un sensor de temperatura (Figura 3).

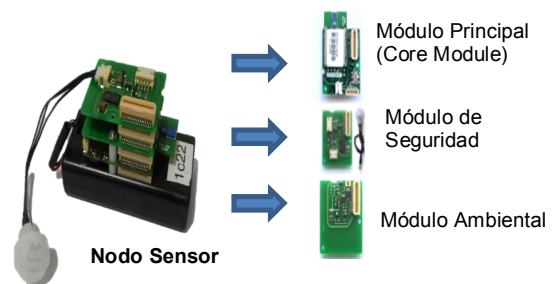


Figura 3 - Módulos del nodo sensor

Entre las herramientas de software utilizadas se encuentran: herramientas de compilación (*make*, *cmake*, *g++*), compilador *ba-elf* (para micro controladores *Jennic*), plataforma de desarrollo *Eclipse*, *firmware iSense* (librería para desarrollo *iSense*), *iShell* (para el análisis, programación y operación sobre nodos).

## Resultados

Para evaluar el nivel de llenado, se llevó a cabo una prueba de laboratorio, en la que se utilizó una caja de cartón cuyas dimensiones fueron: paredes laterales de 44 cm de ancho, paredes frontal y trasera de 47 cm de ancho y profundidad o alto de 35 cm. En la figura 4, se puede ver una imagen de la caja y los componentes utilizados.



Figura 4 - Nodos sensores, nodo gateway, estación base y caja para pruebas

Previo al inicio de las pruebas se ubicaron en la parte superior de la caja, los nodos con sensor pir y luz próximos entre sí.

Luego se inició la aplicación de “captura y almacenamiento” en la estación base y se comenzaron a introducir objetos en la caja para verificarlos valores que los sensores arrojaban..

Por cada trama recibida, se verificó que la misma sea válida. Esta validación se llevó a cabo, evaluando la longitud de la trama recibida y verificando si los caracteres de inicio y fin de trama coincidían con los definidos en la capa de infraestructura. Se considera válida una trama si inicia con los caracteres 1002 y si termina con los caracteres 1003 y si la longitud es de 16 caracteres. Finalizadas las pruebas se obtuvieron los siguientes resultados:

- Se recibieron algunas tramas incompletas o defectuosas que no pasaron la validación.

- No se detectaron todos los objetos que pasaron delante del sensor. Esto pudo ocurrir por dos motivos:
  - El objeto pasó delante del sensor fuera del lapso de monitoreo.
  - El objeto que se introdujo no irradió el calor suficiente para que el sensor lo detecte.
- El valor de iluminancia en algunos casos se mantuvo estable y en otros casos varió, dependiendo de la luz captada en cada momento.
- Se comprobó que cuando un objeto se ubicó entre el puntero láser y el sensor de luz, la iluminancia disminuyó considerablemente.

Las pruebas de campo se realizaron en el barrio Villa Sarita de la ciudad de Posadas. Se eligió este barrio por estar cercano al centro de la ciudad y por utilizar los mismos contenedores de residuos de dicho centro (Figura 5).



Figura 5 - Contenedor de residuos utilizado en las pruebas de campo

Se consideró una ruta constituida por 23 contenedores, de los cuales se seleccionaron cuatro que se encontraban próximos entre sí (Figura 6). Al realizar las pruebas de detección de objetos, se comprobó que el *gateway* recibía tramas de datos (validas e inválidas), únicamente cuando tenía una visión directa con

