

# EVALUACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE RUTAS DE RECOGIDA DE RESIDUOS EN CONTENEDORES DE LA ISLA DE LA PALMA

**José Andrés Moreno Pérez** – Instituto Universitario de Desarrollo Regional, Departamento de Ingeniería Informática y de Sistemas, Universidad de La Laguna

**Julio Brito Santana** – Instituto Universitario de Desarrollo Regional, Departamento de Ingeniería Informática y de Sistemas, Universidad de La Laguna

**Dagoberto Castellano Nieves** – Instituto Universitario de Desarrollo Regional, Departamento de Ingeniería Informática y de Sistemas, Universidad de La Laguna

**Airam Expósito Márquez** – Instituto Universitario de Desarrollo Regional, Departamento de Ingeniería Informática y de Sistemas, Universidad de La Laguna

**Christopher Expósito Izquierdo** – Instituto Universitario de Desarrollo Regional, Departamento de Ingeniería Informática y de Sistemas, Universidad de La Laguna

**Resumen:** En esta comunicación se presenta la metodología y resultados de una investigación para optimización de las rutas de recogida de residuos en la isla de La Palma. Para este trabajo se han utilizado los datos históricos proporcionados por ECOEMBES sobre las rutas empleadas en los últimos años para la recogida de los residuos de las fracciones amarilla y azul (envases mezclados y papel/cartón, respectivamente). Se trabaja principalmente de las ubicaciones reales de todos los contenedores distribuidos por la isla para la recogida de estas fracciones, las rutas seguidas por los camiones para recoger los contenedores en los últimos años y el nivel de llenado de cada uno de los contenedores en el momento de cada recogida. Se ha construido un prototipo para la planificación inteligente de las rutas óptimas de recogida compuesto de los siguientes módulos. Un modelo probabilístico matemático para estimar el nivel de llenado de cada contenedor en función del número de días desde la última recogida. Un algoritmo de optimización heurístico para diseñar y optimizar las rutas teniendo en cuenta el nivel de llenado de los contenedores y los tiempos de traslado entre los contenedores. Los resultados obtenidos muestran cómo la aplicación de los procedimientos propuestos permite aumentar eficiencia de la recogida mejorando de forma significativa varios indicadores medioambientales sobre el proceso de recogida.

**Palabras clave:** Recogida de Residuos, Optimización de Rutas, Algoritmos Heurísticos.

## Introducción

Los agentes públicos y privados implicados en la mejora del reciclaje tienen entre sus objetivos optimizar la eficiencia en la recogida de residuos. La información sobre las ubicaciones de los contenedores y la demanda asociada a la recogida de residuos en cada ubicación, sobre el detalle del trazado, tiempo y coste de los recorridos realizados por los vehículos de recogida entre tales ubicaciones permite valorar la operativa desarrollada y proponer mejoras en la planificación de las rutas de recogida actual. Para obtener las propuestas de mejora se aplican métodos inteligentes que aportan soluciones ajustadas a criterios de optimización reflejados a través de indicadores de rendimiento y eficacia en la recogida. Estas soluciones determinarán qué contenedores deben ser recogidos cada día y cuáles son las mejores rutas que deben recorrer los vehículos para dicha recogida.

## Metodología

Para llevar a cabo la evaluación y optimización de las rutas de recogida se analizó los datos históricos disponibles correspondientes a varios años con el detalle de las rutas seguidas por los vehículos de recogida que incluye los instantes en que se ha recogido cada contenedor y los niveles de llenado observados en el momento de la recogida. Esta información permite, por un lado, crear un modelo matemático con el que obtener el ritmo con el que se llena cada contenedor y estimar el volumen de residuo que se espera encontrar en función del tiempo transcurrido desde la última recogida. Por otro lado, la cantidad de tiempo transcurrida desde que se recoge un contenedor y que se recoge el siguiente contenedor por el mismo vehículo permite calibrar los tiempos de traslado entre las ubicaciones de los

contenedores que ofrecen los mapas y herramientas de localización de uso corriente en la actualidad. Con esta información se diseña un algoritmo inteligente de optimización heurística basado en GRASP (Resende & Ribeiro, 2016) que selecciona las rutas de recogida que recorren los contenedores que se encuentran a un mayor nivel de llenado. Las rutas son optimizadas con objeto de recoger la mayor cantidad de residuos posible. Además, se persigue reducir el tiempo de recorrido y así permitir incluir nuevos contenedores y mejorar los indicadores de eficiencia y rendimiento de la recogida.

## Resultados

La técnica de optimización desarrollada ha permitido realizar experimentos para comparar las rutas realizadas por el operador con las que resultarían de la aplicación de la estrategia inteligente (Expósito-Márquez et al. 2018). La Tabla I muestra la comparación entre algunas de las características más relevantes del conjunto de rutas obtenidas durante una semana del mes de octubre de 2017.

	<b>Escenario Simulado</b>	<b>Escenario Actual</b>
Número de rutas	10	13
Número de rutas. Papel	5	7
Número de rutas. Envases	5	6
Tiempo (h.)	65	128'9
Tiempo por ruta (h.)	6'5	9'915
Distancia (km.)	1383'924	1162'534
Distancia por ruta (km.)	138'392	89'426
Combustible (l.)	624'225	1238'729
Contenedores	788	1238
Contenedores. Papel	417	746
Contenedores. Envases	371	492
Contenedores por día	157'6	247'6
Contenedores desbordados	115	No conocido
Llenado de Contenedores (%)	78'995	61'113

*Tabla I. Comparativa de las rutas obtenidas.*

Llevando el análisis a los indicadores de eficiencia y rendimiento usuales en la planificación de la recogida de residuos para el reciclaje se obtiene la tabla II en la que se observa los beneficios que tendría la aplicación de la metodología propuesta mediante la implementación de las rutas obtenidas.

	<b>Escenario Simulado</b>	<b>Escenario Real</b>	<b>Uds.</b>
PAPEL: Kilogramos	72 211'77	93 289'470	kg.
ENVASES: Kilogramos	15 792'94	23 736'971	kg.
PAPEL: Kilogramos por hora	1111'71	254'809	kg./h.
ENVASES: Kilogramos por hora	243'134	184'045	kg./h.
PAPEL: Combustible por peso	0'009	0'068	l./h.
ENVASES: Combustible por peso	0'040	0'118	l./h.
PAPEL: Distancia por peso	0'009	0'005	km./kg.
ENVASES: Distancia por peso	0'046	0'028	km./kg.
PAPEL: Tiempo por peso	0'054	0'235	min./kg.
ENVASES: Tiempo por peso	0'247	0'326	min./kg.

*Tabla II. Comparativa de indicadores.*

En la figura 1 se puede observar una comparativa gráfica entre la ruta realizada por el camión de recogida y la ruta propuesta por el prototipo a modo de ejemplo concretada en un día del horizonte de planificación contemplada para una de las dos fracciones de residuos de las incluidas en esta investigación

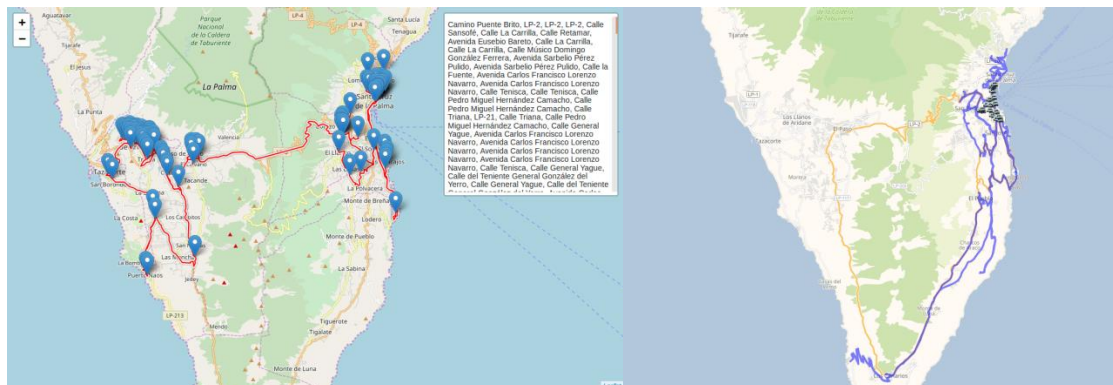


Figura 1. Comparativa gráfica de rutas para un día de muestra

## Conclusiones

La recogida de residuos y el reciclaje son actividades de alto impacto desde el punto de vista económico y medioambiental. Por medio del uso de técnicas de optimización inteligentes se puede explotar los datos existentes sobre esta actividad y mejorar indicadores clave como el consumo de combustible a la vez que se proporciona al ciudadano un mejor servicio. El prototipo desarrollado ha permitido realizar experimentos para comparar las rutas realizadas por el operador y las que se obtienen de la aplicación de la herramienta. El análisis de los resultados obtenidos permite concluir la efectividad del procedimiento y evaluar las mejoras conseguidas en términos de los indicadores medioambientales. En las tablas comparativas anteriores se observa como nuestra propuesta implica rutas de mayor recorrido pero realizadas en menor tiempo y acudiendo a contenedores con mayor nivel de llenado lo que se traduce en un mayor rendimiento en los indicadores que reflejan un aumento de la cantidad recogida por unidad de tiempo y menor consumo por volumen de recogida.

El sistema se puede mejorar con la incorporación de nuevos elementos de la realidad de la isla si se dispone de la información asociada como el efecto estacional, el impacto de la recogida en otros servicios y actividades económicas, la reubicación de puntos de recogida en función de nuevas demanda de los ciudadanos o el estudio de la potencial implantación de sensorización en los contenedores. Estos avances contribuirán a la mejora y validación exitosa de la herramienta desarrollada.

## AGRADECIMIENTOS

Estas investigaciones y desarrollos han sido financiadas por ECOEMBES. Las investigaciones también han sido apoyadas por el ministerio español de Economía y Competitividad con fondos FEDER (TIN2015-70226-R) y por la Fundación CajaCanarias (proyecto 2016TUR19). La labor de Airam Expósito Márquez está apoyada por la ACIISI y el Fondo Social Europeo (FSE).

## REFERENCIAS

- Expósito-Márquez, A., Expósito-Izquierdo, C., Brito-Santana, J., & Moreno-Pérez, J. A. (2018). Solving an Eco-efficient Vehicle Routing Problem for Waste Collection with GRASP. In International Symposium on Intelligent and Distributed Computing (pp. 215-224). Springer, Cham.
- Resende, M.G., Ribeiro, C.C., 2016. GRASP: The basic heuristic. Springer, New York.