



**Facultad de ciencias económicas y empresariales.**

# **APLICACIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS DE CIUDAD HETEROGÉNEOS APLICADOS A LA CIUDAD DE MÁLAGA.**

**Autora: Sara Toro Cuadra**

**Director: Enrique Díaz Plaza**

**MADRID | junio 2023**

## Índice

1. Introducción.....	6
2. Retos y problemática ciudades.....	8
3. Concepto y aplicación de Smart City.....	11
3.1. Qué es una Smart city.....	11
3.2. Por qué son necesarias las Smart cities .....	12
4. Casuística de la ciudad de Málaga y experiencia en la aplicación del paradigma de las ciudades inteligentes. ....	14
5. Problemática.....	17
6. Datos. Descarga, análisis y tratamiento. ....	21
7. Propuesta analítica.....	26
7.1. Ruta optima: planteamiento y elaboración. ....	26
7.2. Prototipo de plataforma informativa. ....	29
8. Resultados obtenidos de la ruta optima y la plataforma.....	32
9. Futuras líneas de investigación. ....	36
10. Conclusiones.....	38
11. Referencias .....	39

## **Resumen.**

Las ciudades de hoy están experimentando cambios rápidos y continuos, convirtiéndose en ecosistemas cada vez más complejos y dinámicos. Junto con este crecimiento viene una mayor demanda de energía, la realización de numerosas transacciones diariamente y la provisión de una amplia variedad de bienes y servicios. Pero también crea problemas como la contaminación y la generación de residuos sólidos municipales.

Para hacer frente a estos desafíos, se desarrolló el concepto de ciudad inteligente, una plataforma digital para mejorar el bienestar económico, social, ambiental de las ciudades y sus habitantes. El objetivo es promover un comportamiento más sostenible por parte de todos los actores de la ciudad, optimizar el uso de los presupuestos públicos y generar nuevos modelos de negocio. En resumen, es un sistema complejo que involucra múltiples actores y procesos interconectados, proporcionando un entorno ideal para la innovación.

Un claro ejemplo de ciudad inteligente es la ciudad de Málaga. El Ayuntamiento de Málaga ha realizado un gran esfuerzo con ENDESA para establecer el Living Lab de ENDESA Smart City Málaga. Con el objetivo de asociar el término 'ciudad inteligente' a Málaga, este laboratorio de innovación se centra en probar proyectos tecnológicos relacionados con las redes inteligentes. A través de esta colaboración entre Endesa y el Ayuntamiento, se han desarrollado diversos proyectos para profundizar en el análisis de la red eléctrica de Málaga y obtener conclusiones relevantes para abordar los retos actuales y futuros.

La gestión de residuos es un problema importante en las ciudades, incluida Málaga, y se necesitan soluciones eficaces. El crecimiento de la población y el consumo están generando una cantidad cada vez mayor de residuos, creando desafíos en términos de recolección, tratamiento y eliminación adecuada. Uno de los problemas más comunes es la ineficiencia en la recolección de desechos, ya que los camiones de recolección siguen rutas y horarios predeterminados. Esto puede dar lugar a que no se recolecten contenedores llenos o que se recolecten contenedores vacíos innecesariamente. Estos inconvenientes no solo conducen al uso ineficiente de recursos como el combustible y el recurso humano, sino que también incomodan a la ciudadanía al acumular basura en las calles.

Las ciudades inteligentes introducirán soluciones tecnológicas para hacer frente a este problema. Por ejemplo, los sensores se utilizan en los contenedores de basura para

monitorizar los niveles de basura. Estos sensores brindan información a una plataforma central que utiliza algoritmos y análisis de datos para optimizar las rutas de recolección. De esta forma, el camión de la basura puede ir directamente al contenedor lleno y evitar la recogida innecesaria de contenedores vacíos. Esto reduce el tiempo y los recursos dedicados a la recolección de basura, optimiza la economía de combustible y mejora la calidad de vida de los ciudadanos al evitar la acumulación de basura en las calles.

En resumen, las ciudades inteligentes buscan enfrentar los desafíos de acelerar el crecimiento urbano buscando soluciones sostenibles en áreas como la gestión de residuos. Mediante el uso de tecnologías innovadoras como sensores y análisis de datos, tiene como objetivo mejorar la eficiencia de la recolección de residuos y reducir el impacto ambiental de las ciudades al tiempo que promueve el bienestar de los ciudadanos.

### **Palabras claves.**

Ciudad inteligente, gestión de residuos, activos, ruta optima, plataforma informativa, recursos, optimización, IoT.

### **Abstract.**

Today's cities are undergoing rapid and continuous change, becoming increasingly complex and dynamic ecosystems. Along with this growth comes increased demand for energy, the conduct of numerous transactions daily and the provision of a wide variety of goods and services. But it also creates problems such as pollution and the generation of municipal solid waste.

To address these challenges, the smart city concept was developed, a digital platform to improve the economic, social, environmental and well-being of cities and their inhabitants. The aim is to promote more sustainable behaviour by all city actors, optimise the use of public budgets and generate new business models. In short, it is a complex system involving multiple actors and interconnected processes, providing an ideal environment for innovation.

A clear example of a smart city is the city of Malaga. Malaga City Council has made a significant effort with ENDESA to establish the ENDESA Smart City Malaga Living

Lab. With the aim of associating the term 'smart city' with Malaga, this innovation lab focuses on testing technological projects related to smart grids. Through this collaboration between Endesa and the City Council, various projects have been developed to deepen the analysis of Malaga's electricity grid and obtain relevant conclusions to address current and future challenges.

Waste management is a major problem in cities, including Malaga, and effective solutions are needed. Population growth and consumption are generating an increasing amount of waste, creating challenges in terms of collection, treatment, and proper disposal. One of the most common problems is inefficient waste collection, as collection trucks follow predetermined routes and schedules. This can result in full boxes not being collected or empty boxes being collected unnecessarily. These inconveniences not only lead to inefficient use of resources such as fuel and human resources, but also inconvenience citizens by accumulating litter on the streets.

Smart cities will introduce technological solutions to tackle this problem. For example, sensors are used in litter bins to monitor litter levels in real time. These sensors provide information to a central platform that uses algorithms and data analysis to optimise collection routes. In this way, the rubbish truck can go directly to the full bin and avoid unnecessary collection of empty bins. This reduces the time and resources spent on rubbish collection, optimises fuel economy, and improves citizens' quality of life by avoiding the accumulation of rubbish on the streets.

In short, smart cities seek to address the challenges of accelerating urban growth by finding sustainable solutions in areas such as waste management. Using innovative technologies such as sensors and data analysis, it aims to improve the efficiency of waste collection and reduce the environmental impact of cities while promoting the well-being of citizens.

**Keywords.**

Smart city, waste management, assets, optimal route, information platform, resources, optimisation, IoT.

## **1. Introducción.**

En los últimos años, el crecimiento acelerado de las ciudades ha generado diversos retos y problemáticas, especialmente relacionadas con la complejidad, diversidad e incertidumbre; que requieren soluciones innovadoras y sostenibles. La rápida urbanización, el aumento de la población, la escasez de recursos y la demanda de servicios eficientes y de calidad son solo algunos ejemplos de los desafíos a los que se enfrentan las ciudades contemporáneas actualmente y en el futuro próximo (Cortés, 2015).

En este contexto, surgen las Smart Cities como una solución prometedora para abordar los problemas mencionados y mejorar así la calidad de vida de los ciudadanos.

Nos referimos a Smart City como la aplicación de tecnologías de la información y de la comunicación (TICs) para optimizar la gestión de recursos, mejorar la eficiencia operativa de los servicios públicos, fomentar la participación de los ciudadanos y promover la sostenibilidad económica, social y ambiental. Las ciudades que aplican estas tecnologías utilizan sensores, dispositivos conectados, análisis de datos y plataformas digitales para recopilar información en tiempo real, tomar decisiones basadas en información y ofrecer servicios personalizados a los ciudadanos (Cruz, 2023).

En este trabajo se abordará la aplicación de las Smart Cities como una solución a los retos y problemáticas de las ciudades actuales, algunos de los principales desafíos que enfrentan las ciudades en la actualidad, como la movilidad urbana, la gestión de recursos naturales, la seguridad, la calidad del aire y el agua, y la participación ciudadana, y cómo las tecnologías y soluciones inteligentes pueden abordar estos retos y mejorar la vida de los habitantes de las ciudades.

Las Smart Cities son una respuesta a los problemas urbanos actuales y pueden ayudar a mejorar la calidad de vida de los ciudadanos. Las Smart Cities utilizan tecnologías digitales para mejorar la eficiencia y la sostenibilidad en áreas como el transporte público, la energía y el medio ambiente (Fundación Endesa).

También se destacarán ejemplos concretos de su aplicación en ciudades de todo el mundo, centrándonos en el caso de la ciudad de Málaga. Smart City Málaga destaca por ser un proyecto diseñado con el objetivo de cumplir con las directrices marcadas por Europa en materia de energía, las cuales impulsan la eficiencia, el uso de energía renovables y redes eléctricas avanzadas con capacidad de almacenamiento (Ayuntamiento de Málaga, s.f. - e). Además, se ha llevado a cabo un entorno real en el que se pueden testar proyectos que

pasan por todas las áreas de la tecnología de las redes inteligentes con el fin de establecer esta ciudad inteligente. Movilidad eléctrica, energía renovable integrada en la red, almacenamiento, ahorro energético y dispositivos de tele gestión son algunos de los proyectos que se han llevado a cabo en este laboratorio, llamado Living Lab (Endesa, 2021).

Esta ciudad andaluza es concebida como la ciudad con mayor proyección como Smart City, ocupando el sexto puesto en el ranking del índice Smart Cities España 2023 (ISCE 2023). Esta clasificación proponía una evolución integral del desarrollo de las ciudades inteligentes en España y se basa en una metodología que evalúa más de 200 indicadores.

Además, se abordarán los beneficios y desafíos asociados con la implementación de soluciones de Smart City, incluyendo cuestiones de privacidad, seguridad, inclusión y equidad.

En resumen, este trabajo ofrece una introducción a las aplicaciones de Smart City como solución a los retos y problemáticas de las ciudades actuales. Se examinará cómo las tecnologías inteligentes pueden mejorar la eficiencia, sostenibilidad y calidad de vida en las ciudades, y se analizarán los beneficios y desafíos asociados con su implementación. Todo esto se realizará a través de un caso práctico en la gestión inteligente de los residuos, centrándonos en la creación de rutas óptimas para optimizar el sistema de recogida, junto con un prototipo de plataforma informativa.

## **2. Retos y problemática de las ciudades.**

En la actualidad las ciudades se encuentran experimentando transformaciones continuas y rápidas, hacia ecosistemas cada vez más complejos, heterogéneos y dinámicos. Este crecimiento conlleva un aumento en las necesidades energéticas, la realización de millones de transacciones diarias, la provisión de una amplia variedad de bienes y servicios, pero también genera una gran cantidad de contaminación y residuos urbanos (Güel, 2019).

A su vez, el perfil de las personas que viven en las ciudades está evolucionando, con una creciente formación, conciencia de la salud y exigencia en su entorno. Esto implica que se reclamarán mejoras en la calidad de vida de los habitantes de estas ciudades.

En cuanto a los retos de las ciudades futuras, podríamos identificar los tres grandes rasgos propios de las ciudades contemporáneas, hablamos de la complejidad, la diversidad y la incertidumbre que acompañarán a la mayoría de los fenómenos urbanos.

Las ciudades grandes y medianas enfrentan el desafío de la complejidad en los procesos urbanos, lo que puede llegar a dificultar el análisis e incluso la elaboración de políticas urbanas. Si bien es cierto que las ciudades son sistemas complejos con capacidad de transformación y adaptabilidad a los cambios, también son vulnerables a degradarse rápidamente. Por esta razón, es importante entender la complejidad de la ciudad, teniendo así una visión informada del sistema urbano en lugar de un enfoque más estático. El segundo desafío es la diversidad, la cual se manifiesta en las diferencias funcionales de cada ciudad, aquello que la diferencia del resto, como su ubicación geográfica, vocación económica o estructura socio demográfica, además de la coexistencia de espacios variados dentro de una misma ciudad, como aquellos centrados con el turismo, el ocio, residenciales o “ciudad financiera”. El último gran reto es la incertidumbre inherente al futuro de las ciudades. Predecir con precisión como será una ciudad en los próximos años resulta difícil debido a la complejidad y dinamismo de los sistemas urbanos, en comparación con sistemas más estables y simples. Esta incertidumbre a menudo lleva a la tentación de abandonar la planificación a largo plazo y centrarse en acciones a corto plazo. Sin embargo, el prever el futuro de forma estratégica puede ser una herramienta valiosa para reflexionar sobre el devenir de la ciudad. Puesto que dicho ejercicio permite analizar la incertidumbre, valorarla y manejarla, es esencial para la planificación a largo plazo de las

posibles grandes transformaciones que experimentan las ciudades en la actualidad (Fernández Güel, 2015).

Estos cambios presentan desafíos significativos y en constante evolución, y, además, según el informe de “Ciudades y Ciudadanos en 2023” elaborado por la Fundación PwC (PricewaterhouseCoopers, 2014), podemos categorizar dichos cambios en cuatro áreas principales:

En primer lugar, nos encontramos con retos de carácter social, en el que observamos desafíos sociales derivados de la economía de mercado, nuevos modelos de familia y diversidad cultural entre otros. En este ámbito es importante trabajar centrados en el ciudadano, consiguiendo así avances en la reducción de la exclusión social, mejorando la calidad de vida de todos los habitantes, fortaleciendo el tejido social y avanzando hacia la igualdad social. Por otro lado, cabe destacar lo importante que es disminuir la brecha urbana, identificada así por las Naciones Unidas, es decir la distancia social y las conclusiones que supone esta.

Además de los retos sociales, nos encontramos con los retos económicos asociados con las ciudades, lo que implica la búsqueda de mayor eficiencia en la prestación de servicios, la globalización, la integración de las pequeñas y medianas empresas en una economía globalizada, y el papel fundamental que supone la tecnológica y avances en innovación en el desarrollo económico a nivel local, regional y nacional.

Por otro lado, destacan los retos ambientales, convirtiendo la eficiencia en un objetivo principal en la gestión urbana. Este objetivo implica la oferta de una mayor cantidad de servicios a un menor coste, teniendo en cuenta los tres pilares de la sostenibilidad: economía, ecología y sociedad; con el principal objetivo de mejorar la calidad de vida de los habitantes de la ciudad. Por último, nos encontramos con los retos gubernamentales. En este sentido, podemos observar como la ciudadanía cada vez más demanda participación en el desarrollo de su ciudad a través del uso de la tecnología. Para conseguir un sentimiento mayor de pertenencia a la ciudad es necesario la búsqueda de nuevas formas de participación ciudadana, innovación urbana, mayor eficacia en los procesos administrativos y en la prestación de servicios públicos, consiguiendo además una mayor transparencia en la gestión de los responsables municipales. Por lo que, como podemos comprobar es esencial mejorar la respuesta y calidad de la administración pública (PricewaterhouseCoopers, 2014).

En relación a lo anterior establecido por PricewaterhouseCoopers, la Fundación Telefónica, a través de su informe: “Smart Cities: un primer paso hacia la Internet de las cosas”, nos plantea los retos concretos asociados con las áreas anteriores, como la gestión de recursos limitados, la provisión de servicios públicos, la movilidad urbana, la eficiencia energética y la sostenibilidad aplicada a todos los ámbitos, comprobando así la importancia de desarrollar y aplicar la tecnología disponible con el fin de mejorar estos aspectos centrándonos en la calidad de vida del ciudadano (Fundación Telefónica, 2011).

En conclusión, con el fin de abordar estos desafíos, es necesario promover la sostenibilidad en sus tres principales dimensiones, económica, social y ambiental, a través de políticas y acciones que fomenten la eficiencia energética, la reducción de la contaminación, la gestión adecuada de los residuos, la inclusión social, la equidad y la participación ciudadana. Sin embargo, también ofrecen oportunidades para impulsar un desarrollo urbano sostenible e incluso, mediante políticas y acciones integrales que promuevan la eficiencia, la innovación, la equidad y la participación ciudadana.

### **3. Concepto y aplicación de Smart City.**

#### **3.1. Qué es una Smart city.**

El concepto Smart City (ciudad inteligente en español) define aquella ciudad construida en base a tecnologías de la información y de la comunicación con el fin de compatibilizar infraestructuras críticas, componentes y servicios públicos, haciéndolos más efectivos, eficientes y accesibles para la ciudadanía (Albino, Berardi y Dangelico, 2015).

En una definición más amplia, una ciudad puede ser considerada inteligente si hay una inversión en capital humano e infraestructuras de comunicación, gestión inteligente de recursos a través de la gestión participativa, directamente en la promoción del desarrollo económico sostenible y alta calidad de vida. De hecho, a un nivel más verbal, una ciudad inteligente es una ciudad comprometida con el medio ambiente, tanto desde el punto de vista ambiental como en relación con los elementos histórico-culturales, con elementos arquitectónicos de vanguardia y una infraestructura equipada con soluciones tecnológicas avanzadas..., para facilitar la interacción de los residentes con los elementos de la ciudad y hacerles la vida más fácil (Cruz, 2023).

Las Smart City hacen uso de las TIC con el objetivo de hacer más interactivo y eficiente su infraestructura y que los ciudadanos sean más conscientes de dichos servicios y hagan uso de ellos.

El término “Smart City” e “Internet de las cosas” se encuentran intrínsecamente ligados en el contexto tecnológico. Ambos conceptos se basan en las comunicaciones M2M (máquina a máquina) y ambos promueven la creación de la futura internet. Dicha internet del futuro no solo se tratará de conectar a más personas, sino que tiene como objetivo crear un mundo digital en el que todo pueda estar conectado, desde dispositivos a objetos y elementos urbanos que antes carecían de esta capacidad. Esta “realidad en red” cambiará la forma de gestionar una casa, empresa, ciudad o incluso la economía de un país (Fundación Telefónica, 2011).

Smart City es una plataforma digital que cuya finalidad es la mejora de la economía, la sociedad, el medio ambiente y el bienestar de las ciudades y de los ciudadanos, además de fomentar un comportamiento más sostenible entre todos los agentes urbanos. Asimismo, permite aprovechar al máximo los presupuestos públicos y crear nuevos modelos de negocio, convirtiéndose en una plataforma ideal para la innovación. En

definitiva, es un sistema complejo y un ecosistema en el que participan múltiples agentes y procesos interrelacionados (Livelli & Livelli, 2022).

Descriptivamente, podríamos definir una Smart City como un entorno urbano con infraestructuras, redes y plataformas inteligentes, dotado de millones de sensores y colaboradores, incluyendo tanto personas como dispositivos móviles. Es capaz de escuchar y entender lo que sucede en la ciudad, lo que permite tomar mejores decisiones y proporcionar información y servicios adecuados a sus habitantes. Además, el uso de técnicas analíticas avanzadas en tiempo real crea una conciencia y comprensión sobre la ciudad, mejorando los servicios prestados (Fundación Telefónica, 2011).

La idea de una ciudad inteligente se basa en brindar información oportuna a las personas y a los objetos que la conforman. La Smart City integra el mundo digital y el mundo físico en un entorno urbano, convirtiéndose en un paso hacia el internet de las cosas (IoT) y el internet del futuro. Es importante destacar que las características de una ciudad inteligente no es algo permanente, sino más bien se trata de un proceso continuo de mejora por parte de las distintas partes interesadas.

### **3.2. Por qué son necesarias las Smart cities**

Es indudable que las ciudades inteligentes se convertirán en uno de los instrumentos más poderoso en materia de política pública en el ámbito urbano en los próximos años. La integración del uso de tecnologías de la información y comunicaciones en el desarrollo de una ciudad sostenible para el desarrollo económico y social de las economías de las ciudades y, por lo tanto, de los países.

Desde la perspectiva de los responsables de los servicios municipales, tener una ciudad inteligente ayudará a la gestión automatizada y eficiente de las infraestructuras urbanas, lo que tiene ventajas claras. Por un lado, supondrá una reducción significativa en el gasto y por otro lado los servicios prestados serán de mayor calidad. En la práctica, los beneficios serán aún más amplios e irán desde la posibilidad de crear nuevos servicios que respondan mejor a las necesidades específicas de cada ciudad hasta la posibilidad de identificar problemas futuros a los que enfrentarse el espacio urbano (Málaga Smart: Plan estratégico de innovación tecnológica 2018 - 2022).

Además, la implantación de Smart City en relación con la evolución de la ciudad es posiblemente considerada la mejor plataforma desde la que es posible plantear un entorno de innovación e incubación de nuevos negocios e ideas. Es por ello, que establece una herramienta que prioriza el crecimiento económico y desarrollo social. Además, no solo supone el desarrollo de las ciudades frente a problemas actuales; sino que actúa como una eficaz herramienta para la identificación y gestión de problemas futuros y las soluciones de estos (Colado et al., 2014).

De entre todos los aspectos positivos y objetivos que supone la implantación de Smart City en ciudades actuales, cabe destacar cinco fuentes de valor. En primer lugar, supondría una significativa reducción del gasto público, especialmente aquel dedicado a la provisión y gestión de los servicios públicos, los cuales se beneficiarían con una eficiencia y calidad superior a la actual. Asimismo, ofrece soporte a la toma de decisiones, identificando las necesidades específicas de la ciudad y el planteamiento de nuevos servicios. Ligado a la innovación, como plataforma para incubar nuevos negocios; con el fin de favorecer el desarrollo social. Y todo lo anterior, al mismo tiempo facilitando información en tiempo real, favoreciendo el grado de conciencia de los ciudadanos y mejorando la transparencia de la Administración (Iberdrola, s.f.).

En cuanto a los servicios que proporciona una Smart City cabe destacar la apuesta por la circularidad en todo aquello relacionado con la energía, la ciudad, los ecosistemas y en especial el ámbito digital; centrándose en la eficiencia energética y descarbonización; en los sectores de la energía, el agua, el transporte y la edificación, como establece el estudio y compromiso de transición energética de Endesa (Endesa, 2022).

El modelo de una Smart City se basa en cinco principales tendencias a resolver con la aplicación de las nuevas tecnologías en las ciudades. Estas tendencias son: la gestión eficiente del agua, la inteligencia artificial para la optimización de las ciudades inteligentes, la vigilancia y actuación policial predictiva, la movilización inteligente o Smart Mobility y Smart parking, y por último el riego inteligente (Mario, 2022)

Por otro lado, es importante destacar los principales servicios de una Smart City, aquellos objetivos que tiene o en los que se desea centrar: movilidad urbana, eficiencia energética y medioambiente, gestión de infraestructuras y edificios públicos, gobierno y ciudadanía, seguridad pública, salud, educación, capital humano y cultura, y e-commerce (Iberdrola, s.f.).

#### 4. Casuística de la ciudad de Málaga y experiencia en la aplicación del paradigma de las ciudades inteligentes.

Málaga es considerada un referente en el ámbito de las ciudades inteligentes gracias a sus iniciativas en distintas áreas; ahorro energético, promoción y atracción de investigación, desarrollo e innovación, fomentando el emprendimiento ligado con la reducción de los costes administrativos y de los servicios públicos. Dicha referencia viene determinada por la adopción de un enfoque sostenible y el impulso de varios proyectos innovadores que han hecho de Málaga una auténtica ciudad inteligente (Sánchez Teba, 2016).

El futuro de Málaga viene bajo el título “Smart Málaga”, basándose en la integración de cuatro elementos principales: el territorio, la ciudadanía, la tecnología y la innovación; todos ellos con un enfoque sostenible e integrador que busca alcanzar la máxima eficiencia de la ciudad y mejorar la calidad de sus habitantes. Es por ello por lo que se están llevando a cabo iniciativas para desarrollar la ciudad y lograr los mejores resultados posibles. De entre los proyectos llevados a cabo por la ciudad de Málaga desde hace tiempo, explicados en su plan estratégico de innovación tecnológica 2018 - 2022. El plan estratégico de innovación tecnológica incluye los proyectos que tienen como objetivo consolidar a la ciudad de Málaga como ciudad no solo inteligente, sino innovadora y tecnológica, además de referente de modernización y de innovación desde la investigación, el conocimiento y el uso de las nuevas tecnologías (Málaga Smart: Plan estratégico de innovación tecnológica 2018 - 2022).

Los proyectos contemplados en dicho plan estratégico se encuentran divididos en seis ámbitos: hábitat sostenible y seguro, movilidad inteligente, economía innovadora, infraestructura TIC, transformación digital y servicios al ciudadano.

El cambio climático y las consecuencias que atrae relacionadas con la falta de recursos supone un reto y objetivo de la ciudad de Málaga para la puesta en marcha de diversos proyectos **medioambientales**, centrándose en cambios de gestión de los recursos y el impacto de las actividades humanas. En cuanto a la **movilidad inteligente**, la puesta en marcha de diversos proyectos tiene como objetivo no solo anticiparse al crecimiento urbano sino, además, garantizar los desplazamientos de los ciudadanos de una forma cómoda, sostenible y segura. En cuanto a la **economía innovadora**, Málaga Smart se centra en el carácter innovador y tecnológico a través de iniciativas y el desarrollo de instalaciones dedicadas al emprendimiento y la aceleración, creando así un ecosistema para emprender, invertir y vivir. Por otro lado, el Ayuntamiento de Málaga, con la

colaboración del Centro Municipal de informática (CEMI) trabajan en el **ámbito de las infraestructuras TIC**, mejorando la eficiencia de la gestión de dichos servicios, suponiendo así un ahorro económico y un servicio de mayor calidad para los ciudadanos. En el marco de la **transformación digital** destaca la implementación de una plataforma de administración electrónica que facilita los procedimientos administrativos de forma electrónica. Todo esto focalizándose en el **ciudadano** como eje central, siendo protagonista en todos los proyectos que lleva a cabo Smart Málaga, mejorando los servicios que ofrecen y disminuyendo la brecha digital y tecnológica (Málaga Smart: Plan estratégico de innovación tecnológica 2018 - 2022).

La ciudad de Málaga lleva un largo recorrido de la mano de Endesa, de donde nació Endesa Smart City Málaga Living Lab; un entorno donde se centran en el testeo de proyectos de áreas de la tecnología centradas en las redes inteligentes, para lograr asociar el término ciudad inteligente con la ciudad de Málaga. A través de este laboratorio de innovación en la red eléctrica en Málaga, Endesa, con el apoyo del Ayuntamiento de dicha ciudad, han desarrollado un amplio abanico de proyectos que tienen como objetivo profundizar y alcanzar un análisis más completo y obtener conclusiones con el fin de afrontar los retos del presente y futuro. Cabe destacar la principal diferencia del Living Lab de Smartcity Málaga y el resto de las iniciativas de estudios, y es que esta ciudad reúne todas las tecnologías de las redes inteligentes además de contar con un entorno real de una manera rápida, segura y sistemática, donde poder aplicar los proyectos desarrollados. Formando parte del ecosistema del Grupo Enel, para la investigación y desarrollo de soluciones en la distribución eléctrica (Endesa, 2021).

Este laboratorio lleva en marcha desde 2009, y durante estos años se han centrado en buscar un modelo energético más eficiente y respetuoso con el medio ambiente, es por ello por lo que han llevado a cabo distintas iniciativas con el fin de conseguir un futuro energético sostenible haciendo participe al propio usuario (Endesa, s.f.).

Entre los proyectos desarrollados durante estos años en la ciudad de Málaga en distintos ámbitos, pero siempre relacionados con la eficiencia energética y el desarrollo sostenible, destacan los siguientes.

En materia de la movilidad, se ha llevado a cabo un proyecto llamado Green eMotion, basado en la difusión de vehículos eléctricos y el desarrollo de la electromovilidad; desarrollando nuevos modelos de negocio centrados en la búsqueda de una infraestructura

de recarga pública efectiva y eficiente; garantizando la conexión de todos los participantes, permitiendo así el acceso abierto y cómodo a los establecimientos de recargar por parte de los ciudadanos (Ayuntamiento de Málaga, s.f. – b).

Este proyecto no solo se centra en la infraestructura, sino también se ha llevado a cabo un estudio acerca de la energía o batería de los vehículos eléctricos y el almacenamiento de la energía en función de la red. Tras este análisis, han sacado diversas conclusiones; por un lado, la necesidad de disminuir el coste de las baterías de los vehículos y, por otro lado, la vista a medio plazo de la rentabilidad de este tipo de negocio, y la posible reducción de los costes de integración de dicha infraestructura, controlando la potencia y tiempo de recarga estimado (Comisión Europea, s.f.).

Asociado a esta misma área, nos encontramos con Zem2All, un proyecto desarrollado para conocer el impacto y la gestión de la movilidad eléctrica en la propia ciudad de Málaga, impulsando el uso de los vehículos eléctricos y las futuras infraestructuras disponibles en el desarrollo urbano sostenible (Ayuntamiento De Málaga, s.f. – d).

Como hemos podido comprobar, la ciudad de Málaga lleva años creando proyecto para la mejora de la vida del ciudadano, centrándose en la aplicación tecnológica como solución a diversos problemas mencionados.

Hoy en día destaca el aumento de la población, desarrollo económico y una rápida urbanización que trae por consecuencia un aumento de producción de residuos por población, esperando un aumento de hasta un 70% entre 2016 y 2050, según el Banco Mundial (Roa, 2022).

Este considerable y rápido aumento en la creación de residuos supone un gran reto en la gestión de depósito y recogida de los residuos para cada ciudad. Es por ello por lo que el presente trabajo se centra en la posible aplicación tecnológica como solución a una gestión inteligente de los residuos. Nos centraremos en los residuos generados de envases, papel y cartón y vidrio por ser los más comunes, y se llevará a cabo un cálculo basado en la geolocalización de los contenedores y el estado de llenado de estos con el fin de optimizar las rutas de recogida. Además, se ha creado un prototipo de plataforma informativa con el fin de mejorar la calidad de vida del ciudadano y hacerle partícipe de esta posible mejora tecnológica.

## **5. Problemática.**

La gestión de residuos en las ciudades, incluyendo Málaga, es una problemática importante que requiere soluciones efectivas. El aumento de la población y el consumo ha llevado a un incremento en la generación de residuos, lo que plantea desafíos en términos de recolección, tratamiento y disposición adecuada de los mismos. Uno de los problemas comunes es la falta de eficiencia en la recolección de residuos. Los camiones de recolección siguen rutas y horarios preestablecidos, lo que puede resultar en contenedores llenos que no son recogidos o, por el contrario, contenedores vacíos que se recogen innecesariamente. Esto no solo implica un uso ineficiente de los recursos, como combustible y personal, sino que también puede generar molestias para los ciudadanos debido a la acumulación de basura en las calles.

Una solución para mejorar la gestión de residuos en Málaga y en otras ciudades es implementar un sistema de gestión de residuos inteligente basado en sensores instalados en los contenedores. Estos sensores pueden medir el nivel de llenado de los contenedores y transmitir esa información a una plataforma centralizada. A través de esta plataforma, se puede optimizar la planificación de la recolección de residuos, asignando recursos de manera más eficiente y reduciendo los viajes innecesarios.

Con un sistema de gestión de residuos inteligente, se pueden obtener varios beneficios. En primer lugar, se optimizaría la recolección, ya que los camiones solo se dirigirían a los contenedores que realmente necesiten ser vaciados. Esto reduce los costes operativos y disminuye el impacto ambiental asociado con la recolección de residuos. Además, este sistema permite una respuesta más rápida a situaciones especiales, como eventos o días festivos, en los que la generación de residuos puede aumentar significativamente. Al recibir información en tiempo real sobre el nivel de llenado de los contenedores, se pueden ajustar rápidamente las rutas y horarios de recolección para hacer frente a las demandas específicas.

Otro aspecto importante es la concienciación ciudadana. Al contar con un sistema inteligente, se puede proporcionar retroalimentación a los ciudadanos sobre su comportamiento en relación con la generación de residuos. Esto puede incluir información sobre la separación adecuada de los materiales reciclables, incentivando así prácticas más sostenibles.

En resumen, la implementación de un sistema de gestión de residuos inteligente en base a sensores instalados en los contenedores puede mejorar significativamente la gestión de residuos en Málaga y en otras ciudades. Esta solución permite optimizar los recursos, reducir los costes operativos y promover la concienciación ciudadana en temas relacionados con la gestión de residuos. En este contexto, los contenedores inteligentes han surgido como una solución tecnológica prometedora. Estos contenedores deben incorporar sensores avanzados que permiten recopilar datos sobre su estado y funcionamiento, lo que brinda numerosos beneficios.

Los contenedores inteligentes se caracterizan por su capacidad de recopilar información precisa y relevante. Están equipados con sensores de llenado que utilizan tecnologías como ultrasonido para medir el nivel de ocupación del contenedor. Por otro lado, algunos incorporan sensores de temperatura y humedad. Esto es importante para poder detectar actos vandálicos relacionados con la quema de contenedores.

La conectividad de estos contenedores permitiría transmitir los datos recolectados en tiempo real a una red central, no es necesario conocer el llenado del contenedor en tiempo real, pero debe recolectar información con una frecuencia de actualización o muestreo de señal suficiente como para poder realizar una curva de comportamiento de llenado de este, y realizar un análisis predictivo del mismo. Además, estos sensores llevan baterías, por lo que la conexión en tiempo real supondría una reposición de baterías frecuente, y es costoso y difícil de realizar.

Conocer el estado de los contenedores de residuos aporta varias ventajas significativas. En primer lugar, la optimización de la recolección es posible gracias a los datos proporcionados por los contenedores inteligentes. La información sobre el nivel de llenado permite diseñar rutas de recolección eficientes, reduciendo viajes innecesarios y ahorrando tiempo y costes de combustible. Además, la gestión eficiente de recursos es otro beneficio importante, permite una mejor planificación del personal y los recursos necesarios para la recolección. Esto evita la sobrecarga de contenedores y la falta de espacio en momentos críticos. Otro aspecto relevante es la reducción de costes. La optimización de las rutas y la gestión eficiente de recursos supone una disminución de los costes asociados a la recogida de residuos. Además, el mantenimiento preventivo basado en los datos de los sensores puede evitar costosas reparaciones o reemplazos.

Por último, la mejora de la limpieza urbana es un beneficio visible para la comunidad. Al evitar la sobrecarga de los contenedores, se reducen los desbordamientos y la dispersión de residuos en las calles, mejorando la limpieza y la imagen urbana de las ciudades.

Para aprovechar la información proporcionada por los contenedores inteligentes, se pueden llevar a cabo acciones como la planificación de rutas eficientes basadas en los datos de llenado, la notificación y gestión proactiva de contenedores cercanos a su capacidad máxima, y la integración de estos datos en sistemas de gestión de residuos para una planificación más precisa y efectiva.

En conclusión, los contenedores inteligentes equipados con sensores brindan una solución tecnológica avanzada para la gestión eficiente de residuos. Su capacidad para recopilar datos en tiempo real sobre el nivel de llenado, peso y condiciones ambientales permite optimizar la recolección, gestionar eficientemente los recursos, reducir costes y mejorar la limpieza urbana. Aprovechar esta información proporcionada por los contenedores inteligentes puede generar mejoras significativas en la gestión de residuos a nivel local.

En respuesta a la problemática existente en la gestión de residuos y la escasez de información disponible, se ha llevado a cabo un proyecto de investigación con el propósito de desarrollar una plataforma de información para la monitorización y control del estado de los contenedores.

La plataforma de información del estado de los contenedores proporciona datos esenciales, como la ubicación precisa de cada contenedor, el porcentaje de llenado (variable generada para este estudio) y la consecuente urgencia de recolección. Estos datos en un futuro serían recolectados en tiempo real por los sensores de los contenedores y transmitidos a través de una red centralizada. Esto permite a los encargados de la gestión de residuos tener acceso inmediato a la información actualizada sobre el estado de los contenedores en diferentes ubicaciones de la ciudad.

Además, se ha llevado a cabo un análisis de las rutas óptimas para la recolección de los contenedores que presentan un porcentaje de llenado mayor al 99%. Este análisis se realiza con el objetivo de optimizar los recursos y minimizar los costes de transporte. Para ello, se ha utilizado un algoritmo de optimización de rutas teniendo en cuenta las ubicaciones de los contenedores con urgencia de recogida. Como punto de partida y llegada de estas rutas optimizadas, se ha seleccionado el centro de Limasa de Málaga, lo

que permite una mejor planificación y coordinación de las operaciones de recolección de residuos.

La implementación de esta plataforma de información del estado de los contenedores en un futuro puede acabar funcionando como una herramienta eficaz para mejorar la gestión de residuos. Si fuera posible acceder a los datos precisos, en tiempo real, sobre el llenado de los contenedores, las autoridades municipales y las empresas encargadas de la recolección pueden tomar decisiones informadas y oportunas. Esto implica una optimización de los recursos y una reducción de los costos asociados a la recolección de residuos.

Además, al contar con rutas optimizadas, se evitan trayectos innecesarios y se reducen los tiempos de desplazamiento de los vehículos recolectores. Esto no solo contribuye a la eficiencia del proceso, sino que también tiene un impacto positivo en la reducción de emisiones de gases, la congestión del tráfico y el ruido asociado a esta.

## 6. Datos. Descarga, análisis y tratamiento.

Los datos necesarios para la elaboración de este estudio han sido adquiridos del portal de datos abiertos del Ayuntamiento de Málaga. Al tratarse de un portal de datos abiertos, debería contar con un buen inventario de los distintos activos de la ciudad, que se encuentran clasificados por áreas: medioambiente, energía, infraestructura, transporte...

Cada conjunto de datos se encuentra disponible en varios formatos, como CSV, GEOJSON o SHP. Por otro lado, cada fichero cuenta con una breve descripción de este y de las columnas incluidas (variables) en algunos casos, incluyendo una previsualización disponible.

La elección de este recurso para obtener los datos necesarios se debe a la disponibilidad abierta de distintos conjuntos de datos, pudiendo elegir el deseado, además de una debida actualización y previsualización de los datos incluidos en cada fichero.

### Análisis de los datos.

En primer lugar, es necesario llevar a cabo un análisis de los datos obtenidos del portal de datos abiertos del Ayuntamiento de Málaga. En este caso nos hemos centrado en tres tipos de contenedores, y por ello partimos de tres archivos CSV (uno por tipo) con distintas variables en cada archivo. Para poder seleccionar las variables clave de este estudio, he llevado a cabo una primera exploración y análisis de los tres conjuntos de datos. En cursiva se muestra la descripción proporcionada en el portal de datos abiertos y a continuación, una breve descripción realizada a través del análisis exploratorio de cada variable.

Para el conjunto de datos asociado con los contenedores de envases, podemos observar las variables incluidas y una breve descripción de ellas. En este caso contamos con 7 variables descritas a continuación:

- **residuo:** *Tipo de residuo son: RSU (Residuo Sólido Urbano), ENVASES, INDUSTRIA, PAPEL/CARTON.*

Variable categórica que indica el tipo de residuo. Las posibles categorías del tipo de residuo son: RSU (Residuo Sólido Urbano), ENVASES, INDUSTRIA, PAPEL/CARTON.

- **recogida:** *Tipo de recogida: CARGA LATERAL, CAMPANA, CARGA TRASERA, CAMPANA - CHAPA, CAMPANA-PLASTICO, SOTERRADO SUPERIOR.*

Variable categórica que indica el tipo de recogida necesario para este contenedor.

- **volumen:** *Volumen del contenedor. Variable numérica.*
- **cantidad:** *Número de contenedores de este tipo en esta ubicación.*

Variable numérica que indica el número de contenedores de este tipo en esta ubicación.

- **tooltip:** *Descripción de interés.*

Variable de caracteres que indica una breve descripción del tipo de contenedor y el tipo de recogida.

- **Fecha de actualización de datos del contenedor.**
- **geometry:** *Localización georreferenciada.*

Localización indicada en pares de coordenadas.

Le siguiente fichero a observar es el relacionado con los contenedores de vidrio. En este caso, en el portal de datos abiertos no nos encontramos con una descripción de las variables que contiene el fichero. Al no contar con descripción preestablecida, indico el tipo de variable y si es posible su interpretación. Las variables que contiene este fichero son las siguientes:

- **geometry:** Localización georreferenciada en pares de coordenadas.
- **FID:** variable alfanumérica.
- **Ogc\_fid:** variable numérica.
- **Wkb\_geometry:** variable relacionada con la localización, en pares de coordenadas.
- **Name:** variable alfanumérica.

- **Description:** variable de caracteres. Indica la calle en la que se encuentra el contenedor, pero con formato incorrecto, ya que se muestran los caracteres especiales como acentuación o la letra ñ, con problemas de codificación y símbolos
- **Timestamp:** variable sin datos.
- **Begin:** variable sin datos.
- **End:** variable sin datos.
- **Altitudemode:** variable sin datos.
- **Tessellate:** variable numérica con valor -1.
- **Extrude:** variable numérica con valor 0.
- **Visibility:** variable numérica con valor -1.
- **Draworder:** variable sin datos.
- **Referencia:** variable alfanumérica.
- **Dirección:** variable de caracteres. Igual que la variable description, indica la calle, pero con errores de formato. ya que se muestran los caracteres especiales como acentuación o la letra ñ, con problemas de codificación y símbolos.
- **Lat:** variable numérica, indica la latitud del punto de coordenada, pero con formato numérico.
- **Lon:** variable numérica, indica la longitud del punto de coordenada, pero con formato numérico.

Si bien es cierto que en este fichero encontramos variables que no se encuentran en los dos ficheros adicionales, pero estas variables no contienen datos. La variable asociada con la dirección se encuentra expresada en un mal formato, por lo que no puede ser considerada para poder asociarlo con el distrito o barrio. Por otro lado, las variables alfanuméricas no pueden ser utilizadas debido a una falta de descripción de estas, igual sucede con las variables cuyos datos son numéricos para todas las entradas de datos.

Por último, el fichero de datos relacionado con los contenedores de papel y cartón, contienen las siguientes variables. Podemos comprobar que estas variables se asemejan a las contenidas por el fichero de contenedores de envases.

- **residuo:** *Tipo de residuo son: RSU (Residuo Sólido Urbano), ENVASES, INDUSTRIA, PAPEL/CARTON.*

Variable categórica que indica el tipo de residuo. Las posibles categorías del tipo de residuo son: RSU (Residuo Sólido Urbano), ENVASES, INDUSTRIA, PAPEL/CARTON.

- **recogida:** *Tipo de recogida: CARGA LATERAL, CAMPANA, CARGA TRASERA, CAMPANA - CHAPA, CAMPANA-PLASTICO, SOTERRADO SUPERIOR.*

Variable categórica que indica el tipo de recogida necesario para este contenedor.

- **volumen:** *Volumen del contenedor. Variable numérica.*
- **cantidad:** *Número de contenedores de este tipo en esta ubicación.*

Variable numérica que indica el número de contenedores de este tipo en esta ubicación.

- **tooltip:** *Descripción de interés.*

Variable de caracteres que indica una breve descripción del tipo de contenedor y el tipo de recogida.

- **Fecha de actualización de datos del contenedor.**
- **geometry:** *Localización georreferenciada.*

Localización indicada en pares de coordenadas.

En las variables asociadas con el volumen del contenedor, desconozco la unidad de medida de esta, por lo que no es útil ya que no aporta información de forma completa y coherente.

Tras lo mencionado, podemos llegar a varias conclusiones. Destaca la falta de homogeneidad entre los distintos ficheros de datos, cada fichero contiene unas variables distintas, y las que podrían ser comunes a todos (el código identificador), vemos que difiere el formato de un contenedor a otro. No en todos los ficheros podemos obtener información asociada al volumen del contenedor, por lo que esta variable no es útil para

nuestro estudio. Esto mismo sucede con el tipo de recogida que necesita cada contenedor, que sería útil para realizar una ruta según el tipo de contenedor y por consecuente el tipo de camión necesario para la extracción. Además, cabe mencionar la falta de actualización de estos ficheros, desconozco si todos los contenedores incluidos en los ficheros se encuentran disponibles hoy en día, si su localización sigue siendo la misma, o el estado en el que se encuentran (vandalismo). Con relación a esto, vemos la falta de actualización de los posibles actos vandálicos que han podido afectar a determinados contenedores, el único fichero disponible en el portal de datos y que contiene información relacionada con este aspecto no se encuentra actualizado, siendo la última actualización del 2014.

Otro aspecto que cabe mencionar es que además de la localización en parejas de coordenadas, pese a asociarlo a una calle, estas se encuentran escritas en distintos formatos en cada fichero, perdiendo así la homogeneidad y la posibilidad de asociarlas a barrios o distritos, además de mostrarse con caracteres especiales. Si la dirección fuera común en formato entre todos los ficheros y además existiera una variable que pudiera asociar esta dirección con el barrio o distrito podría suponer, en un futuro, llevar el análisis un paso más. De esta manera, se podría llevar a cabo un análisis de la disponibilidad de activos por barrios, que, junto a un análisis de la población por barrios, suponga un análisis en mayor profundidad, y la posible elaboración de ruta óptimas centradas en cada barrio.

Es por ello por lo que, de los tres ficheros obtenidos a través del portal de datos abiertos, solo hemos utilizado la variable asociada con la geolocalización de los contenedores. Además, por la falta de homogeneidad en las variables y en el formato de estas, se ha generado un identificador, una variable numérica consecutiva, para los contenedores disponibles en la base de datos. Por otro lado, no es posible hacer uso del resto de variables ya que carecen de datos asociados, y no aporta valor a este trabajo. Cabe mencionar que, en este caso, los datos no disponibles, no se trata de información omitida deliberadamente, simplemente no está disponible la información o datos asociadas con las variables mencionadas.

Este análisis exploratorio de las variables de cada fichero ha sido realizado a través de Excel, debido a la calidad de los datos, ya que muchas variables incluidas en los ficheros no contenían datos asociados a ellas, facilitando así el análisis de las variables.

## Gestión de activos.

Hemos podido comprobar que actualmente el portal de datos abiertos del Ayuntamiento de Málaga no cuenta con un inventario de activos de calidad, debido a la falta de datos, falta de homogeneidad entre ficheros e incluso falta de actualización de ellos.

Sin embargo, esta gestión de activos de manera correcta y eficiente supondría la posibilidad de implementar una política basada en la gestión de activos, estableciendo objetivos, metas y planes de acción. El sistema de gestión de activos de la ciudad basado en la norma nacional AENOR, permite alcanzar los compromisos derivados de su política, tomar decisiones, según sea necesario mejorando así su gestión y demostrar la conformidad del sistema con los requisitos de esta norma (AENOR, 2015).

El hecho de contar con un inventario de activos cuya información se encuentre sistematizada y planificada se podrá obtener información precisa del estado de conservación y la vida útil de los elementos e instalaciones de la ciudad, así se podrá mejorar las operaciones y el mantenimiento.

Es por ello por lo que es necesario la mejora de los datos proporcionados por parte del portal de datos abiertos del Ayuntamiento de Málaga, ya que como dicta esta mencionada norma, la buena gestión e inventario de activos permitiría alcanzar soluciones a problemáticas actuales de forma más precisa, mejorando así la vida de los ciudadanos.

### **7. Propuesta analítica.**

La parte cuantitativa aplicable al tema de esta investigación, la he dividido en dos componentes. Por un lado, nos centramos en la optimización de los recursos, creando una ruta óptima para aquellos contenedores que necesiten ser recogidos con urgencia. Y, por otro lado, nos encontramos con el prototipo de plataforma informativa acerca de la posición y estado de los contenedores.

#### **7.1.Ruta optima: planteamiento y elaboración.**

En primer lugar, para la creación de la ruta optima de recogida de los distintos tipos de contenedores, como he explicado anteriormente, he llevado a cabo una primera exploración de los datos en Excel, por facilidad de comprensión y análisis.

Una vez realizada la importación de los datos y adjuntar los datos generados aleatoriamente del porcentaje de llenado de los contenedores, se llevó a cabo un filtro

para aquellos contenedores cuyo porcentaje de llenado fuera mayor a 99% y diferenciando el tipo de contenedor. De esta manera tendría que convertir los datos, a un dataframe según el tipo de contenedor para poder trabajar con ellos.

Teniendo los tres dataframes de los datos para cada tipo de contenedor que contenía las coordenadas del punto de localización, el porcentaje de llenado y el número de identificación asociado. Realicé una primera visualización del polígono que generaban los puntos filtrados, para cada tipo de contenedor.

Sin embargo, esta primera visualización no me aportaba mucho, ya que necesitaba asociarlo a la localización concreta en la ciudad de Málaga y así poder generar la ruta según las calles y direcciones de ella.

Para ello era necesario mostrar los puntos en la ciudad, necesitando instalar una librería de Google Maps y conseguir la key para poder usar esta API, ya que las librerías asociadas a la representación de mapas y geolocalizar puntos dados no es viable sin este código de Google.

El siguiente paso para poder crear la ruta, era localizar el centro ambiental de Málaga, puesto que esta ruta se caracteriza por comenzar y finalizar en el mismo punto, el Centro Ambiental de Málaga, Los Ruices, localizado en las coordenadas (-4.508165, 36.740310). Para cada tipo de contenedor, mostré los datos en las coordenadas concretas en la ciudad de Málaga y de esta manera, mostré la ruta óptima que recorría todos los puntos mostrados.

Se ha llevado a cabo el cálculo de la ruta óptima dependiendo del tipo de contenedor, de esta manera se optimiza el tiempo de ruta de los camiones especializados en cada contenedor; de otra forma, realizarían trayectos más largos de lo necesario y no se podría llevar a cabo un buen reciclado posterior según el tipo de residuo.

El cálculo de la ruta óptima mencionada anteriormente ha sido elaborado con el paquete de librería disponible en RStudio, llamada Leaflet. Esta librería permite de una forma más sencilla y con una API de fácil comprensión, crear mapas interactivos de forma sencilla sin ser una limitación para sus capacidades.

Esta mencionada librería es una de las más populares en el entorno de JavaScript para poder realizar mapas interactivos, además es la seleccionada en páginas web como The New York Time o GitHub, y mencionada por especialistas en Sistemas de Información

Geográfica como OpenStreetMap. Es por ello por lo que este paquete en RStudio, facilita la integración y el control de mapas en RStudio (Grandes, 2021).

Destaca las características propias de esta librería, como la capacidad de componer mapas utilizando combinaciones arbitrarias de mosaicos de mapa, polígonos, marcadores, ventanas emergentes, líneas y GEOJSON; creando mapas directamente desde RStudio.

Estos mapas creados en RStudio, se caracterizan por la facilidad de incluirlos en documentos o aplicaciones como Shiny (permite crear aplicaciones web interactivas directamente desde R), y las características pueden ser aumentadas, utilizando los plugins contenidos en el repositorio de plugins de esta librería, parte de la potencia de Leaflet (Morales, 2022).

Es por ello por lo que se ha elegido centrar el estudio en base a esta librería, elaborando con ella la ruta óptima calculada. No solo por las características que ofrece, ni por la facilidad de uso, sino también porque el cálculo puede ser realizado en cualquier momento, incluso la elección del porcentaje límite de recogida. De esta manera, se puede realizar el cálculo de la ruta de manera rápida y eficaz momentos antes de que la empresa de limpieza se disponga a comenzar la ruta.

#### Beneficios ruta optima.

Una vez se ha llevado a cabo el cálculo de la ruta optima, podemos identificar una serie de beneficios directos a la implementación de este sistema de optimización de recursos para la empresa de recogida de residuos en la ciudad de Málaga.

Los beneficios que se ven directamente influenciados positivamente son aquellos relacionados con el núcleo urbano. La optimización de la ruta de los camiones de recogida supondría recorrer un trayecto más corto, pero de igual eficacia, recogiendo los contenedores necesarios en el momento de inicio de esta ruta. En primer lugar, destacaría la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas por los camiones, reduciendo así la contaminación producida por estos y el impacto positivo ambiental. Esto además tendría un impacto positivo en la empresa, mejorando la identidad corporativa y la imagen de esta.

Este impacto positivo en el área ambiental no solo sería visto influenciado por la reducción de CO<sub>2</sub>, sino también por una clara reducción de ruido, lo que tendría como beneficio global la mejora de la calidad de vida y la salud del ciudadano.

De manera interna, la empresa de recogida de residuos vería afectada positivamente su gestión de costes. Por un lado, debido a la reducción en carburante y por otro lado porque supondría una mejor gestión de la flota, utilizando los vehículos con capacidades adecuadas a la cantidad de contenedores (y volumen) en cada trayecto, todo esto realizando un buen servicio enfocado en la mejora del ciudadano.

Asimismo, un beneficio a futuro sería la implantación de una flota de vehículos eléctricos. Este cambio en la flota de los vehículos supondría un cambio en el cálculo de la ruta óptima de trayectos según el tipo de residuo a recoger. En este caso, debería realizarse el cálculo teniendo en cuenta el número de kilómetros recorridos en cada ruta, junto con un análisis de la autonomía de la batería de cada camión, se generaría el cálculo de ruta en función de las distancias recorridas, la urgencia de recogida de los contenedores y la batería del camión en ruta.

## **7.2. Prototipo de plataforma informativa.**

En segundo lugar, se ha llevado a cabo un prototipo de plataforma informativa a través del programa especializado en visualizaciones, Tableau.

Como hemos explicado anteriormente, las variables incluidas en los ficheros disponibles en el portal de datos abiertos del Ayuntamiento de Málaga no eran homogéneas, y en muchos casos no había datos asociados a ellas. Es por ello por lo que realice la selección de las variables necesarias para el análisis, eliminando así las que no aportaban información a este estudio.

Como hemos detallado anteriormente, las variables seleccionadas para esta investigación son las relacionadas con las coordenadas de los contenedores, separando los pares de coordenadas en longitud y latitud a través del análisis realizado en Excel. Debido a que esta variable no podía ser extraída de los datos del Ayuntamiento directamente, era necesario hacer una conversión del formato de los datos, y dicha manipulación se realizó a través de Excel, por comodidad y sencillez.

Una vez que había convertido los pares de coordenadas en las variables longitud y latitud de cada contenedor, se generó un número identificativo asociado a cada contenedor, debido a la falta de homogeneidad de formato en los archivos originales, y de esta manera se podía llevar a cabo un análisis más profundo del estado general de los contenedores.

Además de la variable categórica, tipo, que indica el tipo de residuo de cada contenedor, diferenciando entre: vidrio, papel y cartón y envases.

Posteriormente, para poder trabajar con Tableau era necesario llevar a cabo una transformación del formato de los datos, ya que esta herramienta trabaja con formato JSON para poder representar las coordenadas en el mapa. Es por ello por lo que realice esta conversión a través de RStudio, de formato Txt a JSON. Si bien estos primeros datos solo contenían el número identificativo, las coordenadas de su ubicación y el tipo de contenedor que se trataba no contenían la información relacionada con el porcentaje de llenado de cada contenedor.

Como hemos podido comprobar anteriormente, esta variable no existe en ningún archivo original, debido a la falta de implantación de sensores en los contenedores de Málaga. Es por ello por lo que se ha llevado a cabo una generación de datos aleatoriamente a través de RStudio. Una vez adjuntada esta nueva variable al fichero anterior, fue importado al programa Tableau para poder analizar estos datos también, aunque se traten de datos ficticios.

En este caso, los datos asociados al nivel de llenado serían los equivalentes a los datos que se consultarían en el momento anterior al inicio de la ruta de recogida. Esto quiere decir que, debido a que no tenemos datos reales de esta variable, se han generado suponiendo que la consulta y cálculo de ruta óptima se lleva a cabo momento antes de comenzar la ruta de recogida. De esta forma se consigue una mayor optimización de la ruta a realizar y además se podría realizar la distribución de los contenedores a los camiones justo antes de comenzar la ruta. Todo esto es susceptible a cambio, gracias a la librería elegida para el cálculo (mencionada anteriormente) puesto que se podría configurar con otro nivel de llenado en función de las necesidades y futuros análisis de predicción, de manera sencilla y rápida.

Una vez se ha realizado la importación de los datos a Tableau, se ha llevado a cabo un análisis de los datos disponibles desde distintas perspectivas. En primer lugar, podemos observar un mapa con la ubicación de todos los contenedores, permitiendo realizar un filtrado por tipo de residuo. Asimismo, se analiza el número de contenedores, el estado de llenado de ellos y el nivel medio de llenado de la totalidad de contenedores. De esta manera se ofrecen conocimientos para futuros análisis predictivos de la frecuencia de recogida de los contenedores o la tendencia de llenado a distintas horas del día. Por ello

es importante la implantación de los sensores y la medición de los datos cada hora o 30 minutos, ya que se obtendrían datos reales, sin verse afectados por la posibilidad de que se encontrara algún contenedor lleno en espacio, pero no en volumen debido a una mala deposición de los residuos.

#### Beneficios de la plataforma informativa.

Tal y como hemos visto en la implantación de un sistema de cálculo de ruta óptima, en este prototipo de plataforma informativa también obtenemos una serie de beneficios.

De manera general, los beneficios van asociados a los ciudadanos que es el cliente final de este servicio de optimización e información.

A través de la plataforma informativa los ciudadanos son partícipes de la gestión y estado de los activos de la ciudad, obteniendo información detallada de la ubicación de los distintos contenedores y los niveles de llenado actuales. De este modo, pueden decidir, basándose en la información propuesta, si es buen momento para bajar la basura o si deben depositarla en otro contenedor que este cerca, pero a un nivel de llenado distinto. Por otro lado, según el uso de la plataforma y las opiniones del ciudadano puedo saber si el servicio y análisis propuesto se está llevando a cabo de forma que se busque el beneficio del ciudadano.

La puesta a disposición de información relevante asociada con la gestión de residuos en la ciudad de Málaga no puede ser realizada en todo su potencial en estos momentos, debido a la falta de datos abiertos relacionados con el estado y las características de cada contenedor. Si la gestión de activos de esta ciudad se potenciara y contara con más variables y datos homogéneos se podría llevar a cabo una plataforma que explotara estos datos mejor, y generaría mayores beneficios y propuestas positivas para el ciudadano. Algunos ejemplos son, la notificación automática al cliente a medida que pueda ser depositados los residuos en sus contenedores cercanos, la capacidad de notificar del estado de algún contenedor por actos vandálicos, un área de solicitudes para que los ciudadanos puedan solicitar la recogida de residuos de mayor volumen o incluso un sistema de información en tiempo real del estado y nivel de llenado de los contenedores que deseen conocer.



Imagen 2: elaboración propia.

La ruta óptima obtenida para los contenedores de vidrio es:

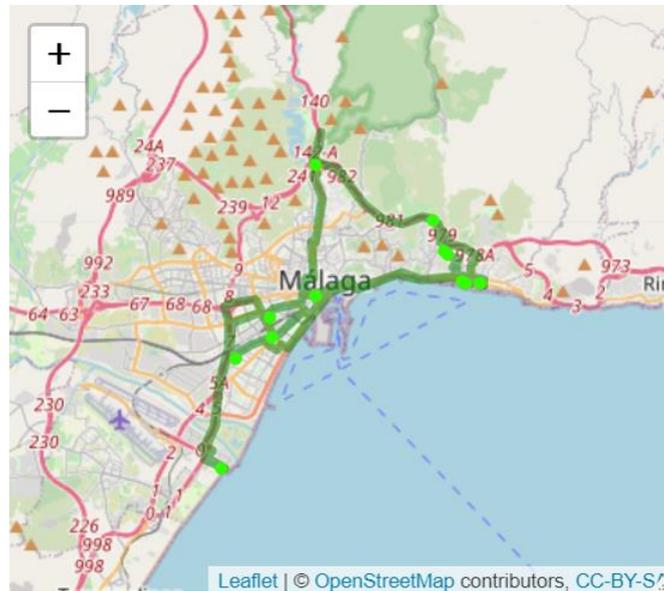


Imagen 3: elaboración propia.

Como hemos explicado anteriormente, los datos asociados al nivel de llenado de los contenedores han sido generados aleatoriamente a través de RStudio, debido a la falta de datos relacionados con este tema. Por lo tanto, cada vez que el código se ejecute, se generarán diferentes porcentajes de nivel de llenado, lo que implicará cambios en las coordenadas de los contenedores cuyo nivel supere el 99%.

Si los datos fueran en tiempo real, o actualizados diariamente, obtendríamos distintas rutas óptimas según el día o momento del día, como hemos mencionado anteriormente. Esto permitiría realizar un análisis más preciso y adaptado a las necesidades específicas de cada día, considerando factores como días festivos o momentos del año que requieran una mayor afluencia de camiones.

Por otro lado, el prototipo de plataforma realizado a través de Tableau tendría el siguiente aspecto:

En primer lugar, se mostraría el mapa con la ubicación exacta de los contenedores disponibles en la ciudad de Málaga, pudiendo filtrar por el tipo de residuo asociado a cada contenedor.

Prototipo de plataforma informativa.  
Gestión inteligente de residuos en la ciudad de Málaga

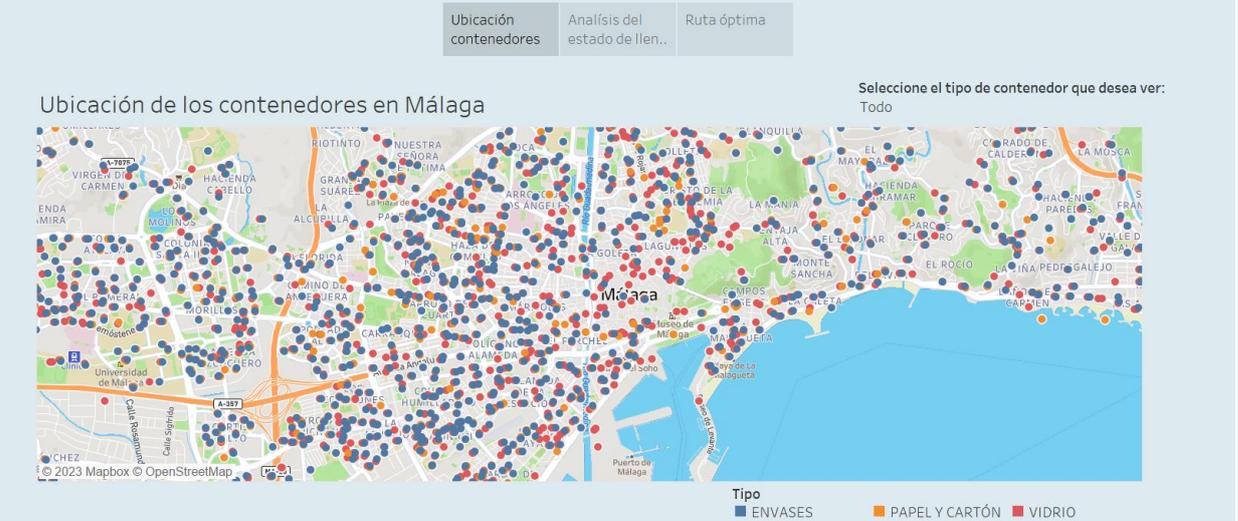


Imagen 4: elaboración propia.

A continuación, las siguientes vistas en la plataforma están asociadas al análisis mencionado anteriormente del estado de los contenedores en cuanto al nivel de llenado.

Primero contamos con una vista en la que se ofrece un análisis del estado general de los contenedores, diferenciando los tipos de residuos y además la tendencia de los contenedores general, con la media de llenado actual.

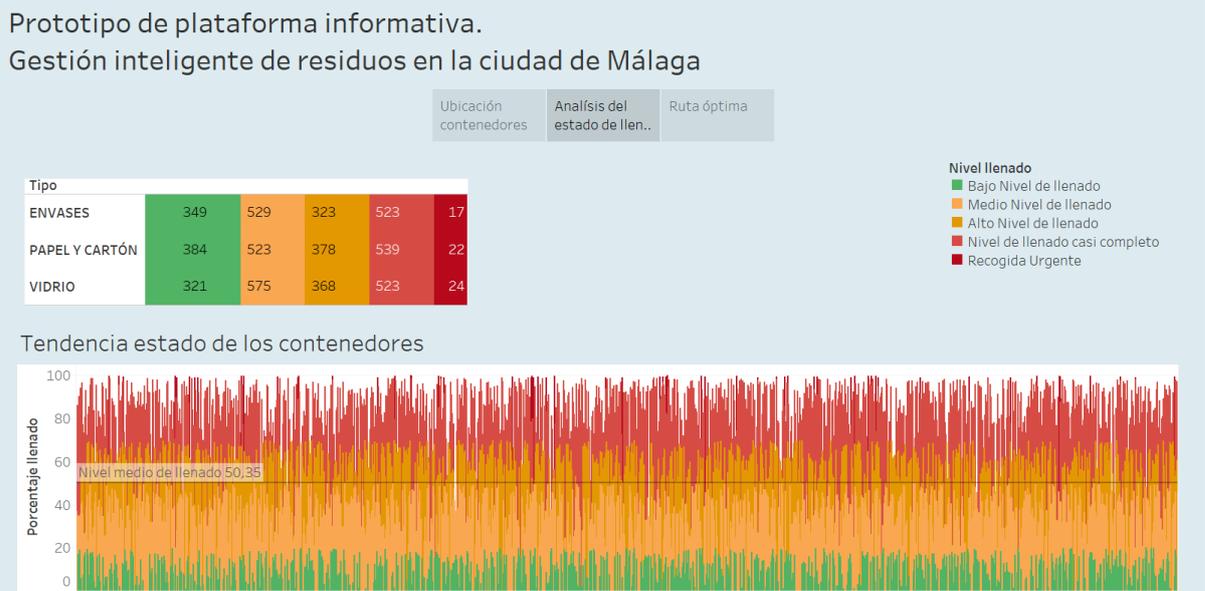


Imagen 5: elaboración propia.

La última vista, está asociada al cálculo de la ruta óptima de recogida de los contenedores indicados diferenciando por tipo de residuo. Podemos ver el número de contenedores cuya recogida es urgente al encontrarse a un nivel de llenado superior al 99% (como hemos establecido en este caso) y la ruta óptima de recogida de estos contenedores según el tipo de contenedor, que ha sido elaborada a través de RStudio.



Imagen 6: elaboración propia.

Como hemos explicado anteriormente, estas imágenes conforman a un prototipo de plataforma informativa hacia el ciudadano, con los datos actuales disponibles en el portal de datos abiertos junto con los generados relacionados con el nivel de llenado de cada contenedor. En el caso de que los datos relacionados con el estado de los contenedores sean de mayor precisión, realizando captación de datos con mayor frecuencia, se podrá realizar, como hemos explicado, un análisis predictivo mostrando así las tendencias de los contenedores. Estas tendencias supondrían a su vez, distintas necesidades de rutas, por lo que la optimización de recursos sería mayor, basada en momentos concretos en los que se necesite una mayor flota, anteponerse a situación extremas de necesitar recoger muchos contenedores a la vez y mejorar la eficiencia de recogida.

## **9. Futuras líneas de investigación.**

Si bien es cierto que durante la explicación del estudio realizado y posterior aplicación al campo analítico se han ido indicando posibles puntos de modificación futura, en este apartado se recapitulan estas posibles mejoras futuras.

En relación con los datos y según la norma citada anteriormente (AENOR), se espera una actualización de los datos disponibles, además de una mejora en las variables asociadas a los contenedores. Sería necesario la homogeneización de todos los ficheros asociados a un mismo tipo de activo, contenedores en este caso, de esta manera todos los ficheros disponibles tendrían incluidos las mismas variables y no habría que distinguir variables no comunes. Además, todas las variables contarían con datos asociados, no como sucede en la actualidad. Por otro lado, sería de especial interés, poder contar con datos asociados al nivel de llenado de los contenedores, para ello es necesario disponer de sensores instalados en los contenedores, para así realizar una recogida de datos con una frecuencia deseada con el fin de poder, no solo realizar un análisis descriptivo del estado de los contenedores en el momento que se consulte, sino también poder llevar un análisis predictivo. Al realizar un análisis predictivo, podrá configurarse la ruta óptima necesaria con antelación, optimizando así los costes y necesidades de la empresa, pudiendo además configurar la ruta según el nivel límite de llenado en cada momento deseado.

Continuando con los datos, destacaría la posibilidad de asociar la localización de los contenedores con el barrio o distrito en el que se encuentran. De esta manera se puede llevar a cabo un análisis más profundo de los residuos generados por población del barrio, y así modificar el sistema según el barrio. Esta capacidad de elección del tipo de contenedor y barrio a calcular supondría un sistema más concreto y centrado en las necesidades de cada barrio. Además, se podrían llevar rutas asociadas a los barrios de mayor necesidad de frecuencia de forma predictiva, anticipándose a la acumulación de residuos en zonas concretas y mejorando el servicio al ciudadano.

Por otro lado, el sistema de cálculo de la ruta óptima que, asociado con los datos de nivel de llenado, y gracias a la librería elegida para este cálculo, es posible seleccionar el porcentaje deseado. Así el sistema será susceptible a cambio según el momento de cálculo, reduciendo así con antelación los costes necesarios para llevar a cabo las distintas rutas de recogida. También cabe destacar la posibilidad de implantar una flota de camiones basada en camiones eléctricos, que supondría un cambio en el sistema, ya que

habría que calcular las distintas rutas óptimas según la autonomía de las baterías de los camiones.

Todas estas mejoras futuras, supondrán mayor beneficio para el ciudadano, ya que se podrá ofrecer un análisis más concreto y específico del estado de los distintos contenedores. Además de predicciones en momentos futuros, o dependiendo de días, horas e incluso zonas concretas.

## **10. Conclusiones.**

Tras haber realizado el presente trabajo, junto con la investigación acerca del concepto Smart city y las distintas propuestas actuales centradas en la ciudad de Málaga, hemos podido conocer con mayor profundidad la importancia de la aplicación del internet de las cosas en las ciudades actuales. La aplicación tecnológica en las ciudades supone mejoras para el ciudadano, mejorando la calidad de vida de este y haciéndole participe de las problemáticas asociadas con las ciudades hoy.

Relacionado con la gestión de residuos, como principal objetivo de este trabajo, podemos ver como la propuesta realizada de implementar un cálculo de ruta óptima para la recogida de los residuos y optimización de los recursos, no solo genera beneficios a la empresa que lo realiza, sino que también mejora la vida de los ciudadanos. Esta mejora de calidad de vida se ve reflejada en la posibilidad de acceder a información a través del prototipo de plataforma propuesto.

Si bien es cierto, este análisis podría realizarse con mayor profundidad, especializándose en analizar los datos de manera predictiva, creando así modelos de predicción de situaciones y necesidades a futuro, lo que supondría un mayor ahorro en costes y recursos, y una mayor eficiencia en la recogida de residuos. Para ello es necesario continuar con la implantación de la tecnología en los activos de las ciudades, comenzando con la instalación de contenedores inteligentes, basados en sensores que midan el estado actual de los contendores.

Con la creciente evolución y desarrollo de las ciudades actuales es necesario la mejora continua de ellas, y junto a ello el desarrollo de nuevas tecnologías e implementación con el fin de alcanzar soluciones y mejoras en gestiones diarias. Así en un futuro, los recursos se verán optimizados para conseguir sacar el máximo partido de ellos, optimizándolos, reduciendo costes y recursos externos necesarios.

Vista la tendencia de mejora tecnológica con la inteligencia artificial, será cuestión de tiempo el desarrollo e implantación de un sistema basado en las localización y estado de diversos activos, que ayude así a los ciudadanos a mejorar la calidad de vida, impulsando a una mayor tendencia de inclusión del ciudadano, facilitando información completa, libre, accesible y entendible por todos los ciudadanos a través de plataformas comunes al ayuntamiento.

## 11. Referencias

AENOR. (2015). UNE 178303: Ciudades inteligentes, gestión de activos de la ciudad, especificaciones. Madrid, España: AENOR.

Albino, V., Berardi, U., & Dangelico, R. M. (2015). Smart cities: Definitions, dimensions, performance, and initiatives. *Journal of urban technology*, 22(1), 3-21.

Angelidou, M. (2014). Smart city policies: A spatial approach. *Cities*, 41, S3-S11.

Colado, S. et al. (2014). Smart city: Hacia la gestión inteligente.

Comisión Europea. (s.f.). Green eMotion: Development and demonstration of a unique and user-friendly framework for green electromobility in Europe. <https://cordis.europa.eu/project/id/265499/es>

Cortés, J. J. S. (2015). El crecimiento urbano de las ciudades: enfoques desarrollista, autoritario, neoliberal y sustentable. *Paradigma económico*, 7(1), 127-149.

Cruz, M. R. (2023, 16 mayo). ¿Qué son las «Smart cities»? BBVA NOTICIAS. <https://www.bbva.com/es/las-smart-cities/>

De - Ayuntamiento De Málaga, C. M. (s. f.-a). Ayuntamiento de Málaga. <https://malagasmart.malaga.eu/es/index.html>

De - Ayuntamiento De Málaga, C. M. (s. f.-b). Green eMotion. <https://malagasmart.malaga.eu/es/movilidad-inteligente/movilidad-electrica/green-emotion/>

De - Ayuntamiento De Málaga, C. M. (s. f.-c). Hábitat Sostenible y Seguro. <https://malagasmart.malaga.eu/es/habitat-sostenible-y-seguro/index.html#.Y-0oPXbMK5c>

De - Ayuntamiento De Málaga, C. M. (s. f.-d). Movilidad Inteligente. <https://malagasmart.malaga.eu/es/movilidad-inteligente/index.html#.Y-0xPXbMK5c>

De - Ayuntamiento De Málaga, C. M. (s. f.-e). Smartcity Málaga. <https://malagasmart.malaga.eu/es/habitat-sostenible-y-seguro/energia/smartcity-malaga/#.ZDvexPzP25c>

De - Ayuntamiento De Málaga, C. M. (s. f.-f). Zero Emissions Mobility To All (ZeM2All). <https://malagasmart.malaga.eu/es/movilidad-inteligente/movilidad-electrica/zero-emissions-mobility-to-all-zem2all/>

Eenda. (s. f.). Málaga, a la vanguardia tecnológica de las Smart cities | Artículos y Reportajes de EySMunicipales. <https://www.eysmunicipales.es/articulos/malaga-a-la-vanguardia-tecnologica-de-las-smart-cities>

El proyecto Green eMotion invertirá para promover el coche eléctrico | APPI. (2011, 13 abril). APPI. <https://appi-a.com/el-proyecto-green-emotion-invertira-para-promover-el-coche-electrico/>

El Smart City Málaga de Endesa recibe el primer certificado europeo de Living Lab concedido a una eléctrica. (2017, 20 septiembre). Endesa. <https://www.endesa.com/es/prensa/sala-de-prensa/noticias/transicion-energetica/redes-inteligentes/smart-city-malaga-certificado-living-lab>

Endesa, C. D. (2021, 20 agosto). Living Lab de Smartcity Málaga. Endesa. <https://www.endesa.com/es/proyectos/todos-los-proyectos/transicion-energetica/redes-inteligentes/living-lab-malaga-ciudad-futuro>

Endesa, C. D. (2022, 25 enero). eCityMálaga, un proyecto que impulsa la transición a la economía circular. Endesa. <https://www.endesa.com/es/proyectos/todos-los-proyectos/economia-circular/ecity/ecitymalaga>

Endesa. (s.f.). Smart City Málaga, certificado Living Lab. Endesa. <https://www.endesa.com/es/prensa/sala-de-prensa/noticias/transicion-energetica/redes-inteligentes/smart-city-malaga-certificado-living-lab>

Endesa. (s.f.). ZEM2ALL viaja 46 millones de kilómetros y evita a la atmósfera 330 tn CO2. Endesa. <https://www.endesa.com/es/prensa/sala-de-prensa/noticias/transicion-energetica/movilidad-electrica/zem2all-viaja-46-millones-de-kilmetros-y-evita-a-la-atmosfera-330-tn-co2>

Fernández Güell, J. M. (2015). Ciudades inteligentes: la mitificación de las nuevas tecnologías como respuesta a los retos de las ciudades contemporáneas. *Economía industrial*, (395), 17-28.

Fundación Endesa. (s.f.). Smart City. Fundación Endesa. <https://www.fundacionendesa.org/es/educacion/endesa-educa/recursos/smart-city>

Fundación Telefónica (2011). Smart Cities: un primer paso hacia la internet de las cosas.

Güell, J. M. F. (2019). Planificación estratégica de ciudades. Reverté.

Grandes, J. L. G. (2021). 10 cosas que quizá no sabías de Leaflet. MappingGIS. <https://mappinggis.com/2017/10/10-cosas-quiza-no-sabias-leaflet/>

Iberdrola. (s. f.). «Smart cities»: la revolución tecnológica llega a las ciudades. Iberdrola. <https://www.iberdrola.com/innovacion/smart-cities#:~:text=Automatizaci%C3%B3n%20y%20control%20de%20edificios.,inteligente%20de%20los%20residuos%20s%C3%B3lidos.>

IESE (2020). Cities in Motion. <https://media.iese.edu/research/pdfs/ST-0542.pdf>

Livelli, F. M. R., & Livelli, F. M. R. (2022). Smart City – Tendencia 2022. InnovaciónDigital360. <https://www.innovaciondigital360.com/iot/smart-city/smart-city-tendencia-2022/>

Mario. (2022, 16 febrero). Smart cities en 2022: las 5 más avanzadas y las 5 tendencias - Smart fenix. Smart fenix. <https://smartfenix.es/smart-cities-en-2022-las-5-mas-avanzadas-y-las-5-tendencias/>

Morales, A. (2022). OpenLayers vs Leaflet ¿cuál es mejor? MappingGIS. <https://mappinggis.com/2016/11/openlayers-vs-leaflet-mejor/#:~:text=Leaflet%20es%20una%20librer%C3%ADa%20para,The%20Washington%20Post%20o%20USAToday.>

PricewaterhouseCoopers. (s. f.). Ciudades y ciudadanos en 2.033. PwC. <https://www.pwc.es/es/publicaciones/espana-2033/ciudades-y-ciudadanos-en-2033.html>

Roa, M. M. (2022, 29 marzo). Un mundo de residuos. Statista Infografías. <https://es.statista.com/grafico/27140/desechos-solidos-municipales-generados-per-capita-al-ano/>

Sánchez Teba, E. M. (2016). Percepción del ciudadano de las políticas Smart City: el caso de la ciudad de Málaga.

Smart city. (s. f.). Endesa. <https://www.fundacionendesa.org/es/educacion/endesa-educa/recursos/smart-city>

ZEM2ALL viaja 4,6 millones de kilómetros y evita a la atmósfera 330 Tn CO<sub>2</sub>. (s. f.). Endesa. <https://www.endesa.com/es/prensa/sala-de-prensa/noticias/transicion-energetica/movilidad-electrica/zem2all-viaja-46-millones-de-kilometros-y-evita-a-la-atmosfera-330-tn-co2>