

Recogida de residuos de envases de vidrio en ciudades inteligentes*

Enrique Daneri^[0000-0001-5058-6036],
Javier F erriz, Manuel Zald ivar, Juan Manuel Mariscal,
Francisco Herrera, Santiago Soto, Francisco Carmona y Rub en Angeriz

Grupo Energético de Puerto Real S.A. (GEN), Cádiz, Spain
{enrique.daneri, javier.ferriz, manuel.zaldivar,
juanm.mariscal, francisco.herrera, santiago.soto,
francisco.carmona, ruben.angeriz}@grupoenergetico.es
<https://www.grupoenergetico.es>

Resumen En la actualidad, la recogida de residuos de envases de vidrio en muchas ciudades, tanto nacionales como internacionales, todavía se lleva a cabo de una forma poco automatizada e ineficiente. Para afrontar este problema, se propone cómo llevar a cabo la transformación hacia un servicio inteligente de recogida de residuos de envases de vidrio con tan sólo analizar los datos de posición de los contenedores y el nivel de llenado de los mismos, siendo capaces de obtener modelos de llenado, de predecir comportamiento para establecer días óptimos de recogida y de determinar la correcta ubicación de los propios contenedores.

Keywords: IoT · Residuos vidrio · Predicción · NB-IoT · Servicios cloud

1. Introducción

Muchas ciudades buscan mejorar la recogida de residuos para ofrecer un servicio eficiente y de calidad a sus ciudadanos, al mismo tiempo que intentan reducir la huella de carbono y las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

En los últimos años han surgido soluciones basadas en IoT (Internet de las Cosas), una tecnología revolucionaria que ofrece soluciones innovadoras. Su uso puede mejorar la eficiencia y reducir costes, pero también conlleva desafíos como la dependencia de la conectividad y la complejidad de las soluciones debido a la variedad de tecnologías, estándares y protocolos involucrados.

En este artículo se presenta el proceso seguido para la modernización del servicio de recogida de residuos de envases de vidrio de Puerto Real, municipio situado en la Bahía de Cádiz, con una población de 41963 habitantes, una extensión de 196,19 km^2 y con un parque de 239 contenedores de vidrio (fuente: SIMA, [2]).

* Proyecto enmarcado en el Plan de Innovación +Ciudad [1] y dentro de la Estrategia de Desarrollo Urbano Sostenible e integrado de Puerto Real “EDUSI Puerto Real 2022: ciudad del conocimiento”, cofinanciada por fondos FEDER en el marco del programa operativo plurirregional de España (POPE) 2014-2020



La infraestructura necesaria para optimizar el servicio de recogida de vidrio se ha basado en la colocación sensores volumétricos en cada contenedor. Éstos envían datos de nivel de llenado usando NB-IoT (tecnología diseñada específicamente para la transmisión de pequeñas cantidades de datos a larga distancia, con bajo consumo energético y alto nivel de penetración de señal aprovechando las bandas licenciadas de los operadores de telecomunicaciones) a un sistema cloud que nos permite acceder a estas mediciones para su análisis.

La Figura 1 muestra un esquema de la solución propuesta.



Figura 1. Esquema de la solución propuesta.

En la Sección 2 se describen en detalle las actuaciones realizadas hasta llegar a la solución planteada y, finalmente, en la Sección 3 se muestran las conclusiones.

2. SIGMA. Sistema inteligente de gestión medioambiental

En este epígrafe se describen los pasos seguidos para transformar el servicio de recogida de envases de vidrio, gestionado originalmente sin ayuda de ningún sistema de información. Las actuaciones realizadas fueron las siguientes:

- Matricular, georreferenciar y caracterizar todos los contenedores de vidrio.
- Colocar dispositivos para registrar nivel de llenado en cada contenedor.
- Transmisión de datos a sistema cloud a través de NB-IoT.
- Preparación de datos para su estudio.
- Determinación de modelos, predicción y optimización de activos.

Todas estas acciones quedan dentro el ámbito del proyecto de modernización del área Medioambiental (SIGMA).

2.1. Matriculación, georreferenciación y caracterización

Se realizaron trabajos iniciales para identificar y caracterizar unívocamente todos los contenedores de vidrio. Para ello, además de su matrícula, su modelo (que caracterizará su llenado) y su georreferenciación, se revisó el procedimiento de cambio de ubicación de contenedores.

2.2. Sensorización

Tras evaluar diferentes opciones, se optó por instalar dispositivos *Sayme Dumpster* [3], ya que están dotados de una envolvente rugerizada (encapsulado IP68), son altamente resistentes y tienen propiedades ignífugas y resistentes a golpes y caídas. Sus sensores comunican a través de NB-IoT y sus baterías son de

fácil reemplazo y les otorgan una vida útil estimada superior a 4 años (depende de la frecuencia de medida). Cabe destacar que los sensores tienen un rango de operación comprendido entre -25° y $80^{\circ}C$, detección de movimiento, inclinación y volcado, detección de incendios y envíos de alertas en tiempo real.

2.3. Plataforma cloud

Las medidas se almacenan en un repositorio de datos cloud y se muestran a través de una interfaz web. Sus principales características son:

- Representación gráfica de la información en tiempo real.
- Su interfaz es muy intuitiva y diseñada para diferentes dispositivos.
- Posicionamiento en el mapa de cada contenedor, reflejando su estado con posibilidad de agrupación por zonas.
- Configuración de alertas y notificaciones automáticas por email.
- API para integrar la información de los sensores en sistemas externos.
- Configuración de perfiles de usuario con diferentes niveles de acceso.

2.4. Preparación de datos

Los datos obtenidos a través de la API definida en la plataforma cloud se almacenan en MongoDB (sistema para la gestión de datos NoSQL). Sobre esta base de datos actúa el sistema de *Business Intelligence* (BI) siguiendo un modelo en estrella clásico (dimensiones y medidas).

Por cada contenedor se recolectan 12 mediciones diarias (cada dos horas). En cada anotación se registra el nivel de llenado (medido de 0 a 100) y la hora en la que se produce. Contra todo pronóstico, no forman una sucesión creciente debido al efecto de asentamiento del vidrio dentro del contenedor.

De forma general, el ritmo de llenado de un contenedor es lento y, por tanto, es suficiente tomar un valor para el nivel de llenado diario. Por ello, para elegir la representación de cada día, se tomó el valor máximo de las mediciones diarias, tras comprobar que generaba una serie temporal con menos ruido que con otras elecciones (mínimo diario, media diaria, moda, ...).

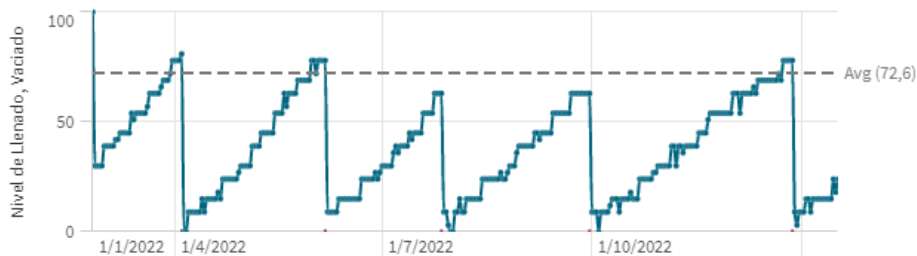
2.5. Modelos, predicción y optimización de activos

Representación de los modelos de llenado. La representación gráfica de las series temporales de los modelos de llenado tienen forma de “diente de sierra”. La Figura 2 muestra la curva del nivel de llenado de un contenedor de vidrio. Los días de vaciado se identifican claramente, ya que se produce una caída a 0 de la curva.

Predicción de los ciclos de recogida. Puesto que sólo disponemos de históricos de datos de un año, usamos inicialmente *la tasa diaria de llenado* (nivel medio diario de llenado de un contenedor). El valor de esta tasa nos permite proyectar a futuro el ritmo de llenado del contenedor, permitiendo hacer predicciones de llenado fiables (aunque mejorables).

Ciclos de Producción. Dispositivo: 68117

CALLE AMARGURA ESQUINA CALLE SAN RAFAEL

**Figura 2.** Modelo de nivel de llenado.

Optimización de activos. Esta disposición de los datos nos permite identificar la ubicación adecuada de contenedores analizando el número de veces que el contenedor se recoge al año en comparación con los contenedores de su mismo entorno, determinando aquellos contenedores poco usados (mal ubicados).

3. Conclusiones

Los resultados obtenidos permiten gestionar el servicio de recogida de residuos de vidrio de forma más eficaz y eficiente, existiendo aún campo de mejora:

- Mejoras en la determinación de los modelos calculando el representante diario de la serie usando técnicas de agregación basada en operadores de promedio ponderado ordenados (operadores OWA [4], introducidos por R. R. Yager)
- Mejora en los sistemas de predicción usando técnicas de análisis de series temporales conjuntamente con algoritmos de Machine Learning una vez que se disponga de un histórico de datos más amplio.
- Implementación de algoritmos de optimización de rutas para los días que se planifique el servicio de recogida.

Agradecimientos A la empresa Sayme, por su constante colaboración y valiosas sugerencias, sobre todo a María Bueno y Carlos J. Huidobro. A Telefónica, por su gestión e inestimable ayuda.

Referencias

1. +Ciudad - Homepage, <https://www.masciudad.es>. Last accessed 4 May 2023
2. SIMA - Sistema de Información Multiterritorial de Andalucía - Homepage, <https://www.juntadeandalucia.es/institutodeestadisticaycartografia/sima/ficha.htm?mun=11028>. Last accessed 4 May 2023
3. SAYME - Homepage, <http://sayme.io/>. Last accessed 4 May 2023
4. Ronald R. Yager: Families of OWA operators. *Fuzzy Sets and Systems* **59**(2), 125-148 (1993) [https://doi.org/10.1016/0165-0114\(93\)90194-M](https://doi.org/10.1016/0165-0114(93)90194-M)