



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

ADE

Facultad de Administración  
y Dirección de Empresas /UPV

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Facultad de Administración y Dirección de Empresas

Modelo de optimización para maximizar el cubrimiento de  
la distribución de fuentes PUSDAR en la ciudad de  
València

Trabajo Fin de Grado

Grado en Administración y Dirección de Empresas

AUTOR/A: Moreno Maynero, Vicente

Tutor/a: Villa Juliá, María Fulgencia

Cotutor/a: Sánchez Anguix, Víctor

Director/a Experimental: Karpova Krylova, Yulia

CURSO ACADÉMICO: 2023/2024

# Agradecimientos

Quiero dar las gracias a mis dos mejores amigos, María y Kike, por vivir esta aventura conmigo.

A mi novia, María, por acompañarme y darme todo el apoyo del mundo.

A mi hermana, Laura, por ser la persona en la que pienso cuando me preguntan qué quiero ser de mayor.

A mis padres, por apoyarme incondicionalmente.

A Ful, Víctor y Yulia, por guiarme en este trabajo de la mejor manera posible.

## Resumen

La correcta distribución de los elementos de una ciudad permite maximizar la eficiencia de los recursos beneficiando al conjunto de los ciudadanos, en concreto, las fuentes de agua filtrada y refrigerada PUSDAR permiten que cualquier ciudadano o visitante pueda acceder de manera gratuita a este recurso de especial importancia. Esta distribución puede venir dada por diversos factores, como la participación ciudadana o los puntos de interés a cubrir. Este Trabajo Fin de Grado desarrolla un modelo de optimización con el objetivo de maximizar la utilidad del conjunto de fuentes PUSDAR para los principales grupos de usuarios. El modelo se compara con la distribución actual de dichas infraestructuras de manera que puede servir de apoyo a la toma de decisiones de cara a futuros emplazamientos. La metodología seguida parte de datos abiertos para la obtención de la información y emplea un Sistema de Información Geográfica para el tratamiento de la información y la representación gráfica de los resultados. Además, se sustituye la concepción habitual de distancia por el concepto de isócrona con el objetivo de ajustar el modelo a la realidad de los usuarios. Por último, la comparación de la solución propuesta con la distribución real permite identificar que áreas de la ciudad son susceptibles de mejora, garantizando así un acceso adecuado para todos.

**Palabras clave:** Optimización, PUSDAR, Cubrimiento, Isócrona, Distribución.

## Resum

La correcta distribució dels elements d'una ciutat permet maximitzar l'eficiència dels recursos beneficiant al conjunt dels ciutadans. En concret, les fonts d'aigua filtrada i refrigerada PUSDAR permeten que qualsevol ciutadà o visitant pugui accedir de manera gratuïta a este recurs d'especial importància. Esta distribució pot vindre donada per diversos factors, com la participació ciutadana o els punts d'interés a cobrir. Este Treball Fi de Grau desenvolupa un model d'optimització amb l'objectiu de maximitzar la utilitat del conjunt de fonts PUSDAR per als principals grups d'usuaris. El model es compara amb la distribució actual d'aquestes infraestructures de manera pot servir de suport a la presa de decisions de cara a futurs emplaçaments. La metodologia seguida part de dades obertes per a l'obtenció de la informació i emprà un Sistema d'Informació Geogràfica per al tractament de la informació i la representació gràfica dels resultats. A més, se substitueix la concepció habitual de distància pel concepte de isòcrona amb l'objectiu d'ajustar el model a la realitat dels usuaris. Finalment, la comparació de la solució proposada amb la distribució real permet identificar que àrees de la ciutat són susceptibles de millora, garantint així un accés adequat per a tots.

**Paraules clau:** Optimització, PUSDAR, Cobriment, Isòcrona, Distribució.

## Abstract

The correct distribution of the elements in a city makes possible to maximise the efficiency of resources, benefiting the citizens as a whole. Specifically, the PUSDAR filtered and refrigerated water fountains allow any citizen or visitor to have free access to this particularly important resource. This distribution can be determined by various factors, such as citizen participation or the points of interest to be covered. This Final Degree Project develops an optimisation model with the aim of maximising the utility of the set of PUSDAR sources for the main user groups. The model is compared with the current distribution of these infrastructures in order to support decision-making for future locations. The methodology used is based on open data to obtain the information and employs a Geographic Information System to process the information and graphically represent the results. In addition, the usual concept of distance is replaced by the concept of isochrone in order to adjust the model to the reality of the users. Finally, the comparison of the proposed solution with the real distribution allows identifying which areas of the city are susceptible to improvement, guaranteeing adequate access for all.

**Key words:** Optimisation, PUSDAR, Coverage, Isochronous, Distribution.

# Índice general

<b>Agradecimientos</b>	<b>I</b>
<b>Resumen</b>	<b>II</b>
<b>Resum</b>	<b>III</b>
<b>Abstract</b>	<b>IV</b>
<b>1. Introducción y Objetivos</b>	<b>1</b>
1.1. Introducción . . . . .	1
1.2. Objetivos . . . . .	2
1.3. Estructura del documento . . . . .	2
<b>2. Marco teórico</b>	<b>3</b>
2.1. Fuentes PUSDAR . . . . .	3
2.2. Ciudades de los 15 minutos . . . . .	4
2.3. Missions València 2030 . . . . .	4
2.4. Procesos participativos . . . . .	6
2.5. Investigación operativa . . . . .	6
2.6. Modelos de localización . . . . .	7
2.7. Software de optimización . . . . .	8
2.8. Isócronas y Sistemas de Información Geográfica (SIG) . . . . .	8
<b>3. Descripción del problema</b>	<b>11</b>
3.1. Descripción general del problema . . . . .	11
3.2. Distribución actual de las fuentes PUSDAR . . . . .	12
3.3. Definición de las características de las isócronas . . . . .	13
3.4. Área y puntos de interés . . . . .	13
3.4.1. Área de trabajo . . . . .	13
3.4.2. Puntos de interés . . . . .	14
3.4.2.1. Actividad Física . . . . .	15
3.4.2.2. Turistas . . . . .	16
3.4.2.3. Jóvenes . . . . .	18
3.5. Posibles ubicaciones . . . . .	19
3.6. Datos utilizados . . . . .	20
<b>4. Metodología</b>	<b>22</b>
4.1. Revisión bibliográfica . . . . .	23
4.2. Análisis del estado actual del problema . . . . .	23
4.3. Diseño de modelos de optimización . . . . .	24
4.4. Implementación de modelos de optimización . . . . .	25
4.5. Evaluación y discusión de resultados . . . . .	25

<b>5. Modelización matemática</b>	<b>27</b>
5.1. Modelo 1: Cubrimiento total	27
5.1.1. Parámetros	28
5.1.2. Variables	28
5.1.3. Función objetivo	28
5.1.4. Restricciones	28
5.2. Modelo 2: Cubrimiento máximo	28
5.2.1. Parámetros	29
5.2.2. Variables	30
5.2.3. Función objetivo	30
5.2.4. Restricciones	30
5.3. Distribución actual	31
<b>6. Análisis de resultados</b>	<b>32</b>
6.1. Análisis de la distribución actual	32
6.2. Comparación de la distribución actual con las soluciones propuestas	35
6.3. Otros pesos para los grupos de interés	39
<b>7. Conclusiones</b>	<b>41</b>
7.1. Conclusiones	41
7.2. Líneas de trabajo futuras	42
<b>Anexos</b>	<b>43</b>
A. Relación del trabajo con los ODS	44
B. Guía para desarrollar un modelo de cubrimiento en planificación urbana	46
B.1. Selección de objetivos a cubrir	46
B.2. Selección de posibles ubicaciones	47
B.3. Uso de isócronas	47
B.4. Algoritmo de resolución	47
B.4.1. Parámetros	47
B.4.2. Variables	48
B.4.3. Función objetivo	48
B.4.4. Restricciones	48
B.5. Resultado	49
<b>Bibliografía</b>	<b>50</b>

# Índice de figuras

2.1. Imagen de la fuente PUSDAR de la plaza del Ayuntamiento de València . . . . .	3
2.2. Captura de pantalla del software QGIS . . . . .	9
2.3. Isócrona de 15 minutos andando desde el Oceanogràfic de València . . . . .	10
3.1. Ubicación actual de las fuentes PUSDAR en la ciudad de València . . . . .	12
3.2. Área de trabajo . . . . .	14
3.3. Ubicaciones de las estaciones Valenbisi en la ciudad de València y su afluencia . . . . .	15
3.4. Ubicaciones de las instalaciones deportivas públicas en la ciudad de València . . . . .	16
3.5. Ubicación de los museos y centros culturales con entrada de la ciudad de València y su afluencia . . . . .	17
3.6. Ubicación de los puntos accesibles para personas con movilidad reducida en la playa de la Malvarrosa . . . . .	17
3.7. Ubicación de los parques de más de 500m <sup>2</sup> de la ciudad de València . . . . .	18
3.8. Ubicación de los centroides de los parques de más de 500m <sup>2</sup> de la ciudad de València . . . . .	19
3.9. Ubicación de las fuentes convencionales en la ciudad de València . . . . .	20
3.10. Captura de pantalla de la herramienta Geoportal . . . . .	21
4.1. Diagrama de flujo que representa los pasos seguidos en este TFG . . . . .	22
4.2. Captura de pantalla de la herramienta OpenRouteService . . . . .	24
4.3. Captura de pantalla del editor de código Visual Studio Code donde se han resuelto los modelos de optimización . . . . .	25
6.1. Distribución de fuentes PUSDAR . . . . .	32
6.2. Distribución de fuentes PUSDAR y puntos de interés para el grupo Turistas . . . . .	33
6.3. Distribución de fuentes PUSDAR y puntos de interés para el grupo Actividad física . . . . .	34
6.4. Distribución de fuentes PUSDAR y puntos de interés para el grupo Jóvenes . . . . .	35
6.5. Distribución de fuentes PUSDAR propuesta por el Modelo 1 y puntos de interés . . . . .	36
6.6. Distribución de fuentes PUSDAR propuesta por el Modelo 2 . . . . .	36
6.7. Distribución de fuentes PUSDAR propuesta por el Modelo 2 y puntos de interés para el grupo Turistas . . . . .	37
6.8. Distribución de fuentes PUSDAR propuesta por el Modelo 2 y puntos de interés para el grupo Actividad física . . . . .	37
6.9. Distribución de fuentes PUSDAR propuesta por el Modelo 2 y puntos de interés para el grupo Jóvenes . . . . .	38
6.10. Ubicaciones sugeridas por el Modelo 2 modificado y puntos de interés para el grupo Turistas . . . . .	40

# Índice de tablas

- 3.1. Listado de calles o plazas donde se encuentra una fuente PUSDAR a fecha de mayo de 2023 . 12
- 5.1. Parámetros del Modelo 2 . . . . . 30
- 5.2. Variables del Modelo 2 . . . . . 30
  
- B.1. Parámetros del modelo . . . . . 48
- B.2. Variables del modelo . . . . . 48

# Capítulo 1

## Introducción y Objetivos

### 1.1. Introducción

El acceso al agua corriente es un elemento esencial para cualquier comunidad y población. En un contexto de ciudades en constante expansión y crecimiento, se hace altamente necesario planificar la distribución de los recursos hídricos para poder garantizar un acceso equitativo y suficiente para cualquier ciudadano. En este sentido, no basta con garantizar el suministro de agua corriente en las viviendas, también es necesario asegurarlo en otros muchos aspectos del día a día.

El ocio, el turismo y los desplazamientos diarios son acciones repetidas constantemente por personas de numerosos lugares de toda Europa, incluyendo por supuesto la ciudad de València. Por ello, es necesario garantizar el acceso al agua corriente para cualquier persona durante el ejercicio de las mismas, independientemente del poder adquisitivo o del punto de la ciudad en el que se encuentre.

Otro factor muy importante a tener en cuenta es el cambio climático y la transición hacia una sociedad neutra en carbono. València pretende ser neutra en carbono para el año 2030 [19] y, para ello, necesita de medidas y acciones que impulsen esta misión. Una de las medidas que se están llevando a cabo por parte del Ayuntamiento de València es la instalación de fuentes de agua filtrada y refrigerada PUSDAR [18]. Esta medida ofrece una alternativa al agua embotellada, permitiendo el uso de botellas reutilizables y reduciendo el consumo de plástico.

Para determinar la ubicación de las fuentes PUSDAR, hay que tener en cuenta las necesidades tanto de la ciudad en sí misma como de la ciudadanía. En el caso particular de la capital del Turia, la distribución actual de las fuentes PUSDAR responde a dos factores: enclaves altamente turísticos y participación ciudadana. Esta distribución cuenta con la ventaja de cubrir excelentemente los puntos más visitados de la ciudad, así como de responder a las demandas de los vecinos más activos por medio de mecanismos de participación ciudadana como DecidimVLC [8]. Sin embargo, esto puede propiciar que ciertos puntos de distritos con una menor organización vecinal queden desatendidos. Sería más efectivo contar con una propuesta de ubicación que tenga en cuenta el mayor número de puntos estratégicos posible. De esta manera, la ciudadanía podría emitir su voto en estos procesos participativos de manera más informada. En este contexto, resulta conveniente la realización de un modelo de optimización que apoye la toma de decisiones acerca de cuál es la mejor ubicación para una fuente PUSDAR en la ciudad de València considerando, por un lado, las necesidades y prioridades de cada potencial usuario y, por otro lado, las restricciones presupuestarias que existen a la hora de planificar la ubicación de cualquier tipo de infraestructura. Por otro lado, cabe destacar que este modelo de participación ciudadana fue llevado a cabo por el anterior equipo de gobierno del Ayuntamiento, por ello, la herramienta de apoyo a la toma de decisiones debe ser útil también para un equipo técnico que pueda decidir futuros emplazamientos y no solo para la ciudadanía.

## 1.2. Objetivos

El objetivo de este TFG es crear una herramienta que permita ayudar a la toma de decisiones acerca de dónde ubicar una o varias fuentes PUSDAR en la ciudad de València. Todo ello, considerando la existencia de limitaciones, tanto técnicas como presupuestarias, a la hora de escoger ubicaciones. Por tanto, se pretende maximizar la utilidad en la instalación de un número limitado de fuentes PUSDAR, consiguiendo satisfacer a todos los potenciales usuarios por medio del cubrimiento del máximo número de puntos que le son de interés. En lo relativo a estos potenciales usuarios, se tratará de satisfacer la demanda de distintos colectivos, cada uno de ellos con unos hábitos y, por tanto, unos puntos de interés diferentes.

Por otro lado, se pretende utilizar el modelo de optimización para comparar la distribución actual de fuentes PUSDAR en el área de estudio, de manera que resulte sencillo identificar áreas que requieran ser reforzadas en futuras ampliaciones del número de fuentes en la ciudad.

Otra meta de este Trabajo Fin de Grado es la de contribuir al desarrollo sostenible de la sociedad. Por tanto, en el Anexo A se profundizará acerca de la contribución a los Objetivos de Desarrollo Sostenible de este proyecto.

## 1.3. Estructura del documento

Este Trabajo Final de Grado está formado por siete capítulos que se detallan a continuación.

- **Capítulo 1. Introducción y Objetivos:** en este capítulo se hace un recorrido por las motivaciones y objetivos de este TFG.
- **Capítulo 2. Marco teórico:** en este capítulo se detallan las herramientas teóricas que apoyan el desarrollo de la solución final.
- **Capítulo 3. Descripción del problema:** este capítulo se centra en todas las variables y consideraciones del problema planteado.
- **Capítulo 4. Metodología:** este capítulo detalla paso por paso todas las acciones llevadas a cabo desde la obtención de los datos hasta la representación de las soluciones propuestas.
- **Capítulo 5. Modelización matemática:** este capítulo se centra en el desarrollo de los modelos de optimización, diferenciando un modelo de cubrimiento máximo y uno de cubrimiento total.
- **Capítulo 6. Análisis de resultados:** este capítulo se centra en el análisis de los resultados y las diferencias entre los modelos.
- **Capítulo 7. Conclusiones:** Este último capítulo engloba las respuestas que arroja el TFG, así como las futuras líneas de investigación que pueden nacer a raíz del mismo.

## Capítulo 2

# Marco teórico

Este capítulo pretende proporcionar una visión general de los conceptos y tecnologías que se han utilizado en el desarrollo de este Trabajo Final de Grado. Se abordarán conceptos como las fuentes PUSDAR, la Ciudad de los 15 minutos, las Missions València 2030, los procesos participativos, la investigación operativa, los modelos de localización, el software de optimización, las isócronas y los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

### 2.1. Fuentes PUSDAR

Una de las medidas que se han llevado a cabo por parte del Ayuntamiento de València, a través de la Concejalía del Ciclo Integral del Agua, ha sido la instalación de fuentes de agua filtrada y refrigerada PUSDAR [18]. Estas fuentes son una alternativa sostenible al agua embotellada, ya que permiten recargar botellas reutilizables y reducir el consumo de plástico. Las fuentes PUSDAR ofrecen una serie de ventajas respecto a las fuentes convencionales. Por un lado, el agua que proporcionan está tanto filtrada como refrigerada, lo que la hace más apetecible; por otro lado, las fuentes PUSDAR dispensan el agua a un recipiente sin ningún tipo de contacto, lo que mejora la higiene y salubridad. Para una mejor comprensión del concepto de la fuente PUSDAR, se puede ver un ejemplo en la Figura 2.1.



**Figura 2.1:** Imagen de la fuente PUSDAR de la plaza del Ayuntamiento de València

Fuente: *ABC C.Valenciana*

La estructura de las fuentes PUSDAR consta de un poste rectangular de metal con una abertura amplia diseñada para colocar una botella reutilizable. Esta abertura está equipada con un sensor y un dispensador de

agua que se activa cuando detecta la presencia de una botella. Su uso es sencillo: el usuario acerca su botella al dispensador y la fuente empieza a dispensar agua. Una vez la botella está llena, al retirarla, el flujo de agua se detiene automáticamente.

La instalación de estas fuentes fue propuesta y aprobada por los vecinos de la ciudad a través de los presupuestos participativos DecidimVLC 2020-2021 [8], lo que demuestra el interés por su efectiva implementación.

## 2.2. Ciudades de los 15 minutos

Otro concepto clave en el desarrollo de este Trabajo Final de Grado es el de “Ciudad de los 15 minutos”. Este modelo de ciudad, ideado por el profesor de la Sorbonne University en París, Carlos Moreno, propone que todo lo necesario para el ciudadano se encuentra a menos de un cuarto de hora caminando o en bicicleta desde su hogar, desde el ocio hasta la educación [27]. Este modelo de ciudad busca reducir al mínimo el impacto social y ambiental que tienen los desplazamientos diarios de los habitantes de grandes ciudades como París, Barcelona o València. Se trata de una respuesta al hecho de que las ciudades sean cada vez más grandes y a que la población mundial vaya a aumentar hasta los 10000 millones de personas para el año 2030 [16]. Este aumento de las ciudades implica un importante reto para sus infraestructuras, así como para el manejo de la contaminación generada por los desplazamientos.

La intención de este concepto de ciudad es reconfigurar el urbanismo para que todos los servicios necesarios en la vida diaria de cualquier habitante se encuentren a una distancia que se pueda cubrir en 15 minutos a pie o en bicicleta. En concreto, comercios, escuelas, servicios médicos, gimnasios, parques, restaurantes e instituciones culturales. Este planteamiento significa un cambio sustancial respecto a la disposición actual de muchas ciudades, donde servicios esenciales pueden estar en puntos distantes a la ciudadanía. Sin embargo, el campus de Vera de la UPV es un ejemplo de como todos los servicios pueden quedar a menos de 15 minutos caminando.

En Europa, hay dos ejemplos reseñables de este concepto de ciudad. Por un lado, París trata de acercarse a este concepto utilizando las escuelas fuera de su horario lectivo como parques y centros culturales. Por otro lado, Barcelona ha integrado el concepto de “supermanzanas”, que restringe el tráfico rodado con la intención de promover la creación de zonas verdes y de descanso. Como se puede observar, varias grandes urbes están tratando de incorporar este concepto a su urbanismo desde diferentes enfoques, pero todas con un objetivo similar: acercar los servicios a la ciudadanía y alejar a los vehículos. Este modelo de ciudad ha sido la motivación para considerar 15 minutos como la distancia máxima entre una fuente PUSDAR y un lugar determinado en este Trabajo Final de Grado.

## 2.3. Missions València 2030

La solución propuesta por este Trabajo Final de Grado se alinea con la evolución de València. La ciudad se encuentra inmersa en un proceso de transformación social y urbana que busca crear una ciudad más saludable, sostenible, compartida y emprendedora. Este proyecto se enmarca bajo las Missions València 2030, un proyecto de futuro que busca fomentar la innovación y el talento de todos los agentes sociales y convertir a la ciudad en referente de innovación sostenible durante esta década [19]. Este proceso se organiza en torno a cuatro áreas de relevancia: ciudad saludable, ciudad sostenible, ciudad compartida y ciudad emprendedora. El proyecto llevado a cabo en este Trabajo Fin de Grado se sitúa especialmente en la categoría de ciudad sostenible, ya que busca mejorar la manera en la que se consume agua, haciendo accesible el agua refrigerada en cualquier momento sin la necesidad de consumirla embotellada, lo que permite reducir los residuos plásticos.

La primera de las misiones a las que se enfrentará la ciudad dentro del marco de Missions València 2030 es la Misión Climática. Esta misión, que pretende que València sea neutra en carbono en 2030, se articula bajo 8 retos [17]:

- **Movilidad sostenible**
- **Modelo energético**
- **Urbanismo y hábitat sostenibles**
- **Economía valenciana circular y sostenible**
- **Renaturalización**
- **Resiliencia y adaptación**
- **Gobernanza inteligente**
- **Educación e implicación social**

Este proyecto contribuye al reto de “Urbanismo y hábitat sostenibles”, puesto que busca aportar a los espacios públicos infraestructuras capaces de reducir el uso de botellas de plástico. Este reto se define como la “Adaptación y renovación de las infraestructuras, equipamiento, edificios y viviendas, públicos y privados, a fin de optimizar su eficiencia energética, minimizando la demanda de energía y emisiones de la ciudad en un escenario de neutralidad climática” [23]. En el contexto del desarrollo de este TFG, el objetivo es renovar parte de la infraestructura pública, más en concreto las fuentes de agua potable, con el objetivo de reducir la necesidad de utilizar botellas de plástico.

Gran parte del proceso de convertir la meta de esta década para la ciudad en un proyecto real recae sobre Las Naves, el centro de innovación social y urbana de la ciudad de València [25]. Este centro, directamente dependiente del gobierno local, tiene como misión canalizar la innovación circular para dar soluciones que mejoren la vida de la ciudadanía. Las Naves separa a los actores de la sociedad en cuatro hélices: sector público, sector privado, sector académico/investigador y sociedad civil. Este proyecto se posiciona dentro del sector académico.

Una de las últimas novedades de Las Naves es la creación del llamado Sandbox Urbano, un escenario de experimentación real pionero en Europa [29]. Este proyecto busca facilitar y permitir el uso de la ciudad a todos sus niveles con el objetivo de fomentar el desarrollo y experimentación de soluciones innovadoras en cualquier sector o rama del conocimiento, desde ingeniería a humanidades. La creación de este Sandbox Urbano es el entorno propicio para probar las soluciones de este proyecto, puesto que la ciudad propicia la creación de este tipo de soluciones innovadoras en un entorno real. Una de las grandes ventajas de la ciudad de València respecto a otras para la creación de este Sandbox Urbano es la gran infraestructura de datos abiertos de la que dispone. Según la Unión Europea, los datos abiertos son aquellos datos que a los que cualquier persona puede acceder, utilizar y compartir [2]. Para esto, los datos deben estar en un formato legible de manera sencilla por un ordenador y estar disponibles públicamente. Los datos abiertos se han convertido en una herramienta muy útil para la sociedad en general, ya que muchos gobiernos locales y nacionales, como el valenciano con Geoportal, han puesto a disposición de la ciudadanía grandes conjuntos de datos, desde el tráfico por un punto concreto de la ciudad hasta la ubicación de las fuentes de agua en la ciudad, y esto permite que proyectos como este dispongan de datos reales y fiables para sacar conclusiones acertadas y útiles para la sociedad. En el contexto de este problema, Geoportal permite conocer y utilizar de manera ágil información sobre la ubicación de mobiliario urbano, como las fuentes PUSDAR, así como de todo tipo de infraestructuras. Además, no es la única plataforma que ofrece este tipo de información, tanto el gobierno español [5] como el europeo disponen de plataformas similares.

Un reflejo de los esfuerzos que está llevando a cabo la ciudad en su compromiso por el desarrollo sostenible son los galardones europeos que ha obtenido en los últimos años. Dos premios que destacar son: Capital Verde europea 2024 [21] y finalista a Capital Europea de la Innovación 2022 [30].

## 2.4. Procesos participativos

El Ayuntamiento de València ha estado llevando a cabo una política de participación ciudadana durante los últimos años bajo la intención de involucrar a los vecinos y vecinas en la toma activa de decisiones. Esta política se ha traducido en unos procesos participativos llamados DecidimVLC, un mecanismo de participación ciudadana que consta de varias fases. En primer lugar, cualquier persona empadronada en València mayor de 16 años puede presentar propuestas de proyectos para algún distrito de la ciudad. Posteriormente, se abre una votación, con las mismas condiciones que las propuestas de proyectos, para dar apoyo a hasta cinco proyectos por persona. Estos proyectos deben contar con un mínimo de 30 apoyos para ser considerados. Los proyectos que pasan esta fase son evaluados por técnicos del Ayuntamiento que valoran si son viables y legales, además de presupuestar su coste. Finalmente, se abre una segunda votación donde toda la población de València mayor de 16 años puede votar varios proyectos de su distrito hasta un límite de presupuesto. Los proyectos más votados serán ejecutados hasta el límite del presupuesto [22].

## 2.5. Investigación operativa

La disciplina en la que se basa este proyecto es la investigación operativa. Esta trata de dar un enfoque científico a la toma de decisiones, ayudando a optimizar la asignación de recursos escasos en multitud de entornos, generalmente, donde conviven máquinas y operarios como es el caso de las fábricas, pero también en muchísimos otros contextos. La investigación operativa emplea herramientas cuantitativas para mejorar los sistemas del mundo real. La investigación operativa es una ciencia que, como cualquier otra, ha sido fruto de una evolución constante en multitud de ámbitos. El desarrollo actual de la investigación operativa utiliza desde la matemática y la física básicas de Euler o Bayes hasta la teoría de juegos de John von Neumann. Sin embargo, al igual que pasó con el GPS, fue la Segunda Guerra Mundial la que llevó esta disciplina a la primera línea y propició en gran medida su avance. Posteriormente, el gran avance en esta disciplina ha sido el desarrollo del método simplex por George Bernard Dantzig en 1947. La investigación operativa se centra en la creación y resolución de modelos cuantitativos, los cuales, buscan representar la realidad de una manera simplificada. Para ello, los modelos empleados en esta disciplina establecen unos objetivos a alcanzar o superar y unas restricciones que deben ser tenidas en cuenta. Por otro lado, aquello que se desea averiguar son las variables y los datos ya conocidos que no van a variar son los parámetros. Como se puede extraer de todos los elementos mencionados, el hecho de modelar un problema requiere de una gran comprensión del mismo, puesto que cualquier elemento importante ignorado puede llevar a resultados equivocados.

Las técnicas de resolución de un modelo pueden ser desde muy simples hasta muy complejas, dependiendo del grado de simplificación al que se pueda llegar en cada problema concreto. En línea con esto, las soluciones pueden ser exactas, si se llega a una solución exacta que se puede comprobar que es la mejor entre todas las posibles, o heurística, si se obtiene por aproximación y no se puede asegurar que sea necesariamente la mejor. Las técnicas utilizadas, en consonancia con lo anterior, van desde la resolución de ecuaciones lineales hasta el uso de algoritmos genéticos. Hay cuatro aspectos a tener en cuenta a la hora de resolver un modelo de optimización: factibilidad, optimalidad, sensibilidad e implementabilidad. La factibilidad se refiere al hecho de que la solución obtenida cumpla con las restricciones planteadas. La optimalidad significa que la solución obtenida sea la mejor entre las posibles, cosa difícil de conseguir si se emplean técnicas heurísticas. La sensibilidad se relaciona con la manera en la que los cambios en los parámetros cambian, o no, la solución. Por último, la implementabilidad considera si la solución es aceptable, principalmente, se relaciona con los recursos disponibles y con las preferencias de quienes lleven a cabo el proyecto. [11]

## 2.6. Modelos de localización

El problema que se aborda en este proyecto se clasifica como un problema de localización. Los problemas de localización se pueden englobar en una rama de la investigación operativa llamada Ciencia de Localización. Esta área se ha vuelto especialmente activa gracias a la necesidad de ubicar infraestructuras en todo tipo de industrias. La Ciencia de Localización consiste en determinar la mejor ubicación de uno o varios elementos con el objetivo de satisfacer unos determinados puntos de demanda. Esta disciplina ha ido evolucionando, al igual que el resto de la investigación operativa, gracias a la interacción con multitud de disciplinas como la economía, la geografía o la logística.

Las raíces de los modelos de localización los encontramos en el problema de Fermat, un problema geométrico que trataba de averiguar el punto en el plano que minimizaba la suma de las distancias a otros tres puntos. Este problema, tras resolverse para la geometría, se adaptó para cubrir el reparto de mercancía en entornos rurales. Esta disciplina fue evolucionando hasta Launhardt y Weber dando lugar a los primeros modelos de localización propiamente dichos. A partir de la década de los 60 ya se puede hablar de Ciencia de la Localización como una nueva área científica. Se puede hablar del problema  $p$ -mediano, de Miehle y Cooper, donde cada punto de demanda debe ser servido por una de las  $p$  instalaciones a ubicar. Posteriormente, Hakimi (1965) introdujo el concepto de minimizar la suma de las distancias a los puntos de demanda. En paralelo con esto, un importante avance en la disciplina son los modelos de programación lineal asociados a ellos, que permiten pasar del planteamiento de los problemas a la resolución de los mismos. Es reseñable el trabajo de Toregas et al. (1971) que propuso la primera formulación de programación entera para resolver problemas de localización. Actualmente, los problemas de localización se pueden categorizar, según el espacio en el que se pueden localizar los elementos, como continuos, en red o discretos. Se pueden categorizar también según el tipo de su función objetivo en cubrimiento, minsum o minmax. [9]

En el contexto del problema, la ubicación de una fuente PUSDAR está condicionada por varios factores: la disponibilidad de cableado eléctrico y agua corriente, y la necesidad de que se sitúen en zonas accesibles, evitando interiores de edificios o parcelas privadas. En definitiva, el problema de este Trabajo Final de Grado es un problema de localización discreta. Además, para asegurar el hecho de ubicar fuentes PUSDAR en lugares apropiados, se ha optado por usar como posibles localizaciones las ubicaciones de fuentes corrientes ya existentes, enfatizando el carácter discreto del problema. Los problemas de localización pretenden cubrir un área determinada. En el caso de este problema, se pretende cubrir la ciudad de València.

Según si el objetivo del problema es cubrir total o parcialmente el área de estudio, los problemas de localización se pueden realizar con modelos de cubrimiento total y modelos de cubrimiento máximo. Los modelos de cubrimiento total son aquellos en los que se busca cubrir toda la demanda con el mínimo número de instalaciones. Una limitación de estos problemas es que pueden resultar infactibles, generalmente, por falta de presupuesto para ubicar suficientes instalaciones en zonas remotas o también por restricciones geográficas. Estos modelos, aunque pueden arrojar una solución inviable, son una buena primera aproximación para tener un punto de partida de cara a agregar más restricciones o consideraciones realistas. Por otro lado, muchas veces existen limitaciones técnicas o presupuestarias que impiden que se pueda realizar un cubrimiento total. En estos casos, se requiere realizar modelos de cubrimiento máximo. En estos modelos, se busca maximizar la demanda satisfecha con un número dado de instalaciones [26]. En este trabajo se empleará un modelo de cubrimiento total, llamado Modelo 1, que buscará el número mínimo de fuentes PUSDAR necesarias para satisfacer la demanda de todo el área de estudio y un modelo de cubrimiento máximo, llamado Modelo 2, que buscará el máximo cubrimiento posible con el mismo número de fuentes PUSDAR que las presentes en la zona de estudio en mayo de 2023.

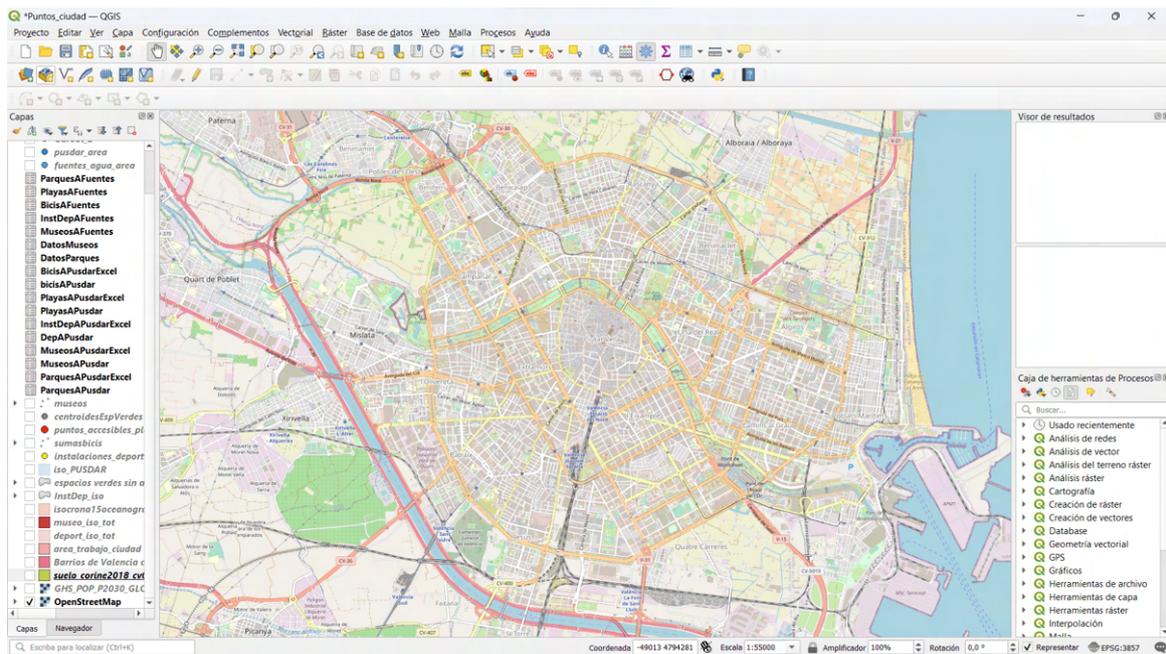
## 2.7. Software de optimización

Para pasar de un modelo de optimización a unos resultados es necesario emplear un software de optimización. Estos programas, que funcionan como solucionadores de un modelo planteado previamente, incorporan potentes algoritmos que tratan de hacer lo más breve posible el tiempo de ejecución. Gracias a los también llamados solucionadores de optimización, se puede mejorar la toma de decisiones en torno a la planificación, asignación y programación de recursos escasos [28]. En este proyecto se va a emplear el software de optimización Gurobi. Este software es una herramienta comercial utilizada por empresas como Ferrari, Starbucks o Microsoft para resolver problemas de gran complejidad de manera rápida. Cuenta con una API para Python que permite construir modelos eficientes de una manera relativamente sencilla para un programador poco experimentado. Además, cuenta con licencias educativas que permiten emplear este software de manera gratuita para estudiantes e investigadores universitarios [10].

## 2.8. Isócronas y Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Este proyecto trata de ubicar instalaciones a lo largo de una ciudad. Para ello, será necesario emplear herramientas que faciliten el uso y tratamiento de todos los datos necesarios. Estas herramientas son los llamados Sistemas de Información Geográfica (SIG). Los SIG son sistemas capaces de almacenar, analizar, capturar y gestionar datos geoespaciales. Dichos sistemas permiten al usuario integrar mapas y datos referenciados a diversos puntos del espacio con el objetivo de comprender el área de estudio y gestionar los recursos disponibles. En cuanto a las ramas del conocimiento donde se utilizan los SIG, estas van desde el control de enfermedades hasta la planificación urbana. La evolución de los SIG ha venido de la mano de la computación, fue a partir de los 70 cuando la implantación de los ordenadores permitió que proliferaran estas herramientas. Actualmente, hay una variedad de SIG de código abierto disponibles, entre los que se encuentra QGIS que es la que se va a utilizar. Para el uso de un SIG es necesario disponer de datos geoespaciales en dos posibles formatos: ráster o vectoriales. Los datos ráster son celdas de píxeles con información asociada a cada una de las celdas. Por otro lado, los datos vectoriales son la representación de un elemento mediante sus coordenadas [13].

QGIS en su versión 3.28.6 ha sido el programa utilizado para el procesamiento de los datos espaciales. Este programa es un proyecto de Open Source Geospatial Foundation y es un Sistema de Información Geográfica (SIG) de código abierto bajo licencia GNU. Corre sobre Linux, Unix, Mac OSX, Windows y Android y soporta numerosos formatos y funcionalidades de datos vector, datos ráster y bases de datos [24]. Gracias a este programa, se han podido ubicar gráficamente los datos disponibles así como el área de trabajo para posteriormente calcular las isócronas. En la Figura 2.2 se puede apreciar un ejemplo de la interfaz de QGIS.



**Figura 2.2:** Captura de pantalla del software QGIS

Fuente: *Open Source Geospatial Foundation*

El concepto de isócrona es el que hace posible la distribución de las fuentes en este TFG siguiendo la filosofía de la “Ciudad de los 15 minutos”. Si nos fijamos en la definición de la RAE [12], “isócrona” está formada por dos raíces de origen griego: “iso” que significa igual y “cronos” que significa tiempo. A partir de aquí, la definición de isócrona es bastante intuitiva: una isócrona es una línea que une todos los puntos de una región en el espacio a los que se puede llegar en un tiempo determinado con un medio de transporte determinado. Si se ubicara una isócrona en una superficie plana y vacía, la isócrona sería un círculo y este concepto no tendría más utilidad que la definición de un área geométrica. Sin embargo, las ciudades no son planas ni vacías y en este contexto es donde el concepto de isócrona cobra sentido. Se utilizan las isócronas para calcular, de manera realista, lo accesible que es una determinada instalación para los ciudadanos. En este caso, las fuentes PUSDAR.

En este TFG se utilizarán las isócronas para calcular el área que puede cubrir cada posible ubicación. Para ello, como se detalla en el capítulo 4, se utilizará el complemento OpenRouteService de QGIS. Este complemento, que utiliza la API de OpenRouteService, permite calcular isócronas de manera sencilla y rápida. La API de OpenRouteService consiste en un servicio de enrutamiento que proporciona gran cantidad de soluciones de una manera sencilla. Este servicio es de código abierto y tiene como idea proporcionar servicios de enrutamiento de manera sencilla, gratuita y con la misión de ayudar a la gente. Las capacidades de OpenRouteService son siete: direcciones, isócronas, matrices de tiempo-distancia, pelias geocoding, POIs, elevación y optimización. En este proyecto, solo es necesario entrar en detalle en dos de ellas: isócronas y matrices de tiempo-distancia [20].

El servicio de isócronas permite conseguir las coordenadas, para su posterior representación en QGIS, del área geométrica abarcable en un determinado tiempo y medio de locomoción desde o hacia un punto en concreto. Esto se empleará para la representación del cubrimiento de las fuentes PUSDAR. En concreto, se utilizarán isócronas de 15 minutos a pie desde cada punto de interés. Esto es así para cumplir con la filosofía de la ‘Ciudad de los 15 minutos’, que busca que todo lo necesario para el ciudadano se encuentre a menos de un cuarto de hora caminando. Pudiendo elegir entre isócronas a pie o en bicicleta, se ha optado por las primeras ya que es mucho más realista que una persona vaya a una fuente que considere que tiene cerca andando. Aunque la bicicleta es un medio de transporte popular en la ciudad, no es común que se utilice por todo el mundo en cada momento, por lo que restaría realismo al resultado tener isócronas tan amplias.

El servicio de matrices de tiempo-distancia permite obtener una matriz de la distancia, o el tiempo de reco-

rido en un determinado medio de locomoción, entre dos conjuntos de puntos. En este proyecto, se emplea esta característica enfocándose en el tiempo a pie entre cualquier tipo de ubicación considerada en los modelos y las fuentes PUSDAR.

Para que el lector pueda apreciar la utilidad de las isócronas en planificación urbana, así como la integración de QGIS con OpenRouteService, se puede ver un ejemplo en la Figura 2.3. En este ejemplo se puede ver el área que se puede alcanzar en 15 minutos caminando desde el Oceanogràfic. Se puede apreciar como la presencia de edificios y otros obstáculos hace que la distancia que se puede recorrer en 15 minutos cambie mucho si se pretende ir en una dirección o en otra.



**Figura 2.3:** Isócrona de 15 minutos andando desde el Oceanogràfic de València  
Fuente: *Elaboración propia*

## Capítulo 3

# Descripción del problema

En este capítulo se describirán todas las características del problema que se pretende resolver, así como los posibles enfoques para resolverlo. Para ello, se describirán todos los elementos que se tienen en cuenta para restringir las posibles ubicaciones de las fuentes PUSDAR, así como las características de las isócronas empleadas y el por qué se ha optado por ellas como elemento clave en este Trabajo de Fin de Grado. Dentro de los enfoques, se describirán los dos tipos de modelos que se pueden utilizar para resolver el problema: los modelos de cubrimiento total y los modelos de cubrimiento máximo. Finalmente, se describirá la ubicación actual de las fuentes PUSDAR en la ciudad de València para su posterior comparación con las soluciones obtenidas.

### 3.1. Descripción general del problema

El objetivo central de este Trabajo Fin de Grado es desarrollar y resolver un modelo de optimización que maximice el cubrimiento de las fuentes PUSDAR en la ciudad de València. Esto es, utilizar herramientas de investigación operativa para maximizar la utilidad de unos recursos dados, en este caso públicos, que son las fuentes PUSDAR. Para ello, será necesario plantear qué o a quién se pretende cubrir exactamente y aprovechar los datos abiertos para acercar el planteamiento teórico lo máximo posible a la realidad. En primer lugar, hablando acerca de qué se pretende cubrir, será necesario establecer el área de estudio. Este será la ciudad de València puesto que es el gobierno local el que ha llevado a cabo el despliegue de estas fuentes de agua filtrada y refrigerada. Siguiendo con a quién se pretende cubrir, será necesario establecer el público objetivo de estas instalaciones. Para ello, se definirán los usuarios potenciales de las mismas y, a continuación, se establecerán puntos de interés para cada perfil de usuario.

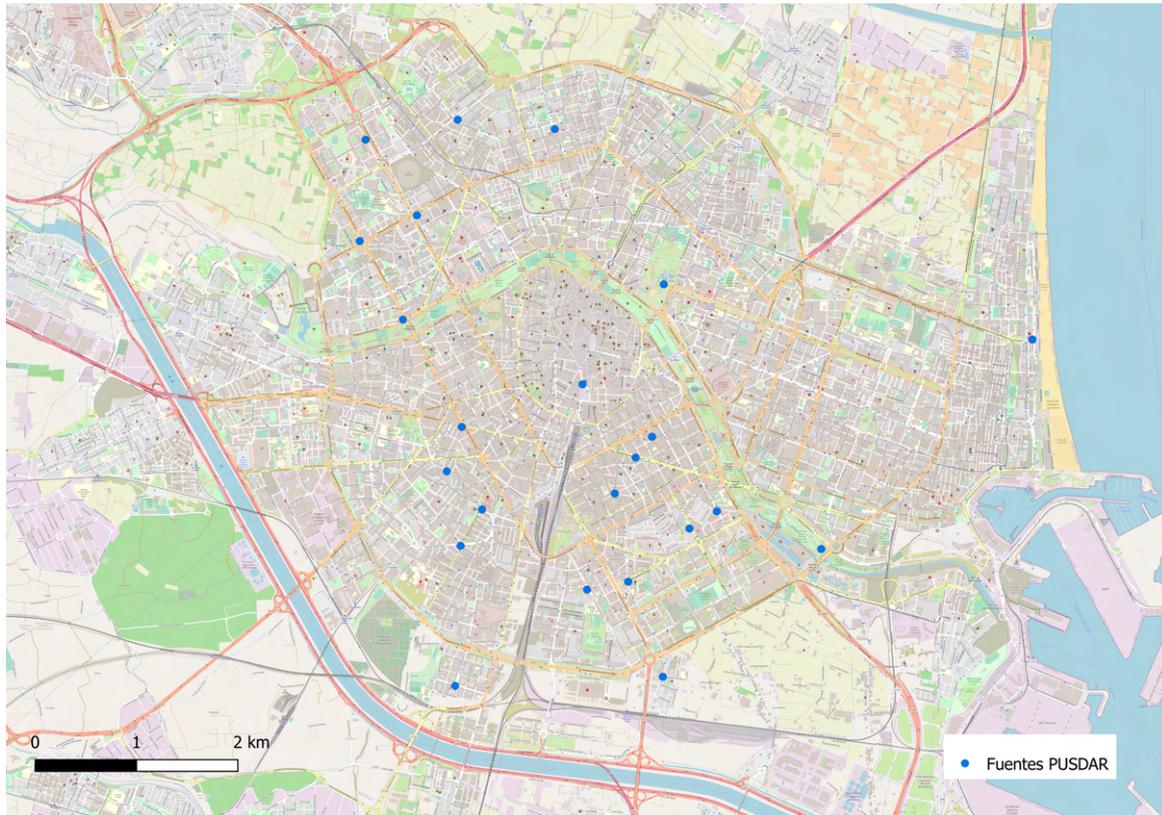
Después, será necesario definir cuándo un punto de interés estará cubierto por una fuente PUSDAR. Para ello, se empleará el concepto de isócrona explicado en el Capítulo 2 y se ajustará de manera que la distribución de las fuentes se realice de acuerdo con el concepto de Ciudad de los 15 minutos, también explicado en el Capítulo 2.

A la hora de definir las posibles ubicaciones de una fuente PUSDAR, se definirá qué puntos de la ciudad se pueden considerar posibles ubicaciones o no, puesto que hay que tener en cuenta que, si se permitiera ubicar una fuente PUSDAR en cualquier punto del mapa, muy probablemente el modelo definiría como solución puntos que son inalcanzables por estar en zonas privadas o sin acceso a luz o agua.

Por último, se definirán las particularidades y diferencias de un modelo de cubrimiento total y uno de cubrimiento máximo. Con ello, se establecerán las ventajas y desventajas de una solución de cada tipo y se compararán con la distribución actual de las fuentes PUSDAR.

### 3.2. Distribución actual de las fuentes PUSDAR

Antes de definir los puntos de interés y el área de estudio, es conveniente tener en cuenta la distribución actual de las fuentes PUSDAR en la ciudad de València. Esto es importante porque es la distribución actual la que debe ser entendida si se pretende sugerir una mejora de cualquier tipo. En la Figura 3.1 se observa la unidad territorial que se va a tener en cuenta para el desarrollo de este proyecto, la ciudad de València excluyendo sus pedanías como se detallará más adelante en este mismo capítulo. En esa misma Figura 3.1 se puede observar la ubicación actual de cada una de las 23 fuentes PUSDAR con un punto azul en las calles y plazas que se detallan a continuación de la misma en la Tabla 3.1. Estas ubicaciones se han obtenido de la herramienta Geoportal del Ayuntamiento de València como se detallará en la sección final de este Capítulo 3.



**Figura 3.1:** Ubicación actual de las fuentes PUSDAR en la ciudad de València

Fuente: *Elaboración propia*

1	Almirante Cadarso	9	De les Corts Valencianes	17	Ingeniero Joaquin Benlloch
2	Amado Granell Mesado	10	Avenida Ecuador	18	Maestro Rodrigo
3	Del Regne de Valencia	11	Oriente	19	Acequia Cadena
4	Ayuntamiento	12	Fuente San Luis	20	Plaza Patraix
5	Jardín del Turia (Tramo XIII)	13	Gaspar Aguilar	21	Pio XII
6	Reina Doña Maria	14	Manuel de Falla	22	Arzobispo Olaechea
7	Avenida Cid	15	Grabador Jordan	23	Viveros
8	De Moncada	16	Jeronimo Munoz	-	-

**Tabla 3.1:** Listado de calles o plazas donde se encuentra una fuente PUSDAR a fecha de mayo de 2023

Puesto que muchas de las fuentes se emplazaron donde demandaron los ciudadanos a través de los presupuestos participativos, se puede observar que la distribución de las fuentes no es homogénea. Se observa como en la zona de L'eixample hay hasta 3 fuentes a lo largo de unas pocas calles mientras que en zonas como Algiròs no hay ninguna. Una excepción a estas ubicaciones arbitrarias son aquellas PUSDAR que se encuentran en enclaves altamente turísticos como el Ayuntamiento, la Ciudad de las Artes y las Ciencias o la playa de la Malvarrosa. Esta distribución no homogénea de las fuentes PUSDAR es una razón de peso para elaborar un modelo de optimización que sugiera una distribución más equitativa de las mismas. Por un lado, analizar el cubrimiento de la distribución actual con el objetivo de encontrar aspectos a mejorar y, por otro lado, sugerir una mejora a esta distribución que pueda servir de apoyo a la toma de decisiones de cara a futuros emplazamientos de las mismas.

### 3.3. Definición de las características de las isócronas

Las isócronas son una parte fundamental de este Trabajo Fin de Grado. Gracias a ellas, el problema puede acercarse mucho más a la realidad de los potenciales usuarios de las fuentes PUSDAR. En este proyecto se emplea el concepto de isócrona debido a que, realmente, lo que hace que una persona decida si una determinada instalación está lejos o cerca es el tiempo que va a tardar en alcanzarla, no la distancia física. Con un ejemplo práctico, si en el modelo se ubica una fuente PUSDAR detrás de unas vías de tren, no tendría sentido dar un punto por cubierto solo por el hecho de que se encuentre a 100 metros, ya que el usuario debería desplazarse hasta un paso a nivel, atravesarlo, llegar a la fuente y después realizar el camino inverso. Esto ocurriría si se empleara un modelo que solo considerara la distancia física. Gracias al concepto de isócrona, el modelo considerará que un punto de interés está cubierto si realmente un usuario consideraría que está cerca.

Para definir las isócronas del modelo es necesario definir dos parámetros: tiempo máximo en llegar a una fuente PUSDAR y medio de locomoción. El parámetro del tiempo se ha establecido en 15 minutos. Esto es así ya que se ha seguido la filosofía de "Ciudad de los 15 minutos". Por otro lado, esta misma manera de entender las ciudades habla de 15 minutos a pie o en bicicleta, por lo que el medio de locomoción escogido para establecer las isócronas debía ser uno de estos dos. Se ha optado por escoger que el medio de locomoción sea caminando debido a que los potenciales usuarios no tienen por qué estar empleando una bicicleta en el momento de necesitar de un punto de hidratación, de hecho, puede que estén haciendo actividades incompatibles con las mismas, como deporte al aire libre.

### 3.4. Área y puntos de interés

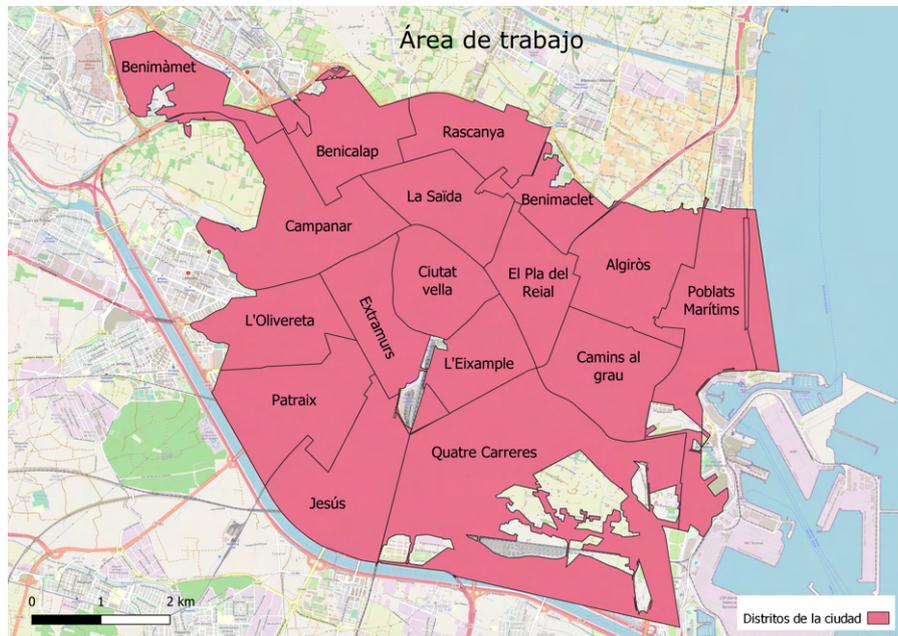
Una vez definido qué se pretende ubicar y el concepto de isócrona, ahora se deben definir tanto el área de trabajo como los puntos de interés a los que se asigna cierto valor a la hora de definir el modelo.

#### 3.4.1. Área de trabajo

Respecto al área de trabajo, este TFG se centra en la ciudad de València. Esta ciudad es la capital de la provincia homónima y de la Comunidad Valenciana, así como su ciudad más poblada. Además, es la tercera ciudad más poblada de España [7]. Para el desarrollo de este trabajo, se ha considerado todo el área de la ciudad con un par de salvedades, la cual se ha obtenido del mapa de uso del suelo de la Generalitat Valenciana como se detallará en la sección final de este Capítulo 3.

En primer lugar, se ha eliminado la zona de la Albufera y el Palmar, ya que es una zona que, aunque dependiente de la ciudad de València, está totalmente aislada de esta a pie, lo que haría que sencillamente se añadiera una fuente al modelo y se cubriera toda la zona. En segundo lugar, y por razones similares, se han eliminado las pedanías de la ciudad de València, ya que son zonas que, aunque dependientes de la ciudad, algunas están

ciertamente aisladas de esta a pie por elementos como el río Turia o la V-30. Para no generar ruido en el modelo ni tratar a unas pedanías de manera diferente que a otras, se ha optado por eliminarlas del área de trabajo. Si se quisiera hacer un estudio más detallado de las pedanías, se podría hacer un modelo para cada una de ellas y, posteriormente, unificar los resultados. La Figura 3.2 muestra el área de trabajo en la que se basa este TFG. En ella se pueden apreciar los distintos distritos que componen la ciudad.



**Figura 3.2:** Área de trabajo  
Fuente: *Elaboración propia*

### 3.4.2. Puntos de interés

Los puntos de interés son todas aquellas localizaciones que se han considerado importantes a la hora de proponer las ubicaciones de las fuentes PUSDAR. Estos se pueden dividir en tres grandes grupos según a los potenciales usuarios a los que representan: Actividad Física, Turistas y Jóvenes.

El grupo de Actividad Física se ha considerado importante por el hecho de que la hidratación es muy necesaria al practicar deporte. Para este grupo, independientemente de la actividad en concreto que realicen, resulta conveniente disponer de un punto con agua filtrada y refrigerada como la que proporcionan las fuentes de agua PUSDAR. En este grupo se pueden incluir tanto aquellas personas que se encuentran en un lugar determinado haciendo deporte como aquellas que se encuentren haciendo ciclismo o corriendo.

El grupo de Turistas se ha considerado importante debido a que visitar una ciudad, sea turismo cultural o de sol y playa, implica pasar la mayor parte del día recorriendo la ciudad, generalmente, exponiéndose al sol. Esto, sumado a que la mayor parte del turismo se realiza habitualmente en temporada estival, implica una dependencia de los visitantes a las botellas de agua de plástico para refrescarse. Además, este grupo de interés no abarca únicamente a visitantes, la ciudadanía valenciana también se beneficia de disponer de puntos de hidratación en caso de realizar cualquier actividad cultural.

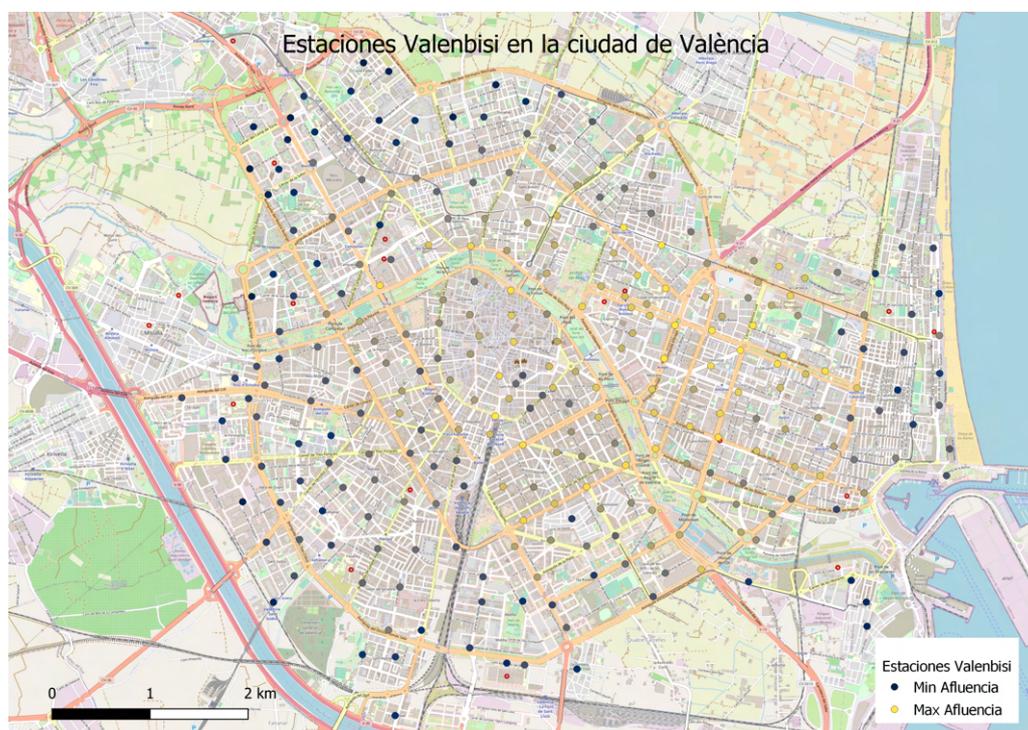
Por último, el grupo de Jóvenes se ha tenido en cuenta porque este abarca a todos los niños y adolescentes que estén en parques y jardines de la ciudad. Se han considerado estos puntos de interés porque son, típicamente, lugares de reunión para los adolescentes de la ciudad y de juego para los niños. Además, los parques son lugares de ocio al aire libre muy populares en verano, por lo que es importante el acceso a agua en los mismos.

Cada tipo de punto de interés tiene un método de cálculo diferente en cuanto a su utilidad, pero el cubrimiento

de todos ellos se calcula en base al tiempo que tarda un usuario en encontrar la fuente PUSDAR más cercana caminando. Todos los conjuntos de datos empleados se detallarán en la parte final de este Capítulo 3.

### 3.4.2.1. Actividad Física

El grupo de Actividad Física se define como aquellas personas que necesitan hidratarse por estar realizando alguna actividad física, esto es, desplazarse sin vehículo a motor o realizar deporte. Para este grupo se han considerado los siguientes puntos de interés: estaciones de Valenbisi e instalaciones deportivas públicas. Respecto a las estaciones de Valenbisi, estas se han tenido en consideración porque son puntos a los que acceden todas las personas que utilicen el servicio público de bicicletas de la ciudad, además, son puntos que se encuentran en la vía pública, por lo que son accesibles a cualquier persona y su afluencia está relacionada con la afluencia general de la zona. Para obtener la información necesaria respecto a ubicación y afluencia de las estaciones Valenbisi se han empleado datos de Geoportal y del paper 'Bike Rental and Weather Data across Dozens of Cities' respectivamente como se detalla al final de este mismo Capítulo 3. En la Figura 3.3 se puede ver la ubicación de estos puntos de interés señalados con puntos azules y amarillos. Los puntos de un azul más intenso representan aquellas estaciones con una menor afluencia, las de amarillo intenso las de mayor afluencia.



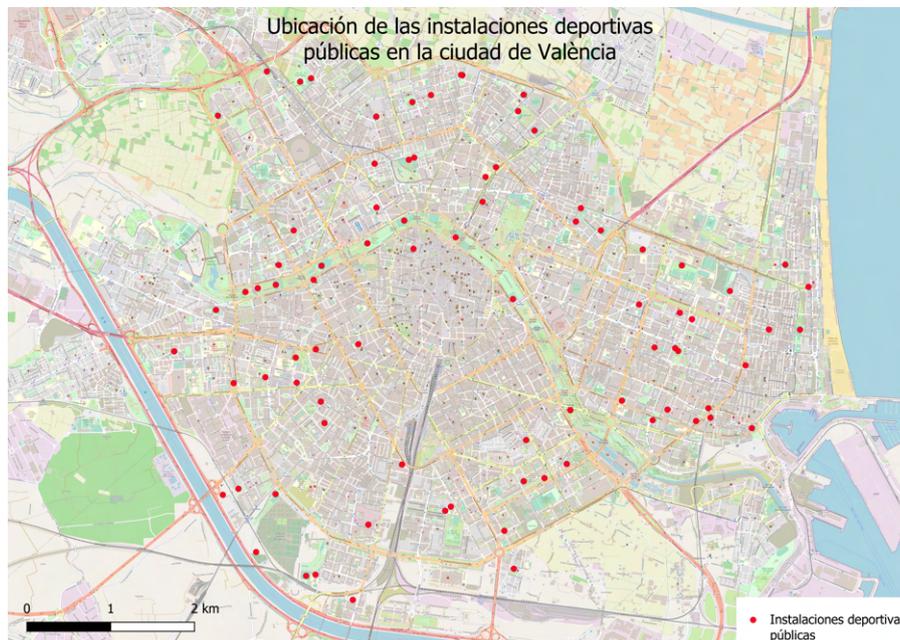
**Figura 3.3:** Ubicaciones de las estaciones Valenbisi en la ciudad de València y su afluencia

Fuente: *Elaboración propia*

Como se aprecia en la Figura 3.3, la afluencia de las estaciones de Valenbisi es variable y, aparentemente, depende de su ubicación. Por lo general, las estaciones ubicadas en las zonas céntricas de la ciudad tienen una afluencia superior a las ubicadas en la periferia de la misma. Esto es razonable, puesto que el centro es una zona de trabajo y ocio a la que es complicado acceder en vehículo privado. Por otro lado, la zona universitaria tiene una afluencia muy alta, lo que tiene sentido si se piensa que los universitarios no disponen habitualmente de vehículo privado.

En lo que respecta a las instalaciones deportivas públicas, estas se han considerado como puntos de interés ya que son lugares destinados exclusivamente a la práctica deportiva, la cual requiere de una hidratación adecuada. Los datos acerca de su ubicación se han obtenido gracias a la herramienta Geoportal como se detalla más adelante

al final de este Capítulo 3. Además, aunque no se ha podido obtener datos sobre su afluencia, están repartidas a lo largo de toda la ciudad, por lo que son una buena referencia para el cubrimiento de la ciudad en general. En la Figura 3.4 se puede ver la ubicación de estos puntos de interés señalados con un punto rojo.



**Figura 3.4:** Ubicaciones de las instalaciones deportivas públicas en la ciudad de València  
Fuente: *Elaboración propia*

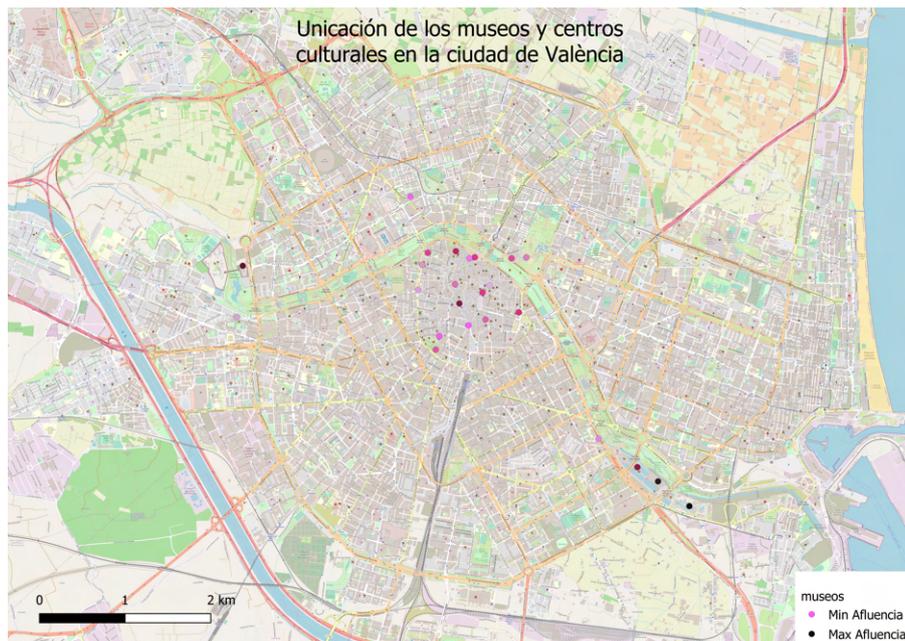
En la Figura 3.4 se aprecia que las instalaciones deportivas se encuentran a lo largo y ancho de la ciudad, razonablemente distribuidas con una notable excepción: el centro. La ausencia de instalaciones deportivas en esta zona puede encontrar su sentido en el hecho de que esta zona es la más antigua de la ciudad y su densidad de edificaciones es muy alta, por lo que es complicado encontrar espacio para poner una instalación deportiva.

#### 3.4.2.2. Turistas

En cuanto al grupo de Turistas, se han tenido en cuenta dos tipos de turismo: el turismo cultural y el turismo de sol y playa. Para el turismo cultural, se han considerado puntos de interés los museos y centros culturales de la ciudad de València, obteniendo su ubicación con la herramienta Geoportal. Para los mismos, se ha podido obtener información sobre su afluencia gracias a los datos de la Fundación Visit València como se detalla más adelante en este Capítulo 3. En la Figura 3.5, se representa la ubicación de estos puntos de interés con puntos de color rosa. Los puntos de un rosa más intenso representan aquellos museos y centros culturales con una mayor afluencia.

En la Figura 3.5 se observa, por un lado, que la mayoría de museos y centros culturales con más de 15000 visitantes anuales se encuentran en el centro de la ciudad. Esto es comprensible, dado que esta área se caracteriza por su rico patrimonio cultural y su accesibilidad. Por otro lado, se aprecian puntos de interés significativos en la Ciudad de las Artes y las Ciencias, un emblema destacado de la ciudad, así como en el Bioparc, el parque zoológico de la ciudad. La importancia de ambas localizaciones es comprensible dada su importancia cultural y recreativa.

En cuanto al turismo de sol y playa, se ha tenido en cuenta la playa de la ciudad. Debido a que la extensión de esta cubre toda la parte este de la ciudad, se ha discretizado la playa en 2 puntos de interés que coinciden con los puntos accesibles para personas con discapacidad obtenidos de Geoportal, tal y como se detalla al final de este Capítulo 3. De esta manera, además de poder incluir en el modelo un lugar tan significativo en la ciudad de València como es la playa, se ha priorizado la accesibilidad para las personas con movilidad reducida. En la



**Figura 3.5:** Ubicación de los los museos y centros culturales con entrada de la ciudad de València y su afluencia

Fuente: *Elaboración propia*

Figura 3.6, se representa la ubicación de estos puntos de interés señalados con puntos de color naranja.

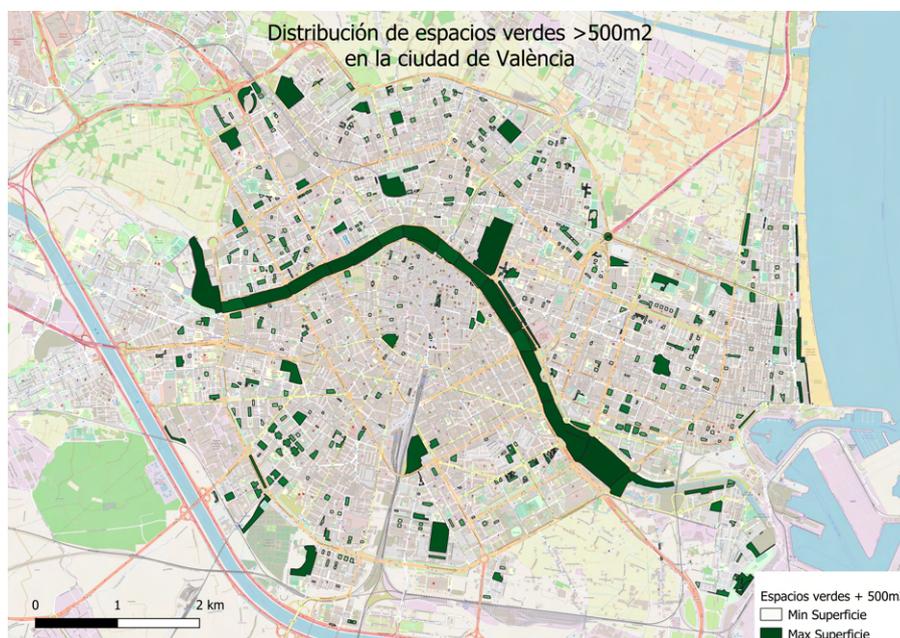


**Figura 3.6:** Ubicación de los puntos accesibles para personas con movilidad reducida en la playa de la Malvarrosa

Fuente: *Elaboración propia*

### 3.4.2.3. Jóvenes

Para el grupo de Jóvenes, se han considerado los parques y jardines de la ciudad. La ubicación y tamaño de los mismos se ha obtenido gracias a Geoportal, tal y como se detallará más adelante. Aunque no se tienen datos de afluencia de los mismos, se ha considerado que la utilidad de cada parque es proporcional a su tamaño, lo que hace que en el modelo desarrollado en este TFG se prioricen parques grandes, como los Jardines de Viveros, frente a otros más pequeños. El Antiguo cauce del río Turia es un caso particular de estos parques y jardines ya que, debido a su gran tamaño, se ha dividido en las mismas secciones que las que emplea el Ayuntamiento de València en su herramienta Geoportal. En la Figura 3.7, se puede ver la ubicación y el área de cada uno de los parques y jardines de la ciudad de València en color verde. Un parque o jardín de color más oscuro implica que es de mayor tamaño.



**Figura 3.7:** Ubicación de los parques de más de 500m<sup>2</sup> de la ciudad de València  
Fuente: *Elaboración propia*

Para la resolución del modelo resulta necesario acotar la ubicación de cada jardín a un punto, puesto que esta es la manera de establecer unas coordenadas únicas a cada punto que se emplearán para calcular cuánto tiempo se tarda en llegar de un lugar a una fuente PUSDAR. Por ello, se emplea el concepto de Centroides. El centroide de una superficie es su centro geométrico [3]. Es decir, es el punto que representa el centro de simetría y por donde, si se traza una línea que atraviese la superficie y pase por él, esta quedaría dividida en dos superficies de igual momento. Por clarificar con un ejemplo, el centroide de un círculo es el centro y el centroide de un campo de fútbol es el punto donde se realizan los saques iniciales. En el contexto del problema, se emplea el centroide para discretizar las superficies de parques y jardines a un solo punto. En la Figura 3.8, se representan con puntos verdes la ubicación de los centroides de los parques y jardines mostrados en la Figura 3.7.



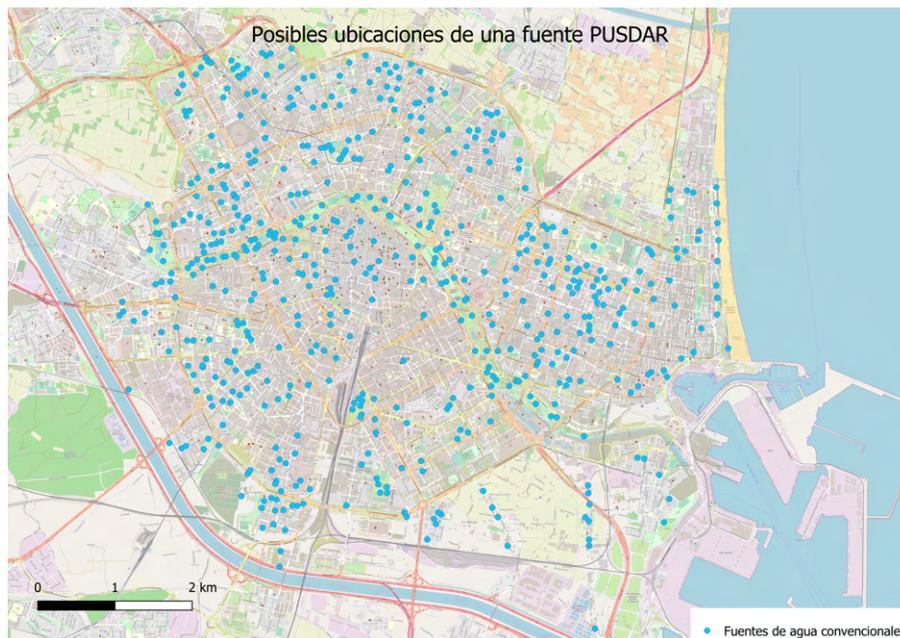
**Figura 3.8:** Ubicación de los centroides de los parques de más de 500m<sup>2</sup> de la ciudad de València  
Fuente: *Elaboración propia*

A la vista de las Figuras 3.8 y 3.7, se observa que las zonas verdes de la ciudad están razonablemente bien distribuidas por toda la ciudad, aunque la zona de L'Eixample tiene una notable carencia de las mismas. Además, salta a la vista la presencia del Antiguo cauce del río Turia, que, aunque se separa en tramos para su tratamiento, es un grandísimo parque urbano que atraviesa la ciudad de València por completo.

### 3.5. Posibles ubicaciones

Una vez definidos los puntos de interés y el área de trabajo, se deben definir las posibles ubicaciones de las fuentes PUSDAR. En primer lugar, las fuentes deben estar dentro del área de trabajo definida anteriormente, puesto que es el área que se pretende cubrir. En segundo lugar, se debe considerar que una posible ubicación no es un punto arbitrario en el mapa, sino que debe ser un lugar accesible para los ciudadanos. Es por ello por lo que se ha optado por restringir las posibles ubicaciones a las ubicaciones actuales de fuentes convencionales. Se han considerado, como se observa en la Figura 3.9, 553 fuentes convencionales a lo largo de la geografía de la ciudad como posibles ubicaciones. Estas se han extraído, como se detalla en la sección siguiente, de la herramienta Geoportal del Ayuntamiento de València.

Es cierto que considerar como ubicación propuesta de una fuente PUSDAR ubicaciones actuales de fuentes convencionales no es ideal, puesto que estas pueden convivir, pero es una manera factible de poder suponer que la ubicación propuesta de cada fuente PUSDAR es viable. Para ello, se ha considerado que cada fuente convencional tiene acceso a agua corriente y, además, se ha asumido que se puede acceder a energía eléctrica en cada una de ellas. Esto, aunque no tendría por qué ser cierto en todas las ubicaciones, es una suposición razonable puesto que estamos hablando de una ciudad con más de medio millón de habitantes y, por tanto, con una red eléctrica muy extendida.

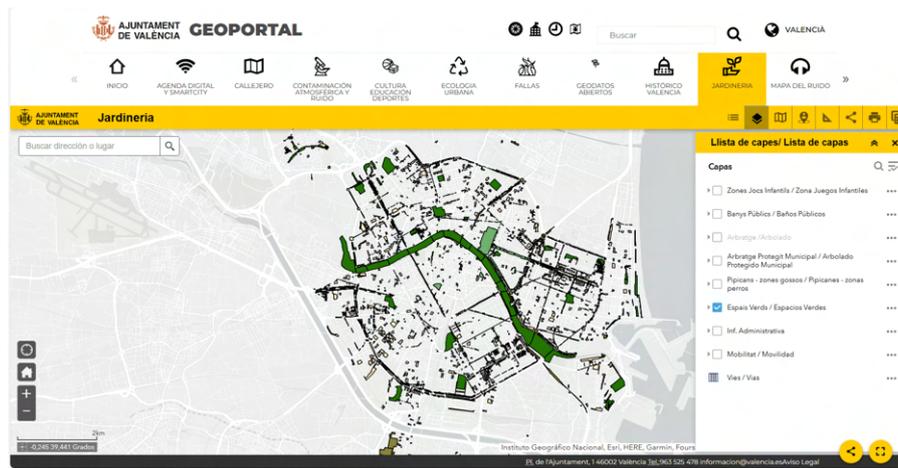


**Figura 3.9:** Ubicación de las fuentes convencionales en la ciudad de València  
Fuente: *Elaboración propia*

### 3.6. Datos utilizados

Un aspecto clave de este Trabajo Final de Grado es el uso de datos abiertos. Gracias a ellos, es posible obtener la información relativa a los puntos de interés que se tendrán en cuenta en el proyecto, así como la información relativa a la distribución actual de fuentes convencionales, fuentes PUSDAR y otras infraestructuras tenidas en consideración. En esta sección se detalla cada una de las fuentes de información de las que se han obtenido los datos utilizados para la realización del modelo de optimización. Estos datos provienen de varias fuentes. Se han utilizado datos de Geoportal, de la Fundación Visit València, del portal de datos abiertos de la Generalitat Valenciana y de un artículo científico. A continuación, se detallan los datos obtenidos de cada fuente y los ajustes realizados para su uso en el modelo.

Geoportal es la aplicación de datos abiertos del ayuntamiento de València. En ella se pueden encontrar una gran variedad de datos sobre la ciudad. De este portal se han extraído los datos de la ubicación de las fuentes de agua potable tradicionales, las fuentes PUSDAR, las instalaciones deportivas públicas, los parques y jardines (así como su área) y los puntos de acceso para discapacitados de las playas de la ciudad. Estos datos se han descargado en formato CSV para su procesado desde QGIS. Respecto a estos datos, se han realizado una serie de ajustes para hacerlos más precisos y útiles. En primer lugar, se han eliminado todas las fuentes de agua convencionales que se encuentran dentro de cementerios, ya que no son siempre accesibles y, además, no son lugares por los que se pase habitualmente. En segundo lugar, se han eliminado las instalaciones deportivas que no son para el público general, sino para deportistas de élite, ya que estos suelen disponer de avituallamiento. Estas son: los estadios de fútbol Mestalla y Ciutat de València, el pabellón de baloncesto Fuente de San Luis, La Hípica y el velódromo. En la Figura 3.10 se puede ver una captura de pantalla de la herramienta Geoportal.



**Figura 3.10:** Captura de pantalla de la herramienta Geoportal

Fuente: *Ajuntament de València*

Para obtener los datos acerca de la ubicación y afluencia de las estaciones de Valenbisi, se ha empleado el dataset disponible a partir del artículo 'Bike Rental and Weather Data across Dozens of Cities' [14]. Este dataset, aunque no es el más actualizado puesto que toma los datos entre 2015 y 2016, es el más completo que se ha encontrado que incluya los datos de entrada y salida de las estaciones de Valenbisi. Una limitación que se menciona en el artículo es que, cuando una estación está llena, no hay forma de saber si un usuario ha intentado aparcar su bicicleta en la estación y, de igual manera, si esta se encuentra vacía, no hay forma de saber si un usuario ha intentado salir desde la estación. Esto supone un sesgo. Como contraposición a este problema, el paper indica que el porcentaje de estaciones llenas o vacías está entre el 4 % y el 7 %, por lo que el sesgo no es muy grande. A partir de este dataset, se ha obtenido un archivo CSV con los datos de las estaciones de Valenbisi, su ubicación y su uso diario contando salidas y llegadas cada hora durante todo el periodo del dataset. El total de salidas y de llegadas en cada estación se ha agregado y se le ha denominado afluencia.

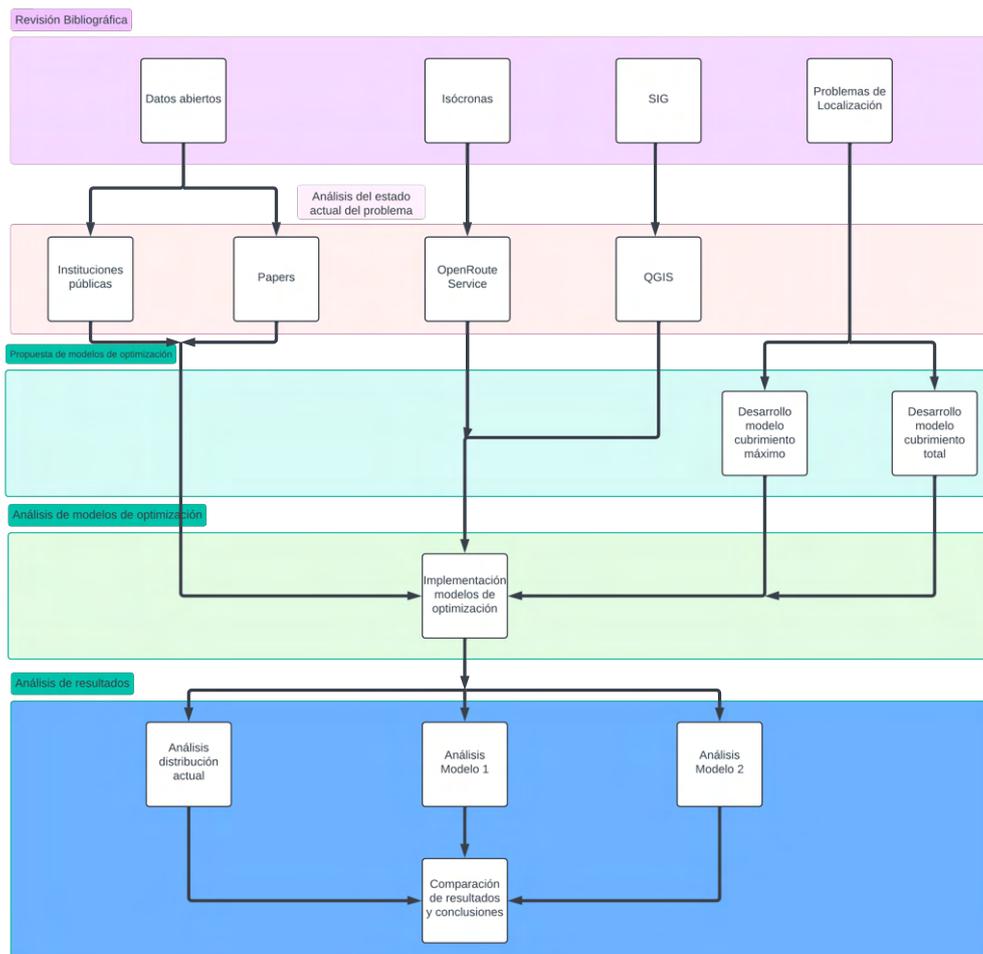
Para evaluar la importancia de los museos y lugares de interés turístico de la ciudad, se utilizaron datos de la Fundación Visit València del año 2021 [6]. A pesar de que ese año todavía estuvo influenciado por la pandemia de COVID-19, estos datos se consideran representativos para establecer la relevancia de cada sitio. Con base en el monográfico publicado por la fundación, se creó un archivo CSV que detalla el número de visitantes de cada lugar durante ese año. Se decidió incluir solamente las instalaciones que recibieron más de 15.000 visitantes anuales, identificándolas como los puntos de mayor interés turístico de la ciudad.

Por último, para establecer el área geográfica, se ha utilizado el mapa de la ciudad, del cual se han descartado las pedanías de la ciudad, así como la zona de El Palmar por ser un enclave suficientemente alejado del resto de la ciudad como para no ser considerado parte de la misma en términos de movilidad. Además, dentro del área de trabajo, se han descartado superficies no urbanas como las vías de tren o el cauce del río Turia empleando el mapa de uso del suelo de la Generalitat Valenciana [4].

## Capítulo 4

# Metodología

En este capítulo se detallan todos los pasos seguidos para realizar este Trabajo Fin de Grado, separándolos en secciones para un mayor entendimiento de la estructura del mismo. Se explica el proceso de desarrollo del proyecto y se justifica cada uno de los pasos necesarios para ir desde el planteamiento de la idea hasta la solución o soluciones finales. En la Figura 4.1, se puede observar un diagrama de flujo con los pasos llevados a cabo en este proyecto.



**Figura 4.1:** Diagrama de flujo que representa los pasos seguidos en este TFG

Fuente: *Elaboración propia*

## 4.1. Revisión bibliográfica

El primer paso llevado a cabo en este Trabajo Final de Grado es la revisión bibliográfica, entendida como el proceso de comprender el estado actual de las fuentes PUSDAR, así como el de los conceptos empleados en el trabajo como son las isócronas o los datos abiertos. Para realizar esta primera parte del proyecto, ha sido necesario profundizar acerca de las herramientas de datos abiertos existentes. En línea con esto, se exploró en detalle el uso de Geoportal, así como otras fuentes de datos abiertos necesarias para el desarrollo del trabajo. Entre estas fuentes se incluyen el mapa de uso del suelo de la Generalitat Valenciana, el paper 'Bike Rental and Weather Data across Dozens of Cities' o los datos de la Fundación Visit València explicados en detalle previamente en el Capítulo 3.

Otro importante aspecto de esta revisión bibliográfica ha sido investigar acerca de cómo integrar las isócronas en un modelo de optimización, así como acerca de los problemas de localización y las particularidades de los modelos de cubrimiento máximo y total, puesto que precisamente estos conceptos eran clave en el presente proyecto.

Otro aspecto clave de la revisión bibliográfica ha sido el aprendizaje y manejo de un Sistema de Información Geográfica (SIG), en concreto, la herramienta QGIS; así como de OpenRouteService. Ambas herramientas, que se explican en detalle en el Capítulo 2, han sido elementos clave para el tratamiento de la información y para la representación de las soluciones.

Por último, otra herramienta utilizada en este proyecto es el software de optimización Gurobi, explicado también en el Capítulo 2. En el contexto del problema, se ha optado por este software puesto que la gran cantidad de variables utilizadas, así como de restricciones, requerían de una herramienta potente que permitiera, además, editar los modelos por medio de un lenguaje de programación como es Python.

## 4.2. Análisis del estado actual del problema

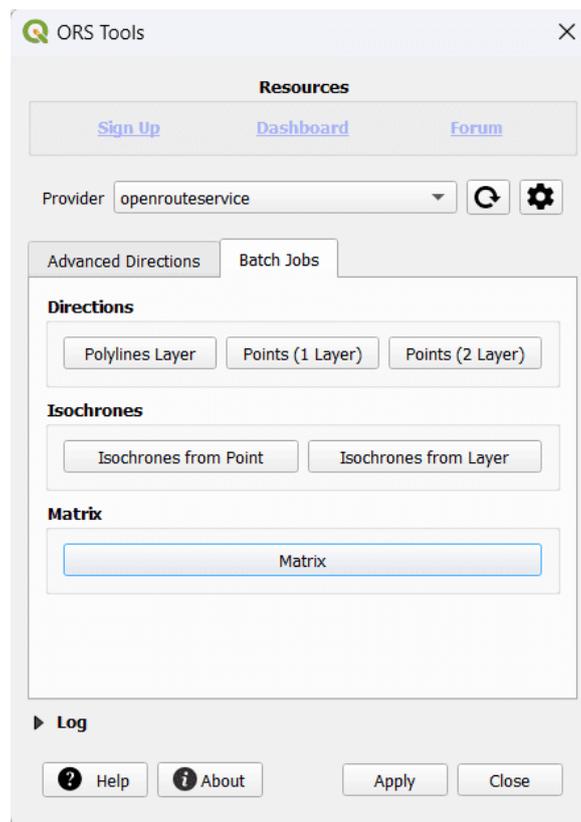
El segundo de los grandes pasos a tener en cuenta en el desarrollo de este Trabajo Final de Grado es el análisis del estado actual del problema. Esto se refiere a observar y comprender todos los datos disponibles con el objetivo de plantear los modelos de optimización de la mejor manera posible. En esta parte del proyecto, el primer paso es obtener los datos abiertos necesarios de las fuentes mencionadas anteriormente. En línea con eso, el primer portal a utilizar, precisamente por su cantidad de datos, es Geoportal. Accediendo a él, se obtienen los datos de ubicación de las fuentes de agua convencionales, fuentes PUSDAR, instalaciones deportivas, museos, centros culturales y puntos accesibles de las playas. Todos estos se pueden obtener como unas coordenadas, lo que permite situar posteriormente en un SIG cada elemento como un punto. Respecto a la ubicación de las fuentes de agua convencionales, se han eliminado de los datos todas aquellas que se ubicaban en el interior de los cementerios municipales. Esto es así debido a que se ha considerado que los camposantos no son lugares de paso habituales para los ciudadanos en su día a día. Además, desde Geoportal se pueden obtener las ubicaciones de los parques y espacios verdes de la ciudad pero, en este caso, como áreas poligonales.

Se han eliminado de los datos a emplear los parques y jardines de menos de  $500 m^2$ . El hecho de filtrar estos parques y jardines se debe a que Geoportal no diferencia con precisión qué parques y jardines son transitables y cuales son meramente decorativos, lo que podría llevar a que se consideraran como puntos de interés lugares que no lo son. Por ello, se ha considerado que los parques y jardines de menos de  $500 m^2$  no tienen una importancia relativa suficiente como para ser considerados puntos de interés. Además, se ha hecho un trabajo de filtrado manual eliminando los acompañamientos viales u otras formas de espacio verde no transitables. Además, se han separado los parques y jardines que se consideran por error como un único jardín en Geoportal pero que en realidad son varios y de diferentes naturalezas, como el Proyecto de Actuación Integrada (PAI) de Patraix.

Todos los puntos se han ubicado en QGIS a partir de las coordenadas de cada uno, salvo los centroides de los parques y jardines, que se han obtenido a partir del polígono de su forma y de la herramienta de QGIS

'Centroides de polígonos'. El hecho de necesitar los centroides de los parques y jardines se debe a que no es posible obtener la isócrona de un polígono completo, por lo que se ha optado por obtener la isócrona de su centroide y asumir que, si se cubre el centroide, se cubre el polígono al completo.

Para el cálculo de las isócronas se ha empleado el complemento de QGIS, OpenRouteService. Este complemento permite calcular isócronas a partir de un punto de origen, un modo de transporte y un tiempo de viaje. En este caso, se han empleado las isócronas de 15 minutos a pie para el modelo de optimización, puesto que son las menos restrictivas que cumplen con la filosofía de la "Ciudad de los 15 minutos". Pese a ello, se ha visto que OpenRouteService tiende a sobreestimar la distancia que se puede cubrir en 15 minutos a pie y que, en realidad, se puede cubrir una distancia menor considerando paradas en semáforos y cruces, así como el hecho de que no todo el mundo camina a la misma velocidad. Por ello, en el cálculo del modelo se ha utilizado un factor de corrección de 0.8 en el que se entrará más en detalle en una sección siguiente.



**Figura 4.2:** Captura de pantalla de la herramienta OpenRouteService

Fuente: *OpenRouteService*

### 4.3. Diseño de modelos de optimización

La propuesta de los modelos de optimización se ha realizado con el objetivo de mejorar de una manera cuantificable el cubrimiento proporcionado por las fuentes PUSDAR ubicadas actualmente en la ciudad de València. Con esto en mente, se han realizado dos modelos, además de modelar la distribución actual con el objetivo de hacer una comparación. En línea con esto, el primer paso ha sido establecer que modelos de cubrimiento se iban a emplear para los modelos. Estos son un modelo de cubrimiento máximo y un modelo de cubrimiento total. El razonamiento seguido es que resulta de especial interés plantear una primera solución que establezca qué recursos harían falta para cubrir la totalidad de los puntos de interés y, posteriormente, realizar un segundo modelo más complejo y restrictivo que lleve a la solución óptima considerando la limitación en los medios disponibles.

El segundo paso, debido a que el modelo de cubrimiento máximo requiere asignar una preferencia a unos

puntos de interés sobre otros, ha sido el de establecer una puntuación a cada punto de interés. Como se detalla en el Capítulo 3, los grupos de interés considerados en este proyecto son Actividad Física, Turistas y Jóvenes. Se decidió asignar una ponderación equitativa a cada uno de estos grupos para garantizar un tratamiento igualitario a cada grupo. Para trasladar estas ponderaciones a los puntos concretos que representan a cada grupo, ha sido necesario asignar una puntuación a cada punto de interés. Aunque se entrará más en detalle en el Capítulo 5 cuando se exponga el modelo de cubrimiento máximo, cada tipo de punto de interés tiene la misma puntuación dentro de su grupo y, dentro de cada tipo de punto de interés, la puntuación es equitativa o ponderada por importancia.

## 4.4. Implementación de modelos de optimización

Para implementar los modelos de optimización, ha sido necesario emplear Gurobi, como se ha detallado anteriormente, y un lenguaje de programación que permita hacer uso del mismo. En este proyecto se ha decidido emplear el lenguaje de programación Python. Gurobi se puede ejecutar a través de diversos lenguajes de programación como pueden ser C++, Java, Matlab o, el que se ha usado en este caso, Python, gracias a sus APIs. El lenguaje de programación a utilizar para interactuar con Gurobi dependerá del problema en particular y de las preferencias personales del programador. En este caso, se ha optado por Python por varias razones: por un lado, es un lenguaje de programación de muy alto nivel, con una sintaxis sencilla y relativamente cercana a la escritura natural en inglés; por otro lado, Python se ha convertido en un lenguaje cada vez más común en el mundo de la Ciencia de Datos, puesto que cuenta con una multitud de librerías populares y relativamente sencillas de utilizar con poca experiencia programando. Además, la gran comunidad de usuarios de Python para este tipo de tareas hacen que la cantidad de recursos disponibles para el aprendizaje sea más que considerable [1]. Para resolver el problema, se han escrito los modelos en Python como se puede apreciar en la Figura 4.3, se han resuelto usando Gurobi y, posteriormente, se han exportado a Excel con el fin de analizarlos y compararlos con la distribución actual de fuentes PUSDAR en la ciudad de València.

```

1 # Importamos los paquetes y definimos los parámetros que se van a utilizar
2 import pandas as pd
3 from gurobipy import GRB
4 import pandas as pd
5
6 # Definimos los parámetros y definimos los modelos que se van a utilizar
7 archivo = "C:/Users/vicun/OneDrive - UPV/Escritorio/Carpetas/TFG/ABE/Excel_optimizacion/Parametros_modelos_opti.xlsx"
8 destino = "C:/Users/vicun/OneDrive - UPV/Escritorio/Carpetas/TFG/ABE/Excel_optimizacion/Soluciones_opti.xlsx"
9
10 # Carga de datos
11 fuentes = 533
12 lugares = 788
13
14 # Importación de datos
15 data = pd.read_excel(archivo, sheet_name="param", header=0, index_col=False)
16
17 nombres = data.columns.tolist()
18
19 importancias = data.loc[:, "importancia relativa"]
20 importancias = importancias.values
21
22 # Creamos el vector como en el modelo, lo de subíndice
23 v1 = importancias[0:274]
24 v2 = importancias[274:522]
25 v3 = importancias[522:788]
26 v4 = importancias[788:788]
27 v5 = importancias[788:788]
28
29 # Pasa los datos de un vector de fuentes para que se usen en Gurobi
30 alfa = []
31 for i in range(fuentes):
32     for j in range(lugares):
33         # Definimos el valor de la variable x[i,j] para que sea como antes
34         alfa[i, j] = data.iloc[i, j]
35         alfa[i, j] = float(alfa[i, j]) * 0.1 # Si no lo pone a float no funciona
36
37 # Definimos el modelo
38 modelo = gp.Model("Modelo 2")
39
40 # Definimos los parámetros
41 m = {}
42 m["v1"] = v1
43 m["v2"] = v2
44 m["v3"] = v3
45 m["v4"] = v4
46 m["v5"] = v5
47

```

Figura 4.3: Captura de pantalla del editor de código Visual Studio Code donde se han resuelto los modelos de optimización

Fuente: *Elaboración propia*

## 4.5. Evaluación y discusión de resultados

El paso final del proceso llevado a cabo en este TFG es la evaluación de los resultados obtenidos. Gracias a esta parte del proyecto, se puede valorar la idoneidad de las ubicaciones sugeridas por los modelos de

optimización, así como la cantidad de recursos necesarios para cubrir el 100% de los puntos de interés y el cubrimiento obtenido con recursos limitados. En esta parte, estudiada en detalle en el Capítulo 6, también se analiza el cubrimiento obtenido por el modelo de cubrimiento máximo para cada grupo de interés y su relación con la disposición actual de fuentes PUSDAR en la ciudad de València.

Para realizar este proceso, se ha exportado la solución obtenida de cada modelo a Excel y, con eso, se han creado en QGIS representaciones de las soluciones con el fin de analizarlas de una manera más visual en detalle. Posteriormente, se han creado las isócronas de 15 minutos de cada una de las ubicaciones propuestas por los modelos. Con esto, ha sido posible visualizar las diferencias entre el despliegue de las fuentes PUSDAR desplegadas actualmente y las soluciones propuestas por los modelos de optimización desarrollados.

Otro aspecto importante del análisis de resultados es la evaluación numérica del cubrimiento. Gracias a los modelos de optimización implementados, ha resultado posible analizar de manera exacta el nivel de cubrimiento del modelo de cubrimiento máximo y compararlo con el nivel de cubrimiento de la distribución actual de fuentes PUSDAR. Con ello, se ha realizado una comparación por grupo de interés del grado de mejora de la distribución propuesta respecto a la distribución actual.

Finalmente, se han realizado variaciones en el modelo de cubrimiento máximo, asignando mayor importancia a los grupos de interés que mejor cubre la distribución actual de fuentes PUSDAR. Esto se hace para estudiar también los puntos fuertes de la distribución actual respecto a las soluciones propuestas.

## Capítulo 5

# Modelización matemática

En este capítulo, se detalla el diseño de los modelos de optimización desarrollados en este Trabajo Fin de Grado. En él se expondrá un modelo de cubrimiento total, llamado Modelo 1, donde se buscará cubrir la totalidad de los puntos de interés con el mínimo número de fuentes PUSDAR posible y un modelo de cubrimiento máximo, llamado Modelo 2, donde se buscará maximizar la utilidad del cubrimiento del mismo número de fuentes PUSDAR que las ubicadas a fecha de mayo de 2023 en la ciudad de València.

### 5.1. Modelo 1: Cubrimiento total

Una posible solución al problema de cubrir todo el área de estudio con fuentes PUSDAR sería ubicar una fuente en cada punto de interés. Esto no se ajusta a la realidad ya que existen limitaciones tanto técnicas como presupuestarias. Aun así, partir de un caso ideal en el que se puede proponer ubicar tantas fuentes PUSDAR como sea necesario es una buena manera de enfocar el problema, puesto que permite ver hasta donde se podría llegar cumpliendo las principales restricciones para, posteriormente, ir ciñéndose a un caso más realista. Este Modelo 1 tiene por objetivo averiguar cuántas fuentes PUSDAR y en qué distribución para cubrir la totalidad de los puntos de interés. En este caso, el cubrimiento total sería aquel que permita cubrir todos y cada uno de los puntos de interés con una fuente PUSDAR a menos de 15 minutos a pie. Este primer modelo tratará de buscar un cubrimiento total de una forma realista. Esto es, considerando cubierto un punto de interés si se encuentra a menos de 15 minutos a pie de una fuente PUSDAR.

Aun así, hay que tener en cuenta que, para poder componer el modelo, se considerará completamente cubierto un parque si su centroide está cubierto. Esto genera una pequeña imprecisión fruto de la discretización del parque a un único punto, pero es una aproximación razonable. Aunque este primer modelo no planea ser la solución final, si resulta que se puede cubrir la ciudad al completo con un número de fuentes PUSDAR razonable, podría servir de apoyo a la toma de decisiones de cara a dimensionar la ampliación de la red de fuentes PUSDAR. Cabe recordar que las posibles ubicaciones de una fuente PUSDAR son las ubicaciones actuales de fuentes de agua convencionales, por lo que se cuenta con un total de 553 posibles ubicaciones.

Para modelizar el problema se deben definir los parámetros, las variables, la función objetivo y las restricciones. Los parámetros, son los datos que se conocen a priori y que no se pueden modificar. Las variables, son los datos que se pueden modificar para obtener la solución óptima. La función objetivo, es la función que se quiere maximizar o minimizar. Las restricciones, son las condiciones que se deben cumplir para que la solución sea válida.

### 5.1.1. Parámetros

$\alpha_{ij}$  : 1 si del punto de interés  $j$  se puede llegar a la fuente  $i$  en menos de 15 minutos caminando. 0 en caso contrario.

### 5.1.2. Variables

$X_i \in [0, 1]$  : 1 si se propone colocar una fuente PUSDAR en la posible ubicación  $i$ . 0 en caso contrario.  
 $i \in [1, 553]$

### 5.1.3. Función objetivo

$$\text{Min} : \sum_{n=1}^i X_n \quad (5.1)$$

### 5.1.4. Restricciones

$$\sum_{i=1}^n \alpha_{ij} \cdot X_i \geq 1 ; \forall j \quad (5.2)$$

La función objetivo de este modelo, representada en la Expresión 5.1, busca minimizar el número de fuentes que se activan como PUSDAR. Respecto a las restricciones, la Expresión 5.2 establece que al menos 1 fuente debe cubrir cada punto de interés. Este modelo arroja 33 ubicaciones propuestas como resultado, es decir, consigue cubrir todos los puntos de interés con ese número de fuentes PUSDAR.

## 5.2. Modelo 2: Cubrimiento máximo

Finalmente, el modelo más ajustado a la realidad y el que pretende ser comparable con la distribución actual, será el modelo de cubrimiento máximo. Este modelo trata de cubrir el mayor número de puntos de interés con las mismas fuentes PUSDAR que hay en mayo de 2023 en funcionamiento, que son 23. Gracias a este Modelo 2, se puede proponer la distribución ideal de fuentes PUSDAR de cara a buscar puntos que reforzar para futuros emplazamientos de las mismas. En un modelo de cubrimiento total no es más importante un punto que otro, puesto que el objetivo es que todos estén cubiertos como se ha explicado anteriormente. Sin embargo, en un modelo de cubrimiento máximo, como este Modelo 2, el algoritmo de resolución debe priorizar unos puntos de interés sobre otros para satisfacer al máximo número de usuarios posible, por lo que es necesario asignar una puntuación a cada punto de interés con el objetivo de dar más valor a unos puntos sobre otros. Para ello, se han seguido diferentes criterios que se detallan a continuación.

En el grupo de Actividad Física, se debe separar entre estaciones Valenbisi e instalaciones deportivas. Para las instalaciones deportivas, se le ha supuesto la misma importancia a cada instalación debido a que no ha resultado posible encontrar una manera de diferenciar la afluencia o la importancia de las mismas. Para las estaciones Valenbisi, se le ha distribuido la importancia relativa de manera que las estaciones más visitadas tienen más importancia que las menos transitadas. La manera en la que se han obtenido y tratado estos datos, así como el resto de los empleados en este modelo, se ha detallado en el Capítulo 4.

Respecto al grupo de Turistas, este se separa en los puntos accesibles de las playas para personas con discapacidad y museos y centros culturales. Para los primeros, se ha asignado la misma importancia a cada punto.

Para los segundos, la importancia relativa de cada punto dentro de su grupo se mide respecto a su afluencia, cuanto más visitado, más importancia.

Finalmente, respecto al grupo de Jóvenes, se han utilizado como puntos de interés los parques y jardines de más de  $500 m^2$ . Para asignar la importancia de cada jardín dentro de su grupo se ha ponderado la superficie de cada jardín por la superficie total.

Cada tipo de punto tiene la misma importancia dentro de su grupo de interés, es decir, la puntuación total de las estaciones Valenbisi cuenta lo mismo que la puntuación total de las instalaciones deportivas para el grupo Actividad Física. Además, cada grupo de interés tiene la misma importancia en el algoritmo de resolución, es decir, la puntuación total de Turistas cuenta lo mismo que la puntuación total de Jóvenes.

Este modelo se plantea como una posible solución realista sea cual sea el resultado del modelo de cubrimiento total. Si el modelo de cubrimiento total no es capaz de proponer como cubrir toda la ciudad con un número de fuentes que sea asumible dentro de los presupuestos de la ciudad, este modelo podrá servir de apoyo para maximizar la utilidad de los recursos disponibles, es decir, alcanzar a la mayoría de usuarios potenciales.

### 5.2.1. Parámetros

Este Modelo 2 cuenta con una mayor cantidad de parámetros a tener en cuenta en relación con el Modelo 1. En primer lugar, se añade el vector de pesos ( $W_k$ ) que representa la importancia de cada tipo de punto de interés en el modelo. Inicialmente, este Modelo 2 considera igual de importantes todos los grupos de interés, por lo que los pesos se distribuyen de forma que esto se respete. Para lograrlo, en el grupo de interés Jóvenes, el peso de los parques y jardines ( $p$ ) es de  $1/3$  del total, puesto que son el único tipo de punto de interés dentro de su grupo; en el grupo de interés Turistas, playas ( $s$ ) y museos ( $m$ ) tienen un peso de  $1/6$  del total cada uno y en el grupo de interés Actividad Física, estaciones Valenbisi ( $b$ ) e instalaciones deportivas ( $d$ ) tienen un peso de  $1/6$  del total cada uno.

Respecto a las importancias relativas de cada punto, podemos distinguir aquellas que son homogéneas y aquellas que están ponderadas por importancia. Respecto a las primeras, la importancia relativa de cada instalación deportiva ( $V_d$ ) se entiende como  $\frac{1}{\text{Número de instalaciones}}$  y la importancia relativa de cada punto accesible de las playas ( $V_s$ ) se entiende como  $\frac{1}{\text{Puntos playas}}$ . Por otro lado, respecto a los puntos que tienen su importancia ponderada, la importancia relativa de cada parque ( $V_p$ ) se entiende como  $\frac{\text{Superficie Parque } j}{\text{Superficie total parques}}$ , la importancia relativa de cada estación Valenbisi ( $V_b$ ) se entiende como  $\frac{\text{Afluencia estación } b}{\text{Afluencia total estaciones}}$  y la importancia relativa de cada museo o centro cultural ( $V_m$ ) se entiende como  $\frac{\text{Visitas al lugar } m}{\text{Visitas totales}}$ .

En la Tabla 5.1 se detallan los parámetros empleados en el Modelo 2.

Parámetro	Significado
$\alpha_{ij}$	1 si del punto de interés $j$ se puede llegar a la fuente $i$ en menos de 15 minutos caminando. 0 en caso contrario.
$W_k \in \{p, b, m, d, s\}$	Vector de pesos de cada punto de interés sobre el total entre 0 y 1.
$M$	Número total de posibles ubicaciones = 553.
$V_p$	Importancia relativa del parque $p$
$V_b$	Importancia relativa de la estación Valenbisi $b$
$V_m$	Importancia relativa del museo o centro cultural $m$
$V_d$	Importancia relativa de cada instalación deportiva
$V_s$	Importancia relativa de cada punto accesible de la playa

**Tabla 5.1:** Parámetros del Modelo 2

### 5.2.2. Variables

En la Tabla 5.2 se detallan las variables utilizadas en el Modelo 2.

Variables	Significado
$X_i \in [0, 1]$	1 si se propone colocar una fuente PUSDAR en la posible ubicación $i$ . 0 en caso contrario. $i \in [1, 553]$
$Y_j \in [0, 1]$	1 si se llega en menos de 15 minutos caminando del punto de interés $j$ a al menos una fuente activa. 0 en caso contrario. $j \in [1, 784]$

**Tabla 5.2:** Variables del Modelo 2

### 5.2.3. Función objetivo

$$\begin{aligned}
 Max : P = & (W_p \cdot \sum_{p=1}^n [Y_p \cdot V_p] + W_b \cdot \sum_{b=1}^n [Y_b \cdot V_b] + W_m \cdot \sum_{m=1}^n [Y_m \cdot V_m] + \\
 & W_d \cdot \sum_{d=1}^n [Y_d \cdot V_d] + W_s \cdot \sum_{s=1}^n [Y_s \cdot V_s]) \cdot 100
 \end{aligned} \tag{5.3}$$

### 5.2.4. Restricciones

$$\sum_{i=1}^{i=n} X_i \leq 23 \tag{5.4}$$

$$\sum_{i=1}^n X_i \cdot \alpha_{ij} \leq M \cdot Y_j ; \forall j \tag{5.5}$$

$$\sum_{i=1}^n X_i \cdot \alpha_{ij} \geq Y_j ; \forall j \tag{5.6}$$

En este Modelo 2, la función objetivo, representada en la Expresión 5.3, busca maximizar la puntuación media ponderada de cubrimiento. Esto implica cubrir todos los puntos posibles priorizando por calidad según su importancia relativa. Respecto a las restricciones, la Expresión 5.4 establece que el número máximo de fuentes PUSDAR es 23, el mismo que hay en mayo 2023 en la ciudad. Las Expresiones 5.5 y 5.6 establecen que cada punto de interés estará cubierto si al menos una fuente está a menos de 15 minutos andando. Los sumatorios dentro de la función objetivo se emplean para establecer las puntuaciones del conjunto de estaciones Valenbisi, instalaciones deportivas, parques, playas y museos respectivamente. La manera en la que se asignan las puntuaciones es detallada en el Capítulo 3. Este modelo consigue cubrir el 98.08 % de los puntos de interés ponderados por su importancia y el 93.75 % de los puntos sin ponderar por importancia con el mismo número de fuentes PUSDAR que hay ubicadas actualmente en el area de estudio.

### **5.3. Distribución actual**

Para poder comparar la solución propuesta con la distribución actual de las fuentes PUSDAR, se ha modelado la distribución actual en base al Modelo 2 y se han obtenido los resultados de cubrimiento que se analizarán en detalle en el Capítulo 6. Utilizando el mismo criterio que en el Modelo 2, la ubicación actual de fuentes PUSDAR consigue cubrir el 73.56 % de los puntos de interés ponderando por importancia, es decir, un 24.52 % menos. Sin ponderar por importancia cubre un 59.44 % de los puntos de interés totales.

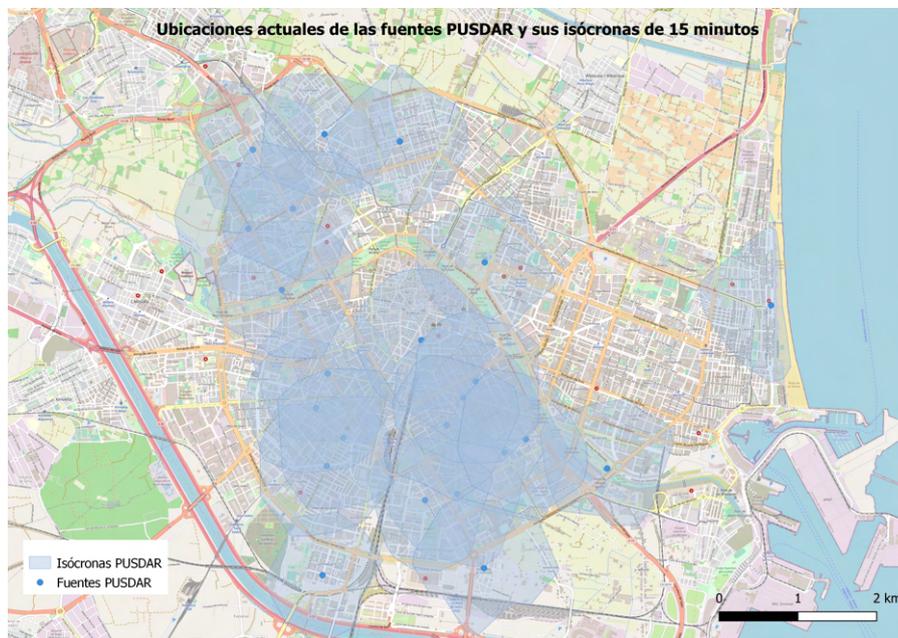
## Capítulo 6

# Análisis de resultados

En este capítulo se analizarán los resultados de los modelos de optimización diseñados en este Trabajo Final de Grado y se compararán con la distribución actual de fuentes PUSDAR en la ciudad de València con el objetivo de encontrar puntos fuertes y débiles, tanto de las distribuciones real como de la propuesta.

### 6.1. Análisis de la distribución actual

En primer lugar, resulta de especial interés analizar la distribución actual con el objetivo de poder compararla con las soluciones propuestas. La Figura 6.1 muestra el modelo que ubica las fuentes PUSDAR ya presentes, explicado en la Sección 5.3. En dicha Figura 6.1, se muestran en azul las ubicaciones actuales de las fuentes PUSDAR y sus isócronas.

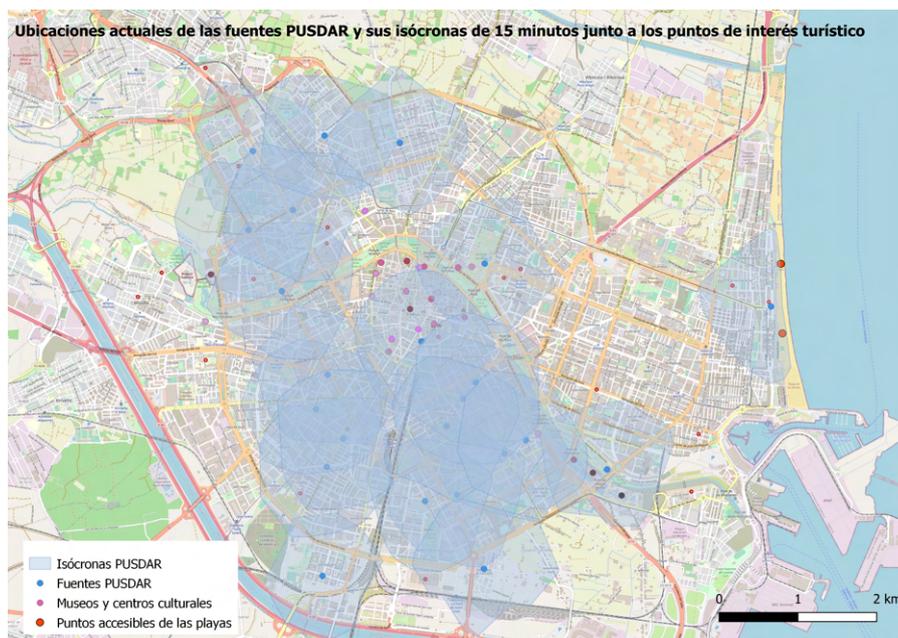


**Figura 6.1:** Distribución de fuentes PUSDAR

Fuente: *Elaboración propia*

A la vista de la Figura 6.1, se puede observar que la distribución de las fuentes PUSDAR actual no abarca toda la ciudad. Se observa como los distritos de Patraix y L'eixample están cubiertos y el cubrimiento de las fuentes PUSDAR genera solapes. Sin embargo, Algirós y Poblats Marítims están claramente descubiertos por la distribución actual. Esto arroja una puntuación total de cubrimiento del 76.56 %.

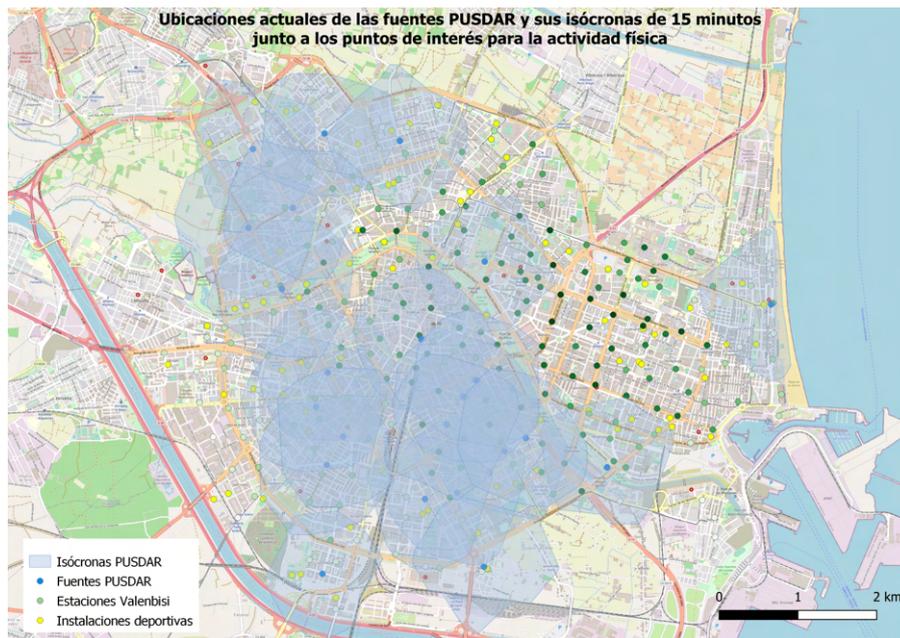
A partir de las ubicaciones, se procede a entrar en detalle de los cubrimientos para los diferentes grupos de interés. En la Figura 6.2, se observa la distribución actual en azul y, además, los espacios culturales y los puntos accesibles de las playas en rosa y rojo respectivamente. El rosa de los espacios culturales es más intenso en cuanto más visitantes anuales tiene un lugar en concreto.



**Figura 6.2:** Distribución de fuentes PUSDAR y puntos de interés para el grupo Turistas  
Fuente: *Elaboración propia*

Respecto al cubrimiento de los puntos de interés turístico, resulta claro que la distribución actual busca cubrir las zonas más visitadas de la ciudad. Con ello, la única fuente PUSDAR presente en la playa de la Malvarrosa la cubre al completo sobradamente, ya que se encuentra en el centro de la misma. Además, la Ciudad de las Artes y las Ciencias también está perfectamente cubierta y, en el centro de la ciudad, hay una fuente PUSDAR ubicada en plena Plaza del Ayuntamiento, lo que es una ventaja puesto que es una zona de mucho interés turístico, pero deja descubiertos ciertos puntos de interés cultural con relativa importancia. De forma numérica, la puntuación de cubrimiento de los museos es del 86.51 % y la puntuación de cubrimiento de las playas es del 100 %. Esto arroja una puntuación del grupo Turistas del 93.25 % si se tiene en cuenta la importancia de cada punto. En términos absolutos, se cubren 20 puntos de interés, siendo un 74,07 % del total.

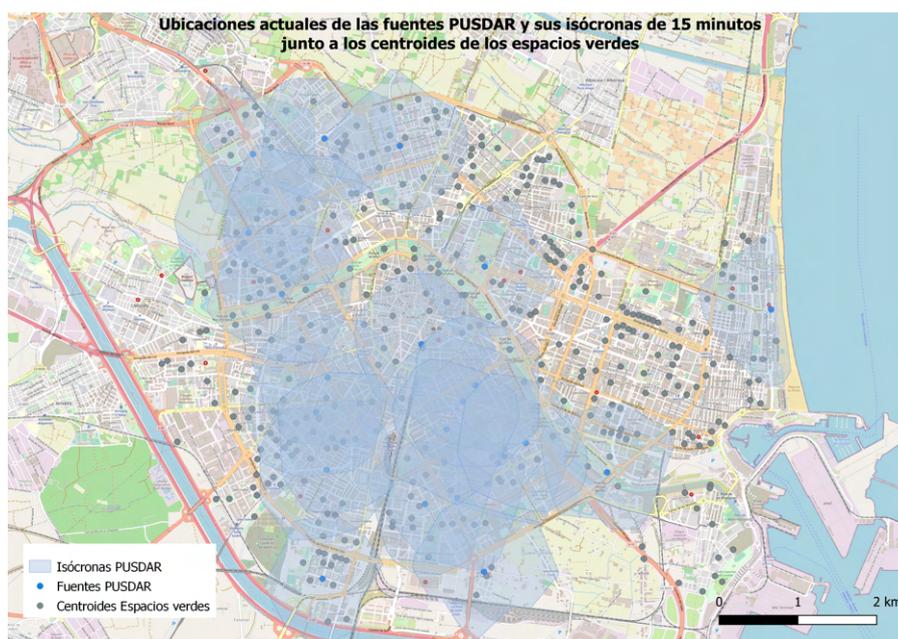
A continuación, en la Figura 6.3, se observa conjuntamente la distribución actual de las fuentes PUSDAR y sus isócronas, en azul, junto a los puntos de interés para el grupo Actividad Física: estaciones Valenbisi (en verde más intenso si tienen más afluencia) e instalaciones deportivas (en amarillo).



**Figura 6.3:** Distribución de fuentes PUSDAR y puntos de interés para el grupo Actividad física  
 Fuente: *Elaboración propia*

Respecto al grupo de interés por la Actividad Física, hay que tener en cuenta que tanto la red de Valenbisi como las distintas instalaciones deportivas están uniformemente distribuidas a lo largo de la ciudad. Por ello, es lógico que las grandes zonas no cubiertas por la distribución actual impliquen una amplia cantidad de puntos sin cubrir. Como punto especialmente importante, se aprecia la Avenida de Blasco Ibáñez, una zona universitaria con mucha afluencia en las estaciones de Valenbisi. En esta zona no hay cubrimiento por parte de la distribución actual en absoluto. Otro aspecto destacado es, en general, toda la periferia de la ciudad, la cual queda mayormente sin cubrir. En cifras, la puntuación de cubrimiento de las estaciones Valenbisi es del 65.98 % y la de las instalaciones deportivas es del 56.09 %. Esto da una puntuación para el grupo Actividad Física del 61.04 %. En términos absolutos se cubren 223 puntos de interés, siendo el 62,64 % del total.

Para analizar al grupo Jóvenes, la Figura 6.4 muestra la distribución actual de las fuentes PUSDAR y sus isócronas, en azul, junto a los centroides de los parques y jardines de la ciudad, en verde.



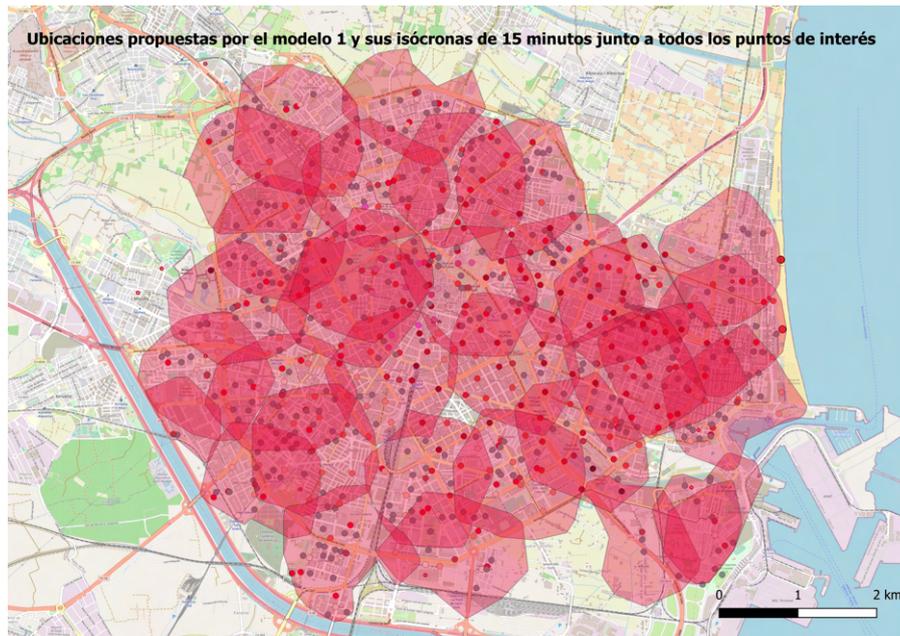
**Figura 6.4:** Distribución de fuentes PUSDAR y puntos de interés para el grupo Jóvenes  
Fuente: *Elaboración propia*

Finalmente, en lo que respecta al grupo de Jóvenes, las conclusiones son muy similares. La distribución de espacios verdes abarca toda la ciudad de manera más o menos uniforme. Sin embargo, como se ha detallado anteriormente, las fuentes PUSDAR dejan varias zonas sin cubrir, por lo que zonas de la periferia como Nazaret, L'Olivereta y Benimaclet, así como Algirós y Poblats Marítims, quedan sin cubrir adecuadamente por la distribución actual. Por tanto, una gran cantidad de espacios verdes no se cubren con la distribución actual de fuentes PUSDAR. Esto desprende una puntuación del grupo Jóvenes del 66.39%. En términos absolutos, se cubren 223 parques o espacios verdes, siendo el 55,61 % del total.

## 6.2. Comparación de la distribución actual con las soluciones propuestas

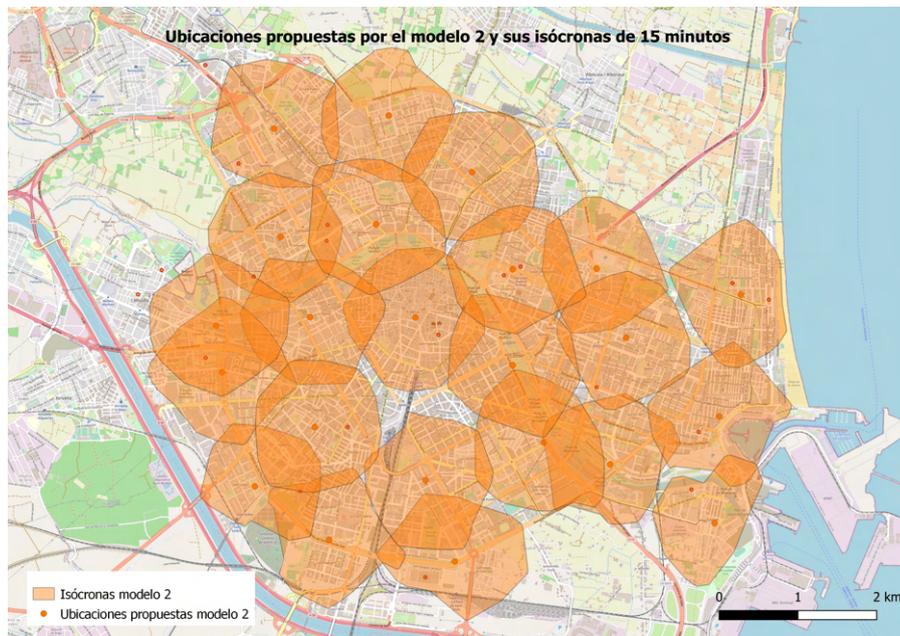
Una vez analizada la distribución actual de las fuentes PUSDAR en la ciudad, el siguiente paso es analizar los resultados obtenidos por las soluciones propuestas, entender las diferencias entre el modelo de cubrimiento máximo y el modelo de cubrimiento total y estudiar las diferencias de rendimiento entre la solución propuesta por el Modelo 2 y la distribución actual de las fuentes PUSDAR.

En primer lugar, el Modelo 1 busca cubrir todos los puntos de interés y, naturalmente, eso se consigue cubriendo la práctica totalidad del área de estudio. En la Figura 6.5, se puede apreciar que todos los puntos de interés están cubiertos por la solución propuesta por el Modelo 1 y que 33 fuentes PUSDAR son las mínimas que harían falta para cubrir la totalidad de los puntos de interés. Como matiz importante, destacar que la representación gráfica no es perfecta en las zonas más próximas a la costa y que, por ello, la Figura 6.5 no muestra como cubiertos dos puntos de la esquina inferior izquierda del mapa, pese a que sí lo están numéricamente.



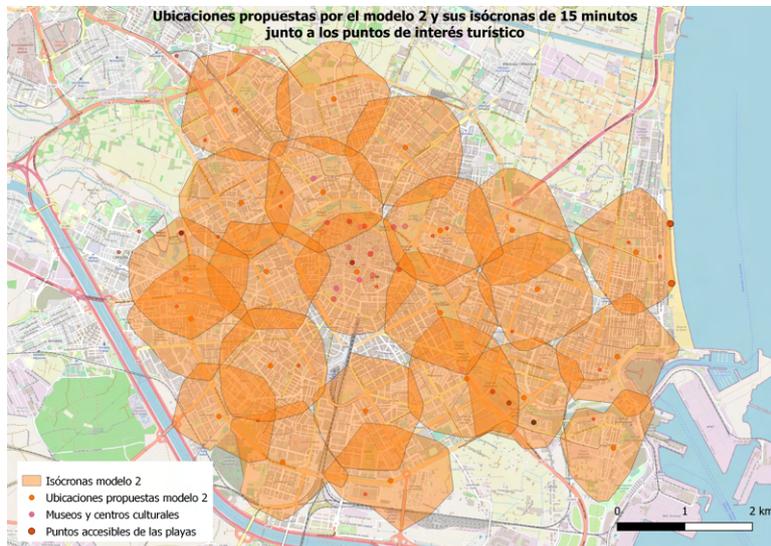
**Figura 6.5:** Distribución de fuentes PUSDAR propuesta por el Modelo 1 y puntos de interés  
 Fuente: *Elaboración propia*

Siguiendo con el Modelo 2, en la Figura 6.6 se representan tanto las ubicaciones propuestas considerando igual de importantes todos los grupos de interés (en puntos de color naranja) como las isócronas de 15 minutos caminando hasta cada una de ellas. En una sección posterior se cambiarán los pesos con el fin de realizar otras comparaciones y buscar puntos fuertes de la distribución actual. Como primer aspecto destacable, se observa que en comparación con el Modelo 1, de cobertura total, hay mucho menos solapamiento entre puntos, lo que lleva a espacios mayores entre las isócronas de cada localización de fuente PUSDAR propuesta.



**Figura 6.6:** Distribución de fuentes PUSDAR propuesta por el Modelo 2  
 Fuente: *Elaboración propia*

A partir de la Figura 6.6, se puede hacer un análisis pormenorizado de qué puntos sí están cubiertos y cuáles no. Para ello, se hace uso de la representación gráfica que permite QGIS para analizar separadamente los diferentes grupos de interés definidos. En la Figura 6.7, se muestran, en naranja, las ubicaciones propuestas para las fuentes PUSDAR y sus isócronas. Además, se muestran los centros culturales y los puntos accesibles de las playas en rosa y rojo respectivamente.

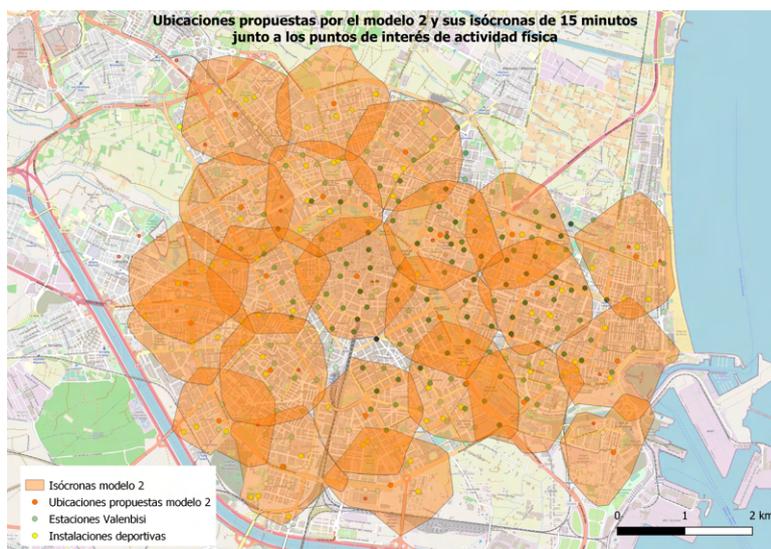


**Figura 6.7:** Distribución de fuentes PUSDAR propuesta por el Modelo 2 y puntos de interés para el grupo Turistas

Fuente: *Elaboración propia*

Respecto a este grupo de interés, el cubrimiento es total, la solución propuesta por el Modelo 2 cubre el 100 % los puntos de interés para turistas, que son 27.

A continuación, en la Figura 6.8, se muestran, en naranja, las ubicaciones propuestas para las fuentes PUSDAR y sus isócronas. Además, se muestran las estaciones Valenbisi y las instalaciones deportivas en verde y amarillo respectivamente.

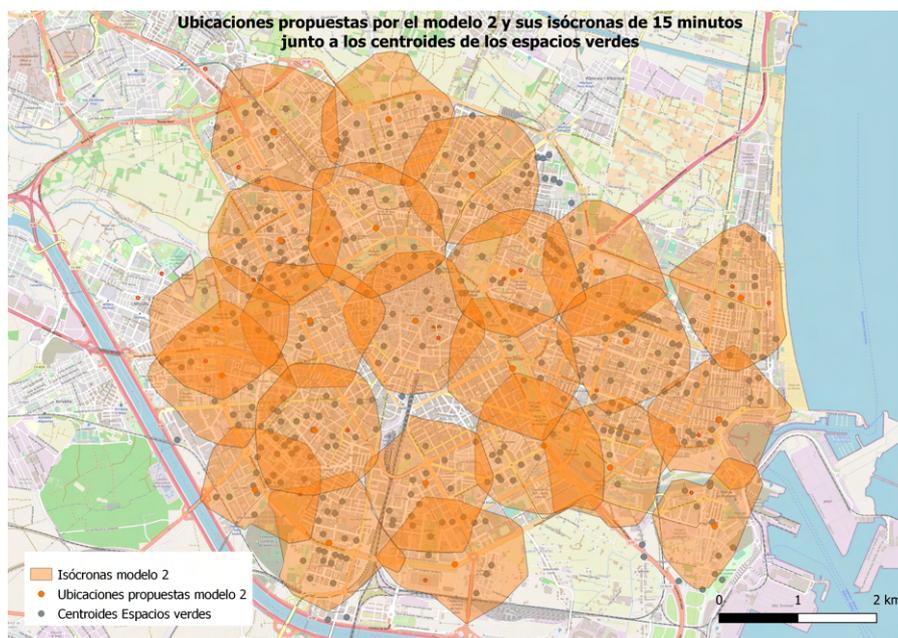


**Figura 6.8:** Distribución de fuentes PUSDAR propuesta por el Modelo 2 y puntos de interés para el grupo Actividad física

Fuente: *Elaboración propia*

Respecto a los puntos de interés para el grupo Actividad Física, el cubrimiento no es total. Pese a que una gran cantidad de puntos sí están cubiertos, no se cubren ni todas las estaciones Valenbisi ni todas las instalaciones deportivas. Por ello, la puntuación de las estaciones Valenbisi es del 93.17% y la puntuación de las instalaciones deportivas es del 98.78%. Esto resulta en una puntuación del grupo Actividad Física del 95.98%. Si lo traducimos a términos absolutos sin ponderar por importancia, eso son 332 puntos de interés cubiertos, un 93,26% del total.

En la Figura 6.9, se muestran de igual manera las ubicaciones propuestas por el Modelo 2 y, además, los centroides de los parques y jardines en color verde.



**Figura 6.9:** Distribución de fuentes PUSDAR propuesta por el Modelo 2 y puntos de interés para el grupo Jóvenes

Fuente: *Elaboración propia*

En lo que respecta al grupo de Jóvenes, sí hay una cantidad notable de puntos sin cubrir por el Modelo 2. En general, se puede concluir que se prescinde de cubrir los espacios más periféricos de la ciudad con el objetivo de maximizar los puntos de interés cubiertos con 23 posibles ubicaciones de fuentes PUSDAR. Puesto que los jardines de mayor importancia relativa sí se cubren, la puntuación ponderada del grupo Jóvenes es del 98.29%. Sin embargo, en términos absolutos sin ponderar por importancia se cubren 376 parques, un 93.77% del total.

Haciendo ahora una comparación directa entre todos los puntos de interés cubiertos por el Modelo 2 y la distribución actual, la puntuación total de la solución propuesta considerando la importancia de cada punto es del 98.09%, mientras que la puntuación de la distribución actual es del 73.56%. Entrando en detalles, las principales diferencias se observan en el grupo Actividad Física, donde la solución propuesta consigue un cubrimiento de más del 95%, mientras que la distribución actual consigue un cubrimiento del 61%. Algo parecido ocurre con el grupo de Jóvenes con un 98% de la solución propuesta frente a un 66% de la distribución actual. Sin embargo, las diferencias en el grupo de Turistas no son tan grandes con un 100% de la solución propuesta frente a un 93% de la distribución actual.

En términos de puntos totales cubiertos, las diferencias son similares. El Modelo 2 es capaz de cubrir el 93.75% de los puntos de interés mientras que la solución actual cubre el 59.44%. Separando por grupos de interés, la solución propuesta cubre el 93.77% de los puntos de interés para Jóvenes, el 100% de los puntos de interés para Turistas y el 93.26% de los puntos de interés para Actividad Física. La distribución actual, por contra, cubre el 55.61% de los puntos de interés para Jóvenes, el 74.07% de los puntos de interés para

Turistas y el 62.64 % de los puntos de interés para Actividad Física. A la vista de los datos, vemos como tanto la solución actual como la solución propuesta se centran en cubrir los puntos más importantes de la ciudad, lo cual es positivo, pues una mayor cantidad de gente se podrá beneficiar de las fuentes PUSDAR.

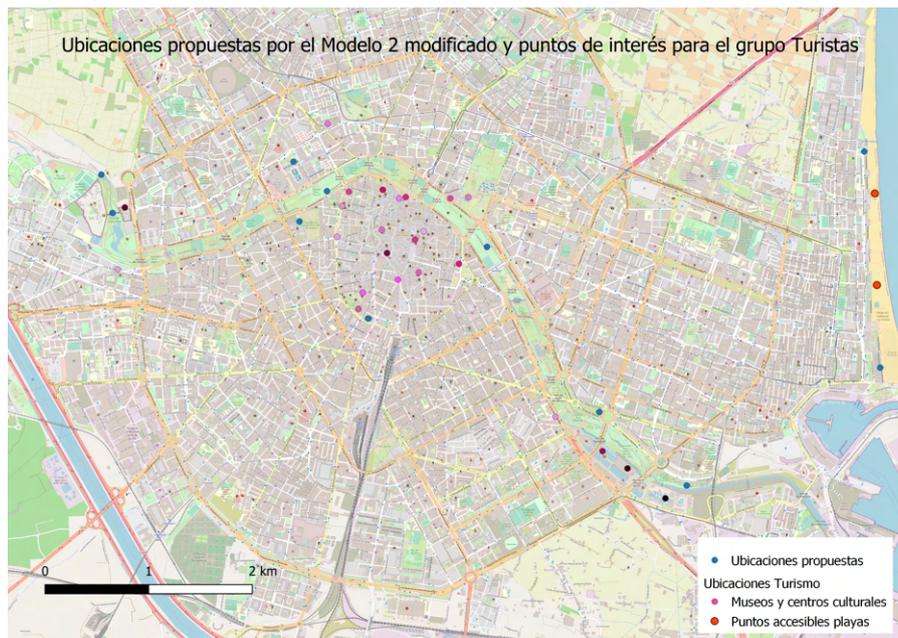
Para llegar a conclusiones acertadas sobre la diferencia entre la distribución actual y el modelo propuesto, primero hay que comprender la manera en la que se han distribuido las fuentes PUSDAR. En primer lugar, y arrojando una similitud reseñable entre la solución propuesta y la distribución actual, vemos como tres enclaves altamente turísticos se encuentran muy bien cubiertos por la distribución actual. Estos son la playa de la Malvarrosa, la Ciudad de las Artes y las Ciencias, la plaza del Ayuntamiento y los Jardines de Viveros. En estos puntos, se cubren perfectamente los puntos de interés y, por tanto, no cabe proponer ninguna mejora salvo, tal vez, que la fuente PUSDAR ubicada en la plaza del ayuntamiento se encuentra muy alejada de determinados centros de interés cultural, pero es una concesión comprensible por la alta afluencia de la plaza del Ayuntamiento.

Sin embargo, la distribución actual sí encuentra problemas en zonas menos turísticas. Debido a que 18 de las 23 fuentes PUSDAR se ubicaron a demanda del proyecto de participación ciudadana DecidimVLC [8], aquellos distritos donde prosperaron varias propuestas de fuentes PUSDAR por parte de los vecinos se han visto sobrecubiertos. Sin embargo, aquellas zonas donde esto no ha ocurrido se han visto perjudicadas, como se observa en L'Olivereta o en Nazaret.

### **6.3. Otros pesos para los grupos de interés**

Una vez vistas las diferencias entre la solución propuesta por el Modelo 2 y la distribución actual, resulta de especial interés tratar de entender el por qué de la distribución actual de las fuentes PUSDAR en profundidad. Para ello, a continuación se va a modificar el Modelo 2 dando más peso a los grupos de interés que mayor cubrimiento tienen con la distribución actual de fuentes PUSDAR.

Como se ha mencionado en la Subsección anterior, los puntos turísticos están especialmente bien cubiertos actualmente. Por ello, la primera iteración será modificar el Modelo 2 para dar importancia únicamente al grupo de interés Turistas, asignando un 50 % de peso a los puntos accesibles de las playas y un 50 % de peso a los museos y centros culturales ponderados por su importancia como se ha mencionado anteriormente. Una vez hecho eso, la Figura 6.10 muestra la solución propuesta por el Modelo 2 modificado. En ella, las ubicaciones sugeridas para las fuentes PUSDAR se muestran en azul. Se muestran también los espacios culturales y los puntos accesibles de las playas en rosa y rojo respectivamente. El rosa de los espacios culturales es más intenso en cuanto más visitantes anuales tiene un lugar en concreto. Vemos como se cubren todos los puntos de interés sugiriendo menos de las 23 fuentes PUSDAR que hay actualmente ubicadas en la ciudad. Se sugieren solo 11.



**Figura 6.10:** Ubicaciones sugeridas por el Modelo 2 modificado y puntos de interés para el grupo Turistas  
 Fuente: *Elaboración propia*

Sin embargo, la distribución real es, salvo en el caso del Bioparc y algunos museos que no están cubiertos, más inteligente que la sugerida por el Modelo 2 modificado. Esto es así debido a que en la Ciudad de las Artes y las Ciencias, en la playa y en el casco histórico de la ciudad, las fuentes PUSDAR están ubicadas en puntos de gran afluencia de personas.

Visto que este grupo de interés era el que mejor resultado daba a la distribución actual de las fuentes PUSDAR, se puede concluir que sí ha sido un factor fundamental a la hora de emplazar fuentes PUSDAR y que las ubicaciones de estas en los puntos turísticos están bien planteadas. No resulta de especial utilidad realizar una comparación similar para los grupos de Actividad Física y de Jóvenes, puesto que el Modelo 2 inicial ya cubre mejor estos puntos de manera muy holgada.

## Capítulo 7

# Conclusiones

### 7.1. Conclusiones

En este Trabajo Fin de Grado se ha aprovechado la gran utilidad de los datos abiertos para ofrecer una solución a un problema de planificación urbana y gestión de recursos. Más en concreto, el potencial de las herramientas públicas, como son Geoportal y el portal de datos abiertos de la Generalitat Valenciana; el poder de la investigación universitaria, con el artículo “Bike Rental and Weather Data across Dozens of Cities” [14]; así como la aportación de otras organizaciones como la Fundación Visit València. La aportación al interés común de múltiples y diversas organizaciones con datos de diversa índole hacen posible mejorar los servicios tanto públicos como privados en beneficio de todos los actores de la sociedad.

Con todos estos datos, se ha procedido a elaborar un perfil de 3 grupos de interés para el uso de las fuentes PUSDAR con el objetivo de que todos los posibles usuarios de una fuente PUSDAR estuvieran considerados por los modelos de optimización.

Siguiendo el proceso, el software QGIS ha permitido tratar, depurar y representar los datos y soluciones para hacer mucho más accesible y sencillo tanto el desarrollo del proyecto como las conclusiones del mismo. Gracias a esta herramienta, resulta sencillo verificar que los datos a utilizar son correctos; depurar aquellos que presentan algún error, como ha sido el caso de las fuentes de agua convencionales ubicadas en cementerios y las instalaciones deportivas como Mestalla o el Ciutat de València, y representar los resultados de manera sencilla para poder tomar decisiones y extraer conclusiones rápidamente. Dentro del mismo programa, la herramienta OpenRouteService ha sido una pieza clave en el desarrollo de la solución. Gracias a ella, los modelos de optimización han podido incluir el concepto de isócrona, mucho más realista que la distancia física de un punto a otro. Cabe hacer una mención especial a que tanto QGIS como OpenRouteService son software libres y que, por tanto, son una herramienta que permite realizar grandes proyectos a cualquier persona aunque no disponga de grandes recursos.

En cuanto a los modelos de optimización, en este proyecto se han planteado dos modelos: uno de cubrimiento total y otro de cubrimiento máximo. El primer modelo, buscaba establecer un punto de partida cubriendo todos los puntos de interés para, después, emplear el segundo modelo con el objetivo de maximizar el cubrimiento disponiendo de un número limitado de recursos. Además, también se ha resuelto el segundo modelo con la distribución real de las fuentes PUSDAR para realizar una comparación completa del cubrimiento entre la solución propuesta y la distribución real.

Para la realización de los modelos, cabe destacar que gracias al uso de la potente herramienta Gurobi los modelos se resuelven en muy pocos segundos, una ventaja competitiva no tanto para planificación urbana (puesto que son decisiones que se toman solo una vez) pero sí para decisiones de carácter operativo que se pudieran repetir incluso centenares de veces al día.

En relación a los resultados, se ha comprobado como el hecho de que la gran mayoría de las fuentes PUSDAR

han sido ubicadas por un proceso de votación popular beneficia a los usuarios de los distritos que apoyaron activamente las propuestas de ubicar fuentes PUSDAR, generando sobrecubrimiento, mientras que perjudica a los barrios donde estas propuestas no fueron apoyadas. Como excepción a esto, los 5 primeros enclaves de las fuentes PUSDAR sí están distribuidos en lugares de amplio interés turístico de manera muy favorable.

Por último, solo queda destacar que este proyecto puede funcionar como un apoyo a la futura toma de decisiones, tanto en próximas ubicaciones de fuentes PUSDAR para maximizar el cubrimiento, como en cualquier otro problema de planificación urbana. En este último caso, este TFG puede servir como un procedimiento a seguir donde solo habría que elegir las posibles ubicaciones, los puntos de interés y su importancia relativa. Por esta importante implicación, el Anexo B servirá como un manual pormenorizado del método a seguir si se pretende resolver cualquier problema de cubrimiento en planificación urbana.

## **7.2. Líneas de trabajo futuras**

Como futuras líneas de investigación, se pueden plantear una serie de mejoras a los modelos que, con la información suficiente, podrían mejorar las soluciones propuestas.

En primer lugar, respecto a las posibles ubicaciones, a partir de un análisis detallado de posibles ubicaciones se podría plantear un modelo donde las posibles ubicaciones de una fuente PUSDAR no son fuentes convencionales. Esto, si se planteara la densidad de puntos suficiente, afinaría más las soluciones del modelo.

Por otro lado y como aspecto clave, este modelo sería un gran aliado en la toma de decisiones para futuras ubicaciones de fuentes PUSDAR. A partir de las ya presentes, resultaría sencillo plantear un modelo que maximice el cubrimiento añadiendo el número de fuentes que estimaran oportuno desde el consistorio.

# **Anexos**



**ANEXO I. RELACIÓN DEL TRABAJO CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE DE LA AGENDA 2030**

**Anexo al Trabajo de Fin de Grado y Trabajo de Fin de Máster: Relación del trabajo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la agenda 2030.**

Grado de relación del trabajo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

<b>Objetivos de Desarrollo Sostenibles</b>	<b>Alto</b>	<b>Medio</b>	<b>Bajo</b>	<b>No Procede</b>
ODS 1. <b>Fin de la pobreza.</b>				
ODS 2. <b>Hambre cero.</b>				
ODS 3. <b>Salud y bienestar.</b>				
ODS 4. <b>Educación de calidad.</b>				
ODS 5. <b>Igualdad de género.</b>				
ODS 6. <b>Agua limpia y saneamiento.</b>				
ODS 7. <b>Energía asequible y no contaminante.</b>				
ODS 8. <b>Trabajo decente y crecimiento económico.</b>				
ODS 9. <b>Industria, innovación e infraestructuras.</b>				
ODS 10. <b>Reducción de las desigualdades.</b>				
ODS 11. <b>Ciudades y comunidades sostenibles.</b>				
ODS 12. <b>Producción y consumo responsables.</b>				
ODS 13. <b>Acción por el clima.</b>				
ODS 14. <b>Vida submarina.</b>				
ODS 15. <b>Vida de ecosistemas terrestres.</b>				
ODS 16. <b>Paz, justicia e instituciones sólidas.</b>				
ODS 17. <b>Alianzas para lograr objetivos.</b>				

Descripción de la alineación del TFG/TFM con los ODS con un grado de relación más alto.

\*\*\*Utilice tantas páginas como sea necesario.

## Anexo A

# Relación del trabajo con los ODS

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible son un pilar fundamental en la visión hacia el futuro de la sociedad actual. Impulsados por la ONU [15], los denominados ODS se componen actualmente de 17 objetivos apoyados por los más de 200 Estados miembro de las Naciones Unidas dentro del marco de la Agenda 2030.

Como parte del apoyo a estos objetivos, este Trabajo Fin de Grado trata de aportar valor en el camino hacia la consecución de algunas de las metas, en concreto, las siguientes:

- **ODS 6. Agua limpia y saneamiento**
- **ODS 9. Industria, innovación e infraestructuras.**
- **ODS 10. Reducción de las desigualdades.**
- **ODS 11. Ciudades y comunidades sostenibles.**
- **ODS 12. Producción y consumo responsables.**

Cada uno de los objetivos se compone de unas metas, unos aspectos clave más concretos que tratan de aterrizar y extender el significado de cada objetivo. La aportación de este TFG a los objetivos se puede explicar de mejor manera centrándose en dichas metas.

En primer lugar, respecto al ODS 6, la meta que aborda este proyecto es la siguiente:

- **6.1 De aquí a 2030, lograr el acceso universal y equitativo al agua potable a un precio asequible para todos:** en cuanto a que el proyecto pretende ubicar de manera accesible fuentes de agua filtrada y refrigerada públicas y gratuitas para todos.

Seguidamente, en cuanto al ODS 9, la meta que aborda este TFG es la siguiente:

- **9.1 Desarrollar infraestructuras fiables, sostenibles, resilientes y de calidad, incluidas infraestructuras regionales y transfronterizas, para apoyar el desarrollo económico y el bienestar humano, haciendo especial hincapié en el acceso asequible y equitativo para todos:** en cuanto los puntos a ubicar este proyecto son elementos permanentes para la ciudad, que pretenden democratizar el acceso a agua corriente de calidad en cualquier circunstancia.

En lo que respecta al ODS 10, la meta a la que pretende contribuir este proyecto es la siguiente:

- **10.2 De aquí a 2030, potenciar y promover la inclusión social, económica y política de todas las personas, independientemente de su edad, sexo, discapacidad, raza, etnia, origen, religión o situación económica u otra condición:** por el hecho de que el modelo pretende ubicar fuentes de agua PUSDAR en todas las áreas de la ciudad, independientemente de la renta o cualquier otra idiosincrasia de sus residentes.

En relación al ODS 11, las metas que afronta este TFG son las siguientes:

- **11.1 De aquí a 2030, asegurar el acceso de todas las personas a viviendas y servicios básicos adecuados, seguros y asequibles y mejorar los barrios marginales:** por el hecho de que el modelo de optimización trata de ubicar fuentes de agua filtrada y refrigerada en todos los barrios de la ciudad.
- **11.3 De aquí a 2030, aumentar la urbanización inclusiva y sostenible y la capacidad para la planificación y la gestión participativas, integradas y sostenibles de los asentamientos humanos en todos los países:** en cuanto a que el modelo sirve para analizar y reforzar el cubrimiento de las fuentes PUSDAR creado, en parte, por el movimiento de participación ciudadana DecidimVLC.
- **11.6 De aquí a 2030, reducir el impacto ambiental negativo per capita de las ciudades, incluso prestando especial atención a la calidad del aire y la gestión de los desechos municipales y de otro tipo:** por el carácter respetuoso con el medio ambiente del hecho de facilitar el acceso a agua refrigerada en cualquier momento evitando el uso de botellas de plástico.
- **11.7 De aquí a 2030, proporcionar acceso universal a zonas verdes y espacios públicos seguros, inclusivos y accesibles, en particular para las mujeres y los niños, las personas de edad y las personas con discapacidad:** en cuanto a que la distribución propuesta de las fuentes PUSDAR pretende garantizar el acceso al agua en zonas verdes, espacios deportivos y puntos turísticos.

Por último, en lo que respecta al ODS 12, la meta abordada en este TFG es la siguiente:

- **12.5 De aquí a 2030, reducir considerablemente la generación de desechos mediante actividades de prevención, reducción, reciclado y reutilización:** por el hecho de que las fuentes PUSDAR que se emplazan en este proyecto contribuyen al uso de envases reutilizables y a evitar el uso de plásticos de un solo uso.

En conclusión, este Trabajo Fin de Grado se posiciona como un proyecto ambicioso en cuanto a la consecución de los Objetivos de Desarrollo Sostenible fijados en la Agenda 2030, no solo en un aspecto, sino en multitud de ellos.

## Anexo B

# Guía para desarrollar un modelo de cubrimiento en planificación urbana

Este anexo pretende servir de guía para el desarrollo de un modelo de cubrimiento en planificación urbana por medio de un modelo de optimización empleando Gurobi y QGIS.

### B.1. Selección de objetivos a cubrir

En todo problema, el primer paso para resolverlo es la selección de las variables. En este caso, se debe saber qué se pretende cubrir. Respecto a la ubicación, se deberá escoger el área de trabajo, es decir, donde se van a ubicar las instalaciones. En una ciudad, lo habitual es satisfacer la demanda de personas, por tanto, se debe separar a las personas usuarias de aquello que se pretenda ubicar en grupos. No importa cuántos grupos se deban hacer, o incluso puede que solo se necesite uno. Lo importante será establecer la importancia relativa de cada grupo y qué elementos de la ciudad pueden servir como puntos de interés para estos grupos. Por ejemplo, si se busca satisfacer al grupo "Universitarios" será necesario conseguir la ubicación de las diferentes universidades que se encuentren dentro de la zona a cubrir.

Otro aspecto a considerar es la importancia de cada punto en concreto y aquí hay que diferenciar dos posibilidades. Puede que haya una manera de establecer la importancia de cada punto y puede que no. Si esa manera existe (superficie respecto al total de puntos, visitantes o simplemente de manera arbitraria), se deberá asignar un peso a cada punto de manera que todos los pesos de un mismo tipo de punto sumen 1. Si no hay manera de establecer dicha importancia, una media será suficiente en este paso.

Este modelo necesita trabajar con puntos discretos, por tanto, si un punto de interés resulta ser un espacio (como un campus universitario) será imprescindible aglutinar cada punto de interés en, precisamente, un punto. En este aspecto se puede optar por la opción del centroide o por uno o varios puntos concretos del espacio por ser especialmente relevantes. Para obtener estos puntos, las herramientas de datos abiertos son un gran aliado. En multitud de ciudades, como València, hay herramientas como Geoportal que proporcionan bases de datos de cientos de cosas, desde precio del metro cuadrado de alquiler hasta parques públicos. Lo más importante es obtener las coordenadas para poder emplear un Sistema de Información Geográfica como QGIS. Existen también bases de datos abiertas de comunidades autónomas, del Gobierno de España y de la Unión Europea, según las necesidades del problema.

## B.2. Selección de posibles ubicaciones

En cuanto a las posibles ubicaciones, hay tantas alternativas como problemas reales. Se puede optar por ubicar en un mapa puntos arbitrariamente, cuidándose de no establecer como posible ubicación un lugar que no lo sea, o también se pueden escoger conjuntos de puntos que tengan las mismas cualidades que necesita aquello que se pretenda ubicar. Por ejemplo, si se pretendiera ubicar un cargador para vehículo eléctrico, podría usarse el conjunto de farolas en las aceras de la ciudad puesto que estas cuentan con acceso en la vía pública y electricidad. Otro aspecto clave es el número de puntos que se van a proponer. Se debe escoger cuántas instalaciones se van a ubicar, que debe ser 1 como mínimo.

Una vez llegados a este punto, se debe colocar el conjunto de posibles ubicaciones y de puntos de interés en Sistema de Información Geográfica como QGIS.

## B.3. Uso de isócronas

Otro aspecto elemental de este modelo es el concepto de Isócrona. Esto es el conjunto de puntos que se alcanzan en un determinado tiempo en un determinado medio de transporte. Cada problema tendrá unas características que deben valorarse para adaptar las isócronas empleadas al problema en concreto. Si se pretende ubicar una infraestructura para vehículos, lo razonable será que la isócrona se establezca en el tiempo que se tarda en ir de un punto a otro en coche. Por el contrario, si se pretende ubicar un parque, lo razonable será que la isócrona se establezca en el tiempo que se tarda en ir de un punto a otro a pie.

El tiempo debe ser escogido por el decisor. En planificación urbana, es una buena primera iteración considerar 15 minutos y así seguir la filosofía de la “Ciudad de los 15 minutos”. En caso de disponer de suficientes recursos, se puede recortar este tiempo para acercarse más a cada punto de interés.

Empleando QGIS, el complemento de este programa OpenRouteService será un gran aliado para establecer las isócronas. Gracias a él, se puede realizar una matriz de tiempos de cada punto de interés a cada posible ubicación para cualquier método de transporte. Además, se pueden representar también las isócronas que se deseen para una representación visual del problema o de la solución.

## B.4. Algoritmo de resolución

Una vez se ha escogido cada grupo de interés, la importancia de cada grupo, los puntos de interés para cada grupo, su importancia dentro de grupo y se ha creado la matriz de distancia usando el concepto de isócrona, queda lo más divertido: resolver el problema. Para ello, hará falta valerse de un modelo de cubrimiento máximo, que se detalla a continuación.

### B.4.1. Parámetros

En la Tabla B.1 se detallan los parámetros empleados en el modelo.

Parámetro	Significado
$\alpha_{ij}$	Matriz, creada a partir de la matriz de distancias, que vale 1 si del punto de interés $j$ se puede llegar a la posible ubicación $i$ en menos del tiempo estipulado con el medio de transporte elegido. 0 en caso contrario.
$W_k$	Vector de pesos de cada punto de interés sobre el total entre 0 y 1.
$M$	Número total de posibles ubicaciones.
$V_k$	Importancia relativa de cada ítem de cada clase de punto de interés. Este parámetro se debe repetir tantas veces como puntos de interés diferentes.

**Tabla B.1:** Parámetros del modelo

## B.4.2. Variables

En la Tabla B.2 se detallan las variables del modelo.

Variables	Significado
$X_i$	1 si se activa la posible ubicación $i$ . 0 en caso contrario.
$Y_j$	1 si se llega en menos del tiempo estipulado con el medio de transporte elegido del lugar $j$ a al menos una posible ubicación. 0 en caso contrario.

**Tabla B.2:** Variables del modelo

## B.4.3. Función objetivo

$$Max : \sum_{k=1}^{k=n} P = W_k \cdot N_k \quad (B.1)$$

## B.4.4. Restricciones

$$\sum_{i=1}^{i=n} X_i \leq NLIMITE \quad (B.2)$$

$$\sum_{i=1}^n X_i \cdot \alpha_{ij} \leq M \cdot Y_j ; \forall j \quad (B.3)$$

$$\sum_{i=1}^n X_i \cdot \alpha_{ij} \geq Y_j ; \forall j \quad (B.4)$$

$$N_b = \sum_{b=1}^{b=n} [Y_b \cdot V_b] \cdot 100 \quad (B.5)$$

$$\sum_{k=p}^{k=s} W_k = 1 \quad (B.6)$$

$$X_i \in [0, 1] \quad (B.7)$$

$$Y_j \in [0, 1] \tag{B.8}$$

La función objetivo pretende maximizar la puntuación media ponderada de cubrimiento. Esto implica cubrir todos los puntos posibles priorizando por calidad según su importancia relativa. La Expresión B.2 marca el número máximo de elementos a emplazar en el modelo. Las Expresiones B.3 y B.4 obligan a que cada lugar se marque como cubierto si al menos una fuente está a menos del tiempo estipulado. La Expresión B.5 marca la nota de cada punto de interés, si ese punto de interés está cubierto, sumará. Si no, no lo hará. La nota total es la suma de notas de los puntos cubiertos, si todos lo están, será 100. Finalmente, la Expresión B.6 marca que la suma de importancias relativas debe ser 1.

## **B.5. Resultado**

Una vez resuelto el modelo, Gurobi es una opción rápida, la función objetivo arrojará el cubrimiento obtenido y, en el vector de X, valdrán 1 todas las ubicaciones que el modelo ha sugerido activar. Por tanto, el problema estará finalizado.

# Bibliografía

1. *¿Por qué se utiliza Python en la ciencia de datos?* Nodd3r, 2022. Disponible también desde: (<https://nodd3r.com/blog/por-que-se-utiliza-python-en-la-ciencia-de-datos>). [Consulta: 11 de abril de 2024].
2. *¿Qué son los datos abiertos?* Comisión Europea. Disponible también desde: <https://data.europa.eu/elearning/es/module1/#/id/co-01>. [Consulta: 21 de septiembre de 2023].
3. *CENTROIDE*. Universo Fórmulas. Disponible también desde: <https://www.universoformulas.com/matematicas/geometria/centroide/>. [Consulta: 19 de febrero de 2024].
4. *Cobertura de Ocupación del Suelo de la Comunitat Valenciana (COSCV)*. Institut Cartogràfic Valencià. Disponible también desde: <https://icv.gva.es/es/ocupacio-del-sol>. [Consulta: 23 de diciembre de 2023].
5. *Datos.gob.es*. Ministerio de Asuntos Económicos y Transformación Digital. Disponible también desde: <https://datos.gob.es/es>. [Consulta: 21 de septiembre de 2023].
6. *Estadísticas de Turismo 2021*. Fundación Visit Valencia, 2021. Disponible también desde: <https://fundacion.visitvalencia.com/sites/default/files/media/downloadable-file/files/Estadisticas-turistas-2021.pdf>. [Consulta: 21 de septiembre de 2023].
7. *Estas son las ciudades más pobladas de España en este 2023*. El periódico de España, 2023. Disponible también desde: <https://www.epe.es/es/ocio/20230902/ciudades-pobladas-espana-2023-son-dv-89141777>. [Consulta: 7 de abril de 2024].
8. *Este es el mapa de las 18 nuevas fuentes de agua filtrada y refrigerada distribuidas por València*. SER, 2021. Disponible también desde: [https://cadenaser.com/emisora/2021/12/13/radio\\_valencia/1639417243\\_280169.html](https://cadenaser.com/emisora/2021/12/13/radio_valencia/1639417243_280169.html). [Consulta: 2 de mayo de 2023].
9. GILBERT LAPORTE, Stefan Nickel. *Location Science*. Springer, 2015.
10. *Gurobi Optimization*. GUROBI OPTIMIZATION, LLC. Disponible también desde: <https://www.gurobi.com/>. [Consulta: 9 de diciembre de 2023].
11. H.A EISELT, Carl-Louis Sandblom. *Operations Research a Model-Based Approach*. Springer, 2012.
12. *isócrono, na*. Real Academia Española. Disponible también desde: <https://dle.rae.es/is%C3%B3crono>. [Consulta: 19 de febrero de 2024].
13. JONKER, Alexandra. *¿Qué es un sistema de información geográfica (SIG)?* IBM, 2023. Disponible también desde: <https://www.ibm.com/es-es/topics/geographic-information-system>. [Consulta: 8 de abril de 2024].
14. KULL, Meelis; FERRI, Cèsar y MARTÍNEZ-USÓ, Adolfo. *Bike Rental and Weather Data across Dozens of Cities*. 2015. Disponible también desde: <https://sites.google.com/site/icmldemand/accepted>. ICML 2015 Workshop on Demand Forecasting.
15. *La Agenda para el Desarrollo Sostenible*. Naciones Unidas. Disponible también desde: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/development-agenda/>. [Consulta: 8 de enero de 2024].

16. *La población mundial aumentará en 1.000 millones para 2030*. Naciones Unidas, 2017. Disponible también desde: <https://www.un.org/es/desa/world-population-prospects-2017>. [Consulta: 7 de abril de 2024].
17. *Lanzamiento de ocho retos orientados a la Misión Climática València 2030*. Universitat Politècnica de València, 2022. Disponible también desde: <https://innovacion.upv.es/es/lanzamiento-8-retos-orientados-a-la-mision-climatica-valencia-2030/>. [Consulta: 24 de marzo de 2023].
18. LITA, j. *Las 18 nuevas fuentes de agua filtrada en Valencia*. 2021. Disponible también desde: <https://www.lasprovincias.es/valencia-ciudad/nuevas-fuentes-agua-filtrada-valencia-20211225131615-nt.html>. [Consulta: 24 de marzo de 2023].
19. *Missions València 2030*. Missions València 2030. Disponible también desde: <https://www.missionsvalencia.eu/?lang=es>. [Consulta: 24 de marzo de 2023].
20. *OpenRoute Service*. OpenRoute Service. Disponible también desde: <https://openrouteservice.org/>. [Consulta: 11 de abril de 2024].
21. PLAZA, Pablo. *València, elegida Capital Verde Europea 2024*. 2022. Disponible también desde: <https://valenciaplaza.com/valencia-elegida-capital-verde-europea-2024>. [Consulta: 2 de mayo de 2023].
22. *Pressupostos participatius*. Ajuntament de València, 2023. Disponible también desde: <https://decidimvlc.valencia.es/presupuestos>. [Consulta: 11 de abril de 2024].
23. *PROYECTO “VALÈNCIA, CIUDAD CLIMÁTICAMENTE NEUTRA EN 2030; LÍNEA ESTRATÉGICA CPI 3: URBANISMO Y HÁBITAT SOSTENIBLE”*. Missions València 2030. Disponible también desde: <https://www.missionsvalencia.eu/cpivalencia/wp-content/uploads/2022/05/ANEXO-I.-RETOS-CPM-03-URB.-Y-HAB.-SOST..pdf>. [Consulta: 7 de abril de 2024].
24. *QGIS*. Open Source Geospatial Foundation. Disponible también desde: <https://qgis.org/es/site/about/index.html>. [Consulta: 29 de agosto de 2023].
25. *QUIÉNES SOMOS*. Las Naves. Disponible también desde: <https://www.lasnaves.com/quienes-somos/?lang=es>. [Consulta: 7 de abril de 2024].
26. SANZ, Manuel Baeza. *Localización de servicios: modelos de cobertura*. 2015. Disponible también desde: <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/14018/TFG-I-278.pdf>. [Consulta: 19 de febrero de 2024].
27. SCHAUENBERG, Tim. *“Ciudades de 15 minutos”: ¿qué son y cómo funcionan?* 2023. Disponible también desde: <https://p.dw.com/p/40nIB>. [Consulta: 24 de marzo de 2023].
28. *Software de optimización*. IBM. Disponible también desde: <https://www.ibm.com/es-es/optimization-solver>. [Consulta: 11 de abril de 2024].
29. *València aprueba el Sandbox Urbano, pionero en la UE*. Las Naves, 2024. Disponible también desde: <https://www.lasnaves.com/valencia-aprueba-el-sandbox-urbano-pionero-en-la-ue/?lang=es>. [Consulta: 8 de abril de 2024].
30. *València és finalista a Capital Europea de la Innovació 2022*. Ajuntament de València, 2022. Disponible también desde: <https://www.valencia.es/-/val%C3%A8ncia-finalista-capital-europea-innovaci%C3%B3n>. [Consulta: 2 de mayo de 2023].