



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Dpto. de Matemàtica Aplicada

Cultura urbana y teoría de grafos

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Investigación Matemática

AUTOR/A: Muñoz Hernando, Itziar

Tutor/a: Trujillo Guillen, Macarena

Cotutor/a externo: Rivera Herráez, Rafael

CURSO ACADÉMICO: 2023/2024



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

Departamento de Matemática Aplicada

Máster Universitario en Investigación Matemática

Curso 2023-2024

Trabajo Fin de Máster

CULTURA URBANA Y TEORÍA DE GRAFOS

Autora: Itziar Muñoz Hernando

Tutores: Macarena Trujillo Guillén

Rafael Rivera Herráez



# Agradecimientos

Este trabajo ha sido posible gracias a todas las personas que han confiado en mí y en mi ilusión por aprender. En especial, me gustaría dedicárselo a mis padres, Ricardo y Yolanda, que siempre me han permitido ser, equivocarme y me han esperado en cada meta pacientemente, nada de lo que consiga me llenará tanto de orgullo como ser su hija; a mi hermana, Leire, que ha allanado mi camino y confía en mí más que nadie, juntas se para el reloj y podemos conseguirlo todo; a Javier, que me cuida, me respeta, me acompaña y me quiere, de él he aprendido que el amor es infinito; y a Javier Iranzo, que se ha convertido mi familia en este nuevo hogar.

Además, no puedo evitar dar las gracias a Macarena y Rafa, mis tutores, que se han entregado a este trabajo y me han permitido aprender tanto de ellos que no hay suficientes palabras para agradecérselo. Ha sido un enorme privilegio encontrarlos en el camino académico y personal, nada de esto hubiera sido posible sin ellos y la pasión que ponen a todo lo que hacen, para mí esto es mucho más que un trabajo de fin de máster, es fruto de una idea brillante, de un cariño inmenso y de una ilusión por hacer del mundo un lugar un poquito más amable.



# Resumen

## Resumen

Las ciudades son espacios complejos en los que interaccionan muchas variables, un escenario en el que se mezclan las personas, con su cultura, su historia, su identidad y sus tradiciones. Fruto de esta combinación entre aspectos humanísticos y técnicos surge este trabajo, que se enmarca en la interdisciplinariedad. Su principal objetivo es desarrollar una herramienta que permita obtener rutas para los peatones entre dos puntos de una ciudad cuya distancia sea la mínima, o próxima a ella, y que a su vez tenga el interés paisajístico y cultural más alto posible en base a unos parámetros preestablecidos. Para alcanzarlo, se propone la teoría de grafos como la herramienta principal a través de la cual se pueda entender la ciudad como una red a partir de la que calcular tanto las rutas mínimas como aquellas con un mayor valor paisajístico y cultural, basándonos en un modelo que permita cuantificar el valor de cada arista del grafo teniendo en cuenta las variables que intervienen, sus características y complejidades. A pesar de que se persigue que este trabajo sea extensible a cualquier ciudad, se ejemplificará su potencial en el barrio el Mercat, perteneciente al distrito de Ciutat Vella en la ciudad de València.

## Resum

Les ciutats són espais complexos en els quals interaccionen moltes variables, un escenari en el qual es mesclen les persones, amb la seua cultura, la seua història, la seua identitat i les seues tradicions. Fruit d'esta combinació entre aspectes humanístics i tècnics sorgix este treball, que s'emmarca en la interdisciplinarietat. El seu principal objectiu és desenvolupar una ferramenta que permeta obtindre rutes per als vianants entre dos punts d'una ciutat la distància de la qual siga la mínima, o pròxima a ella, i que al seu torn tinga l'interés paisatgístic i cultural més alt possible sobre la base d'uns paràmetres preestablits. Per a aconseguir-ho, es proposa la teoria de grafos com la ferramenta principal a través de la qual es puga entendre la ciutat com una xarxa a partir de la qual calcular tant les rutes

mínimes com aquelles amb un major valor paisatgístic i cultural, basant-nos en un model que permeta quantificar el valor de cada aresta del graf tenint en compte les variables que intervenen, les seues característiques i complexitats. A pesar que es persegueix que este treball siga extensible a qualsevol ciutat, s'exemplificarà el seu potencial en el barri el Mercat, pertanyent al districte de Ciutat Vella a la ciutat de València.

## **Abstract**

Cities are complex spaces in which many variables interact, a scenario in which people, their culture, their history, their identity and their traditions are mixed. The result of this combination of humanistic and technical aspects is where this work is enclosed, which is marked by interdisciplinarity. The main objective is to develop a tool that allows to obtain routes for pedestrians between two points of a city whose distance is the minimum, or close to it, and that it has the highest possible scenic and cultural interest on the basis of pre-established parameters. To achieve this, the graph theory is proposed as the main tool through which the city can be understood as a network, with this network we will be able to calculate the minimum routes and the higher landscape and cultural value routes, based on a model that allows us to quantify the value of each edge where we have to consider their characteristics and complexities. Although our propose is that this work would be extensible to any city, we will illustrate an example in the neighborhood of the Mercat, in the district of Ciutat Vella in València.

### **Palabras clave:**

- Teoría de grafos
- Ciudad
- Cultura Urbana
- València
- Algoritmo de Dijkstra
- Algoritmo de Yen

# Índice de contenidos

<b>1. Introducción y objetivos</b>	<b>1</b>
1.1. Interés y objetivos del trabajo . . . . .	1
1.2. Estado del arte . . . . .	3
1.3. Estructura del trabajo . . . . .	6
<b>2. Metodología</b>	<b>7</b>
2.1. Elementos de evaluación . . . . .	8
2.1.1. Edificios . . . . .	8
2.1.2. Arbolado . . . . .	12
2.1.3. Elementos singulares . . . . .	14
2.1.4. Conjuntos . . . . .	15
2.1.5. Relación entre los elementos . . . . .	16
2.2. Elementos en el barri el Mercat . . . . .	18
2.2.1. Edificios . . . . .	18
2.2.2. Arbolado . . . . .	24
2.2.3. Elementos singulares . . . . .	25
2.2.4. Conjuntos . . . . .	27
2.2.5. Peatonalización . . . . .	27
<b>3. Tratamiento informático</b>	<b>28</b>
3.1. Grafos del barri el Mercat . . . . .	28
3.1.1. Grafo de distancias . . . . .	29
3.1.2. Grafo de valor paisajístico y cultural . . . . .	29
3.2. Camino mínimo: Algoritmo de Dijkstra . . . . .	33
3.2.1. Tratamiento en R . . . . .	33
3.3. Los primeros $k$ -caminos más cortos: Algoritmo de Yen . . . . .	34
3.3.1. Tratamiento en R . . . . .	34
3.4. Camino con mayor valor paisajístico y cultural . . . . .	36
<b>4. Implementación de los algoritmos</b>	<b>37</b>
4.1. Ejemplos de implementación . . . . .	37
4.1.1. La ruta más corta y más cultural entre la plaza de la Mare de Deu de la Pau y la plaza de Joan de Vila-Rasa . . . . .	39

---

4.1.2. La ruta más corta y más cultural entre la esquina de la calle Sant Vicent Martir con la calle de Sant Ferran y la plaza del Tossal . . . . .	44
4.2. Prototipo de una interfaz de usuario . . . . .	46
4.2.1. Ejemplos . . . . .	48
<b>5. Discusión y conclusiones</b>	<b>51</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>55</b>
<b>Anexos</b>	<b>58</b>
<b>A. Código fuente</b>	<b>60</b>
<b>B. Código fuente del prototipo</b>	<b>64</b>

# 1

## Introducción y objetivos

### 1.1. Interés y objetivos del trabajo

Las ciudades son espacios complejos en los que interaccionan muchas variables. Son el escenario en el que se mezclan las personas, con su cultura, su historia, sus tradiciones, su identidad y sus emociones. Por eso, son un ejemplo de simbiosis entre los planos humanístico y técnico que subrayan la necesidad de la INTER-DICIPLINARIEDAD, así, en mayúsculas. Y precisamente ahí es donde se sitúa este trabajo, en una mezcla de disciplinas que se ponen al servicio de las ciudades para tratar de mejorar su realidad.

Una de las principales problemáticas actuales de las ciudades es la movilidad. El crecimiento exponencial del tráfico rodado contribuye al aumento de la polución, del consumo energético, a la hipoteca de espacios públicos dedicados a este fin o a la contaminación acústica, entre otros. Estos problemas surgen por el crecimiento sin límites de las ciudades y por el estrés con el que nos hemos acostumbrado a vivir día a día. Son circunstancias que impiden que se planteen fórmulas más sostenibles, aunque más lentas. La prisa suele ser el enemigo que nos aparta de caminar la ciudad y nos hace olvidarnos de alternativas que mejoran la salud tanto física como mental de la ciudadanía.

Este hecho no ha pasado desapercibido para las instituciones. Por un lado, la urgencia de poner en primer plano la sostenibilidad de las ciudades, los compromisos de la Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), han subrayado la necesidad del incremento del desarrollo de prácticas, actividades y proyectos que se pongan en marcha para hacer de las ciudades comunidades

inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles (ODS 11). Por otro lado, la presión de los movimientos sociales (un ejemplo sería *Cittaslow*, Ciudad lenta, que surgió en Italia a finales del siglo XX [17]) ha puesto de manifiesto la importancia de que se trabaje para que la ciudadanía sea consciente del lugar en el que vive, se revalorice el patrimonio histórico urbano, se multipliquen las áreas verdes, o se peatonalicen los centros históricos .

Este trabajo se encuentra dentro de este marco de referencia, con la hipótesis de que desarrollar acciones que animen a caminar la ciudad pueden contribuir a promover los valores de sostenibilidad y a disfrutar de nuestro entorno. Así, el principal objetivo del trabajo es desarrollar una herramienta que permita obtener rutas para los peatones entre dos puntos de una ciudad cuya distancia sea la mínima, o próxima a ella, y que a su vez tenga el interés paisajístico y cultural más alto posible en base a unos parámetros preestablecidos.

Actualmente existen aplicaciones con las que obtener rutas de mínima distancia a pie o rutas turísticas, pero la idea que se plantea en este trabajo no es obtener una ruta de distancia mínima, ni enfocada al turismo, sino itinerarios en los que, sin desviarse de la ruta más corta, permitan disfrutar de un paisaje urbano interesante para ser recorrido por la ciudadanía. Es decir, se trata de enriquecer el paseo. Es aquello de ir de un punto a otro y “de paso” descubrir calles, edificios, monumentos, zonas verdes o paisajes urbanos que eran desconocidos o que hacen más agradable la ruta en sí. Ese “de paso” es clave en el trabajo, puesto que dado un origen y un destino, el objetivo es encontrar una ruta a pie que comunique estos dos puntos y que, sin un desvío relevante de la ruta más corta (en los siguientes capítulos se acota lo que significa “un desvío relevante”), permita disfrutar de un trayecto más interesante. Se sabe que la línea recta es la distancia más corta entre dos puntos, pero siempre en un entorno teórico. En la ciudad es diferente, la ruta más corta puede ser la más agradable, la más sombreada o la más hermosa. Algunas aplicaciones de rutas proporcionan lo que se podría llamar la línea recta para comunicar dos puntos de una ciudad, que obviamente nunca es recta, pero su objetivo es minimizar la distancia. Este trabajo pretende poner en valor el hecho de que la ruta más corta no es la de menos distancia, sino la que al usuario se le hace más corta.

Como base para el estudio se ha seleccionado la ciudad de València, y más concretamente el barrio el Mercat que se encuentra en el distrito de Ciutat Vella. Sobre esta área se desarrolla la investigación, pero su carácter generalista tiene como objetivo que el procedimiento para obtener resultados pueda extrapolarse a toda la ciudad o cualquier otra.

La teoría de grafos se utiliza en el trabajo como herramienta esencial para entender la ciudad como una red y a partir de ahí valorar los diferentes algoritmos a aplicar que nos proporcionen rutas de mínima distancia y máximo valor paisajístico y cultural. Las calles del barrio el Mercat se corresponden con las aristas del grafo, siendo los nodos los cruces entre las diferentes vías. Pero es necesario

proponer el modelo que permita, además, cuantificar el valor de cada arista del grafo teniendo en cuenta las variables que intervienen, sus características y complejidades. Esto supone un camino de doble dirección entre lo cuantitativo y lo cualitativo, entre lo objetivo y lo subjetivo, en el que el rigor y el equilibrio son clave.

Para conseguir el objetivo general propuesto, se formulan los siguientes objetivos específicos:

1. Establecer qué parámetros se van a tener en cuenta y cómo se van a cuantificar para establecer el valor cultural y paisajístico de cada arista del grafo.
2. Establecer y justificar cómo relacionaremos los valores obtenidos anteriormente para formar así un grafo ponderado con el valor cultural y paisajístico preciso en cada arista.
3. Sistematizar el proceso de creación del grafo ponderado para que se pueda tanto aumentar la zona de estudio dentro de la ciudad de València, como extrapolarlo a otras ciudades, contemplando las características particulares de cada una de ellas para ponerlas en valor.
4. Justificar el uso de distintos tipos de grafos en cada ocasión, al igual que la aplicación de un algoritmo u otro para la resolución.

Al fin y al cabo lo que se pretende es una doble mirada de la ciudad desde un punto de vista tanto social como técnico que contribuya al enriquecimiento de la misma, la haga más sostenible, más habitable, y en definitiva, más llena de vida.

## 1.2. Estado del arte

Las ciudades son un escenario complejo, cambiante y, sometido a diversas tensiones, al que las matemáticas, con su objetividad y rigor, podrían parecer ajenas. Sin embargo, esto no es así, y lo cierto es que las matemáticas tienen mucho que aportar a lo que supone la convivencia en las ciudades.

Prueba de esta mezcla de disciplinas, existen multitud de trabajos que utilizan diversas herramientas matemáticas para estudiar, analizar o resolver diferentes cuestiones que se plantean alrededor de las ciudades. Entre ellos, se pueden encontrar estudios donde aplican conceptos puramente matemáticos como la geometría para comprender el desarrollo de las ciudades y su morfología. Este es el caso de [6], en el que el enfoque geométrico pretende describir y explicar los sistemas de calles de las áreas urbanas o la topología, que se puede aplicar junto con la topográfica para modelar y diseñar lo que en [18] se entiende como la ciudad del

futuro. También, a través de herramientas más propias de la matemática aplicada se pueden crear simuladores interactivos como en [23], donde se exploran posibles desarrollos de una ciudad mediante la gestión de agentes, bienes y mercados, o usar la modelización para analizar los datos de población y prever tendencias. Algunos modelos matemáticos que se aplican en los estudios urbanísticos tienen que ver con las funciones de correlación espacial pero también surgen herramientas matemáticas más concretas como el conjunto de las ecuaciones de parámetros fractales que se emplean para analizar la forma y el crecimiento urbano como se puede ver en [10].

Entre las diferentes ramas de las matemáticas que se utilizan para el estudio de las ciudades, la teoría de grafos tiene especial interés por lo que mucho que puede aportar a las relaciones y las comunicaciones. De hecho, el origen de la teoría de grafos se sitúa precisamente en el planteamiento de un problema de conexiones, el famoso problema de los puentes de Königsberg, del siglo XVIII.

En la ciudad de Königsberg (actualmente Kaliningrado) el río Pregolya dividía la ciudad en 4 partes que estaban conectadas por siete puentes (figura 1.1) y la pregunta que surgió fue: “¿Se pueden atravesar todos los puentes pasando sólo una vez por cada puente y regresar el punto de partida?”. En 1736, el matemático Leonhard Euler propuso la primera solución formal a este problema en un artículo llamado *Solutio problematis ad geometriam situs pertinentis* [12], en el que proponía entender cada parte de la ciudad como un punto y trazar entre ellos una línea si existía un puente que los unía (figura 1.2). La solución de este problema estaba basada en herramientas que forman parte de lo que hoy se conoce como teoría de grafos.

En esta misma ciudad, en 1824 nació Gustav Kirchhoff quien aplicó por primera vez la teoría de grafos para analizar las redes eléctricas, lo cual tuvo como fruto las leyes que llevan su nombre y que sirven para calcular voltajes y corrientes en circuitos eléctricos. De este modo, también Kirchhoff utilizó herramientas de la teoría de grafos para analizar conexiones y flujos, aunque de otra tipología. Y más tarde, en 1926, Otakat Boruvka se sirvió de todos estos conocimientos para diseñar un circuito eléctrico, en este caso de dimensiones mucho mayores, y aplicado a las conexiones en la ciudad, ya que se trataba de la red eléctrica de la ciudad de Moldavia, cuyo resultado puede considerarse uno de los primeros algoritmos de teoría de grafos.

Poco a poco se fueron ampliando las aplicaciones del uso de la teoría de grafos dada su versatilidad. Esta teoría también sirvió para el estudio de los isómeros de un hidrocarburo que realizó Arthur Cayley, o la relación entre el álgebra y los diagramas moleculares, que estudió James Joseph Sylvester [21]. Además, a este último se le atribuye el nombramiento de esta teoría como teoría de grafos.

También es conocido el problema de los cuatro colores, propuesto por Francis Guthrie en 1852. Guthrie se preguntó si era posible colorear cualquier mapa

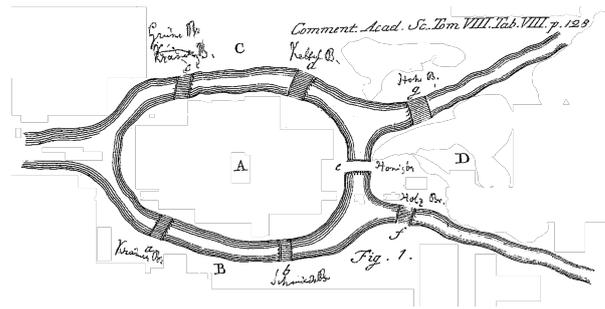


Figura 1.1: Dibujo original del problema de los puentes de Königsberg extraído de [12].

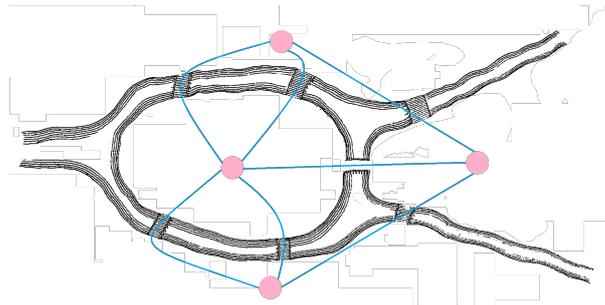


Figura 1.2: Grafo asociado al dibujo original de los puentes de Königsberg extraído de [12]. Elaboración propia.

utilizando sólo cuatro colores de manera que regiones colindantes nunca tuvieran el mismo color. Este problema, que a priori parece sencillo, tardó en resolverse más de un siglo y fueron Kenneth Appel y Wolfgang Haken en 1976 quienes con la ayuda de un ordenador determinaron que era posible hacer esta coloración probando todas las combinaciones a las que Heinrich Heesch había reducido el problema [13].

Otra famosa aplicación, y que se acerca más al ámbito del presente trabajo, es el diseño del mapa del metro de Londres que propuso Harry Beck en 1931. Con un uso brillante de la abstracción y la simplificación, Beck consiguió un diseño exquisito tanto desde el punto de vista de la función, como de la forma. Es por ello que ha sido la fuente de la que han partido otros mapas de metro y comunicaciones. Es el caso del plano de metro de Nueva York, que diseñó Massimo Vignelli en 1972 y que es un icono de la modernidad. La apreciación por esta obra gráfica es tal que ha estado expuesto en museos como el MOMA de Nueva York.

Con estas pequeñas referencias se puede adivinar que desde su origen hasta nuestros días, la importancia y uso de la teoría de grafos ha ido en aumento y podemos encontrar aplicaciones de ella en todas partes de nuestra vida cotidiana.

El texto *La imagen de la Ciudad*, de Kevin Lynch, [16] y la metodología que propone mapeando las condiciones que definen la ciudad, es una referencia útil que permite concretar (tal vez simplificando en exceso) la identidad del hecho

social que es la ciudad. En definitiva suma aspectos que nos permiten aterrizar en el mapa urbano.

En este trabajo, la teoría de grafos se empleará para entender también la ciudad como una red y así estudiar cómo se puede conectar con diferentes rutas. La novedad se encuentra principalmente en el tipo de estas rutas.

### 1.3. Estructura del trabajo

Para alcanzar los objetivos anteriormente descritos, la estructura del trabajo es la siguiente:

En el capítulo 2, Metodología, se abordan las cuestiones fundamentales del trabajo. Se establecen los distintos elementos a tener en cuenta y los criterios de evaluación para cuantificar el valor cultural en las aristas de lo que hemos llamado grafo de valor paisajístico y cultural. Este proceso se realiza de forma que permita ser sistematizado para poder extrapolar el área de trabajo al conjunto completo de la ciudad de València o a otras ciudades. A continuación, se analizan los elementos que se encuentran en la zona de estudio, ejemplificando cómo aplicar los criterios establecidos en la sección anterior a este caso particular.

En el capítulo 3, Tratamiento informático, se presentan los grafos que han sido realizados para el barrio el Mercat distinguiendo entre el grafo de distancias, para hallar el camino mínimo, y el grafo de valor paisajístico y cultural, basado en los valores establecidos en el capítulo 2. Además, se tratan en profundidad los algoritmos empleados en la resolución y cómo se traduce esto al lenguaje R, el software en el que se implementa la herramienta.

En el capítulo 4, Resultados, se muestra la herramienta final y se explica su funcionamiento a nivel usuario.

Por último, el trabajo concluye con el capítulo 5, Discusión y conclusiones, en el que se discuten los resultados obtenidos haciendo también una revisión crítica de aspectos de mejora proponiendo cómo abordarlos en futuros trabajos.

# 2

## Metodología

Para alcanzar el objetivo propuesto en el trabajo se construyen dos grafos ponderados. Las aristas representan las calles y los nodos los cruces entre calles de un área en cuestión. A uno de los grafos lo hemos llamado grafo de distancias porque el valor de la arista representa la distancia entre los dos nodos que une la arista. Al otro grafo lo hemos llamado grafo de valor paisajístico y cultural (o solo grafo cultural por brevedad) porque en este caso el valor de la arista representa el valor cultural y paisajístico que tiene. Por tanto, ambos están compuestos por las mismas aristas y nodos, pero cambia el valor de la arista y lo que este valor representa.

Para el trabajo se ha decidido utilizar como área de estudio el barrio el Mercat, que se encuentra en el distrito de Ciutat Vella de Valencia. Una parte del barrio coincide con la superficie que se encontraba dentro de las murallas cristianas entre los siglos XIV y XIX y que se considera el núcleo originario de la ciudad fundada por los romanos en el año 130 a.C. La elección de este barrio se ha hecho por dos razones. Por un lado, tiene un tamaño razonable para ser abordado como objeto de este estudio. Y por otro lado, cuenta con prácticamente todos los elementos a valorar para fijar el peso cultural y paisajístico de las aristas del grafo cultural, es decir, es una muestra representativa que permite mostrar el uso de los criterios que se han fijado para la valoración.

En el grafo de distancias es sencillo asignar el valor de la arista porque la distancia entre nodos es un valor conocido. En el caso del grafo cultural este valor es más complejo de incorporar. La complejidad reside en que se está midiendo una característica más subjetiva y cualitativa y sobre la que, hasta donde nosotros

sabemos, no existen referencias previas que cuantifiquen su valor de manera global. Lo que sí se ha localizado, son referencias de trabajos con objetivos similares al nuestro en cuanto a la sostenibilidad, el urbanismo o las atracciones turísticas que nos aportan ideas sobre cómo realizar el proceso de valoración de la arista de este grafo ([15], [3], [14], [22], [25]). Todas las referencias parecen coincidir en que la sistematización del proceso se ha de realizar en los siguientes pasos:

- Determinar y describir los elementos que van a influir en la valoración.
- Especificar los indicadores que se van a utilizar para valorar cada elemento.
- Categorizar los miembros del conjunto que forman cada elemento utilizando los indicadores.
- Dar una valoración cuantitativa a cada una de las categorías, es decir, establecer cuantificadores.
- Establecer las relaciones entre los miembros de un conjunto dentro de un mismo elemento y entre distintos elementos.

En este capítulo se presenta cómo se ha realizado el proceso de asignación de pesos al grafo cultural, es decir, qué elementos se han seleccionado, qué indicadores se han escogido, cómo se ha categorizado, qué cuantificadores se han utilizado y cómo es la relación entre las diferentes valoraciones.

## 2.1. Elementos de evaluación

Hemos establecido que los elementos a considerar en el grafo paisajístico y cultural se pueden clasificar en: edificios, arbolado, elementos singulares y conjuntos (de forma similar a lo que se considera en [15] cuando se tratan los índices relacionados con la conservación del patrimonio cultural o en [25] cuando se habla sobre los espacios verdes urbanos).

### 2.1.1. Edificios

Por edificios se entienden aquellos bienes inmuebles dedicados a actividades humanas como podrían ser templos, teatros, comercios, viviendas y otros elementos urbanos relevantes. El indicador que se utiliza para la valoración del edificio, buscando la objetividad, es la categoría asignada a cada uno de ellos por parte de Generalitat Valenciana en el Inventario General de Patrimonio Cultural [26]. En este inventario se distingue entre:

- Patrimonio de la Humanidad reconocido por la UNESCO. **PH**.
- Bien de Interés Cultural estatal. **BIC**.
- Bien de Interés Cultural singular de la GVA. **BICS - GVA**.
- Bien de Relevancia Local de la GVA. **BRL - GVA**.

**PH.** Teniendo en cuenta que la lista anterior está ordenada de forma descendente, la máxima categoría a la que un edificio puede aspirar es a ser reconocido como Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO (*United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization*). Las características que un edificio de este reconocimiento ha de tener se resumen en:

- (I) Representa una pieza extraordinaria creada de forma ingeniosa por el hombre.
- (II) Muestra un gran intercambio de valores humanos sobre los desarrollos de la arquitectura o la tecnología, las artes monumentales, el urbanismo o el diseño del paisaje durante un período de tiempo o dentro de un área cultural presente en el mundo.
- (III) Refleja la unicidad o, al menos, excepcionalidad de una tradición cultural o de una civilización, ya sea viva o desaparecida.
- (IV) Es un ejemplo muy representativo de un tipo de edificio, conjunto arquitectónico o tecnológico o paisaje que refleje una o varias etapas significativas de la historia de la humanidad.
- (V) Es un ejemplo muy representativo de una antigua civilización cuya cultura girase entorno al uso de la tierra o del mar que sea representativo de una cultura, o de la interacción humana con el medio ambiente, especialmente se contempla este caso cuando se ha podido sufrir un deterioro irreversible.
- (VI) Está relacionado con acontecimientos o tradiciones que aún perduren, con ideas o creencias, o con obras artísticas y literarias muy significativas. Este criterio debe tenerse en cuenta junto con otros según dictamina El Comité.

A partir de los máximos de un edificio reconocido como Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO, se establecen los parámetros para el resto de categorías.

**BIC.** Se pueden encontrar más detalles de su legislación y criterios en la Ley 16/1985 [8] donde se establece que un Bien de Interés Cultural para el estado español es “cualquier inmueble y objeto mueble de interés artístico, histórico, paleontológico, arqueológico, etnográfico, científico o técnico, que haya sido declarado como tal por la administración competente. También puede ser declarado como BIC, el patrimonio documental y bibliográfico, los yacimientos y zonas arqueológicas, así como los sitios naturales, jardines y parques, que tengan valor artístico, histórico o antropológico”.

**BICS - GVA.** La protección referida a los BIC también se puede otorgar por parte de las comunidades autónomas bajo la supervisión del Ministerio de Cultura, en este caso se reconocen como Bien de Interés Singular. La principal diferencia entre ambos reconocimientos es que en el caso del Estado se deberá contar con un informe favorable la Junta de Calificación, Valoración y Exportación de Bienes del Patrimonio Histórico Español, de las Reales Academias, de las Universidades españolas, del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, o de las Juntas Superiores, en cambio, en el caso de los bienes que afecten a las Comunidades Autónomas, el informe será emitido por las instituciones por ellas reconocidas.

**BRL - GVA.** La categoría de Bien de Relevancia Local es una categoría dentro del Patrimonio Cultural exclusiva de la Generalitat Valenciana. La Ley 4/1998, de 11 de junio, de la Generalitat, del Patrimonio Cultural Valenciano [7], introdujo esta categoría en la que se engloban los bienes inmuebles que poseen un valor histórico, artístico, arquitectónico, arqueológico, paleontológico o etnológico relevante, ya sea en un ámbito comarcal o local, aunque sin alcanzar el estatus de los bienes declarados de interés cultural.

**CTAV.** Además de esto, se añaden en nuestro trabajo edificios singulares a nivel local que han sido reconocidos por el Colegio Territorial de Arquitectos de València [24], [1], dándoles siempre un valor inferior a aquellos con protección de BIC. El CTAV es un ejemplo de lo que hemos llamado en este trabajo equipo multidisciplinar, como instrumento para objetivizar las valoraciones.

Establecidos los indicadores y la categorización, la cuantificación o valoración del elemento viene dada a partir de la categoría a la que pertenece el edificio dentro del inventario de Inventario General de Patrimonio Cultural junto con los reconocidos por el Colegio oficial de Arquitectos. La tabla 2.1 muestra, además de los indicadores utilizados en el elemento Edificios, cómo se han cuantificado y relacionado los miembros de este conjunto.

Tabla 2.1: Tabla con la valoración de los edificios.

Elemento de evaluación	Referencias	Indicadores	Factor	Valoración
Edificios	Ley 16/1985 [8]	PH	$e_1$	$\sum_{i=1}^5 e_i \cdot n_i$
		BIC	$e_2$	
		BICS - GVA	$e_3$	
	Ley 4/1998 [7]	BRL - GVA	$e_4$	
	CTAV [1], [24]	CTAV	$e_5$	

donde:

$e_i$ : Factor.

$n_i := \sum_{j=1}^n g_j$ , donde  $n$  es la cantidad de elementos y  $g_j$  es el elemento  $j$ -ésimo de la progresión geométrica  $1, \frac{1}{2}, \frac{1}{4}, \dots$ , es decir, la progresión determinada por

$$g_j := g_1 \cdot r^{j-1} = \frac{1}{2^{j-1}}$$

En la valoración, se puede observar que en cada arista  $i$  se sumará el producto de cada factor por el número de elementos de esa categoría siguiendo la progresión geométrica descrita anteriormente, se presentan varios ejemplos que clarifican esta situación:

1. Para calcular el valor de la arista correspondiente a la calle Vell de la Palla, es decir, la calle que tiene a un lado el Mercado Central y al otro la Iglesia Parroquial de los Santos Juanes se debe tener en cuenta que el Mercado Central, como se verá a continuación, es considerado un BIC singular de la GVA, es decir, su factor asociado es  $e_3$  y la Iglesia Parroquial de los Santos Juanes es BIC estatal, con factor  $e_2$ . Sólo hay presente estos dos Edificios por lo que el valor de esta arista, será  $e_2 + e_3$ .
2. Si se quiere conocer el valor de la arista correspondiente al último tramo de la calle San Vicente, el que une la Plaza de la Reina con la calle de la Pescadería, se debe tener en cuenta que esta arista está afectada por el edificio P. Sánchez de León y por el edificio Josefa Sancho I, ambos con factor  $e_5$  por lo que debemos resolver este cálculo:

$$e_5 \cdot \left(1 + \frac{1}{2}\right) = \frac{3}{2}e_5$$

### 2.1.2. Arbolado

Se entienden por arbolado los árboles en ubicaciones singulares, bulevares, plazas o parques.

En el arbolado se utilizan cuatro indicadores. Dos de ellos están basados en el interés otorgado por parte del Catálogo de Árboles Monumentales y Singulares de la Generalitat Valenciana [5] que puede ser interés local o interés genérico.

Por otra parte, consideramos el indicador interés singular para aquel arbolado con un valor cultural o histórico que será determinado por un equipo interdisciplinar con conocimientos de la ciudad de estudio. Y, por último, el interés funcional referido al papel local que cumple el arbolado en la cualificación de los espacios públicos. Desde lo que supone la sombra hasta la floración, o cualquier característica que pueda completar la singularidad de una calle (arista), como se aclara después.

La tabla 2.2 muestra, además de los indicadores utilizados en el elemento Arbolado, cómo se han cuantificado y relacionado los miembros de este conjunto.

Tabla 2.2: Tabla con la valoración del arbolado.

Elemento de evaluación	Referencias	Indicadores	Factor	Valoración
Arbolado	Catálogo de la GVA [5]	Interés local	$a_1$	$\sum_{i=1}^3 a_i \cdot n_i + a_4$
		Interés genérico	$a_2$	
	Valor cultural ICV [4]	Interés singular	$a_3$	
		Interés funcional	$a_4$	

donde:

$a_i$ : Factor.

$n_i := \sum_{j=1}^n g_j$ , donde  $n$  es la cantidad de elementos y  $g_j$  es el elemento  $j$ -ésimo de la progresión geométrica  $1, \frac{1}{2}, \frac{1}{4}, \dots$ , es decir, la progresión determinada por

$$g_j := g_1 \cdot r^{j-1} = \frac{1}{2^{j-1}}$$

Nótese que por alineaciones se entiende lo propio, es decir, arbolado dispuesto en línea. Puede haber alineaciones intermitentes o discontinuas, en ambos casos

esta disposición es relevante, no sólo porque el paseo se hace más agradable o porque proporcionan sombra, sino también porque suponen una herramienta para mejorar la calidad del aire de las ciudades.

En cuanto a la fórmula, en los tres primeros factores se operaría de forma completamente análoga al caso anterior (2.1.1). En cambio, cuando se trata del arbolado con un interés funcional se distinguen tres casos dentro de este factor como se puede observar en 2.1.5 de modo que en cada uno de ellos se aplicará un cálculo distinto. Se presentan a continuación algunos ejemplos que ilustran sobre cómo se realizan los cálculos junto con la imagen 2.1 del Institut Cartogràfic Valencià [4]:



Figura 2.1: Ortofoto IRG del año 2023 del visor del Institut Cartogràfic Valencià [4] con ciertas áreas marcadas con fines de ejemplificación de elaboración propia.

1. La calle de San Vicente Màrtir consta de una alineación de 90,59 metros en su tramo desde la Plaza del Ajuntament hasta la Plaza de la Reina. A pesar de que en el grafo cultural este tramo consta de 5 aristas, todas ellas alcanzarán el valor de 1 en  $a_4$  pues tienen los mismos metros lineales de arbolado que metros lineales de arista.
2. El primer tramo de la calle dels Adresadors en su comienzo desde la Avenida del Oeste consta de 40 metros lineales y 2 ejemplares dispersos de modo que el valor de la arista será  $a_4 = 0,075$
3. El parque situado en la calle de la Llanterna (en su cruce con la calle de L'Hedra y la calle Mallorquins) consta de 12 ejemplares y un área aproximada de  $600 \text{ m}^2$  por lo que  $a_4 = 2$ .

### 2.1.3. Elementos singulares

Bajo el nombre de elementos singulares, se hace una denominación genérica que incluye bienes tanto muebles como inmuebles que no sean propiamente edificios. En nuestro ámbito de trabajo nos referimos a esculturas, pavimentos, mosaicos o fuentes ornamentales.

La valoración de cada elemento se basa nuevamente en los criterios establecidos en la Ley 16/1985 [8]. Además de contemplar aquellos elementos con consideración de BIC, se tienen en cuenta elementos que tengan algún valor histórico o artístico para la ciudad, recogidos en un inventario elaborado por el Ajuntament de València en [2] y, según cada caso, también se tendrán en consideración aquellos elementos que se establezcan por un equipo interdisciplinar que conozca la ciudad y pueda aportar nuevos datos. La tabla 2.3 muestra, además de los indicadores utilizados en este elemento, cómo se han cuantificado y relacionado los miembros de este conjunto.

Tabla 2.3: Tabla con la valoración de los elementos singulares.

Elemento de evaluación	Referencias	Indicadores	Factor	Valoración
Elementos singulares	Ley 16/1985 [8]	PH	$s_1$	$\sum_{i=1}^6 s_i \cdot n_i$
		BIC	$s_2$	
		BICS - GVA	$s_3$	
	Ley 4/1998 [7]	BRL - GVA	$s_4$	
		Inventario Ajuntament [2]	Reconocimiento Ajuntament	
	Valor cultural	Reconocimiento técnico	$s_6$	

donde:

$s_i$ : Factor.

$n_i := \sum_{j=1}^n g_j$ , donde  $n$  es la cantidad de elementos y  $g_j$  es el elemento  $j$ -ésimo de la progresión geométrica  $1, \frac{1}{2}, \frac{1}{4}, \dots$ , es decir, la progresión determinada por

$$g_j := g_1 \cdot r^{j-1} = \frac{1}{2^{j-1}}$$

En la valoración, se puede observar que en cada arista  $i$  se sumará el producto de cada factor por el número de elementos de esa categoría siguiendo la progresión geométrica descrita anteriormente, de forma completamente análoga a como se ha explicado en la categoría Edificios (2.1.1).

### 2.1.4. Conjuntos

En el caso que nos ocupa, el barri del Mercat de València, la totalidad del ámbito elegido forma parte de un recinto completo protegido. Para cualquier otro caso, puede ocurrir que, dentro del ámbito de estudio, pueda haber uno o varios conjuntos con alguna protección especial. Por eso se ha incluido esta categoría.

Para poder darle un valor a cada uno de ellos, nos basaremos nuevamente en la Ley 16/1985 [8]. La tabla 2.4 muestra los indicadores utilizados en el elemento Conjuntos y cómo se han cuantificado y relacionado sus miembros.

Tabla 2.4: Tabla con la valoración de los conjuntos.

Elemento de evaluación	Referencias	Indicadores	Factor	Valoración
Conjuntos	Ley 16/1985 [8]	PH	$c_1$	$\sum_{i=1}^4 c_i \cdot n_i$
		BIC	$c_2$	
	BICS - GVA	$c_3$		
	Ley 4/1998 [7]	BRL - GVA	$c_4$	

donde:

$c_i$ : Factor.

$n_i := \sum_{j=1}^n g_j$ , donde  $n$  es la cantidad de elementos y  $g_j$  es el elemento  $j$ -ésimo de la progresión geométrica  $1, \frac{1}{2}, \frac{1}{4}, \dots$ , es decir, la progresión determinada por

$$g_j := g_1 \cdot r^{j-1} = \frac{1}{2^{j-1}}$$

Por último, se vuelve a hacer notar que la valoración de cada arista  $i$  se calculará de forma completamente análoga a como se ha explicado en la categoría Edificios (2.1.1).

### 2.1.5. Relación entre los elementos

Para obtener la ponderación en las aristas del grafo, es necesario relacionar las diferentes valoraciones obtenidas para cada uno de los elementos y que conformen una única valoración por arista. Los cuatro elementos que han sido distinguidos tendrán el mismo peso en la valoración final que se verá incrementada por un parámetro que se considera relevante para los peatones en la ruta elegida como es la peatonalización.

Para la relación entre los diferentes elementos se ha considerado la expresión:

$$E_i := \left( \sum_{j=1}^5 e_j \cdot n_j + \sum_{k=1}^3 a_k \cdot n_k + a_4 \cdot d + \sum_{l=1}^6 s_l \cdot n_l + \sum_{m=1}^4 c_m \cdot n_m \right) \cdot p_i$$

donde:

- Los factores correspondientes a los elementos Patrimonio de la Humanidad adquieren el valor máximo, el 10.

$$e_1, s_1, c_1 = 10$$

- Los factores correspondientes a los elementos Bien de Interés Cultural Estatal adquieren el valor 9.

$$e_2, s_2, c_2 = 9$$

- Los factores correspondientes a los elementos Bien de Interés Cultural Singular de la GVA al igual que el arbolado de interés local adquieren el valor 8.

$$e_3, s_3, c_3, a_1 = 8$$

- Los factores correspondientes a los elementos Bien de Interés Cultural Local de la GVA al igual que el arbolado de interés genérico adquieren el valor 7.

$$e_4, s_4, c_4, a_2 = 7$$

- Los factores correspondientes a los elementos con algún reconocimiento por parte de un equipo especializado como el CTAV o el Ajuntament de València así como el arbolado con un reconocimiento técnico adquieren el valor 6.

$$e_5, s_5, a_3 = 6$$

- El factor de los elementos considerados por el equipo interdisciplinar en

cuanto a los elementos singulares adquieren el valor 5.

$$s_6 = 5$$

- El factor referido al arbolado de interés funcional se define de forma particular, distinguiendo 3 casos:

$$a_4 := \begin{cases} \frac{\text{ml arbolado}}{\text{ml arista}} & \text{si hay alineaciones.} \\ \frac{\text{unidades}}{\text{ml arista}} & \text{si hay ejemplares aislados.} \\ \frac{\text{unidades}}{\text{área}} \cdot 100 & \text{si hay un parque o una plaza.} \end{cases}$$

Nótese que en el caso de que haya alineaciones en las dos aceras de la misma calle u otra combinación como alineación y ejemplares aislados, se considerará valor máximo posible en el numerador el valor de la longitud de la arista. El motivo por el que se toma esta decisión es porque lo que se considera importante no es si hay una mayor o menor cantidad de arbolado sino tener la oportunidad de recorrer esa calle bajo árboles, sea una acera o dos. Así que si en una misma arista existen alineaciones análogas a los dos lados se considerará sólo una de ellas y si hay presente otro tipo de combinación sólo se tendrán en cuenta los distintos elementos si no son paralelos, es decir, si primero encuentras uno y después el otro.

- El grado de peatonalización de una calle se medirá en una escala entre 1 y 2 y viene determinado la tipología funcional asignada a la vía en el capítulo 3 de la Ordenanza de Movilidad por parte del Ajuntament de València [19]:

$$p_i := \begin{cases} 2 & \text{si es una calle peatonal.} \\ 1,8 & \text{si es un área de prioridad residencial.} \\ 1,6 & \text{si es una calle residencial.} \\ 1,4 & \text{si es una zona 30.} \\ 1,2 & \text{si es una calle compartida.} \\ 1 & \text{si es una calle con segregación de espacios.} \end{cases}$$

Siguiendo la descripción de los distintos tipos de vías de [19], por calle peatonal se entienden aquella en la que la circulación de vehículos de motor está prohibida a excepción de los servicios de emergencia, a los residentes, a los servicios públicos y a las labores de carga y descarga. Las áreas de prioridad residencial son conjuntos de vías públicas que presentan continuidad geográfica y en las que se implantan medidas de restricción de acceso, circulación y estacionamiento de vehículos mientras que en las calles residenciales no está restringido el acceso pero

sí el estacionamiento y sólo se puede circular a 20 km/h. En cuanto a las zonas 30, la circulación es libre y se mantienen la diferenciación tradicional entre calzada de circulación y aceras pero la velocidad máxima de los vehículos es de 30 km/h y los peatones siempre tienen prioridad, por otra parte en las calles compartidas se asemejan las condiciones a las zonas 30 pero la velocidad máxima podrá ser superior si así se indica. Por último, consideramos las calles con segregación de espacios que responden al modelo clásico, una calzada principal y una acera.

Como ya hemos dicho, el interés de este trabajo no es tanto la valoración concreta de cada elemento que entra en la ecuación (valoración que requiere un estudio más pormenorizado y la concurrencia del llamado equipo pluridisciplinar) sino el concepto del grafo como instrumento para los objetivos fijados.

## 2.2. Elementos en el barri el Mercat

Como ya se ha mencionado, nos centraremos en el trabajo en el barri el Mercat de la ciudad de Valencia. Para ello, comenzamos analizando los elementos presentes en este barrio de acuerdo a las categorías establecidas en el apartado anterior.

### 2.2.1. Edificios

En el barri el Mercat podemos encontrar muchos edificios emblemáticos de la ciudad de València, entre los que destaca La Lonja de la Seda, la cual goza del título de Patrimonio de la Humanidad.

Además, podemos encontrar Bienes de Interés Cultural estatal como la Iglesia Parroquial de los Santos Juanes, la Iglesia Parroquial de San Martín Obispo y San Antonio Abad, el Templo y torre de Santa Catalina Mártir, la Santa Iglesia Catedral Basílica Metropolitana de Santa María y la Iglesia Parroquial de San Pedro Mártir y San Nicolás Obispo. Nótese que algunos de estos edificios, como por ejemplo la catedral, no se encuentran en el barri el Mercat pero desde sus calles se pueden visualizar, por lo que se contemplan en nuestro análisis.

Por otra parte, este barrio cuenta con un BIC singular de la Generalitat Valenciana que es El Mercado Central. Y de varios edificios declarados como Bien de Relevancia Local (BRL) por la Generalitat Valenciana, todos ellos en la categoría de monumento de interés local, como son el Convento de las Hermanas Terciarias Capuchinas de la Sagrada Familia y la Iglesia y residencia del Sagrado Corazón de Jesús “Compañía”.

De entre los edificios relevantes destacados en [1], [24] podemos encontrar el Palacio de Joan de Valeriola, el Edificio Ros Ferrer, el Palacio de los Queixal o

de los Trenor, el Edificio Z. Janini, el Palacio d'en Bou, el Edificio Janini-Vela, el Centre de Cultura Contemporània Octubre, el Edificio Josefa Sancho I, el Edificio M. Sánchez de León, el Edificio P. Sánchez de León, el Edificio Conejos, el Edificio Novella, el Edificio Navarro Igual, el Edificio Martí, el Edificio Bianqui-Gras, el Edificio Gil Adán I, el Edificio Olympia, el Edificio Tarín I y el Palacio de los Martínez de Vallejo.

A continuación se muestran algunos detalles de cada uno de estos edificios.

### PH

- La **Lonja de la Seda** es una obra maestra del gótico civil valenciano, el proyecto fue dirigido por Pere Compte y Joan Ibarra a finales del siglo XV. Su objetivo era servir de sede para realizar transacciones mercantiles pues València fue una ciudad que estuvo muy ligada al comercio de la seda. La fachada principal se sitúa en la Plaza del Mercado, todo el recinto está rematado con merlones con coronas y con gárgolas ornamentales que facilitan el desagüe de las cubiertas. El acceso tiene lugar por un arco de medio punto con arquivoltas decoradas que apean sobre finas columnas. Fue declarada Patrimonio de la Humanidad el 7 de diciembre de 1996.

### BIC

- La **Iglesia Parroquial de los Santos Juanes** tiene estructura gótica y cuenta con diferentes transformaciones a lo largo del tiempo como una renovación barroca entre 1693 y 1702. No consta una fecha clara de su construcción aunque se cree anterior a 1240 pues se tiene documentada su existencia como parroquia en 1245; además, tuvo que ser edificada nuevamente en 1311 tras un incendio. Cada una de las fachadas tiene elementos reseñables como un altorrelieve de la Virgen del Rosario o un gran rosetón. Fue declarada BIC estatal el 21 de febrero de 1947.

- La **Iglesia Parroquial de San Martín Obispo y San Antonio Abad** tiene un origen que se remonta a la reconquista cristiana dado que se fundó sobre una mezquita. Su construcción tuvo lugar a finales del siglo XIV, aunque ha tenido diferentes intervenciones a lo largo del tiempo. En su fachada destaca la estatua ecuestre de San Martín realizada en Flandes y atribuida a Pierre Bécquere y el altorrelieve de San Antonio Abad realizado por Ignacio Vergara. Fue declarada BIC estatal el 19 de enero de 1983.

- El **Templo y torre de Santa Catalina Mártir** se comenzó a construir tras la reconquista sobre una mezquita y a partir del año 1300 se le considerará la iglesia de Santa Catalina. Sufrió varios incendios y reparaciones a lo largo del tiempo hasta llegar a nuestros días como un templo (pues dejó de considerarse

parroquia en 1902) mayoritariamente gótico con una torre barroca, siendo ésta última uno de los hitos de la ciudad. Fue declarada BIC estatal el 27 de marzo de 1981.

- La **Santa Iglesia Catedral Basílica Metropolitana de Santa María**, más conocida como *La Seu*, remonta su origen al siglo XIII. En ella podemos observar muy claramente el paso del tiempo hasta llegar a la actualidad como un templo con tres naves y tres portadas, cada una de un estilo diferente (románico, gótico y barroco). Además, destaca por su torre campanario, conocida popularmente como *El Micalet* o *El Miguelete*. Fue declarada BIC estatal el 3 de junio de 1931.

- La **Iglesia Parroquial de San Pedro Mártir y San Nicolás Obispo** fue una de las primeras iglesias tras la reconquista aunque se volvió a construir en el siglo XV. La mayor reforma en su fachada tuvo lugar en el siglo XVIII de la mano de Juan Pérez Castiel con la que se transformaron los arcos medievales y las columnas góticas para adquirir un aspecto propio del barroco. Fue declarada BIC estatal el 5 de junio de 1981.

## BICS - GVA

- El **Mercat Central** tal y como le conocemos es fruto de un concurso convocado por el Ayuntamiento de València en 1910 para renovar el antiguo mercado que se realizó en 1838 y que estaba muy deteriorado. El proyecto fue otorgado a Francisco Guardia Vial y Alejandro Soler y March, arquitectos barceloneses que apostaron por un estilo modernista aunque también incluye elementos historicistas. Fue inaugurado en 1928 y tiene una superficie de 8130 metros cuadrados, lo que lo convierte en uno de los más grandes de Europa. Fue declarada BIC singular de la GVA el 5 de octubre de 2007.

## BRL - GVA

- El **Convento de las Hermanas Terciarias Capuchinas de la Sagrada Familia** es un edificio barroco restaurado y remodelado. Se construyó sobre el palacio de los Eixarch que data del siglo XV y del cual quedan algunos restos. Fue declarada BRL de la GVA el 11 de junio de 1998.

- La **Iglesia y residencia del Sagrado Corazón de Jesús “Compañía”** que se conserva actualmente es una reedificación hecha por el arquitecto Joaquín María Belda Ibáñez en 1886, el antiguo edificio en cambio databa de 1595. Su estilo es principalmente historicista y a lo largo del tiempo su función ha ido cambiando entre religiosa, pública y civil pero siempre ha mantenido una relevancia en la ciudad. Fue declarada BRL de la GVA el 18 de junio de 1998.

## CTAV

- El **Palacio de Joan de Valeriola** se construyó en el siglo XIV y ha ido sufriendo con el paso del tiempo remodelaciones que no sólo han cambiado su aspecto sino también su funcionalidad hasta que en 2001 fue adquirida por Manuel Chirivella y Alicia Soriano como sede de su fundación privada. Gracias a esto, se realizó la última de las remodelaciones con que se quiso recuperar la esencia del palacio para volver a convertirse en un elemento representativo del gótico civil valenciano.

- El **Palacio de los Martínez de Vallejo** fue construido en el siglo XVIII y es de estilo académico. Su funcionalidad ha sido diversa, durante la Guerra Civil española fue la Embajada de Suecia y, tras ella, se alquiló a la Escuela de Magisterio hasta 1961. Posteriormente, fue abandonado y entre 1994 y 1997 se rehabilitó para su actual uso: Colegio Mayor Universitario Rector Peset. En esta última intervención, se hallaron restos de la muralla islámica del siglo XI.

- El **Palacio de los Queixal o de los Trenor** está construido en el Carrer dels Cavallers que adquiere su nombre debido a que desde la Edad Media fue un importante asentamiento para la nobleza. Es un palacio de origen gótico pero su aspecto actual es de estilo ecléctico debido a la gran remodelación de 1858 del arquitecto Sebastián Monleón Estellés.

- El **Palacio d'en Bou** perteneció a la familia Bou, una familia nobiliaria catalana afincada en València. El fundador del linaje fue Esteve Bou d'Urgell que llegó a València junto a Jaume I en la conquista de la ciudad de 1238. Este palacio fue construido a finales del siglo XV a petición de Guerau Bou, tiene un estilo tardogótico con elementos renacentistas, además de la estructura típica de las casas señoriales de la Corona de Aragón. Aunque el palacio ha sufrido muchas intervenciones, en 1990 fue rehabilitado eliminando todos los añadidos que no fueran acorde a la construcción original. Actualmente es la sede del Instituto Valenciano de la Vivienda.

- El **Centre de Cultura Contemporània Octubre** se fundó en 1879 como los almacenes “El Siglo Valenciano”, un popular comercio que se mantuvo abierto casi 100 años. Su arquitectura se asemeja a la de los almacenes comerciales parisinos de la época y es por ello por lo que se le considera un elemento único en la ciudad de la llamada arquitectura del hierro. En 2002 fue adquirido por Acció Cultural del País Valencià y convertido en un centro cultural de referencia en la ciudad.

- El **edificio Ros Ferrer**, situado en la calle Quart 14, destaca por ser un ejemplo único con su fachada entre medianeras. Está ubicada en uno de los principales caminos históricos de acceso a València y es estrecho y profundo. Su singular fachada es fruto de una reconstrucción que añadió una nueva planta.

- El **edificio Z. Janini**, situado en la calle de Cadirers 4, es un claro ejemplo de una vivienda burguesa del siglo XV. Actualmente su uso es muy diferente al inicial dado que se ha convertido en una escuela de idiomas. Cabe destacar el uso de los azulejos en las partes inferiores de sus balcones que crean distintas imágenes.

- El **edificio P. Sánchez de León**, situado entre la calle de San Vicente Mártir 2 y la calle de Santa Catalina 2, data de finales del siglo XIX y es de estilo ecléctico. Su construcción fue posible gracias a la ampliación de la calle de San Vicente Mártir, la plaza de la Reina y la calle de la Paz, es un edificio de viviendas encargado por D. Pedro Sánchez de León a Lucas García Cardona, quien también diseñó el edificio que está frente a este y del que hablaremos a continuación.

- El **edificio Josefa Sancho I**, situado entre la calle de San Vicente Mártir 1 y la Plaza de la Reina 5, es otro gran ejemplo de eclecticismo de finales del siglo XIX. Igualmente, su construcción fue posible debido a la ampliación de la calle de San Vicente Mártir, la plaza de la Reina y la calle de la Paz y fue diseñado por Lucas García Cardona para ser la sede de los antiguos almacenes La Isla de Cuba. Destaca su fachada por el uso de distintos materiales como piedra, ladrillo barnizado, hierro, madera o piezas cerámicas. Actualmente es el Colegio de Registradores de la Propiedad.

- El **edificio M. Sánchez de León**, situado entre la calle Drets 2 y la calle de San Vicente Mártir 6, es también una obra de Lucas García Cardona construida a finales del siglo XIX. Sus fachadas son simétricas se unen mediante esquinas curvadas, ambas con un estilo ecléctico.

- El **edificio Janini-Vela**, situado entre la Plaza Santa Catalina 2 y la calle de Jofrens 1, destaca por su estilo ecléctico-clasicista de sus fachadas. La propietaria, Ignacia Vela Vicente, obligó al arquitecto que lo diseñó, José María Manuel Cortina Pérez, a que estuviera en armonía con el proyecto del edificio colindante que fue ideado por el arquitecto Antonio Martorell Trilles para Zacarías Janini.

- El **edificio Conejos**, situado entre la calle de Drets 1 y la calle dels Manyans 2, se construyó en 1897, tiene una fachada que recae en tres calles y destaca por su ornamentación entre la que podemos encontrar un busto del dios Mercurio o dragones alados. El proyecto inicial fue realizado por Carmelo Lacal pero lo reelaboró Antonio Martorell Trilles cuando Lacal falleció.

- El **edificio Novella**, situado entre la calle dels Manyans 1 y la calle de San Vicente 10, data de 1906 y fue realizado nuevamente por Antonio Martorell Trilles. En su fachada destaca la apuesta por grandes zonas acristaladas, sobre todo en la primera planta, en la que también podemos encontrar como ornamentación columnas y relieves.

- El **edificio Navarro Igual**, situado en la calle Sant Ferran 2, se construyó

en 1906 e inicialmente fue una armería de lujo que estuvo en funcionamiento hasta la segunda década del siglo XXI. Podemos encontrar motivos vegetales por toda su fachada, al igual que grandes balcones en sus tres fachadas aunque lo que quizá más destaca es el arco calado decorado con motivos florales de la última planta.

- El **edificio Martí**, situado entre la calle de San Vicente, 16 y la avenida de María Cristina 2, cuenta con una altura mayor de las prefijadas gracias a un permiso especial otorgado por el Ayuntamiento por ser un edificio de carácter monumental. Fue construido en 1929 con un estilo clasicista que convive con la presencia de elementos propios del gusto de la clase acomodada de la época como pueden ser esbeltos torreones, arcos, impostas...

- El **edificio Bianqui-Gras**, situado en la Plaza del Ajuntament 7, también es un edificio de principios del siglo XIX en los que se alojaría la clase acomodada de la época. El estilo es clasicista pero muestra también signos neobarrocos, modernistas y eclecticismos.

- El **edificio Gil Adán I**, situado en la Plaza del Ajuntament 8, es otro de los ejemplos de edificios que tuvieron una concesión especial para poder superar la altura permitida. Llama la atención en él su fachada de ladrillo rojo, su torre, sus balcones y sus paneles cerámicos, realizados por la artista aragonesa Dionisia Masdeu.

- El **edificio Olympia**, situado en la calle de San Vicente Mártir 44, fue construido a principios del siglo XX por el arquitecto Vicente Rodríguez Martín tras el derribo del convento de San Gregorio. Fue uno de los edificios de mayor tamaño de la época y su uso es principalmente residencial aunque también alberga el Teatro Olympia. Entre 1999 y 2005, los arquitectos Horacio Castelló Taliani y Carlos Montesinos Cornejo rehabilitaron el edificio y recuperaron la decoración original casi en su totalidad.

- El **edificio Tarín I**, situado en la calle Adreçadors 13, es una de las primeras obras del arquitecto Vicente Rodríguez Martín y fue construido en 1906. La fachada no es de estilo eclecticismista como el resto de los edificios de la época sino que se comienza a acercar al modernismo e incorpora elementos naturalistas, florales y geométricos.

### Mapa con descripción de los edificios

En la imagen 2.2, se muestra un mapa del barrio el Mercat con todos los edificios nombrados anteriormente que ha sido creado en *Google My Maps* y que se puede visitar aquí. En color azul está señalizado el patrimonio de la humanidad, en rojo los BIC estatales, en amarillo el BIC singular de la GVA, en morado los BRL de la GVA y, por último, en verde los edificios destacados por CTAV.

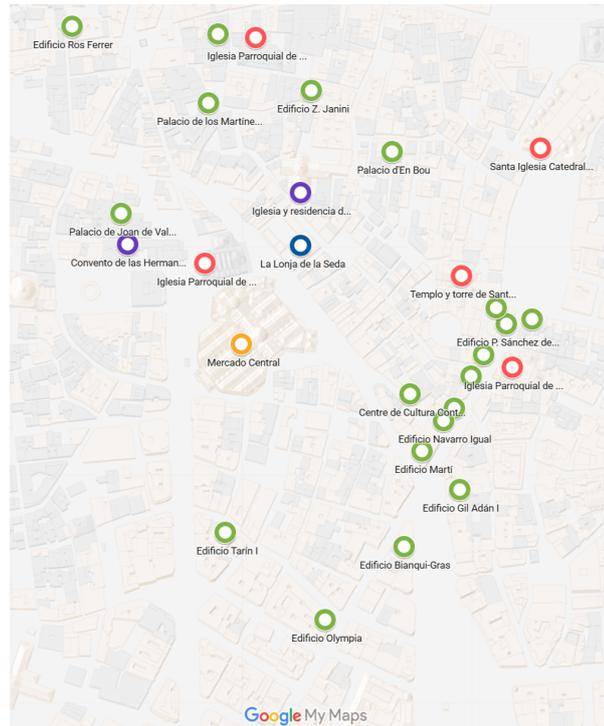


Figura 2.2: Mapa con los edificios con valor cultural significativo del barri el Mercat. Elaboración propia.

### 2.2.2. Arbolado

Siguiendo los criterios descritos, primero se debe notar que en el barri el Mercat no hay ningún árbol monumental [5] por lo que no se alcanzarán los dos valores más altos de esta categoría. Nuevamente, se recuerda que los criterios han sido diseñados para zonas de estudio más amplias y que este trabajo sólo pretende reflejar su potencial como instrumento urbano.

Se debe hacer notar la existencia de un caso muy particular con un gran valor histórico y simbólico cuyo factor es  $a_3$ .

- **El olivo de la Plaza del Doctor Collado:** La tradición comercial siempre fue un símbolo de la ciudad de València, antes de la construcción de La Lonja de la Seda 2.2.1, ya existía una lonja y ésta estaba situada en la Plaza del Doctor Collado. Se construyó a principios del siglo XIV y, aunque sufrió algunas ampliaciones en los siglos posteriores, no fue suficiente y por eso se procedió a la edificación de la actual. El edificio de la antigua lonja se mantuvo en la ciudad hasta el año 1876 cuando se derribó y, en su lugar, se construyó la Plaza del Doctor Collado (que recibe su nombre en honor al médico valenciano Lluís Collado, catedrático de Cirugía en la Universidad de València en el siglo XV). En esta lonja el comercio principal era el del aceite y es por ello que se decidió plantar un olivo en su recuerdo.

Por otra parte, en cuanto al arbolado con interés funcional, siguiendo las tipologías de arbolado descritas anteriormente en *d* y gracias al visor cartográfico de la Generalitat Valenciana [4], se distinguen:

- La **calle de San Vicente Mártir** en el tramo que une la plaza del Ayuntamiento y la Plaza de la Reina con una alineación de 200 metros.
- La **plaza de L'Espart** con una pequeña alineación de 18 metros.
- La **plaza del Mercado** donde se encuentran varias alineaciones intermitentes de un total de 172 metros y 6 ejemplares dispersos entorno a la puerta principal del Mercat Central.
- La **avenida del Oeste** con tres alineaciones intermitentes en el tramo incluido en la zona de estudio a ambos lados de la vía que suman un total de 90 metros lineales de arbolado.
- Las calles **dels Adressadors** y **del Mestre Clave** desde el teatro Olympia hasta la Avenida del Oeste con alineaciones intermitentes que suman aproximadamente 140 metros.
- La **calle de la Llanterna** con una pequeña alineación de 24 metros y un parque con 12 ejemplares y un área infantil en la zona del cruce con la calle de L'Hedra y la calle Mallorquins.
- La **plaza de la Ciutat de Bruges** con 18 ejemplares dispersos.
- La **plaza de Joan de Vila-Rasa**, un parque con un área infantil que se encuentra muy cerca del Mercado Central y que cuenta con un pequeño espacio verde, el jardín del Parcent, que consta de 30 ejemplares, además de arbustos, tapizante y elementos ornamentales.

### 2.2.3. Elementos singulares

En cuanto a los elementos singulares, los primeros cuatro indicadores están relacionados con la ley 16/1985 [8] y, en la zona de estudio sólo se encontrarán BRL de la GVA en categoría de Espacio Etnológico de Interés Local.

#### **BRL - GVA. Categoría: Espacio Etnológico de Interés Local**

- El **retablo cerámico de la Madre de Dios de la Paz** se estima que se realizó entre los años 1800 – 1810 aunque posteriormente hubo dos grandes transformaciones en 1888 y 1979. Se encuentra en la fachada lateral de la iglesia de Santa Catalina, tiene un tamaño de  $3,5 \times 2,4$  metros aunque cada una de las piezas por las que está formado (aproximadamente 200) tiene una dimensión de

20 × 20 centímetros. Fue declarado BRL de la GVA el 18 de junio de 1998.

- El **retablo cerámico de la Presentación en el Templo de Jerusalén** se realizó a finales del siglo XVIII. Se encuentra entre dos balcones, tiene un tamaño de 1,9 × 0,84 metros y está formado por 19 piezas. Fue declarado BRL de la GVA el 18 de junio de 1998.

En el barri el Mercat no se encuentra ningún elemento incluido en el inventario realizado por el Ajuntament de València [2] pero se distinguen elementos con un reconocimiento por parte del equipo interdisciplinar.

### Reconocimiento técnico

- Los **cuadrados mágicos en la plaza del Doctor Collado**. Anteriormente, se ha tratado la historia de la plaza del Doctor Collado 2.2.2 que en 1999 sufrió su última modificación como parte de los trabajos de reurbanización de los alrededores de la Lonja de la Seda. Con el fin de conmemorar la historia de esta plaza, se apostó por el uso de unas losetas cuadradas de granito rosa y gris, formando un mosaico que, utilizando la clásica composición valenciana del “moador”, configura palomas con las alas extendidas que simulan las idas y venidas en la época comercial. Este pavimento además forma un cuadrado mágico de orden 3 con constante mágica 15 donde cada número está representado por la cantidad de palomas que hay en cada casilla como se puede observar en la figura 2.3. El hecho de que las baldosas tengan trazados cargados de historia es común en la ciudad de València y se puede leer más sobre ello en [20].

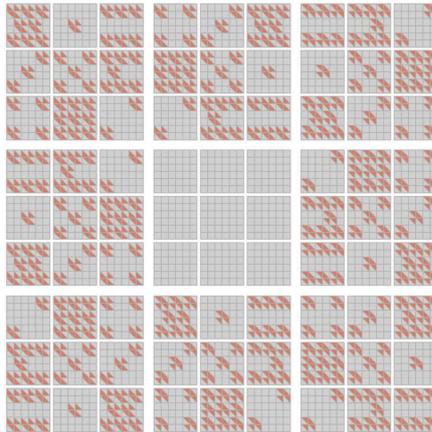


Figura 2.3: Esquema de los cuadrados mágicos en la plaza el Doctor Collado. Figura extraída de [20].

- La **calle del Music Peydro** o más conocida como la **calle de las cestas** está cargada de historia. De herencia medieval, durante los años 40 y 50 del pasado siglo en esta calle se congregaron los artesanos de las cestas, el mimbre, la caña e incluso la madera. A pesar de que actualmente sólo quedan 3 negocios referidos a este oficio en la calle, en 1879 llegó a haber 12 cesterías, una de ellas, Cestería El Globo, se mantiene abierta a día de hoy y ha sido reconocida como Comercio Emblemático de la ciudad por parte del Ajuntament de València.

- La **fachada más estrecha de Europa** se encuentra en la plaza Lope de Vega, tiene sólo 107 centímetros y, aunque ahora se ha unido en su interior con el edificio colindante, su fachada ha permanecido intacta.

#### 2.2.4. Conjuntos

Por último, para conocer la valoración de los conjuntos, debemos tener en cuenta que, en este caso, basándonos en la Ley 16/1985 [8] y sabiendo que el Conjunto histórico de la ciudad de València (incluyendo entero el barri el Mercat) es considerado BIC singular por la Generalitat Valenciana desde el 30 de junio de 1992, la calificación en el área de estudio será uniforme.

Además, se encuentra otro conjunto considerado BRL por la Generalitat Valenciana en categoría de monumento de interés local desde el 20 de febrero de 2015. La **Plaza Redonda** se construyó en el siglo XIX y tiene un gran valor histórico además de suponer un reto arquitectónico por su planta circular de 37 metros de diámetro. Fue una de las primeras construcciones en el interior de la muralla, lo que supuso el comienzo de la remodelación urbana, se concibió con función comercial, la cual se mantiene a día de hoy entorno a una antigua fuente que se sitúa en el centro y en las plantas bajas de los edificios.

#### 2.2.5. Peatonalización

El barri el Mercat forma parte de la Zona de Bajas Emisiones (ZBE), esto es que está limitado el acceso, la circulación y el estacionamiento de vehículos para mejorar la calidad del aire según se establece en el artículo 14.3 de la Ley 7/2021, de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética. Toda la zona de estudio, según la ordenanza de movilidad [19], forma parte de un área de prioridad residencial de modo que  $p_i = 1,8$  en todas las aristas.

# 3

## Tratamiento informático

En este capítulo, detallamos el tratamiento informático que se le ha aplicado para hallar el algoritmo final que nos devuelve la ruta más corta entre dos puntos elegidos y una ruta alternativa con una tolerancia en distancia con respecto al camino mínimo que maximiza el valor cultural y paisajístico.

Toda la programación se realiza con el lenguaje R.

### 3.1. Grafos del barri el Mercat

Para poder hacer un tratamiento informático de nuestro proyecto, se ha de convertir el mapa del barri el Mercat en un grafo. Para ello, la lectura de la obra de Kevin Lynch, *La imagen de la ciudad* [16], ha sido muy útil. En ella el autor introduce elementos nuevos hasta ese momento para el análisis de la ciudad, subrayando cómo puede ser reconocida y diferenciada en base a cinco conceptos: Sendas, Nodos, Hitos, Bordes y Distritos. Conceptos que grafía, dibuja, y transforma en imagen (un plano), de ahí el título de su obra. En este trabajo pretendemos dar un paso más, llegar de la imagen al grafo para que sea un instrumento al alcance de la ciudadanía dirigido al conocimiento y reconocimiento de la ciudad, y planteando itinerarios diferentes en función de las necesidades urbanas.

De esto modo, a partir de [16], convertimos las calles en aristas y las intersecciones en nodos. Así, obtenemos un grafo de 114 nodos y 194 aristas. Para

nombrar los nodos optamos por utilizar los nombres de las calles que intersectan en este punto, y así cuando el algoritmo nos proporciona la ruta, es más fácil saber la ruta real a la que se refiere.

### 3.1.1. Grafo de distancias

Haciendo uso del programa SWGraphs, se establece una plantilla de la zona que se ha de convertir en grafo. Asignamos a las aristas como pesos las distancias en metros entre los distintos nodos que unen y se obtiene como resultado el grafo que se puede ver en la figura 3.1.

Gracias a este grafo, se obtiene la matriz de adyacencia cuyos valores se almacenan en un `.txt` para, a partir de este fichero, crear el mismo grafo pero en R como se puede ver en el código 3.1.

```

1 library(igraph)
2
3 datosMatrizAdy <- scan(file = "matrizAdyacencia.txt", sep = ";",
4   dec = ".")
5 nombresCalles <- scan(file = "NombresCalles.txt", what = "
6   character", sep = "\n")
7 nNodos <- length(nombresCalles)
8 matrizAdyacencia <- matrix(data = datosMatrizAdy, ncol = nNodos,
9   nrow = nNodos, byrow = TRUE)
10 colnames(matrizAdyacencia) <- nombresCalles
11 rownames(matrizAdyacencia) <- nombresCalles
12
13 # Ahora creamos el grafo a partir de la matriz de adyacencia
14 grafo <- graph_from_adjacency_matrix(matrizAdyacencia, mode = "
15   undirected", weighted = TRUE)

```

Código 3.1: Creación del grafo de distancias en R.

El aspecto que tiene en R este grafo, con los pesos en cada arista, se puede ver en la figura 3.2.

### 3.1.2. Grafo de valor paisajístico y cultural

Para abordar el grafo del valor paisajístico y cultural, se realiza un grafo para cada uno de los elementos que han sido distinguidos por una cuestión meramente operativa. El grafo del valor paisajístico y cultural es el resultado de sumar en cada arista el resultado de los 4 grafos y multiplicarlos por el factor relacionado con la peatonalización que ha sido establecido en 2.1.5. En R, la lectura de estas matrices de adyacencia y las operaciones necesarias se pueden encontrar en los códigos 3.2 y 3.3, que son análogos al caso de distancias.

### 3.1. Grafos del barri el Mercat

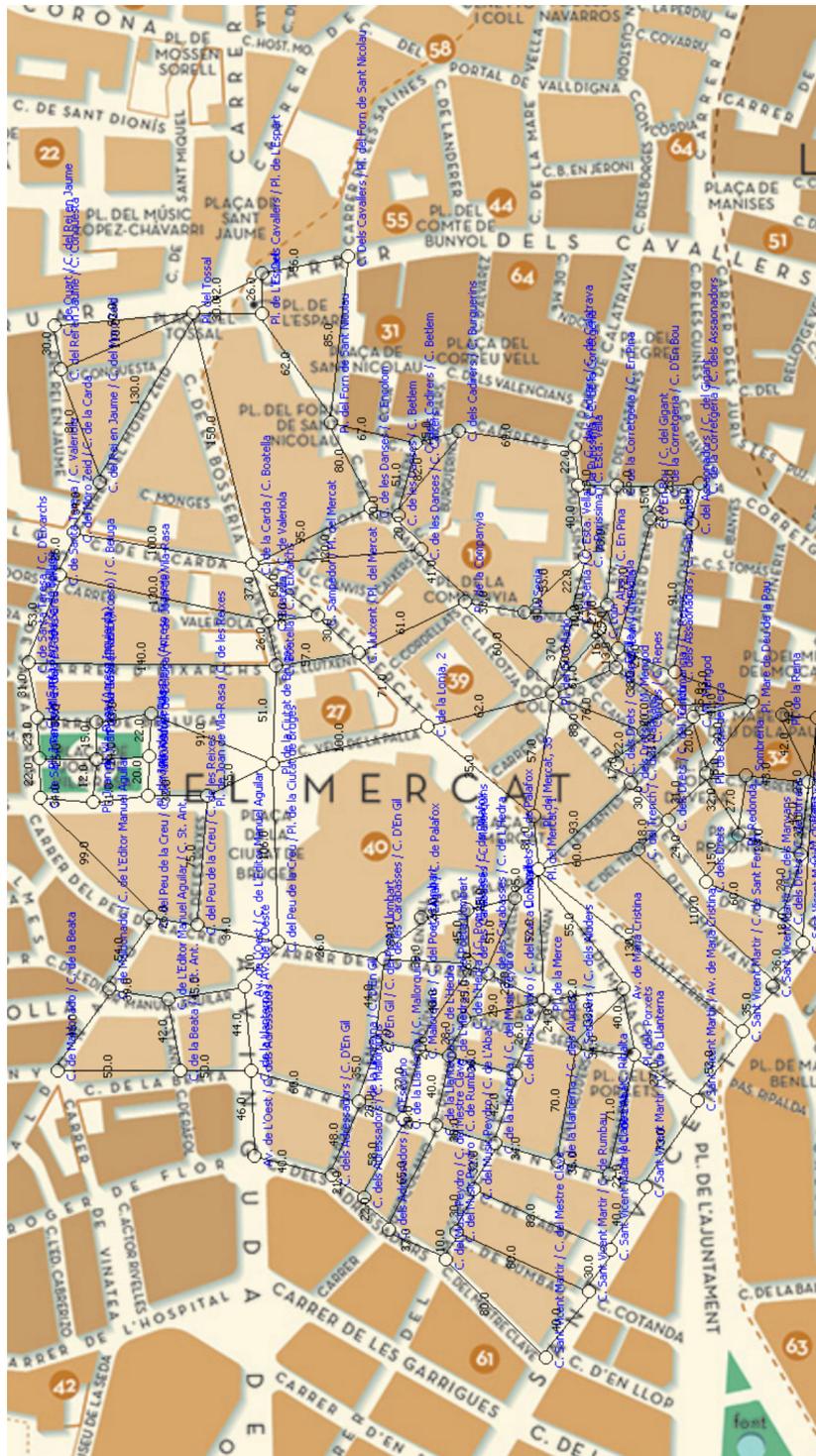


Figura 3.1: Imagen del grafo sobre el mapa del barri el Mercat. Elaboración propia en SWGraphs, imagen de fondo realizada por Mike Hall.

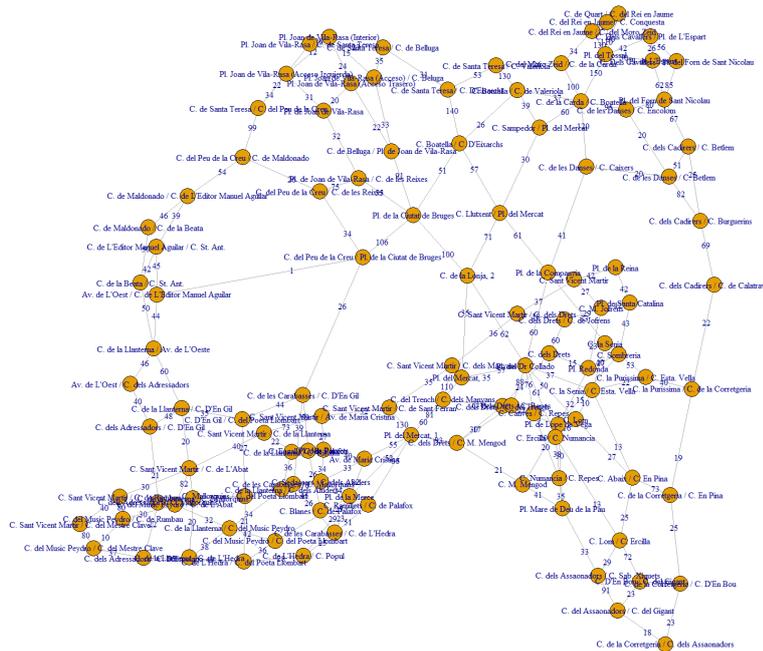


Figura 3.2: Grafo de distancias con pesos en las aristas en R.

Los cuatro grafos que se contemplan son, a priori, desconexos pues no hay elementos destacables en todas las aristas. Nótese que esto no supone ningún problema a nivel computacional pues se trabaja con las matrices de adyacencia de estos cuatro grafos teniendo en cuenta por una parte la existencia o no de la arista en el grafo de distancias (que no es más que un reflejo de la realidad) y por otra el valor cultural de las aristas existentes.

Se establece el valor de la arista en consonancia con el valor obtenido en la suma de las matrices de adyacencia de las cuatro categorías, teniendo en cuenta las particularidades de cada una de ellas y cómo abordar el cálculo en cada caso.

Se debe hacer notar que en caso de que un hito a contemplar está en un nodo, se le asigna el valor correspondiente a todas las aristas incidentes en él.

Cabe destacar que el grafo de los conjuntos que se puede construir a partir de su matriz de adyacencia, que en este caso particular es análogo al de las distancias en cuanto a nodos y aristas pues, como ya ha sido mencionado, todo el barrio el Mercat pertenece al Conjunto histórico de la ciudad de València que es considerado BIC singular, y por lo tanto, el grafo es conexo.

Llegados a este punto, se suman estas cuatro matrices y se multiplican por el valor adecuado de cada arista relacionado con el factor de peatonalización. Así se crea el grafo paisajístico y cultural que en cada arista tiene su valor cultural asociado.

```

1 ## Edificios
2 datosMatrizAdyEdificios <- scan(file = "matrizAdyacenciaEdificios
  .txt", sep = ";",dec = ".")
3 matrizAdyEdificios <- matrix(data = datosMatrizAdyEdificios,ncol
  = nNodos,nrow = nNodos,byrow = TRUE)
4 colnames(matrizAdyEdificios) <- nombresCalles
5 rownames(matrizAdyEdificios) <- nombresCalles
6
7 ## Arbolado
8 datosMatrizAdyArbolado <- scan(file = "matrizAdyacenciaArbolado.
  txt", sep = ";",dec = ".")
9 matrizAdyArbolado <- matrix(data = datosMatrizAdyArbolado,ncol =
  nNodos,nrow = nNodos,byrow = TRUE)
10 colnames(matrizAdyArbolado) <- nombresCalles
11 rownames(matrizAdyArbolado) <- nombresCalles
12
13 ## Elementos Singulares
14 datosMatrizAdyElemSing <- scan(file = "
  matrizAdyacenciaElementosSingulares.txt", sep = ";",dec = ".")
15 matrizAdyElemSing <- matrix(data = datosMatrizAdyElemSing,ncol =
  nNodos,nrow = nNodos,byrow = TRUE)
16 colnames(matrizAdyElemSing) <- nombresCalles
17 rownames(matrizAdyElemSing) <- nombresCalles
18
19 ## Conjuntos
20 datosMatrizAdyConjuntos <- scan(file = "matrizAdyacenciaConjuntos
  .txt", sep = ";",dec = ".")
21 matrizAdyConjuntos <- matrix(data = datosMatrizAdyConjuntos,ncol
  = nNodos,nrow = nNodos,byrow = TRUE)
22 colnames(matrizAdyConjuntos) <- nombresCalles
23 rownames(matrizAdyConjuntos) <- nombresCalles

```

Código 3.2: Matrices de adyacencia del grafo cultural en R.

```

1 ## Peatonalizacion
2 datosMatrizAdyPeatonalizacion <- scan(file = "
  matrizAdyacenciaPeatonalizacion.txt", sep = ";",dec = ".")
3 matrizAdyPeatonalizacion <- matrix(data =
  datosMatrizAdyPeatonalizacion,ncol = nNodos,nrow = nNodos,
  byrow = TRUE)
4 colnames(matrizAdyPeatonalizacion) <- nombresCalles
5 rownames(matrizAdyPeatonalizacion) <- nombresCalles
6
7 ## Grafo cultural
8 matrizAdyCultural <- (matrizAdyEdificios + matrizAdyArbolado +
  matrizAdyElemSing + matrizAdyConjuntos)*
  matrizAdyPeatonalizacion
9 grafoCultural <- graph_from_adjacency_matrix(matrizAdyCultural,
  mode = "undirected",weighted = TRUE)
10
11 plot(grafoCultural, edge.label = E(grafoCultural)$weight, vertex.
  size = 5)

```

Código 3.3: Creación del grafo paisajístico y cultural en R.

## 3.2. Camino mínimo: Algoritmo de Dijkstra

Para hallar el camino mínimo entre dos nodos en un grafo ponderado como es el caso que se presenta en este trabajo, se aplica el clásico algoritmo de Dijkstra, que debe su nombre a su creador, el matemático holandés Edsger W. Dijkstra. Su primera publicación tuvo lugar en 1959 en la revista *Numerische Mathematik* en un artículo llamado “A note on two problems in connexion with graphs” [9].

Los pasos a seguir para aplicar este algoritmo son:

1. Se parte de un vértice (o nodo) inicial y se calcula cuál es el más próximo.
2. Se fija el vértice no fijado aún que esté a menor distancia del inicial.
3. Se comprueba si con el nuevo vértice fijado se llega a nuevos vértices o se encuentra un camino más corto a los que ha habíamos accedido.
4. Con la información anterior se actualizan, si procede, las distancias mínimas desde el inicial a cada vértice y cuál es el vértice anterior en el camino más corto desde el inicial a cada uno de ellos.
5. Volvemos al paso 2 hasta que todos los vértices estén fijados.

Este proceso sirve tanto para calcular el camino mínimo desde un nodo inicial a todos los nodos del grafo como el camino mínimo entre dos nodos prefijados.

### 3.2.1. Tratamiento en R

Se puede calcular el camino mínimo entre dos puntos gracias a varias funciones en R que permiten hacerlo, entre ellas, destacan `all_shortest_paths()` y `distances()`, ambas funciones del paquete `igraph` con las que, dado un grafo y los nodos de partida y de llegada, es capaz de elegir el algoritmo adecuado en cada caso dependiendo de si el grafo es ponderado o no y de si existen pesos negativos o no. En el caso que nos ocupa, las funciones se aplicarían al grafo de distancias, que es ponderado, no dirigido y todos sus pesos son positivos así que el algoritmo elegido es el de Dijkstra.

En el código 3.4, con `distances()` se obtiene el valor de la distancia del camino mínimo pero no la ruta seguida. Para consultar estas rutas, la función `all_shortest_paths()` devuelve una variable en formato *List* en la que si se accede a `vpaths` se encuentran los nodos que ha recorrido para hallar ese camino mínimo.

Nótese que en la implementación final, como se comentará más adelante, se usa una función alternativa por una cuestión operativa, pero que funciona de forma análoga.

```

1 distanciaCM <- distances(grafo, v = indiceCalleSalida, to =
  indiceCalleLlegada)
2
3 caminoMinimo <- all_shortest_paths(grafo, from =
  indiceCalleSalida, to = indiceCalleLlegada)$vpaths[[1]]

```

Código 3.4: Camino mínimo con el algoritmo de Dijkstra en R.

### 3.3. Los primeros $k$ -caminos más cortos: Algoritmo de Yen

Para hallar todos los caminos alternativos entre los dos nodos prefijados, se aplica el algoritmo de Yen. Este algoritmo, también conocido como KSP (*k-shortest paths*) halla los  $k$  caminos de menos coste entre dos nodos (siempre que estemos en un grafo ponderado que no contenga bucles). El algoritmo de Yen surgió en el año 1971, fue creado por Jin Y. Yen quien lo publicó en la revista *Management Science* bajo el nombre de “Finding the K Shortest Loopless Paths in a Network” [27].

Los pasos a seguir para aplicar este algoritmo son:

1. Hallar el camino de menor coste entre dos nodos (por ejemplo con Dijkstra).
2. Aplicar una serie de modificaciones al camino previo para generar una ruta alternativa entre  $s$  y  $t$  (los nodos inicial y final, respectivamente) evitando crear ciclos internos. Almacenarla temporalmente.
3. Repetir el paso 2 un número de veces equivalente a la longitud “en saltos” del último camino más corto hallado.
4. Seleccionar de todos los caminos temporalmente almacenados el de menor distancia y guardarlo posteriormente.
5. Repetir hasta  $k - 1$  veces.

#### 3.3.1. Tratamiento en R

El algoritmo de Yen ha sido implementado en R recientemente, se ha incluido en el paquete `igraph`. Como se ve en el código 3.5, la función `k_shortest_paths()` obtiene una lista de listas, esto es, cada elemento es nuevamente una lista. En nuestro caso, nos interesa la lista `vpaths` que contiene  $k$  elementos, cada uno de ellos almacena los nodos por los que ha pasado la ruta  $k$ -ésima.

```

1 kRutas <- k_shortest_paths(grafo, from = indiceCalleSalida, to =
  indiceCalleLlegada, k = k)$vpaths
2
3 # Para acceder a una ruta concreta, podemos hacerlo como sigue:
4 nRuta = kRutas[n]
5
6 # Notemos que n<=k.

```

Código 3.5: Los k-caminos mínimos con el algoritmo de Yen en R.

El usuario puede decidir la distancia que está dispuesto a alejarse del camino mínimo de modo que bajo esa tolerancia se calculan todos los caminos alternativos posibles. A pesar de que a nivel teórico esto es posible, como el objetivo final es la implementación y el uso de la herramienta, se debe tener en cuenta la complejidad computacional a la hora de compilar y, por ello, como se puede ver en el código 3.6, se ha decidido calcular hasta un máximo de 3000 rutas alternativas (siempre que haya más posibilidades bajo la tolerancia dada por el usuario).

```

1 rutasAlternativasNombres <- list()
2 rutasAlternativasIndices <- list()
3 distanciaRutasAlt <- c()
4
5 tresMilRutas <- k_shortest_paths(grafo, from = indiceCalleSalida,
  to = indiceCalleLlegada, k = 3000)$vpaths
6
7 for (l in 2:length(tresMilRutas)) {
8   indicesVertices = as.numeric(tresMilRutas[[l]])
9   vertices = c()
10  for (k in indicesVertices) {
11    vertices = c(vertices, nombresCalle[k])
12  }
13  distanciaCAlt = 0
14  for (i in 1:(length(indicesVertices)-1)) {
15    distanciaCAlt = distanciaCAlt+matrizAdyacencia[
16      indicesVertices[i], indicesVertices[i+1]]
17  }
18  if (distanciaCAlt <= distanciaCM+toleranciaAumentoCM) {
19    rutasAlternativas = c(rutasAlternativas,vertices)
20    distanciaRutasAlt = c(distanciaRutasAlt,distanciaCAlt)
21  }
22  if (distanciaCAlt > distanciaCM+toleranciaAumentoCM) {break}
23  #Para terminar el for
24 }
25 # Agregamos a las listas de rutas alternativas y al vector de
26 # distancias su primera entrada que se relaciona con el camino
27 # de menor distancia.
28 rutasAlternativasNombres[[1]] <- CMNombres
29 rutasAlternativasIndices[[1]] <- CMIndices
30 distanciaRutasAlt <- c(distanciaCM,distanciaRutasAlt)

```

Código 3.6: Cálculo de todas las rutas alternativas bajo una cierta tolerancia en la distancia con respecto al camino mínimo.

Nótese que la tolerancia se puede dar en términos absolutos ( $x$  metros más) o en términos relativos (un porcentaje del camino mínimo).

Las listas `rutasAlternativasNombres` y `rutasAlternativasIndices` almacenan cada una de las rutas (por nombre de los nodos por los que pasa o por su índice, respectivamente) y en el vector `distanciaRutasAlt` se guarda el valor de la distancia de cada una de las rutas.

### 3.4. Camino con mayor valor paisajístico y cultural

La búsqueda del camino con mayor valor paisajístico y cultural finaliza comprobando el valor cultural de cada una de las rutas alternativas que se han calculado. A partir de este vector de datos, sólo debemos elegir su valor máximo y consultar a que ruta corresponde como se puede ver en el código 3.7.

```

1 valorCulturalRutas <- c()
2
3 for (i in 1:length(rutasAlternativasIndices)) {
4   valorCultRuta = 0
5   for (l in 1:(length(rutasAlternativasIndices[[i]])-1)) {
6     valorCultRuta = valorCultRuta+matrizAdyCultural[
7       rutasAlternativasIndices[[i]][1],rutasAlternativasIndices[[i]]
8       ][1+1]]
9   }
10  valorCulturalRutas = c(valorCulturalRutas,valorCultRuta)
11 }
12
13 posicionRutaMasCult <- which(max(valorCulturalRutas) ==
14   valorCulturalRutas)[[1]]
15 # Nos quedamos con la primera ocurrencia porque esa es de mayor
16   valor cultural y, en caso de que haya varias con el mismo
17   valor, es la de menor distancia
18
19 rutasAlternativasNombres [[posicionRutaMasCult]]

```

Código 3.7: Cálculo del valor paisajístico y cultural de cada una de las rutas alternativas.

# 4

## Implementación de los algoritmos

En este capítulo, se presentan varios ejemplos concretos en los que se explica paso a paso los resultados que se obtienen en la implementación de los algoritmos. Tras ello, se muestra el prototipo de interfaz de usuario que se ha realizado en R gracias a Shiny, lo que permite que la aplicación sea interactiva.

### 4.1. Ejemplos de implementación

Dados dos puntos cualesquiera de inicio y final de la ruta, los primeros pasos de la implementación siempre son los mismos: carga de librerías, lectura de las matrices de adyacencia de los seis grafos y la construcción y transformación de éstos formando finalmente dos grafos en R, que son el grafo de las distancias y el grafo del valor cultural.

Además, se debe definir lo que se pueden denominar variables globales, es decir, la referida a la tolerancia máxima, expresada en metros, que la ruta alternativa se puede alejar de la ruta más corta; y las listas y vectores en las que se almacenan las rutas alternativas y la distancia de cada una de ellas.

Estos pasos comunes en cualquier búsqueda se pueden observar de forma completa y ordenada en el código 4.1.

```
1 library(igraph)
2 library(tidygraph)
3
4 datosMatrizAdy <- scan(file = "matrizAdyacencia.txt", sep = "
```

```

; ",dec = ".")
5   nombresCalles <- scan(file = "NombresCalles.txt",what = "
character",sep = "\n")
6   nNodos <- length(nombresCalles)
7   matrizAdyacencia <- matrix(data = datosMatrizAdy,ncol =
nNodos,nrow = nNodos,byrow = TRUE)
8   colnames(matrizAdyacencia) <- nombresCalles
9   rownames(matrizAdyacencia) <- nombresCalles
10
11  grafo <- graph_from_adjacency_matrix(matrizAdyacencia, mode =
"undirected",weighted = TRUE)
12
13  datosMatrizAdyEdificios <- scan(file = "
matrizAdyacenciaEdificios.txt", sep = ";",dec = ".")
14  matrizAdyEdificios <- matrix(data = datosMatrizAdyEdificios,
ncol = nNodos,nrow = nNodos,byrow = TRUE)
15  colnames(matrizAdyEdificios) <- nombresCalles
16  rownames(matrizAdyEdificios) <- nombresCalles
17
18  datosMatrizAdyArbolado <- scan(file = "
matrizAdyacenciaArbolado.txt", sep = ";",dec = ".")
19  matrizAdyArbolado <- matrix(data = datosMatrizAdyArbolado,
ncol = nNodos,nrow = nNodos,byrow = TRUE)
20  colnames(matrizAdyArbolado) <- nombresCalles
21  rownames(matrizAdyArbolado) <- nombresCalles
22
23  datosMatrizAdyElemSing <- scan(file = "
matrizAdyacenciaElementosSingulares.txt", sep = ";",dec = ".")
24  matrizAdyElemSing <- matrix(data = datosMatrizAdyElemSing,
ncol = nNodos,nrow = nNodos,byrow = TRUE)
25  colnames(matrizAdyElemSing) <- nombresCalles
26  rownames(matrizAdyElemSing) <- nombresCalles
27
28  datosMatrizAdyConjuntos <- scan(file = "
matrizAdyacenciaConjuntos.txt", sep = ";",dec = ".")
29  matrizAdyConjuntos <- matrix(data = datosMatrizAdyConjuntos,
ncol = nNodos,nrow = nNodos,byrow = TRUE)
30  colnames(matrizAdyConjuntos) <- nombresCalles
31  rownames(matrizAdyConjuntos) <- nombresCalles
32
33  datosMatrizAdyPeatonalizacion <- scan(file = "
matrizAdyacenciaPeatonalizacion.txt", sep = ";",dec = ".")
34  matrizAdyPeatonalizacion <- matrix(data =
datosMatrizAdyPeatonalizacion,ncol = nNodos,nrow = nNodos,
byrow = TRUE)
35  colnames(matrizAdyPeatonalizacion) <- nombresCalles
36  rownames(matrizAdyPeatonalizacion) <- nombresCalles
37
38  matrizAdyCultural <- (matrizAdyEdificios +
datosMatrizAdyArbolado + matrizAdyElemSing +
matrizAdyConjuntos) * matrizAdyPeatonalizacion
39
40  grafoCultural <- graph_from_adjacency_matrix(

```

```

matrizAdyCultural, mode = "undirected", weighted = TRUE)
41
42   toleranciaAumentoCM <- 150
43   rutasAlternativasNombres <- list()
44   rutasAlternativasIndices <- list()
45   distanciaRutasAlt <- c()
46   valorCulturalRutas <- c()

```

Código 4.1: Carga de las seis matrices de adyacencia y creación de los dos grafos finales y de las variables globales.

### 4.1.1. La ruta más corta y más cultural entre la plaza de la Mare de Deu de la Pau y la plaza de Joan de Vila-Rasa

En este apartado se presenta un ejemplo concreto entre dos puntos específicos: la plaza de la Mare de Deu de la Pau y la plaza de Joan de Vila-Rasa. Se han elegido estos dos puntos para mostrar un ejemplo porque, dentro del área de estudio, están suficientemente alejados para notar una diferencia entre el camino mínimo y aquel con mayor valor cultural y paisajístico.

Una vez realizados los pasos comunes a cualquier ruta comentados en el apartado anterior, en el código 4.2, se definen los puntos de salida y llegada y se calculan sus índices, esto es, la posición que ocupan tanto en las filas como en las columnas de las matrices de adyacencia del grafo de distancias y del grafo cultural.

```

1   calleSalida <- "Pl. Mare de Deu de la Pau"
2   calleLlegada <- "Pl. Joan de Vila-Rasa (Interior)"
3   indiceCalleSalida <- which(nombresCalles == calleSalida)
4   indiceCalleLlegada <- which(nombresCalles == calleLlegada)

```

Código 4.2: Definición de los puntos de salida y de llegada.

La salida que se obtiene es:

```

> calleSalida
[1] "Pl. Mare de Deu de la Pau"
> calleLlegada
[1] "Pl. Joan de Vila-Rasa (Interior)"
> indiceCalleSalida
[1] 24
> indiceCalleLlegada
[1] 112

```

A continuación se calcula la distancia del camino mínimo y la ruta que se sigue en ella. Y se almacena esta información en dos vectores distintos como se ve en el código 4.3.

```

1  distanciaCM <- distances(grafo, v=indiceCalleSalida, to=
   indiceCalleLlegada)
2  caminoMinimo <- all_shortest_paths(grafo, from =
   indiceCalleSalida, to=indiceCalleLlegada)$vpaths[[1]]
3
4  indiceVerticesSubgrafo <- as.numeric(caminoMinimo)
5  verticesSubgrafo <- c()
6  for (i in indiceVerticesSubgrafo) {
7    verticesSubgrafo = c(verticesSubgrafo, nombresCalles[i])
8  }

```

Código 4.3: Cálculo del camino mínimo.

La salida ofrece la distancia mínima (423 m en este caso) y la ruta seguida:

```

> distanciaCM
                                     Pl. Joan de Vila-Rasa (Interior)
Pl. Mare de Deu de la Pau                                     423
> caminoMinimo
+ 10/114 vertices, named, from b4396f9:
 [1] Pl. Mare de Deu de la Pau
 [2] C. Numancia / C. Repes
 [3] C. Canves / C. Repes
 [4] Pl. del Dr Collado
 [5] C. de la Lonja, 2
 [6] Pl. de la Ciutat de Bruges
 [7] Pl. de Joan de Vila-Rasa / C. de les Reixes
 [8] Pl. de Joan de Vila-Rasa
 [9] Pl. Joan de Vila-Rasa (Acceso Izquierda)
 [10] Pl. Joan de Vila-Rasa (Interior)
> indiceVerticesSubgrafo
 [1] 24 63 62 20 45 49 48 39 113 112
> verticesSubgrafo
 [1] "Pl. Mare de Deu de la Pau"
 [2] "C. Numancia / C. Repes"
 [3] "C. Canves / C. Repes"
 [4] "Pl. del Dr Collado"
 [5] "C. de la Lonja, 2"
 [6] "Pl. de la Ciutat de Bruges"
 [7] "Pl. de Joan de Vila-Rasa / C. de les Reixes"
 [8] "Pl. de Joan de Vila-Rasa"
 [9] "Pl. Joan de Vila-Rasa (Acceso Izquierda)"
 [10] "Pl. Joan de Vila-Rasa (Interior)"

```

Nótese que aunque `verticesSubgrafo` contiene la misma información que `caminoMinimo`, el formato válido en nuestro caso es el de `verticesSubgrafo` y es por ello por lo que se calcula pues, como se mostrará a continuación, es interesante incluirlo en la lista final que contiene todas las rutas alternativas y sus distancias.

En este momento, ya es posible el cálculo de las rutas alternativas que no disten más de lo definido en la variable global `toleranciaAumentoCM`, en este caso, 150 metros. Por una cuestión computacional, se ha decidido calcular todas las rutas posibles hasta un máximo de 3000 como ya ha sido mencionado anteriormente. Se aborda este cálculo en el código 4.4.

```

1   tresMilRutas <- k_shortest_paths(grafo, from=
   indiceCalleSalida, to=indiceCalleLlegada, k=3000)$vpaths
2
3   for (l in 2:length(tresMilRutas)) {
4     indicesVertices = as.numeric(tresMilRutas[[l]])
5     verticesNombres = c()
6     for (k in indicesVertices) {
7       verticesNombres = c(verticesNombres, nombresCalles[k])
8     }
9     distanciaCAlt = 0
10    for (i in 1:(length(indicesVertices)-1)) {
11      distanciaCAlt = distanciaCAlt+matrizAdyacencia[
   indicesVertices[i],indicesVertices[i+1]]
12    }
13    if (distanciaCAlt <= distanciaCM+toleranciaAumentoCM) {
14      rutasAlternativasNombres[[l]] = verticesNombres
15      rutasAlternativasIndices[[l]] = indicesVertices
16      distanciaRutasAlt = c(distanciaRutasAlt, distanciaCAlt)
17    }
18    if (distanciaCAlt > distanciaCM+toleranciaAumentoCM) {break
19  } #Para terminar el for
20  }
21
22  rutasAlternativasNombres[[1]] <- verticesSubgrafo
23  rutasAlternativasIndices[[1]] <- indiceVerticesSubgrafo
   distanciaRutasAlt <- c(as.numeric(distanciaCM),
   distanciaRutasAlt)

```

Código 4.4: Cálculo de las rutas alternativas.

En el código, primero se calculan 3000 rutas alternativas que se almacenan en la variable `tresMilRutas`, tras ello, en el bucle, se seleccionan y almacenan aquellas rutas que cumplan la condición de la tolerancia con respecto a la distancia del camino mínimo. Se muestra a continuación la cabecera de todas las variables introducidas:

```

> tresMilRutas %>% head()
  [[1]]
+ 10/114 vertices, named, from b4396f9:

```

```

[1] Pl. Mare de Deu de la Pau
[2] C. Numancia / C. Repes
[3] C. Canves / C. Repes
[4] Pl. del Dr Collado
[5] C. de la Lonja, 2
[6] Pl. de la Ciutat de Bruges
[7] Pl. de Joan de Vila-Rasa / C. de les Reixes
[8] Pl. de Joan de Vila-Rasa
[9] Pl. Joan de Vila-Rasa (Acceso Izquierda)
[10] Pl. Joan de Vila-Rasa (Interior)

```

```

[[2]]
+ 10/114 vertices, named, from b4396f9:
[1] Pl. Mare de Deu de la Pau
[2] C. Numancia / C. Repes
[3] C. Canves / C. Repes
[4] Pl. del Dr Collado
[5] C. de la Lonja, 2
[6] Pl. de la Ciutat de Bruges
[7] Pl. de Joan de Vila-Rasa / C. de les Reixes
[8] Pl. de Joan de Vila-Rasa
[9] Pl. Joan de Vila-Rasa (Acceso Trasero)
[10] Pl. Joan de Vila-Rasa (Interior)

```

```

[[3]]
+ 10/114 vertices, named, from b4396f9:
[1] Pl. Mare de Deu de la Pau
[2] C. Numancia / C. Repes
[3] C. Ercilla / C. Numancia
[4] Pl. del Dr Collado
[5] C. de la Lonja, 2
[6] Pl. de la Ciutat de Bruges
[7] Pl. de Joan de Vila-Rasa / C. de les Reixes
[8] Pl. de Joan de Vila-Rasa
[9] Pl. Joan de Vila-Rasa (Acceso Izquierda)
[10] Pl. Joan de Vila-Rasa (Interior)

```

```

> rutasAlternativasIndices %>% head()
[[1]]
[1] 24 63 62 20 45 49 48 39 113 112

[[2]]
[1] 24 63 62 20 45 49 48 39 111 112

```

```

[[3]]
 [1] 24 63 23 20 45 49 48 39 113 112

[[4]]
 [1] 24 63 23 20 45 49 48 39 111 112

[[5]]
 [1] 24 14 15 23 20 45 49 48 39 113 112

[[6]]
 [1] 24 63 23 22 21 20 45 49 48 39 113 112

> distanciaRutasAlt %>% head()
 [1] 423 424 426 427 428 428

```

La lista `rutasAlternativasNombres` contiene información similar a la que se encuentra en la variable `tresMilRutas` pero en ella sólo guardamos aquellas rutas que verifiquen la condición de la tolerancia, en este caso:

```

> length(tresMilRutas)
 [1] 3000
> length(rutasAlternativasNombres)
 [1] 1925

```

Sólo falta calcular el valor cultural y paisajístico de cada una de las rutas alternativas y elegir aquella con valor máximo y distancia mínima, esto es lo que se consigue con el código 4.5.

```

1   for (i in 1:length(rutasAlternativasIndices)) {
2     valorCultRuta = 0
3     for (l in 1:(length(rutasAlternativasIndices[[i]])-1)) {
4       valorCultRuta = valorCultRuta+matrizAdyCultural[
rutasAlternativasIndices[[i]][1],rutasAlternativasIndices[[i
]][1+1]]
5     }
6     valorCulturalRutas = c(valorCulturalRutas,valorCultRuta)
7   }
8
9   posicionRutaMasCult <- which(max(valorCulturalRutas) ==
valorCulturalRutas)[[1]]
10
11  rutasAlternativasNombres[[posicionRutaMasCult]]

```

Código 4.5: Cálculo de la ruta más cultural.

```

> valorCulturalRutas %>% head()

```

```

[1] 238.32 238.32 238.32 238.32 252.72 267.12
> posicionRutaMasCult
[1] 924
> rutasAlternativasNombres[[posicionRutaMasCult]]
[1] "Pl. Mare de Deu de la Pau"
[2] "Pl. de Lope de Vega"
[3] "C. Sombreria"
[4] "Pl. Redonda"
[5] "C. dels Drets"
[6] "C. dels Drets / C. del Trench"
[7] "C. del Trench / C. dels Manyans"
[8] "Pl. del Mercat, 1"
[9] "C. Ramillets / C. de Palafox"
[10] "C. Blanes / C. de Palafox"
[11] "C. Engall / C. de Palafox"
[12] "C. de les Carabasses / C. D'En Gil"
[13] "C. del Peu de la Creu / Pl. de la Ciutat de Bruges"
[14] "C. del Peu de la Creu / C. de les Reixes"
[15] "Pl. de Joan de Vila-Rasa / C. de les Reixes"
[16] "Pl. de Joan de Vila-Rasa"
[17] "Pl. Joan de Vila-Rasa (Acceso Izquierda)"
[18] "Pl. Joan de Vila-Rasa (Interior)"
> valorCulturalRutas[posicionRutaMasCult]
[1] 412.182

```

Con esto llegamos al resultado buscado: existen 1925 rutas que cumplen la condición de tolerancia impuesta (que no se alejan más de 150 metros de la ruta más corta). Entre ellas, la ruta 924, con una distancia de 544 metros y que pasa por los nodos que se almacenan en el elemento `[[posicionRutaMasCult]]` de la lista `rutasAlternativasNombres` es la que tiene un valor paisajístico más elevado, alcanzando un valor de 412,182 puntos.

#### 4.1.2. La ruta más corta y más cultural entre la esquina de la calle Sant Vicent Martir con la calle de Sant Ferran y la plaza del Tossal

A continuación se muestra otro ejemplo que se ha escogido porque es una ruta habitual cuando se recorren las calles del centro de València, la ruta típicamente elegida no tiene por qué ser aquella más interesante.

El proceso a seguir es el mismo que en el ejemplo anterior, sólo se deben modificar las variables que se observan en el código 4.6, referidas a las calles de salida y de llegada.

```
1 calleSalida <- "C. Sant Vicent Martir / C. de Sant Ferran"
2 calleLlegada <- "Pl. del Tossal"
3 indiceCalleSalida <- which(nombresCalles == calleSalida)
4 indiceCalleLlegada <- which(nombresCalles==calleLlegada)
```

Código 4.6: Definición de los puntos de salida y de llegada.

A continuación, se ejecutan las funciones mostradas anteriormente para llegar a la ruta de distancia mínima. En este caso, la ruta mínima tiene una distancia de 557 metros y pasa por los siguientes puntos:

```
> caminoMinimo
+ 8/114 vertices, named, from b4396f9:
 [1] C. Sant Vicent Martir / C. de Sant Ferran
 [2] Pl. del Mercat, 1
 [3] Pl. del Mercat, 35
 [4] C. de la Lonja, 2
 [5] C. Llutxent / Pl. del Mercat
 [6] C. Sampedor / Pl. del Mercat
 [7] C. de la Carda / C. Boatella
 [8] Pl. del Tossal
```

A partir de esta ruta mínima, se calculan de nuevo las rutas alternativas sujetas a la restricción de distancia de 150 metros. Comprobando el valor cultural de cada una de ellas, se llega a que la ruta con un mayor valor cultural y paisajístico es:

```
> rutasAlternativasNombres[[posicionRutaMasCult]]
 [1] "C. Sant Vicent Martir / C. de Sant Ferran"
 [2] "C. Sant Vicent Martir / C. dels Manyans"
 [3] "C. Sant Vicent Martir / C. dels Drets"
 [4] "C. Sant Vicent Martir"
 [5] "Pl. de la Reina"
 [6] "Pl. de Santa Catalina"
 [7] "C. Sombreria"
 [8] "Pl. de Lope de Vega"
 [9] "Pl. Mare de Deu de la Pau"
[10] "C. dels Assaonadors / C. Sab. Xiquets"
[11] "C. Lom / C. Ercilla"
[12] "C. Ercilla / C. Numancia"
[13] "C. Lom"
[14] "C. la Senia / C. Esta. Vella"
[15] "C. la Senia"
[16] "Pl. de la Companyia"
```

```
[17] "C. de les Danses / C. Caixers"  
[18] "C. de les Danses / C. Betlem"  
[19] "C. de les Danses / C. Encolom"  
[20] "Pl. del Forn de Sant Nicolau"  
[21] "Pl. de L'Espart"  
[22] "Pl. del Tossal"  
> valorCulturalRutas[posicionRutaMasCult]  
[1] 568.8
```

Esta ruta tiene una distancia de 707 metros y un valor cultural de 568,8 puntos.

## 4.2. Prototipo de una interfaz de usuario

Parte del interés del trabajo es mostrar su potencial y, con este fin, se ha desarrollado un prototipo de lo que podría ser la interfaz de usuario de la herramienta. A lo largo de los pasados capítulos se ha mostrado el código con el que era posible hallar la ruta mínima y la ruta con mayor valor cultural y paisajístico entre dos puntos pero se ha considerado preciso ir un paso más allá en cuanto a la usabilidad.

El desarrollo de esta web se ha realizado en R, al igual que el desarrollo de la herramienta pero, gracias al paquete `Shiny`, es posible que la web sea interactiva y el propio usuario pueda definir los puntos de partida y de llegada.

El desarrollo de una web en R consta de dos bloques: el relacionado con la navegación y los aspectos visuales, y el relacionado con los procesos internos que debe realizar el servidor.

En cuanto al aspecto visual, se plantea una pestaña (imagen 4.1) en la que se encuentran dos cajas donde se pueden elegir el punto de partida y el de llegada, un botón que hace que se actualice el mapa inferior y que devuelve la ruta más corta entre los dos puntos y otro que devuelve la más cultural. Además, justo a la derecha del mapa podemos observar los puntos que se han ido visitando en la ruta y la distancia de ésta. De forma permanente, en el mapa se observan unos círculos de color naranja con borde negro que son los puntos de interés que se han tenido en cuenta. Situando el ratón encima de estos círculos, se muestra su nombre y al pulsar en ellos se despliega una ventana con información relevante como se puede apreciar en las imágenes 4.2 y 4.3.

# Capítulo 4. Implementación de los algoritmos



Figura 4.1: Aspecto de la interfaz.



Figura 4.2: Nombre del elemento.

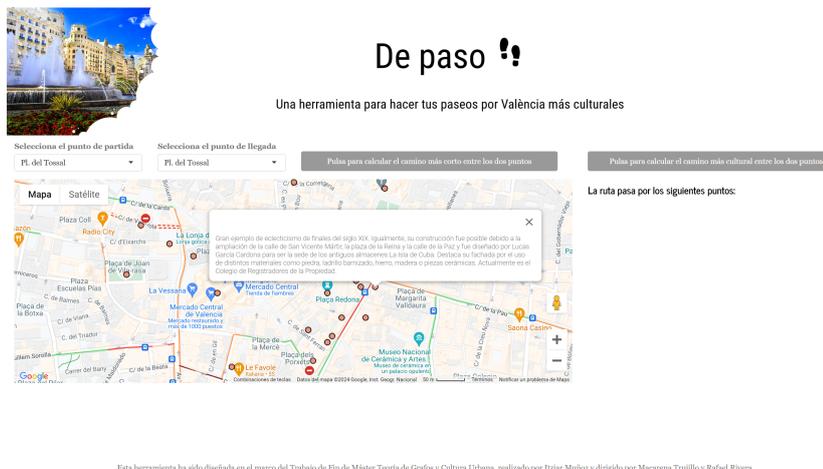


Figura 4.3: Información sobre el elemento.

Por otra parte, en cuanto a los procesos del *server*, se encuentran dos grandes bloques, uno para cada uno de los procesos que se deben realizar cuando el usuario pulsa sobre cada uno de los botones de la primera de las pestañas. En ambos casos el desarrollo se ha realizado gracias a la librería `googleway`, que permite implementar la API de Google Maps en el prototipo. El código completo se puede encontrar en el anexo [B](#).

### 4.2.1. Ejemplos

En esta sección recrearemos los ejemplos descritos en las secciones [4.1.1](#) y [4.1.2](#) en la interfaz.

En la sección [4.1.1](#), se tomaba como punto de partida la plaza de la Mare de Deu de la Pau y como punto de llegada el interior de la plaza de Joan de Vila-Rasa. Se marcan estas opciones en los desplegados, a continuación, pulsando sobre el primer botón se actualiza el mapa mostrándonos el camino mínimo y los puntos por lo que pasa. Además, si se pulsa ahora en el segundo de los botones, lo que se obtiene es la ruta más cultural y los puntos del recorrido. Como se ha mencionado, existe la opción de situar el ratón sobre los puntos naranjas que se encuentren dentro de la ruta para tener información sobre los lugares destacados de la misma (imágenes de la [Figura 4.4](#)).

Igualmente, en la sección [4.1.2](#), se tomaba como punto de partida la calle Sant Vicent Martir con la calle de Sant Ferran y como punto de llegada la plaza del Tossal. Se puede ver el proceso nuevamente en las imágenes [4.5](#).

# Capítulo 4. Implementación de los algoritmos

**De paso !**

Una herramienta para hacer tus paseos por València más culturales

Selecciona el punto de partida: Pl. Mare de Deu de la Pau

Selecciona el punto de llegada: Pl. Joan de Vila-Rasa (Interior)

Pulsa para calcular el camino más corto entre los dos puntos

Pulsa para calcular el camino más cultural entre los dos puntos

**La ruta pasa por los siguientes puntos:**

- Pl. Mare de Deu de la Pau →
- C. Nunmancia / C. Repes →
- C. Curves / C. Repes →
- Pl. del Dr Collado →
- C. de la Lonja, 2 →
- Pl. de la Ciutat de Bruges →
- Pl. de Joan de Vila-Rasa / C. de les Reixes →
- Pl. de Joan de Vila-Rasa →
- Pl. Joan de Vila-Rasa (Acceso Izquierda) →
- Pl. Joan de Vila-Rasa (Interior)

La distancia de esta ruta es de 423 metros.

Esta herramienta ha sido diseñada en el marco del Trabajo de Fin de Máster Teoría de Grafos y Cultura Urbana, realizado por Itziar Muñoz y dirigido por Macarena Trujillo y Rafael Rivera.

(a) Ruta mínima.

**De paso !**

Una herramienta para hacer tus paseos por València más culturales

Selecciona el punto de partida: Pl. Mare de Deu de la Pau

Selecciona el punto de llegada: Pl. Joan de Vila-Rasa (Interior)

Pulsa para calcular el camino más corto entre los dos puntos

Pulsa para calcular el camino más cultural entre los dos puntos

**La ruta pasa por los siguientes puntos:**

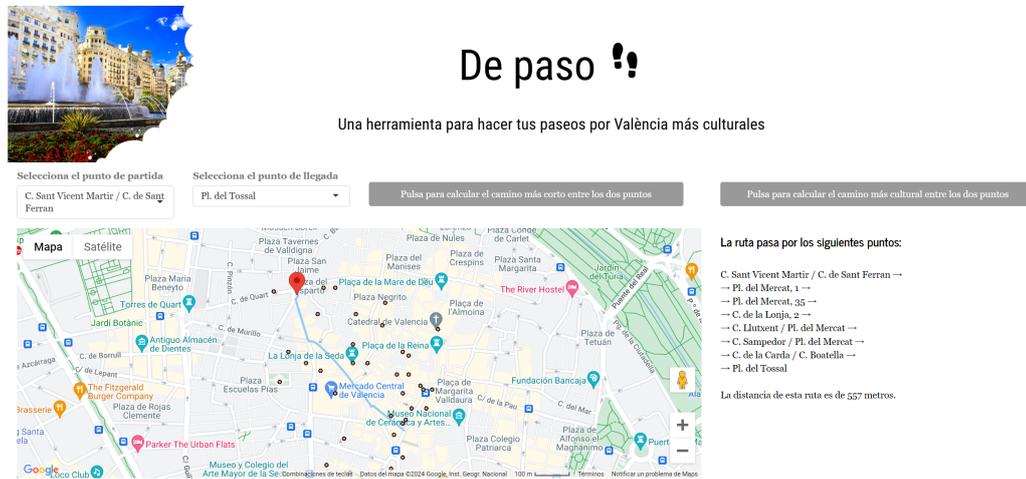
- Pl. Mare de Deu de la Pau →
- Pl. de Lope de Vega →
- C. Somberria →
- Pl. Redonda →
- C. dels Drets →
- C. dels Drets / C. del Trench →
- C. del Trench / C. dels Manyans →
- Pl. del Mercat, 1 →
- C. Ramillets / C. de Palafox →
- C. Blanques / C. de Palafox →
- C. Engall / C. de Palafox →
- C. de les Carabasses / C. D'En Gil →
- C. del Pen de la Creu / Pl. de la Ciutat de Bruges →
- C. del Pen de la Creu / C. de les Reixes →
- Pl. de Joan de Vila-Rasa / C. de les Reixes →
- Pl. de Joan de Vila-Rasa →
- Pl. Joan de Vila-Rasa (Acceso Izquierda) →
- Pl. Joan de Vila-Rasa (Interior)

La distancia de esta ruta es de 544 metros.

Esta herramienta ha sido diseñada en el marco del Trabajo de Fin de Máster Teoría de Grafos y Cultura Urbana, realizado por Itziar Muñoz y dirigido por Macarena Trujillo y Rafael Rivera.

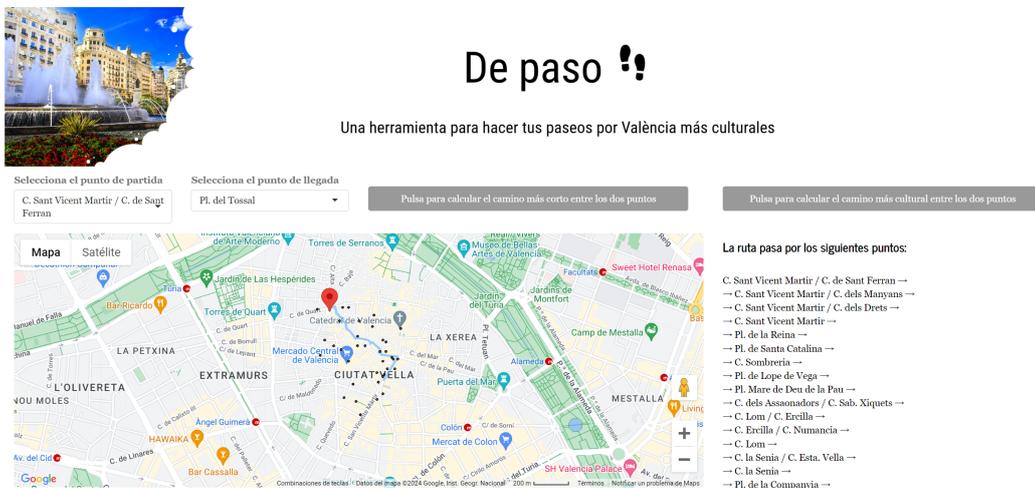
(b) Ruta más cultural.

Figura 4.4: Figuras relacionadas con el ejemplo de la sección 4.1.1.



Esta herramienta ha sido diseñada en el marco del Trabajo de Fin de Máster Teoría de Grafos y Cultura Urbana, realizado por Itziar Muñoz y dirigido por Macarena Trujillo y Rafael Rivera.

(a) Ruta mínima.



Esta herramienta ha sido diseñada en el marco del Trabajo de Fin de Máster Teoría de Grafos y Cultura Urbana, realizado por Itziar Muñoz y dirigido por Macarena Trujillo y Rafael Rivera.

(b) Ruta más cultural.

Figura 4.5: Figuras relacionadas con el ejemplo de la sección 4.1.2.

# 5

## Discusión y conclusiones

El objetivo general de este trabajo ha sido el de encontrar rutas entre dos puntos de una ciudad, que sin alejarse demasiado de la ruta más corta, tengan el máximo interés cultural y paisajístico posible. En ese sentido, en los capítulos anteriores se muestra cómo se ha conseguido alcanzar este objetivo general y los objetivos específicos, y que de una forma práctica y sencilla cualquier usuario de la interfaz pueda calcular rutas atractivas para moverse por la ciudad caminando.

Una de las principales características del trabajo es el hecho de que aúna diferentes disciplinas. Las matemáticas, con la teoría de grafos, ha sido la principal herramienta que ha permitido dar solución al problema planteado. Pero además, el trabajo también tiene otro elemento clave como es la ponderación de las aristas del grafo cultural y paisajístico. Esto, a falta de referencias para ello, ha hecho que hubieran diferentes posibilidades y que se tuvieran que tomar decisiones para acotar la solución. La interdisciplinariedad del equipo ha sido esencial para ello y de este modo poder obtener, dentro de la subjetividad que implica, las expresiones de valoración más adecuadas para los correspondientes elementos.

La primera cuestión a determinar ha sido qué elementos tener en cuenta en la valoración de las aristas del grafo cultural. Los elementos escogidos (edificios, arbolado, elementos singulares y conjuntos) representan los principales elementos recogidos en las referencias y leyes, en las que además encontramos su categorización ([8], [7], [5], [19], [2] o [24]). Además, se ha incorporado otro aspecto importante como es la peatonalización, clave en cualquier estudio de movilidad sostenible.

A este respecto, la segunda cuestión a determinar ha sido cómo establecer la

---

cuantificación y valoración de cada uno de los elementos y de la peatonalización. Este aspecto, es totalmente novedoso puesto que no se ha encontrado en la literatura ninguna referencia al respecto. Así mismo, también lo es la interacción entre los diferentes elementos.

Estas cuestiones ponen de relieve que se considera esencial que para replicar un trabajo como este, ya sea en la ciudad de València o en otro lugar, se cuente con un equipo interdisciplinar con conocimiento experto en la ciudad de estudio que pueda poder poner en valor elementos que podrían pasar desapercibidos en otro caso y tomar decisiones que reflejen la todos los puntos de vista.

Además, se quiere hacer notar la gran proyectividad que tiene este trabajo. Por un lado, se puede aumentar el número de elementos a tener en cuenta en el plano cultural, adaptándolo a las particularidades de la ciudad o al público objetivo. En este caso, se ha optado por dirigirse a un público general, se quería llegar al mayor número de personas, especialmente a los habitantes de la propia ciudad de València para permitirles de alguna forma redescubrir sus calles. Pero se podría desarrollar la herramienta para un público infantil, en cuyo caso aquello que se consideraría más interesante en nuestra ruta es muy distinto, basándonos en estudios relacionados con ello como [11], lo que más se valoraría serían los parques, los espacios para practicar deporte como las canchas de baloncesto, los campos de fútbol o las piscinas, aquellos edificios que puedan relacionar con elementos de cuentos como podrían ser los castillos, aquellas tiendas que tienen grandes escaparates con productos coloridos que llamen su atención, el arte callejero... Igualmente, si el público objetivo fueran personas con movilidad reducida, deberíamos tener en cuenta aquellas rutas que sean accesibles. De esta forma podríamos adaptarnos a los distintos casos, estudiando aquello que se considera con un índice cultural mayor y si hay que tener en cuenta alguna restricción.

Por otra parte, se pueden contemplar no sólo más elementos en el sentido cultural sino también más elementos que hagan más agradables las rutas peatonales en general como podría ser el mobiliario urbano en buen estado. Se considera que es importante a la hora de escoger una ruta que se dispongan de bancos, papeleras, farolas e incluso fuentes en buen estado. En este trabajo no lo hemos considerado principalmente por dos razones. La primera es la falta de un inventario en el que poder basarnos. Y la segunda, y quizá más determinante, es que, como su propio nombre indica, el estado del mobiliario puede variar en cortos periodos de tiempo de modo que se decide excluirlo del trabajo por diferir del carácter más permanente en el tiempo del resto de elementos.

Otro factor que se podría incluir en el arbolado es que tuviera en cuenta tapizantes (grama o césped), arbustos y flores. E incluso mejorar el referido a la peatonalización teniendo en cuenta en las calles con segregación de espacios el área total y el área de acera para poder distinguir entre aquellas con aceras anchas o no y darles una puntuación diferente en cada caso.

Por último, para añadir relevancia al valor paisajístico también podría presentarse la ciudad como un grafo dirigido, de modo que cada vía tenga dos direcciones, pudiendo contemplar de esta forma el arbolado a ambos lados de la calle y, lo que consideramos más importante, las vistas. Así, se podría proponer aplicar una graduación en la valoración de cada arista que vaya aumentando cuanto más cerca estés de un elemento destacable desde que se tienen vistas a él.

En cuanto a las limitaciones del trabajo, cabe destacar que la mayor de ellas está relacionada con la extensión de la zona de estudio. Se ha seleccionado solo una pequeña área de la ciudad, sin embargo, la estructura del trabajo está pensada para poderse adecuar a áreas más grandes o cualquier otra ciudad.

La interfaz de usuario es básica porque es un prototipo y por ello aún tiene margen de mejora, por ejemplo se podría hacer una búsqueda avanzada en la que el usuario estableciera los elementos a tener en cuenta en el valor paisajístico y cultural, la cantidad en metros a la que está dispuesto a alejarse de la ruta mínima y, especialmente, la interactividad con el mapa, lo óptimo sería contar con precisión GPS que permitiera seguir la ruta en vivo. La idea es incluso poder pasar de la interfaz a una aplicación móvil. Sin embargo, estas mejoras escapan de los objetivos y la temporalidad de este proyecto.

De hecho, a pesar de estas limitaciones, el trabajo tiene un gran potencial para ser ampliado, o extrapolado a otras áreas y convertirse en una herramienta de uso común con ese interés de caminar más las ciudades. En definitiva, se trata de desarrollar las posibilidades de la tecnología, la fuerza de las Matemática y los componentes de la cultura urbana, todo ello unido al servicio de la ciudadanía, ayudando a entender la ciudad como un elemento central de la convivencia, del disfrute y del aprendizaje colectivo.



# Bibliografía

- [1] Guía de arquitectura de valencia. <https://arquitecturavalencia.es/#/public/explorar>. Visitada: 20/02/2024.
- [2] Cultural valència. <https://cultural.valencia.es/es/>. Visitada: 29/02/2024.
- [3] G. Boeing, C. Higgs, S. Liu, B. Giles-Corti, J. F. Sallis, E. Cerin, M. Lowe, D. Adlakha, E. Hinckson, A. V. Moudon, D. Salvo, M. A. Adams, L. V. Barrozo, T. Bozovic, X. Delclòs-Alió, J. Dygrýn, S. Ferguson, K. Gebel, T. P. Ho, P.-C. Lai, J. C. Martori, K. Nitvimol, A. Queralt, J. D. Roberts, G. H. Sambo, J. Schipperijn, D. Vale, N. Van de Weghe, G. Vich, and J. Arundel. Using open data and open-source software to develop spatial indicators of urban design and transport features for achieving healthy and sustainable cities. *The Lancet. Global health*, 10(6):e907–e918, 2022.
- [4] I. i. T. d. l. G. V. Conselleria de Medi Ambient, Aigua. Visor institut cartogràfic valencià. <https://visor.gva.es/visor/>.
- [5] E. C. i. T. E. Conselleria d’Agricultura, Desenvolupament Rural. Catálogo de árboles monumentales y singulares de la comunitat valenciana. *Diari Oficial de la Generalitat Valenciana*, num. 9568, 04/04/2023.
- [6] T. Courtat, C. Gloaguen, and S. Douady. Mathematics and morphogenesis of cities: A geometrical approach. *Physical Review E*, 83(3):036106, 2011.
- [7] J. del Estado. Boletín oficial del estado, ley 4/1998, de 11 de junio, del patrimonio cultural valenciano. «BOE» núm. 174, de 22 de julio de 1998, pages 24768–24793, 22/07/1998.
- [8] J. del Estado. Boletín oficial del estado, ley 16/1985, de 25 de junio, del patrimonio histórico español. «BOE» núm. 155, de 29 de junio de 1985, 29/06/1985.
- [9] E. W. Dijkstra. A note on two problems in connexion with graphs:(numerische mathematik, 1 (1959), p 269-271). 1959.
- [10] L. D’Acci. *The Mathematics of Urban Morphology*. Editorial Birkhäuser, 2019.
- [11] S. Elsley. Children’s experience of public space. *Children & Society*, 18(2):155–164, 2004.
- [12] L. Euler. Solutio problematis ad geometriam situs pertinentis. *Commentarii academiae scientiarum Petropolitanae*, pages 128–140, 1741.
- [13] R. Fritsch, R. Fritsch, G. Fritsch, and G. Fritsch. *Four-Color Theorem*. Springer, 1998.
- [14] S. Liu, C. Higgs, J. Arundel, G. Boeing, N. Cerdera, D. Moctezuma, E. Cerin, D. Adlakha, M. Lowe, and B. Giles-Corti. A generalized framework for measuring pedestrian accessibility around the world using open data. *Geographical Analysis*, 54(3):559–582, 2021.

- 
- [15] M. Lozano-Oyola, F. J. Blancas, M. González, and R. Caballero. Sustainable tourism indicators as planning tools in cultural destinations. *Ecological indicators*, 18:659–675, 2012.
- [16] K. Lynch. *La imagen de la ciudad*. Editorial Gustavo Gili, 1960.
- [17] H. Mayer and P. L. Knox. Pace of life and quality of life: The slow city charter. In *Community quality-of-life indicators: Best cases III*, pages 21–40. Springer, 2009.
- [18] J. Nesbit. Topological thinking: Digital systems in landscape urbanism. *J. Digital Landscape Architecture*, 1:28–35, 2016.
- [19] A. d. V. Regidoria de Mobilitat Sostenible. Ordenanza de movilidad. 2019.
- [20] R. Rivera Herráez and M. Trujillo Guillen. Matemáticas urbanas. *Suma*, 81:21–31, 2016.
- [21] D. Rouvray. The pioneering contributions of cayley and sylvester to the mathematical description of chemical structure. *Journal of Molecular Structure: THEOCHEM*, 185: 1–14, 1989. ISSN 0166-1280.
- [22] N. Schwarz. Urban form revisited—selecting indicators for characterising european cities. *Landscape and Urban Planning*, 96(1):29–47, 2010. ISSN 0169-2046.
- [23] F. Semboloni, J. Assfalg, S. Armeni, R. Gianassi, and F. Marsoni. Citydev, an interactive multi-agents urban model on the web. *Computers, Environment and Urban Systems*, 28 (1):45–64, 2004. ISSN 0198-9715. Geosimulation.
- [24] F. Taberner Pastor, A. Llopis Alonso, V. arqtes., C. Alcalde Blanquer, J. L. Merlo Fuertes, and A. Ros Pastor. *Guia de Arquitectura de València. 2<sup>a</sup> Ed.* Editorial CTAV, 2010.
- [25] G. A. Tanguay, J. Rajaonson, J.-F. Lefebvre, and P. Lanoie. Measuring the sustainability of cities: An analysis of the use of local indicators. *Ecological Indicators*, 10(2):407–418, 2010. ISSN 1470-160X.
- [26] G. V. Vicepresidència Primera i Conselleria de Cultura i Esport. Inventari general del patrimoni cultural valencià. <https://cultura.gva.es/va/web/patrimonio-cultural-y-museos/inventario-general>.
- [27] J. Y. Yen. Finding the k shortest loopless paths in a network. *management Science*, 17 (11):712–716, 1971.



# Anexos





## Código fuente

```
1     library(igraph)
2 library(tidygraph)
3
4 # Tengo el grafo creado en SWGraph, queremos importar la matriz
  de adyacencia y leerla en el formato correcto
5 # Tengo la matriz de adyacencia, solo debo reajustarla y es
  relativamente facil porque solo tengo que quitar {} y cambiar
  las , por ;
6 datosMatrizAdy <- scan(file = "matrizAdyacencia.txt", sep = ";",
  dec = ".") #Es un vector
7 nombresCalles <- scan(file = "NombresCalles.txt", what = "
  character", sep = "\n")
8 nNodos <- length(nombresCalles)
9 matrizAdyacencia <- matrix(data = datosMatrizAdy, ncol = nNodos,
  nrow = nNodos, byrow = TRUE)
10 colnames(matrizAdyacencia) <- nombresCalles
11 rownames(matrizAdyacencia) <- nombresCalles
12
13 # Ahora creamos el grafo con la matriz de adyacencia
14 grafo <- graph_from_adjacency_matrix(matrizAdyacencia, mode = "
  undirected", weighted = TRUE)
15 plot(grafo)
16 plot.igraph(grafo, vertex.size=5)
17 plot(grafo, edge.label=E(grafo)$weight, vertex.size=5) #Para que se
  vea el peso de cada arista
18
19 # Creamos un indicador que nos diga la posicion en nombresCalles
  de la calle de la que salimos y a la que vamos
20 calleSalida <- "Pl. del Tossal"
21 calleLlegada <- "C. Dels Cavallers / Pl. del Forn de Sant Nicolau"
```

```

"
22 indiceCalleSalida <- which(nombresCalles == calleSalida)
23 indiceCalleLlegada <- which(nombresCalles == calleLlegada)
24
25 distanciaCM <- distances(grafo,v=indiceCalleSalida,to=
    indiceCalleLlegada) #Te dice que la distancia que coincide con
    la de SWGraph pero no te dice la ruta seguida
26 caminoMinimo <- all_shortest_paths(grafo,from = indiceCalleSalida
    ,to=indiceCalleLlegada)$vpaths[[1]] #Aqui nos dice las calles
    por las que pasa
27 # Creamos un subgrafo con esta solucion
28 indiceVerticesSubgrafo <- as.numeric(caminoMinimo) #Nos da el
    indice de los nodos
29 verticesSubgrafo <- c()
30 for (i in indiceVerticesSubgrafo) {
31     verticesSubgrafo = c(verticesSubgrafo,nombresCalles[i])
32 }
33 subgrafo <- induced_subgraph(grafo, vids=verticesSubgrafo)
34 plot(subgrafo,edge.label <- E(subgrafo)$weight)
35
36 distanciaCM <- distances(grafo,v=indiceCalleSalida,to=
    indiceCalleLlegada)
37 caminoMinimo <- all_shortest_paths(grafo,from = indiceCalleSalida
    ,to=indiceCalleLlegada)$vpaths[[1]]
38 indiceVerticesSubgrafo <- as.numeric(caminoMinimo)
39 verticesSubgrafo <- c()
40 for (i in indiceVerticesSubgrafo) {
41     verticesSubgrafo = c(verticesSubgrafo,nombresCalles[i])
42 }
43 subgrafo <- induced_subgraph(grafo, vids=verticesSubgrafo)
44 toleranciaAumentoCM <- 150
45 rutasAlternativasNombres <- list()
46 rutasAlternativasIndices <- list()
47 distanciaRutasAlt <- c()
48
49 tresMilRutas <- k_shortest_paths(grafo, from=indiceCalleSalida,
    to=indiceCalleLlegada, k=3000)$vpaths
50
51 for (l in 2:length(tresMilRutas)) {
52     indicesVertices = as.numeric(tresMilRutas[[l]])
53     verticesNombres = c()
54     for (k in indicesVertices) {
55         verticesNombres = c(verticesNombres,nombresCalles[k])
56     }
57     distanciaCAlt = 0
58     for (i in 1:(length(indicesVertices)-1)) {
59         distanciaCAlt = distanciaCAlt+matrizAdyacencia[
            indicesVertices[i],indicesVertices[i+1]]
60     }
61     if (distanciaCAlt <= distanciaCM+toleranciaAumentoCM) {
62         rutasAlternativasNombres[[l]] = verticesNombres
63         rutasAlternativasIndices[[l]] = indicesVertices
64         distanciaRutasAlt = c(distanciaRutasAlt,distanciaCAlt)

```

```

65   }
66   if (distanciaCAlt > distanciaCM+toleranciaAumentoCM) {break} #
      Para terminar el for
67 }
68
69 rutasAlternativasNombres[[1]] <- verticesSubgrafo
70 rutasAlternativasIndices[[1]] <- indiceVerticesSubgrafo
71 distanciaRutasAlt <- c(as.numeric(distanciaCM),distanciaRutasAlt)
72 # Esto ya funciona de forma casi optima
73
74
75 # Matrices BIC
76
77 # Edificios ####
78
79 datosMatrizAdyEdificios <- scan(file = "matrizAdyacenciaEdificios
      .txt", sep = ";",dec = ".")
80 matrizAdyEdificios <- matrix(data = datosMatrizAdyEdificios,ncol
      = nNodos,nrow = nNodos,byrow = TRUE)
81 colnames(matrizAdyEdificios) <- nombresCalles
82 rownames(matrizAdyEdificios) <- nombresCalles
83
84 # Conjuntos ####
85
86 datosMatrizAdyConjuntos <- scan(file = "matrizAdyacenciaConjuntos
      .txt", sep = ";",dec = ".")
87 matrizAdyConjuntos <- matrix(data = datosMatrizAdyConjuntos,ncol
      = nNodos,nrow = nNodos,byrow = TRUE)
88 colnames(matrizAdyConjuntos) <- nombresCalles
89 rownames(matrizAdyConjuntos) <- nombresCalles
90
91 # Elementos Singulares ####
92
93 datosMatrizAdyElemSing <- scan(file = "
      matrizAdyacenciaElementosSingulares.txt", sep = ";",dec = ".")
94 matrizAdyElemSing <- matrix(data = datosMatrizAdyElemSing,ncol =
      nNodos,nrow = nNodos,byrow = TRUE)
95 colnames(matrizAdyElemSing) <- nombresCalles
96 rownames(matrizAdyElemSing) <- nombresCalles
97
98 # Arbolado ####
99
100 datosMatrizAdyArbolado <- scan(file = "matrizAdyacenciaArbolado.
      txt", sep = ";",dec = ".")
101 matrizAdyArbolado <- matrix(data = datosMatrizAdyArbolado,ncol =
      nNodos,nrow = nNodos,byrow = TRUE)
102 colnames(matrizAdyArbolado) <- nombresCalles
103 rownames(matrizAdyArbolado) <- nombresCalles
104
105 # Peatonalizacion ####
106 datosMatrizAdyPeatonalizacion <- scan(file = "
      matrizAdyacenciaPeatonalizacion.txt", sep = ";",dec = ".")
107 matrizAdyPeatonalizacion <- matrix(data =

```

```

    datosMatrizAdyPeatonalizacion, ncol = nNodos, nrow = nNodos,
    byrow = TRUE)
108 colnames(matrizAdyPeatonalizacion) <- nombresCalles
109 rownames(matrizAdyPeatonalizacion) <- nombresCalles
110
111 # Grafo cultural ####
112 matrizAdyCultural <- (matrizAdyEdificios + matrizAdyElemSing +
    matrizAdyConjuntos + matrizAdyArbolado)*
    matrizAdyPeatonalizacion
113 grafoCultural <- graph_from_adjacency_matrix(matrizAdyCultural,
    mode = "undirected", weighted = TRUE)
114
115 plot(grafoCultural, edge.label=E(grafoCultural)$weight, vertex.size
    =5)
116
117
118 # Queremos que de las rutas alternativas que se han calculado, se
    mire en cada una de ellas cual es el valor cultural,
119 # quedarnos con el que sea mayor y devolver esa ruta alternativa
    al usuario.
120 valorCulturalRutas <- c()
121
122 for (i in 1:length(rutasAlternativasIndices)) {
123     valorCultRuta = 0
124     for (l in 1:(length(rutasAlternativasIndices[[i]])-1)) {
125         valorCultRuta = valorCultRuta+matrizAdyCultural[
            rutasAlternativasIndices[[i]][l],rutasAlternativasIndices[[i
            ]][l+1]]
126     }
127     valorCulturalRutas = c(valorCulturalRutas, valorCultRuta)
128 }
129
130 posicionRutaMasCult <- which(max(valorCulturalRutas) ==
    valorCulturalRutas)[[1]]
131 # Nos quedamos con la primera ocurrencia porque ademas de la mas
    cultural en caso de que haya varias con el mismo valor
132 # nos quedamos con la mas corta
133
134 rutasAlternativasNombres[[posicionRutaMasCult]]
135
136 valorCulturalRutas[posicionRutaMasCult]

```

# B

## Código fuente del prototipo

```
1 library(shiny)
2 library(googleway)
3 library(dplyr)
4 library(shinythemes)
5 library(lareshiny)
6 library(usethis)
7 library(sys)
8 library(ggmap)
9 library(igraph)
10
11 register_google(key = "**clave-personal**", write = TRUE)
12
13 datosMatrizAdy <- scan(file = "matrizAdyacencia.txt", sep = ";",
14   dec = ".")
15 nombresCalles <- scan(file = "NombresCalles.txt", what = "
16   character", sep = "\n")
17 nNodos <- length(nombresCalles)
18 matrizAdyacencia <- matrix(data = datosMatrizAdy, ncol = nNodos,
19   nrow = nNodos, byrow = TRUE)
20 colnames(matrizAdyacencia) <- nombresCalles
21 rownames(matrizAdyacencia) <- nombresCalles
22 grafo <- graph_from_adjacency_matrix(matrizAdyacencia, mode = "
23   undirected", weighted = TRUE)
24
25 dataLL <- read.csv("LatitudLongitud.csv", header = TRUE, sep =
26   ";")
27
28 datosMatrizAdyEdificios <- scan(file = "matrizAdyacenciaEdificios
29   .txt", sep = ";", dec = ".")
30 matrizAdyEdificios <- matrix(data = datosMatrizAdyEdificios, ncol
```

```

    = nNodos,nrow = nNodos,byrow = TRUE)
25 colnames(matrizAdyEdificios) <- nombresCalles
26 rownames(matrizAdyEdificios) <- nombresCalles
27
28 datosMatrizAdyConjuntos <- scan(file = "matrizAdyacenciaConjuntos
    .txt", sep = ";",dec = ".")
29 matrizAdyConjuntos <- matrix(data = datosMatrizAdyConjuntos,ncol
    = nNodos,nrow = nNodos,byrow = TRUE)
30 colnames(matrizAdyConjuntos) <- nombresCalles
31 rownames(matrizAdyConjuntos) <- nombresCalles
32
33 datosMatrizAdyElemSing <- scan(file = "
    matrizAdyacenciaElementosSingulares.txt", sep = ";",dec = ".")
34 matrizAdyElemSing <- matrix(data = datosMatrizAdyElemSing,ncol =
    nNodos,nrow = nNodos,byrow = TRUE)
35 colnames(matrizAdyElemSing) <- nombresCalles
36 rownames(matrizAdyElemSing) <- nombresCalles
37
38 datosMatrizAdyArbolado <- scan(file = "matrizAdyacenciaArbolado.
    txt", sep = ";",dec = ".")
39 matrizAdyArbolado <- matrix(data = datosMatrizAdyArbolado,ncol =
    nNodos,nrow = nNodos,byrow = TRUE)
40 colnames(matrizAdyArbolado) <- nombresCalles
41 rownames(matrizAdyArbolado) <- nombresCalles
42
43 datosMatrizAdyPeatonalizacion <- scan(file = "
    matrizAdyacenciaPeatonalizacion.txt", sep = ";",dec = ".")
44 matrizAdyPeatonalizacion <- matrix(data =
    datosMatrizAdyPeatonalizacion,ncol = nNodos,nrow = nNodos,
    byrow = TRUE)
45 colnames(matrizAdyPeatonalizacion) <- nombresCalles
46 rownames(matrizAdyPeatonalizacion) <- nombresCalles
47
48 matrizAdyCultural <- (matrizAdyEdificios + matrizAdyElemSing +
    matrizAdyConjuntos + matrizAdyArbolado)*
    matrizAdyPeatonalizacion
49
50 puntosInteres <- read.csv("puntosInteres.csv", header = TRUE, sep
    = ";")
51
52 ui=shinyUI(
53   fluidPage(
54     titlePanel(title = div(img(src = 'banner.png', width = '1500
    cm'))),
55     fluidPage(title = "Las rutas mas culturales",
56     theme = shinytheme("journal"),
57     fluidRow(width = 12, aling="center",
58     column(width = 2,aling="center",
59     high =3,
60     selectInput(inputId = "
    origin", label = "Selecciona el punto de partida", choices =
    nombresCalles, multiple = FALSE)
    ),

```

```

60         column(width = 2,aling="center",
61               selectInput(inputId = "
destination", label = "Selecciona el punto de llegada",
choices = nombresCalles, multiple = FALSE)
62             ),
63         column(width = 4,aling="bottom",
64               h1(" "),
65               actionButton(inputId = "
getRoute", label = "Pulsa para calcular el camino mas corto
entre los dos puntos",width = 500, class = "largeButton")
66             ),
67         column(width = 4,aling="bottom",
68               h1(" "),
69               actionButton(inputId = "
getRouteCult", label = "Pulsa para calcular el camino mas
cultural entre los dos puntos",width = 500, class = "
largeButton")
70             ),
71         ),
72         fluidRow(width = 12, aling="center",
73               column(width = 8,aling="center",
google_mapOutput(outputId = "mapCM")),
74               column(width = 4,aling="center",
75                 h4("La ruta pasa por los
siguientes puntos:")),
76                 span(htmlOutput(outputId
= "nombresRuta"), style = "color:black; font-size:15px")),
77               ),
78         fluidRow(width = 12, aling = "center",
79               span(htmlOutput(outputId = "
lugaresDePaso"), style = "color:black; font-size:12px; text-
align: justify")
80             ),
81         ),
82         tags$footer(
83           "Esta herramienta ha sido disenjada en el marco del Trabajo
de Fin de Master Teoria de Grafos y Cultura Urbana, realizado
por Itziar Munyoz y dirigido por Macarena Trujillo y Rafael
Rivera.",
84           style = "position: absolute; bottom: 0; width: 98%; height:
60px; text-align: center;"
85         )
86       )
87     )
88   )
89
90
91
92
93 server <- function(input, output, session) {
94
95   api_key <- "***clave-personal**"
96   map_key <- "***clave-personal**"

```

```

97
98 output$mapCM <- renderGoogle_map({
99   google_map(key = map_key,
100             #search_box = TRUE,
101             scale_control = TRUE,
102             height = 1000) %>%
103   add_traffic() %>%
104   add_circles(
105     data = puntosInteres,
106     id = puntosInteres$Name,
107     lat = puntosInteres$Latitude,
108     lon = puntosInteres$Longitude,
109     info_window = puntosInteres$Information,
110     mouse_over = puntosInteres$Name,
111     stroke_colour = "#000000",
112     fill_colour = "#E9967A",
113     radius = 5
114   )
115 })
116
117 observeEvent(input$getRouteCult,{
118
119   print("Calculando ruta")
120
121   register_google(
122     key = api_key
123   )
124
125   indSal <- which(isolate(input$origin) == dataLL[,1])
126   indLle <- which(isolate(input$destination) == dataLL[,1])
127
128   calleSalida <- dataLL[indSal,1]
129   calleLlegada <- dataLL[indLle,1]
130
131   indiceCalleSalida <- which(nombresCalles == calleSalida)
132   indiceCalleLlegada <- which(nombresCalles == calleLlegada)
133   distanciaCM <- distances(grafo,v = indiceCalleSalida, to =
indiceCalleLlegada)
134   caminoMinimo <- all_shortest_paths(grafo, from =
indiceCalleSalida, to = indiceCalleLlegada)$vpaths[[1]]
135   indiceVerticesSubgrafo <- as.numeric(caminoMinimo)
136   verticesSubgrafo <- c()
137   for (i in indiceVerticesSubgrafo) {
138     verticesSubgrafo = c(verticesSubgrafo,nombresCalles[i])
139   }
140   subgrafo <- induced_subgraph(grafo, vids = verticesSubgrafo)
141   toleranciaAumentoCM <- 150
142   rutasAlternativasNombres <- list()
143   rutasAlternativasIndices <- list()
144   distanciaRutasAlt <- c()
145
146   tresMilRutas <- k_shortest_paths(grafo, from=
indiceCalleSalida, to=indiceCalleLlegada, k=3000)$vpaths

```

```

147
148   for (l in 2:length(tresMilRutas)) {
149       indicesVertices = as.numeric(tresMilRutas[[l]])
150       verticesNombres = c()
151       for (k in indicesVertices) {
152           verticesNombres = c(verticesNombres, nombresCalles[k])
153       }
154       distanciaCAlt = 0
155       for (i in 1:(length(indicesVertices)-1)) {
156           distanciaCAlt = distanciaCAlt+matrizAdyacencia[
indicesVertices[i],indicesVertices[i+1]]
157       }
158       if (distanciaCAlt <= distanciaCM+toleranciaAumentoCM) {
159           rutasAlternativasNombres[[l]] = verticesNombres
160           rutasAlternativasIndices[[l]] = indicesVertices
161           distanciaRutasAlt = c(distanciaRutasAlt, distanciaCAlt)
162       }
163       if (distanciaCAlt > distanciaCM+toleranciaAumentoCM) {break
} #Para terminar el for
164     }
165
166     rutasAlternativasNombres[[1]] <- verticesSubgrafo
167     rutasAlternativasIndices[[1]] <- indiceVerticesSubgrafo
168     distanciaRutasAlt <- c(as.numeric(distanciaCM),
distanciaRutasAlt)
169
170     valorCulturalRutas <- c()
171
172     for (i in 1:length(rutasAlternativasIndices)) {
173         valorCultRuta = 0
174         for (l in 1:(length(rutasAlternativasIndices[[i]])-1)) {
175             valorCultRuta = valorCultRuta+matrizAdyCultural[
rutasAlternativasIndices[[i]][l],rutasAlternativasIndices[[i
]][l+1]]
176         }
177         valorCulturalRutas = c(valorCulturalRutas, valorCultRuta)
178     }
179
180     posicionRutaMasCult <- which(max(valorCulturalRutas) ==
valorCulturalRutas)[[1]]
181
182     nombresNodosParada <- rutasAlternativasNombres[[
posicionRutaMasCult]]
183
184     RutasLL <- list()
185
186     for (i in 1:length(nombresNodosParada)) {
187         RutasLL[[i]] <- c(dataLL[which(dataLL[,1] %in%
nombresNodosParada[i]),4],dataLL[which(dataLL[,1] %in%
nombresNodosParada[i]),5])
188     }
189
190     o <- input$origin

```

```

191   d <- input$destination
192
193   o <- c(dataLL[which(dataLL[,1] %in% isolate(o)),4],dataLL[
194   which(dataLL[,1] %in% isolate(o)),5])
195
196   d <- c(dataLL[which(dataLL[,1] %in% isolate(d)),4],dataLL[
197   which(dataLL[,1] %in% isolate(d)),5])
198
199   res <- google_directions(key = api_key,
200                           origin = o,
201                           waypoints = RutasLL,
202                           destination = d,
203                           mode = "walking")
204
205   df_route <- data.frame(route =
206   res$routes$overview_polyline$points)
207
208   df_way <- cbind(
209     res$routes$legs[[1]]$end_location,
210     data.frame(address = res$routes$legs[[1]]$end_address)
211   )
212   df_way2 <- cbind(
213     res$routes$legs[[1]]$start_location,
214     data.frame(address=res$routes$legs[[1]]$start_address)
215   )
216
217   df_way$order <- as.character(nrow(df_way))
218
219   google_map_update(map_id = "mapCM") %>%
220     clear_traffic() %>%
221     clear_polylines() %>%
222     clear_markers() %>%
223     add_polylines(data = df_route,
224                   polyline = "route",
225                   stroke_colour = "#63B8FF",
226                   stroke_weight = 3,
227                   stroke_opacity = 0.7,
228                   info_window = "New route",
229                   load_interval = 100) %>%
230     add_markers(data = df_way[dim(df_way)[1],])
231
232   output$nombresRuta <- renderUI({
233     str1 <- " "
234     str2 <- paste0(nombresNodosParada, collapse = "    -> <br
235 /> -> ")
236     str3 <- paste0("La distancia de esta ruta es de ",
237     distanciaRutasAlt[posicionRutaMasCult], " metros.")
238     HTML(paste(str1, str2, str1, str3, sep = "<br/>"))
239   })
240
241   output$lugaresDePaso <- renderUI({
242
243   })

```

```

239 })
240
241 observeEvent(input$getRoute,{
242
243   print("Calculando ruta")
244
245   indSal <- which(isolate(input$origin) == dataLL[,1])
246   indLle <- which(isolate(input$destination) == dataLL[,1])
247
248   calleSalida <- dataLL[indSal,1]
249   calleLlegada <- dataLL[indLle,1]
250
251   indiceCalleSalida <- which(nombresCalles == calleSalida)
252   indiceCalleLlegada <- which(nombresCalles == calleLlegada)
253   distanciaCM <- distances(grafo,v = indiceCalleSalida, to =
indiceCalleLlegada)
254   caminoMinimo <- all_shortest_paths(grafo, from =
indiceCalleSalida, to = indiceCalleLlegada)$vpaths[[1]]
255   indiceVerticesSubgrafo <- as.numeric(caminoMinimo)
256   verticesSubgrafo <- c()
257   for (i in indiceVerticesSubgrafo) {
258     verticesSubgrafo = c(verticesSubgrafo,nombresCalles[i])
259   }
260
261   o2 <- input$origin
262   d2 <- input$destination
263
264   o2 <- c(dataLL[which(dataLL[,1] %in% isolate(o2)),4],dataLL[
which(dataLL[,1] %in% isolate(o2)),5])
265   d2 <- c(dataLL[which(dataLL[,1] %in% isolate(d2)),4],dataLL[
which(dataLL[,1] %in% isolate(d2)),5])
266
267   res <- google_directions(key = api_key,
268                             origin = o2,
269                             destination = d2,
270                             mode = "walking")
271
272   df_route <- data.frame(route =
res$routes$overview_polyline$points)
273
274   df_way <- cbind(
275     res$routes$legs[[1]]$end_location,
276     data.frame(address = res$routes$legs[[1]]$end_address)
277   )
278   df_way2 <- cbind(
279     res$routes$legs[[1]]$start_location,
280     data.frame(address=res$routes$legs[[1]]$start_address)
281   )
282
283   df_way$order <- as.character(1:nrow(df_way))
284
285   google_map_update(map_id = "mapCM") %>%
286     clear_traffic() %>%

```

```
287   clear_polylines() %>%
288   clear_markers() %>%
289   add_polylines(data = df_route,
290                 polyline = "route",
291                 stroke_colour = "#63B8FF",
292                 stroke_weight = 3,
293                 stroke_opacity = 0.7,
294                 info_window = "New route",
295                 load_interval = 100) %>%
296   add_markers(data = df_way)
297
298   output$nombrsRuta <- renderUI({
299     str1 <- " "
300     str2 <- paste0(verticesSubgrafo, collapse = "      -> <br/>
-> ")
301     str3 <- paste0("La distancia de esta ruta es de ",
distanciaCM, " metros.")
302     HTML(paste(str1, str2, str1, str3, sep = "<br/>"))
303   })
304
305 })
306 }
307
308
309 shinyApp(ui, server)
```