

# MACHINE LEARNING PARA LA OPTIMIZACIÓN INTELIGENTE DE LA RECOGIDA DE RESIDUOS

**Ramos Cueli, Juan Manuel\***; **Luque Sendra, Amalia**; **Larios Martín, Diego Francisco**; **Barbancho Concejero, Julio**

*Grupos de investigación TIC150 y TEP022*

*Departamentos de Tecnología Electrónica e Ingeniería del Diseño. Escuela Politécnica Superior. Universidad de Sevilla.*

\*E-mail: [jramos8@us.es](mailto:jramos8@us.es)

## RESUMEN

La recogida de residuos es uno de los servicios más importantes que las ciudades proporcionan. Las posibilidades de optimización a partir de la explotación de los datos recogidos son muy interesantes, si bien, deben considerarse todas las restricciones que aplican.

El trabajo a realizar consiste en el desarrollo de los modelos y herramientas necesarios para el diseño de un sistema de predicción de llenado de los contenedores, a partir del cual poder realizar posteriormente la planificación óptima de rutas u otras actuaciones estratégicas.

Estos modelos proporcionarán componentes software clave para determinar, en un momento determinado del futuro, cuál será el estado de llenado de un contenedor, así como determinar el momento en el que dicho contenedor se llenaría completamente, si antes no se procede a su vaciado.

Para ello, el sistema debe tener en cuenta datos históricos de nivel de llenado. Estos datos sirven tanto de ajuste como de verificación de los diferentes modelos. Por otro lado, las variables de entrada deberán seleccionarse en función de su grado de relevancia en la predicción, considerando la disponibilidad de las mismas. Finalmente, el algoritmo debe tener en cuenta criterios de escalabilidad y flexibilidad para hacer posible su aplicación en áreas grandes.

## PALABRAS CLAVE

Predicción, Optimización, Planificación, Toma de decisiones, Smart cities.

## ABSTRACT

Waste collection is one of the most important services that cities provide. Optimization possibilities from the exploitation of collected data are very interesting, although, all the restrictions that apply must be considered.

The work to be carried out consists of the development of models and tools for the design of a filling waste container prediction system, from which to subsequently carry out optimal planning of routes or other strategic actions.

These models will provide key software components to determine, at a certain point in the future, what will be the filling status of a container, as well as to know when it would be filled, if it is not emptied before.

The system must consider historical filling level data. This data is used to adjust the different models, but also to verify it. On the other hand, the input variables should be selected according to their degree of relevance in the prediction, considering the availability of them. Finally, the algorithm must consider criteria of scalability and flexibility to make it possible to apply in large areas.

## KEYWORDS

Prediction, Optimization, Planning, Decision making, Smart cities.

## **INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS**

La recogida de residuos es uno de los servicios más importantes que las ciudades proporcionan.

La hipótesis de trabajo que se plantea es la siguiente. Se estima que a partir de la información pesaje de la recogida de los contenedores, mediante sensorización en los camiones, y a partir de información de contexto (distintas series de datos), mediante el uso de técnicas de machine learning, se pueden mejorar los sistemas de gestión de recogida de residuos.

Por tanto, el objetivo principal que se plantea es la investigación y desarrollo de los modelos y herramientas necesarios para el diseño y validación de un sistema de predicción de llenado de los contenedores, a partir del cual poder realizar posteriormente la planificación óptima de rutas u otras actuaciones estratégicas.

En concreto buscamos:

- Predecir la curva de llenado de cada contenedor (ventana de tiempo  $t$  y error admisible).
- Generar rutas óptimas en base a planificación dinámica de rutas, cuantificando el ahorro económico en el servicio, impacto mediambiental y confort del ciudadano (ruidos, olores, afectación al tráfico).
- Conocer dónde, cuándo y porqué se generan los residuos, lo cual debería ayudar a la toma de decisiones a medio plazo para la optimización del sistema.

## **METODOLOGÍA**

### **Caracterización**

El objeto de esta actividad es definir las variables, restricciones, objetivos relacionados con la estrategia del modelo de negocio y su influencia en el problema de la gestión de la recogida los residuos sólidos urbanos. Además, se realizará un análisis y diseño previo del sistema de información. Las especificaciones obtenidas en la tarea anterior serán traducidas a objetos, relaciones y procesos programables, que serán la base del sistema de información.

Es fundamental la correcta identificación de las variables y su influencia en los objetivos marcados.

Algunas variables que se tendrán en cuenta son: variables climatológicas, calendario de festivos, tipo de residuos, datos socioculturales, capacidad de los contenedores, información del estado de tráfico, restricciones viales, capacidad de carga de los vehículos, etc

En un segundo paso, se analizarán las fuentes de datos identificadas y su integración, los procesos de filtrado de los datos, los escenarios y casos de uso del sistema, así como las interfaces que den respuesta a los mismos.

### **Revisión sistemática de la literatura (SLR)**

En esta actividad se realizará la búsqueda y análisis de la bibliografía científica de los trabajos existentes relacionados con la temática del proyecto, para confirmar el enfoque del mismo. A continuación, se muestran algunos avances al respecto.

De acuerdo a [1] y [2], la actividad de recogida representa aproximadamente el 80% de todos los costes asociados a la eliminación de residuos

En esencia, la recogida de residuos es un problema de enrutamiento de vehículos (en inglés Vehicle Routing Problem, VRP) o problema del viajante [3]. Esto implica buscar una solución para dar servicio a una cantidad de clientes con una flota de vehículos.

El problema del viajante es uno de los problemas clásicos de programación lineal entera de tipo NP-duro. En los problemas de tipo NP duro es a menudo deseable obtener soluciones aproximadas, que pueden encontrarse más rápido y pueden ser suficientemente buenas para ser útiles en la toma de decisiones [4].

El uso de sistemas SIG modernos hace posible calcular el aumento acumulado de las rutas de recogida de residuos. Esta información se puede usar para diseñar rutas con pequeños aumentos acumulados para ahorrar combustible [5].

También los gobiernos locales han realizado muchas intervenciones y cambios en los servicios de recogida de residuos sólidos urbanos para cumplir con los nuevos requisitos reglamentarios. Estos cambios incluyen la recogida separada de materiales reciclables y orgánicos [6].

### **Predicción del nivel de llenado: datos de prueba**

En esta actividad se persigue la obtención de primeras aproximaciones al modelo de predicción de llenado. Para este cometido se ha tomado un conjunto de datos obtenido de la ciudad de Edimburgo que cubre unos 3 meses y un conjunto reducido

de contenedores [7]. Las tareas a realizar son cuatro: normalización de los datos, análisis de los datos, estudio y aplicación de distintos modelos de predicción y, por último, comparación de técnicas o modelos de predicción (métricas error).

## **Obtención de conjuntos amplios de datos**

En paralelo a la tarea anterior es necesario gestionar la obtención de datos de mayor alcance, tanto temporal como en número de contenedores o área abarcada. Esto es fundamental puesto que los modelos que se obtengan serán tanto más válidos cuanto mayor calidad y cantidad en los datos manejados. Se está gestionando la obtención de un conjunto de datos de la ciudad de Cádiz que cubriría un mayor periodo de tiempo, si bien no abarcaría toda la ciudad. Además, se están realizando gestiones para obtener datos de otros ayuntamientos españoles a través de una empresa especializada en software de recogida de residuos urbanos.

## **Implementación de los modelos en un conjunto amplio de datos.**

El modelo inicialmente obtenido se extenderá a un conjunto amplio de datos y se implementará en herramientas tales como Matlab, R, Python.

Con estas herramientas se reducirán los pasos manuales aportando un cierto grado de automatización a las tareas relativas a normalización de los datos, análisis de los datos, aplicación de los distintos modelos de predicción, comparación de los mismos y validación de resultados parciales obtenidos.

## **Optimización de rutas**

Tras un análisis preliminar de diferentes alternativas, todo indica que se optará por un modelo VRPPD (Problema de enrutamiento del vehículo con recogida y entrega).

El modelo además debe considerar las restricciones del:

- CVRP (Problema de enrutamiento del vehículo con capacidad)
- VRPMT (Problema de enrutamiento del vehículo con viajes múltiples).
- Contenedores con un llenado parcial. Esto es, su nivel de llenado no exige ni recogida, pero en función de su localización, debe estudiarse si es conveniente o no realizar su recogida.

Es por tanto un problema complejo, cuya resolución hace que sea necesario la aplicación de diferentes técnicas heurísticas para su resolución en un tiempo

adecuado.

## Elaboración de informes y artículo científico

A partir de los resultados de las actividades anteriores, se elaborarán diversos informes con el objetivo de obtener el impacto de los diferentes modelos. Se podrán utilizar herramientas para la visualización de forma gráfica de los resultados, así como para la simulación bajo diferentes escenarios. Adicionalmente se trabajará en la publicación de artículos científicos que evidencien el cumplimiento de la hipótesis inicial.

## Elaboración de conclusiones

Como actividad final, se realizará un documento que recoja las conclusiones de todo el estudio.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como resultados parciales a la fecha actual podemos mostrar algunas de las caracterizaciones realizadas del problema.

**Tabla 1.** Predicción de llenado.

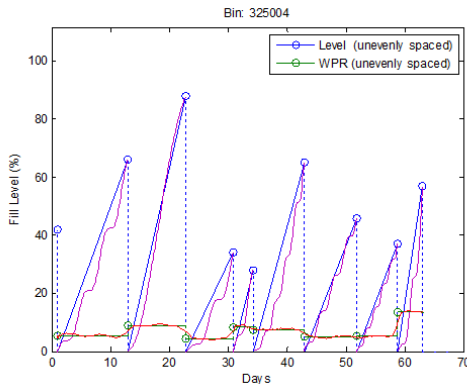
Tipo	Variables
General	Datos socioculturales, tales como número de habitantes por vivienda, tipo de actividad económica de la zona, etc.
Contenedores	Capacidad de los contenedores en función del tipo de residuo.
Camión	Capacidad de carga de los vehículos.
Geográfica	Tipología de las vías, considerando vías cortadas o con limitaciones de acceso impuestas por obras o festividades en la zona. Información del estado del tráfico. Localización y ubicación en acera de los contenedores.

**Tabla 2.** Estimación de rutas.

Tipo	Requisitos	Restricciones
General	Tipo de residuo, Hora de comienzo por tipo, Hora máxima de finalización por tipo, Densidad media por tipo de residuo	La recogida se tiene que planificar tratando de evitar que los contenedores se desborden.
Contenedores	Tipo de residuo, Llenado actual, Tasa de llenado, Tiempo medio de recogida, Volumen del contenedor, Tiempo de llegada a todos los demás contenedores.	Se parte de un conocimiento previo del tiempo de recogida de cada contenedor, así como de la distancia entre todos los contenedores.

Tipo	Requisitos	Restricciones
Camión	Costo de operación por minuto de uso, Capacidad máxima por tipo de residuo	Se considerará al coste de operación independiente de la velocidad. Un camión pueda realizar varias rutas por jornada.
Geográfica	Lugar de comienzo por tipo de residuo, Lugar de depósito por tipo de residuo	El algoritmo debe evitar que el camión pase dos veces por el mismo sitio

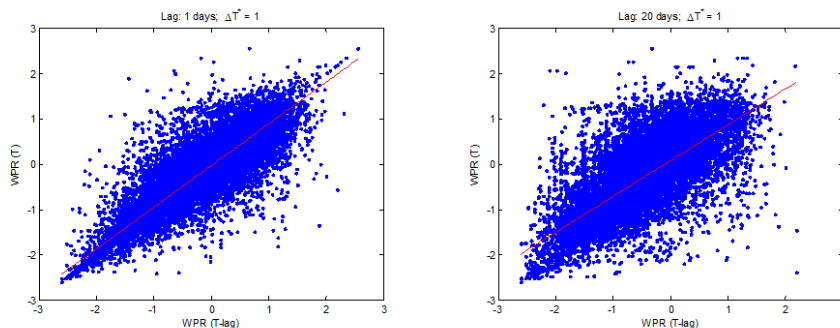
La siguiente gráfica se ha obtenido tras un análisis preliminar:



**Figura 1.** Nivel de llenado y tasa de producción de residuos (WPR) asociados a un contenedor (datos de Edimburgo).

Y se puede concluir que es más adecuado predecir la tasa de producción de residuos (derivada) frente al nivel de llenado, ya que los datos con los que trabajamos son únicamente los relativos a los instantes de recogidas. Por otro lado, las recogidas no se realizan con la misma periodicidad y por tanto es necesario remuestrear los datos de entrada al no estar trabajando con datos igualmente espaciados en el tiempo.

Por último, nos preguntamos si el valor de la tasa de producción de residuos (WPR) está o no relacionado con los datos anteriores (autocorrelación). Es decir, si se puede obtener algún tipo de predicción en base a los valores previos. La figura siguiente muestra esta relación para un periodo de muestreo uniforme diario y para dos retrasos diferentes: 1 días (un periodo anterior) y 20 días (20 periodos anteriores).



**Figura 2.** Relación entre el valor de la WPR en un instante y el valor un cierto tiempo anterior (retraso).

El resultado muestra claramente que ambos valores están claramente correlacionados (mejor en 1 días que en 20), lo cual invita a pensar que considerar los valores anteriores ayudará en la predicción de los próximos valores de la WPR.

## CONCLUSIONES

Una vez definido el problema de recogida de residuos urbanos y tras un primer tratamiento de los datos disponibles, podemos sacar diversas conclusiones preliminares, como son la diversidad de variables y restricciones que acompañan tanto al problema de predicción del llenado como a la optimización de rutas, la idoneidad de estudiar la WPR como consecuencia de no disponer de lecturas periódicas (y por tanto, la no conveniencia de estudiar el nivel de llenado en sí de manera directa, sino indirecta a través de la WPR) y la correlación existente entre el dato actual de WPR y los anteriores.

Como siguientes pasos, se seguirá avanzando en cada uno de los aspectos de la metodología definida, lo cual a su vez permitirá avanzar en el estudio completo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Clark, R. M. y Gillean, J. I. (1975). Analysis of Solid Waste Management Operations in Cleveland, Ohio: A Case Study. *Interfaces (Providence)*, 6(1-2), pp. 32-42.
- [2] Or, I. y Curi, K. (1993). Improving the efficiency of the solid waste collection system in Izmir, Turkey, through mathematical programming. *Waste Management & Research*, 11, pp. 297-311.
- [3] Toth, P. y Vigo, D. (2002). *The vehicle routing problem*.



- [4] Lüer, A., Benavente, M., Bustos, J., y Venegas, B. (2009). The vehicle routing problem: Extensions and resolution methods, state of the art. En *CEUR Workshop Proceedings*.
- [5] Beliën, J., De Boeck, L., y Van Ackere, J. (2014). Municipal Solid Waste Collection and Management Problems: A Literature Review. *Transportation Science*, 48(1), pp. 78-102.
- [6] Cole, C., Quddus, M., Wheatley, A., Osmani, M., y Kay, K. (2014). The impact of Local Authorities' interventions on household waste collection: A case study approach using time series modelling. *Waste Management*, 64, pp. 266-272.
- [7] Litter Bin Sensor project - Datasets - City of Edinburgh Council. (2016). [En línea]. Recuperado de: <https://data.edinburghopendata.info/dataset/litter-bin-sensor-data> [Accedido: 10-dic-2018].