

# **DEL DATO COLABORATIVO A MÚLTIPLES RUTAS ENTRE PARES ORIGEN-DESTINO: HERRAMIENTAS PARA OBTENER RUTAS MEDIANTE LA LIMPIEZA, FILTRADO, TRATAMIENTO Y ENRIQUECIMIENTO DE REDES DE OPEN STREET MAPS (OSM).**

**Enrique Santiago-Iglesias**

Grupo de Investigación de Transporte, Infraestructura y Territorio (tGIS). Departamento de Geografía Humana. Universidad Complutense de Madrid.

**Diana Carolina Barros Sulca**

Grupo de Investigación de Transporte, Infraestructura y Territorio (tGIS). Departamento de Geografía Humana. Universidad Complutense de Madrid.

**Borja Moya-Gómez**

Grupo de Investigación de Transporte, Infraestructura y Territorio (tGIS). Departamento de Geografía Humana. Universidad Complutense de Madrid.

**Javier Gutiérrez Puebla**

Grupo de Investigación de Transporte, Infraestructura y Territorio (tGIS). Departamento de Geografía Humana. Universidad Complutense de Madrid.

**Juan Carlos García Palomares**

Grupo de Investigación de Transporte, Infraestructura y Territorio (tGIS). Departamento de Geografía Humana. Universidad Complutense de Madrid.

**Óscar Martínez Álvaro**

Tool-Alfa.

## **RESUMEN**

Disponer de datos correctos, adecuados y actualizados de las redes de transporte es una condición necesaria tanto para la correcta modelización del transporte, como también para la comercialización de diferentes productos que requieran el uso de dichas redes. Aunque actualmente existen multitud de servidores, tanto abiertos como de acceso con licencia, conseguir el dato que se necesita puede convertirse en una tarea de bastante dificultad.

Una alternativa, disponible a escala mundial y con gran detalle también en países en vías de desarrollo, es el mapa colaborativo online Open Street Maps (OSM). Pese a que OSM, por su naturaleza de proyecto colaborativo y abierto a todo aquel que quiera contribuir, suele presentar redes topológicamente incorrectas o falta de algunos atributos, en él se pueden encontrar soluciones de manera automática a gran parte de estos problemas con herramientas basadas en software libre.

Dentro del proyecto HIPROMO, actualmente en versión para uso interno, se ha desarrollado un conjunto de herramientas en Python para QGIS que permiten limpiar, filtrar, tratar, enriquecer con otras fuentes de datos y transformar a las especificaciones propuestas en la aplicación de la directiva INSPIRE las redes viarias de OSM. Las redes tratadas se transforman en grafos adaptados a cada tipo de transporte disponible para, posteriormente, poder obtener haces de rutas entre diferentes orígenes y destinos.

## 1. INTRODUCCIÓN

El proyecto HIPROMO surge de la necesidad de construir una herramienta inteligente de prognosis de movilidad. El objetivo principal del proyecto es predecir con exactitud las rutas que toman los usuarios en sus desplazamientos gracias a los datos que se recogen a través de las antenas de telefonía móvil.

En este documento se muestra la primera parte de HIPROMO basándose en la obtención de una red fiable con capacidad de obtener haces de rutas óptimas y veraces, mediante una adaptación del algoritmo “link penalty” propuesto por (Park D. y Rilett LR., 1997), con las que poder trabajar. Esta funcionalidad ofrece múltiples posibilidades de utilización; como el análisis de tráfico ante cortes de carreteras por mantenimiento, el impacto de la movilidad frente a la peatonalización de zonas urbanas, entre otras. En definitiva, la herramienta ofrece una solución rápida y eficaz para la obtención de datos correctos, adecuados y actualizados de las redes de transporte.

A lo largo del documento se describe cómo se obtienen los datos, cómo se tratan y transforman para la obtención de la red deseada y finalmente se muestran los resultados obtenidos.

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1 Herramientas utilizadas

Para la construcción de la herramienta se ha utilizado el siguiente software libre:

- QGIS (3.12.3): lectura de datos, ejecución de los procesos y visualización de los resultados.
- Python (3.7): lenguaje de programación utilizado.
- PostgreSQL (11.5) y su extensión de PostGIS (3.0.3): almacenamiento de los datos

### 2.2 Elementos de la red

La red de HIPROMO está compuesta por arcos y nodos, cada uno de los arcos representa una carretera, calle, vía, etc. y los nodos representan el inicio y fin de cada arco. Se cumplen las siguientes propiedades:

- Todo arco tiene un nodo origen y un nodo destino
- Al menos uno de los dos nodos de cada arco será uno de los dos nodos de otro arco.

Este nodo compartido por dos o más arcos es en el que se podrá cambiar de arco.

- Los arcos se pueden cortar sin generar un nodo en el punto de cruce si no es posible cambiar de arco en ese punto, por ejemplo, arcos a distintos niveles (puentes y túneles). Cuando en alguno de los niveles existe una intersección real en la misma ubicación que en el caso general del punto, se establece un nodo ficticio entre arcos de diferente nivel.
- Los arcos tienen definidos sentidos de circulación y se permite realizar cualquier cambio de arcos en aquellos nodos en los que la combinación de sentidos de los arcos afectados lo permitan.

### 2.3 Procesos

Los procesos de HIPROMO se dividen en dos bloques, el primero construye la red y el segundo extrae los datos que se desean de la red y calcula las rutas entre cada par Origen-Destino (OD).

Dentro del primer bloque se encuentran los siguientes procesos:

- h11\_OSM2postGIS: recoge los datos en bruto de OSM y los carga en la base de datos.
- h12\_Network\_ExternalInformation: alimenta a la herramienta con información externa que no viene incluida en los datos de OSM.
- h13\_postGIS2Network: realiza una depuración y transformación de la red de OSM a un formato más amigable.
- h14\_Network\_Hierarchies: procesos para asegurar la conectividad de la red en todos los niveles de jerarquía de la red.
- h15\_Turn\_Restrictions: analiza e incluye las restricciones de giro a la red.
- h16\_Network\_ImpedanceModifiers: (opcional) alimenta a la red con las zonas del suelo y establece unos factores de reducción a la velocidad según dichas zonas.

Los procesos que se ejecutan en el Segundo bloque son:

- h21\_CreateGraphs: se realiza un filtrado de la red según las especificaciones del usuario y se genera una nueva red.
- h22\_GetRoutes: calcula las rutas entre cada par OD dado.

Todo el control de la herramienta se realiza desde QGIS. Una vez se tiene definida la zona de estudio que se desea, se realiza la descarga de los datos de OSM para dicha zona y se puede comenzar la ejecución de la herramienta.

### 2.3.1 h11\_OSM2postGIS

El primer proceso recoge los datos descargados y ejecuta el programa “Osm2pgsql” que carga los datos sin procesar de OSM a la base de datos de PostGIS.

Todo el funcionamiento de este programa viene explicado en la página web de (Hoffmann, 2020).

### 2.3.2 h12\_Network\_ExternalInformation

Una vez se tienen los datos en bruto cargados, se pasa al siguiente proceso, que es el encargado de alimentar la base de datos con toda la información externa que no viene incluida en los datos de OSM.

- Fichero de anexos con la parametrización de los procesos.
- Fichero de velocidades legales de la región. Este fichero es necesario ya que muchos de los arcos vienen sin velocidad asignada por OSM, por lo que es necesario asignarles una velocidad según el tipo de vía y tipo de vehículo.
- Factores de reducción (opcional): contiene las reducciones a la velocidad de las carreteras, según los usos del suelo, tipo de vía y la hora a la que se recorre esa vía.
- Coste de los peajes (opcional): Contiene el coste monetario necesario para el uso de las carreteras de peaje. Se utiliza para calcular las diferentes rutas alternativas teniendo en cuenta el coste económico que supondría el viaje.

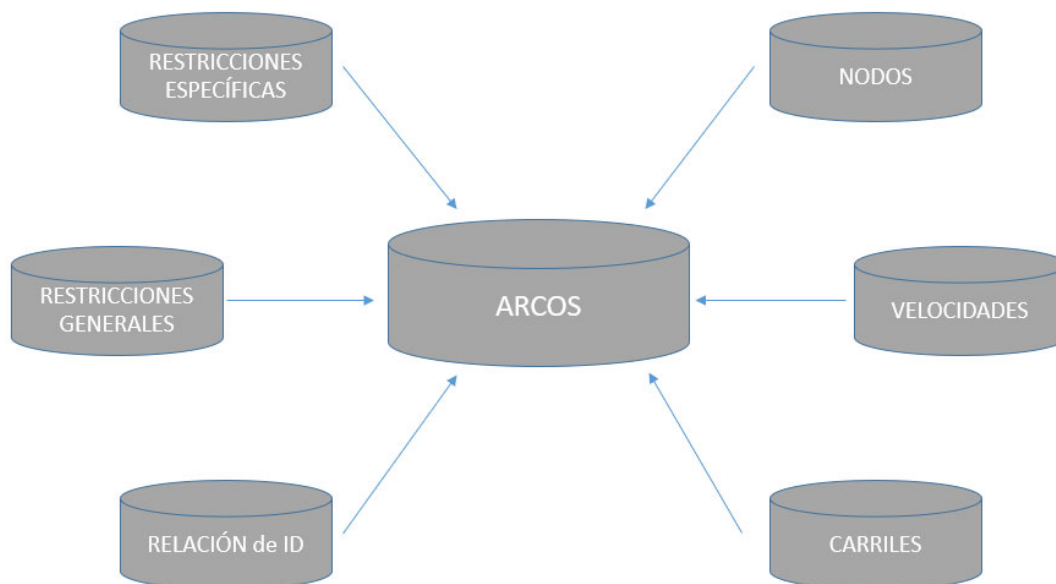
### 2.3.3 h13\_postGIS2Network

En este proceso se hace una depuración exhaustiva de los datos en bruto de OSM para tener una primera versión de la red. Se le pide una serie de datos al usuario: el nivel de red que desea (los arcos tienen una clasificación jerárquica de 7 niveles distintos de red) y el número de componentes conexas que debe tener la red. En un primer paso se recoge toda la información de los arcos para los niveles de vía seleccionados para obtener el conjunto de arcos que interesa. Una vez se tienen los arcos se realizan una serie de arreglos topológicos para mejorar la calidad de la red: (a) unir los arcos contiguos con mismos atributos y sin intersecciones; (b) solucionar errores de tolerancia; (c) analizar las intersecciones que existen entre los arcos viendo en cada caso si las intersecciones se realizan en el mismo nivel o por el contrario existe algún puente o túnel, en el caso de que se produzca al mismo nivel, el arco se segmenta y se divide en dos arcos generando un nuevo nodo en la intersección de ambos arcos; (d) asignar nuevos identificadores a cada arco y a cada nodo; (d) calcular la longitud de cada arco y el centroide.

Al final del proceso se mira el número de componentes conexas que tiene la red y dicho número debe coincidir con el número introducido por el usuario. Con este análisis eliminamos posibles errores que vienen de origen, por ejemplo, si estamos trabajando con una ciudad, solo debería haber una componente conexa, si existe algún grupo de arcos aislados se deberá a un error de origen por lo que sería eliminado o, por el contrario, si se

está trabajando con un conjunto de islas habrá que introducir el número de componentes que serán igual al número de islas del estudio.

Toda la información es clasificada en 7 tablas (Fig. 1), donde la tabla de arcos es alimentada con la información del resto de las tablas.



**Fig 1- Relación de las tablas de HIPROMO. Fuente: los autores.**

- Arcos: contiene la información de los arcos y sus características (tipo de vía, dirección del arco, nombre de la vía, etc.)
- Nodos: contiene la localización de los nodos, que indican el inicio y fin de cada uno de los arcos.
- Carriles: número de carriles que tiene cada arco.
- Velocidades: velocidad máxima y mínima en cada uno de los arcos por tipo de vehículo.
- Restricciones generales: indica que arcos tienen algún tipo de restricción general (peaje, carretera privada, carretera de uso estacional, etc.) y a qué vehículos afecta.
- Restricciones específicas: restricciones de peso, altura, longitud y ancho del vehículo que afectan a cada arco.
- Relación de id: guarda la trazabilidad entre los identificadores que han sido asignados en la herramienta de HIPROMO con los identificadores que vienen del dato origen en OSM.
- 

Este conjunto de tablas es la red principal con la que se va a trabajar.

### 2.3.4 h14\_Network\_Hierarchies

Como se ha comentado anteriormente los arcos se clasifican en diferentes niveles de jerarquía según el tipo de vía:

Nivel de jerarquía	Tipo de vía
Red Principal	"motorway", "motorway_link", "trunk", "trunk_link"
1ª clase	"primary", "primary_link"
2ª clase	"secondary", "secondary_link"
3ª clase	"tertiary", "tertiary_link"
4ª clase	"residential", "road", "unclassified"
5ª clase	"living_street", "service"
6ª clase	"pedestrian", "track"

**Tabla 1 -Niveles de jerarquía. Fuente: los autores.**

En este proceso, se comprueba que la red es conexa en cada uno de los niveles de jerarquía, es decir, que si se selecciona como filtro de nivel de la red “Red principal” la red resultante será conexa. En caso de que algunos arcos queden sueltos y la red sea inconexa se utiliza los niveles inferiores, en este caso 1ª y 2ª clase, y se comprueba que arcos son necesarios para hacer conexa la red. Dichos arcos utilizados para hacer la red conexa se suben de categoría.

En el caso que se desee un nivel inferior de jerarquía el proceso comprobará que la red es conexa con los arcos del nivel seleccionado teniendo en cuenta los arcos de los niveles superiores.

### 2.3.5 h15\_Turn\_Restrictions

Anteriormente hemos visto que se tienen restricciones específicas y restricciones generales, pero ninguna de las dos contiene la información de las restricciones de giro.

Existen dos tipos de restricciones de giro:

- Restricciones de giro por circulación. Este tipo de restricciones se obtiene de los datos origen de OSM. Hace referencia a dos arcos que tienen un nodo en común, por lo que según la definición de la red se podría cambiar de arco, pero legalmente en ese arco está prohibido girar en esa dirección.
- A parte de las restricciones de giro que vienen de los datos origen, se ha incluido una restricción de giro dependiendo del ángulo de giro entre dos arcos, es decir, si dos arcos comparten un nodo y por definición se podría cambiar de arco, pero en cambio el ángulo que forman ambos arcos es menor a “x” grados donde ”x” lo define el usuario de la herramienta, se le aplica una restricción de giro.

Toda la información de restricciones de giro se almacena en una nueva tabla que alimenta a la tabla de arcos.

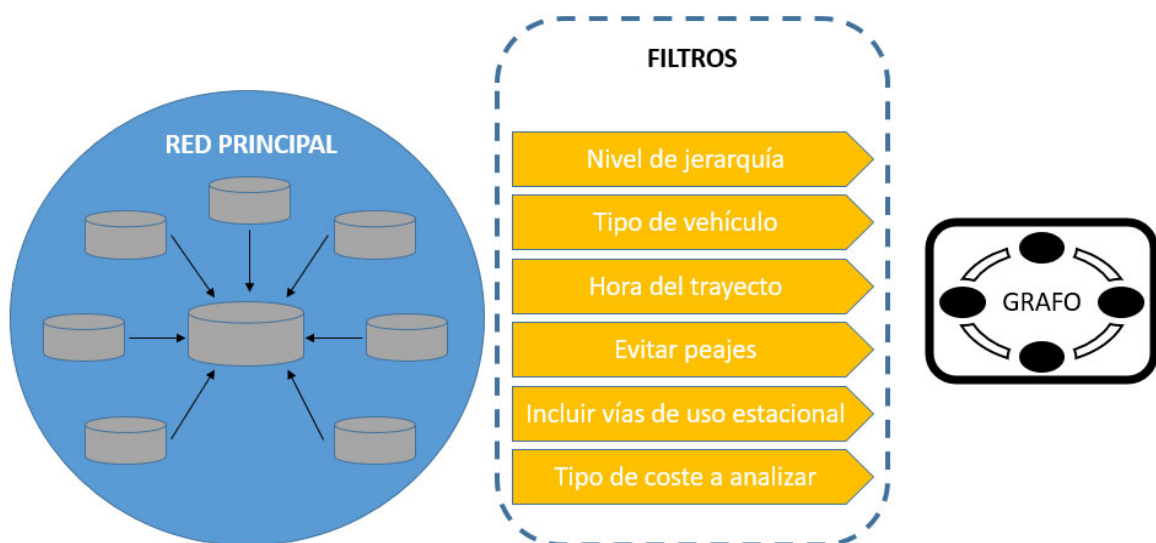
### 2.3.6 h16\_Network\_ImpedanceModifiers

Este proceso es opcional. Se le asigna a cada arco unos factores para la reducción de velocidad utilizando el fichero cargado en el proceso donde se alimenta la herramienta de información externa.

Los factores de reducción se asignan según las características del arco. Se tiene en cuenta el tipo de vía, el uso del suelo en el que se encuentra el arco y la hora a la que se desea recorrer el arco, ya que recorrer un arco de una zona urbana en hora punta no se puede realizar a la velocidad máxima permitida de la vía. Para poder hacer una asignación de factores de reducción a los arcos es necesario disponer de una capa de usos del suelo de la zona de estudio con la que poder asignar a cada arco su uso del suelo para hacer una correcta asignación de las reducciones de velocidad a cada arco.

### 2.3.7 h21\_CreateGraphs

Los procesos del primer bloque han definido una red principal, esta red principal alimenta todos los procesos del segundo bloque. Este primer proceso del segundo bloque genera redes más pequeñas según los filtros que elige el usuario (fig.2).



**Fig 2- Filtros para la generación de grafos. Fuente: los autores.**

Las opciones que tiene el usuario para definir los grafos son:

- Nivel de la red: Nivel de la jerarquía de la que se desea generar el grafo (escenario), se debe tener en cuenta que el nivel de la red del grafo que se desea generar no puede ser inferior al que se ha generado la red principal.

- Tipo de vehículo: existe una larga lista de vehículos (coche, bici, peatón, vehículo para transporte de mercancías, etc.), dependiendo del vehículo elegido los arcos que se podrían recorrer, así como el coste a la hora de recorrerlos varía.
- Incluir carreteras de peaje: Sí/No
- Incluir carreteras de uso estacional: Sí/No
- Coste que se desea analizar: el algoritmo utilizado para calcular las rutas para cada par OD minimiza el coste a la hora de recorrer los arcos entre dos puntos dados. Los costes que se pueden elegir son tres: (1) ruta más corta, teniendo en cuenta la distancia; (2) ruta más rápida, mirando el tiempo que se tarda; y, por último, (3) el coste generalizado que es el coste económico que supone ir del origen al destino. Este último tipo de coste, se ha calculado en función del estudio sobre el coste generalizado del transporte (Tool Alfa S.L., 2020) en el cuál para vehículos ligeros se tiene en cuenta el tiempo del trayecto con un coste generalizado de 20,97 €/h, y para vehículos pesados se tiene en cuenta la distancia con un coste generalizado de 0,289 €/km. Si alguna de las rutas utiliza carreteras de peaje, este coste económico también se incluye a la hora de calcular la ruta más económica. Los costes de distancia se miden en metros, el tiempo en minutos y el coste generalizado en euros.

El resultado que se obtiene al finalizar el proceso es un grafo en donde cada arco tiene asociado el coste que supone recorrer dicho arco. Este proceso se puede ejecutar tantas veces como se desee. Para cada ejecución se creará un grafo distinto y se almacenará en la base de datos.

### 2.3.8 h22\_GetRoutes

El h22\_GetRoutes es el proceso final de la herramienta. En este proceso se calculan las diferentes rutas entre cada par OD dado para el grafo seleccionado. Se utiliza el algoritmo “pgr\_trsp” de pgRouting (pgRouting Contributors, 2021), el cuál devuelve la ruta más corta entre dos puntos dados teniendo en cuenta las restricciones de giro.

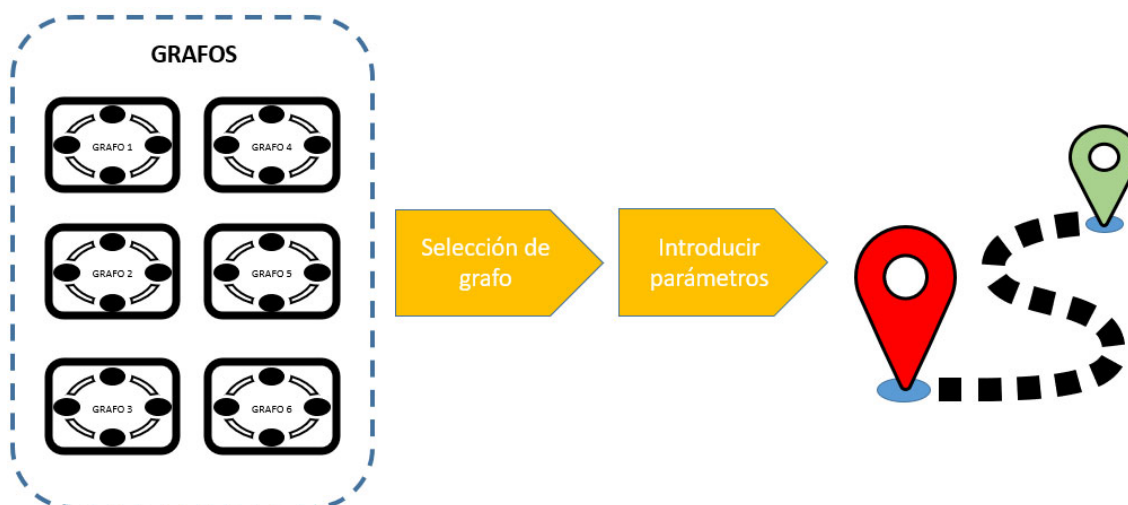


Fig 3- Filtros para la generación de grafos. Fuente: los autores.



En la ejecución del proceso influyen varios parámetros que afectan considerablemente el cálculo de las rutas óptimas.

Estos parámetros son introducidos por el usuario a la hora de ejecutarlo por lo que es necesario tener un conocimiento claro de cómo influye cada parámetro a la hora de generar las rutas. Los parámetros necesarios para el cálculo de las rutas son:

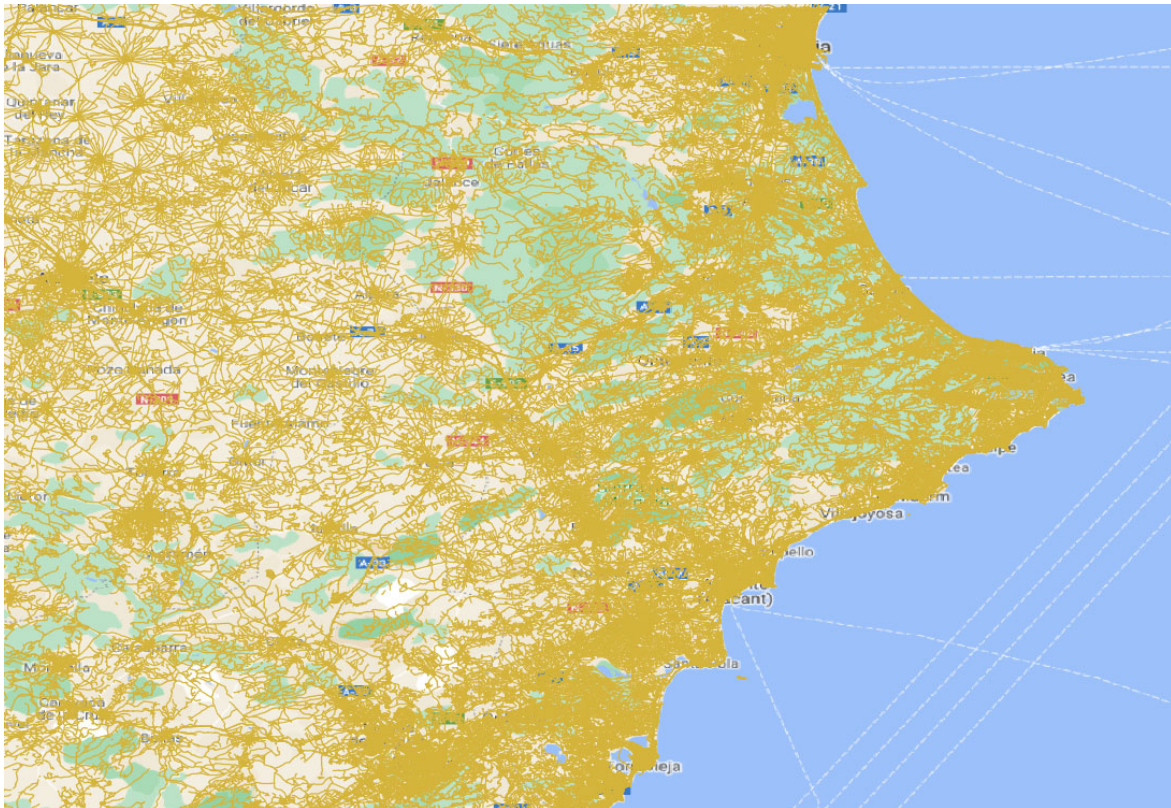
- Número de rutas máximo a calcular para cada par OD: número de rutas que vas a obtener como máximo en la salida del proceso. Primero se calcula la ruta óptima y luego se obtienen las rutas alternativas.
- Desviación máxima permitida: porcentaje, el cual, no pueden desviarse las rutas alternativas con respecto a la ruta óptima calculada.
- Máximo solape entre rutas: indica el porcentaje de arcos en común que puede tener las rutas calculadas.
- Incremento de impedancia en cada iteración: porcentaje que se incrementan los costes de los arcos que han sido utilizados, es decir, cuando se utiliza un arco, el coste de dicho arco aumenta, para que la siguiente ruta alternativa busque otras rutas diferentes.
- Zona cerna a origen y destino sin incremento de impedancia: tamaño del buffer en los puntos de origen y destino a los que no se va a aplicar el aumento de la impedancia.
- 

Para saber si las rutas obtenidas son robustas se hace una prueba de sensibilidad, la cual consiste en modificar ligeramente los parámetros necesarios para el cálculo de las rutas, y ver si las rutas obtenidas son iguales. Si con parámetros ligeramente diferentes se obtienen las mismas rutas, dichas rutas serán robustas.

### **3. RESULTADOS**

Se han realizado una gran variedad de pruebas de la herramienta, generando redes para diferentes niveles de jerarquía y para los diferentes tipos de vehículo. Se han calculado rutas dentro de una misma ciudad, rutas entre distintos municipios de una provincia y viajes entre provincias. Todas las rutas han sido comparadas con las obtenidas de Google Maps obteniendo resultados muy positivos.

A continuación, se ilustra el proceso con un ejemplo de la zona de Alicante; para ello se ha realizado una descarga de la zona desde la web de OSM y se han cargado los datos en bruto en la herramienta (fig.4).



**Fig 4- Red obtenida de Open Street Maps. Fuente: los autores.**

Hay mucha información, pero no viene bien estructurada, y en muchos casos la información no viene completa. En la tabla 2 se pueden ver varios ejemplos de cómo viene la información de OSM, donde las características del arco vienen en un único campo, y muchos de ellos vienen sin información.

ID del arco	tags
543004957	"name"=>"Carrer del Escultor Leonardo Julio Capuz", "oneway"=>"yes", "highway"=>"residential"
543004957	"ref"=>"A-31", "name"=>"Autovía de Alicante", "lanes"=>"2", "oneway"=>"yes", "highway"=>"motorway", "maxspeed"=>"120"
299525589	"access"=>"private", "oneway"=>"yes", "highway"=>"residential"
41060120	"ref"=>"CV-905", "name"=>"Carretera Benijófar - Torrevieja", "lanes"=>"2", "oneway"=>"yes", "highway"=>"secondary", "surface"=>"asphalt"
331962212	"ref"=>"AP-7", "name"=>"Autopista del Mediterráneo", "toll"=>"yes", "lanes"=>"2", "oneway"=>"yes", "highway"=>"motorway"

**Tabla 2 -Datos en bruto de Open Street Maps. Fuente: los autores.**



<b>TABLA DE ARCOS</b>					
<b>ID</b>	<b>fromno de</b>	<b>tonode</b>	<b>Nivel de jerarquía</b>	<b>longitud</b>	<b>dirección</b>
371550	296546	29669 5	mainRoad	635,04059	inDirection
200597	299306	29931 0	firstClass	29,55969	bothDirections
232858	301527	30155 5	secondClass	13,91384	bothDirections
418277	184310	18435 7	thirdClass	76,03465	inDirection
239271	302446	30230 1	forthClass	98,2555	bothDirections

**Tabla 3 -Tabla de arcos de HIPROMO. Fuente: los autores.**

<b>TABLA DE VELOCIDADES</b>				
<b>ID</b>	<b>Tipo de vehículo</b>	<b>Tipo velocidad</b>	<b>velocidad</b>	<b>fuelle</b>
371550	carWithTrailer	maxspeed	80	regulation
371550	carWithTrailer	minspeed	60	regulation
371550	passengerCar	maxspeed	120	regulation
371550	passengerCar	minspeed	60	regulation
371550	privateBus	maxspeed	100	regulation
371550	privateBus	minspeed	60	regulation
371550	pedestrian	maxspeed	0	regulation
371550	pedestrian	minspeed	0	regulation

**Tabla 4 -Tabla de velocidades HIPROMO. Fuente: los autores.**

La tabla de velocidades (tabla 4) almacena para cada arco, las velocidades por tipo de vehículo. Si un tipo de vehículo tiene velocidad máxima 0, es que tiene prohibida su circulación por dicha vía, como es el caso de los peatones en autopistas. También en esta tabla viene un campo de fuente, que indica de donde se ha obtenido el valor de la velocidad, si viene directamente de los datos de OSM vendrá con un “OSM”, en caso de venir del reglamento general de circulación tendrá el valor “regulation”.

<b>TABLA DE CARRILES</b>		
<b>ID</b>	<b>dirección</b>	<b>Número de carirles</b>
371550	inDirection	2
200597	bothDirections	2
232858	bothDirections	2
418277	inDirection	2
239271	bothDirections	2

**Tabla 5 -Tabla de carriles HIPROMO. Fuente: los autores.**

La tabla de carriles (tabla 5) contiene el número de carriles por cada arco, en el caso de que sea de doble sentido “bothDirections”, el número de arcos será la mitad para cada sentido. Por último, tenemos las tablas de restricciones que son 3: (i) restricciones generales (tabla 6); (ii) restricciones específicas (tabla 7); y (iii) restricciones de giro (tablas 8).

<b>TABLA DE RESTRICCIONES GENERALES</b>		
<b>ID</b>	<b>Restricción</b>	<b>Tipo de vehículo</b>
371550	forbiddenLegall y	bicycle
371550	forbiddenLegall y	pedestrian
291000	seasonal	allVehicle
134701	toll	allVehicle
140293	private	allVehicle

**Tabla 6 -Tabla de restricciones generales HIPROMO. Fuente: los autores.**

Hay diferentes restricciones generales, “seasonal” o “toll”, que a la hora de construir los grafos en el bloque dos, se pregunta si se desea incluirlas, y luego se tiene “forbiddenLegally” y “private” en las cuales no se permite circular dependiendo del tipo de vehículo.

<b>TABLA DE RESTRICCIONES ESPECÍFICAS</b>		
<b>ID</b>	<b>Restricción</b>	<b>Valor</b>
277325	maxheight	4,5
277325	maxweight	15
290068	maxlength	10
179654	maxlength	8
411667	maxwidth	2,5

**Tabla 7 -Tabla de restricciones específicas HIPROMO. Fuente: los autores.**

Las restricciones específicas (tabla 7) informan que arcos tienen algún límite de peso, altura, anchura y longitud.

<b>TABLA DE RESTRICCIONES DE GIRO</b>			
<b>Arco Origen</b>	<b>Arco Destino</b>	<b>Vía</b>	<b>Tipo de vehículo</b>
311869	155358	39891	passengerCar
136165	239679	49542	passengerCar
413346	192814	67329	allVehicle
282141	424689	166399	allVehicle
282142	88218	166405	allVehicle

**Tabla 8 -Tabla de restricciones de giro HIPROMO. Fuente: los autores.**

El formato de las restricciones de giro es diferente a las otras dos tablas de restricciones.

En este caso se tiene el arco por el que estás circulando “Arco Origen”, el “Arco Destino” es al cual está prohibido hacer el giro desde el arco origen, y hay un campo más, que es el “Vía” que indica la intersección entre ambos arcos. Este último puede ser tanto un arco como un nodo. Las tablas anteriores la información de la red principal o red maestra. A partir de esta información se pueden empezar a generar los grafos que uno necesita para realizar el análisis. Gracias a la estructura de tablas que tiene la herramienta la convierte en una herramienta muy flexible facilitando la entrada de información proveniente de otras fuentes.

A partir de la red principal, se han ido generando grafos, los cuáles se incluyen en la base de datos, con la finalidad de poder saber cuántos grafos han sido generados, con qué características y saber cuál utilizar para calcular las rutas (tabla 9). Por lo que la herramienta permite tener una gran variedad de grafos con diferentes características, lo que a la hora de trabajar facilita su identificación y utilización.

<b>LISTA DE GRAFOS</b>						
<b>ID Grafo</b>	<b>Tipo de vehículo</b>	<b>Coste</b>	<b>Nivel de jerarquía</b>	<b>Hora de viaje</b>	<b>Peaje</b>	<b>Seasonal</b>
1	passenger Car	Tiempo	forthClass	Mañana	Si	Si
2	passenger Car	Tiempo	mainRoad	Mañana	No	No
3	transportTruck	Coste generalizado	forthClass	Sin horario	No	No
4	passenger Car	Distancia	forthClass	Tarde	Si	Si

**Tabla 9 -Tabla de lista de grafos. Fuente: los autores.**

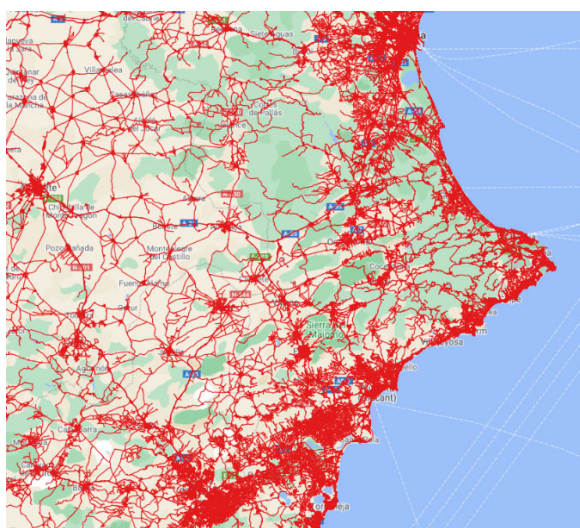


La tabla anterior sólo muestra el listado de grafos que existen en la base de datos, es una especie de índice, por lo que si se desea saber toda la información de los grafos se encuentra en la tabla de detalle (tabla 10), en la cual seleccionando el grafo que se quiere analizar, se obtiene los arcos que pertenecen a dicho grafo, el coste de recorrer el arco (según el coste seleccionado para el grafo), el coste de recorrerlo a la inversa (si el arco es de doble sentido), y la longitud de este.

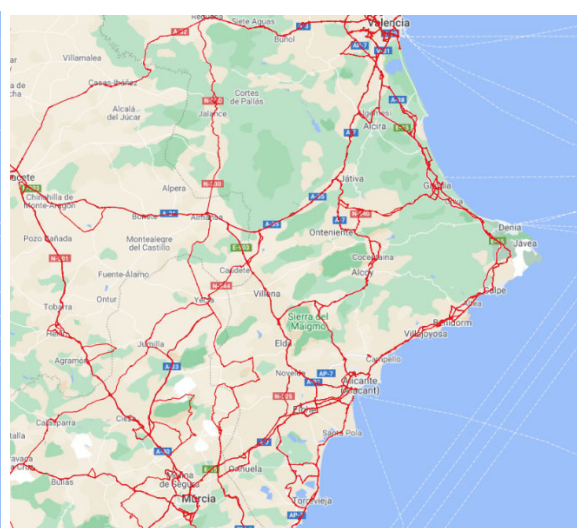
DETALLE DE GRAFOS						
ID Grafo	ID Arco	Fromnode	Tonode	Coste	R-coste	Longitud
1	16026 4	150327	150535	0,1296	0,1296	60,0571
1	22558 1	195981	195914	0,7055	-1	95,2385
1	19982 2	240777	240706	0,0774	0,0774	59,7900
1	33023 4	241643	241675	0,0109	0,0109	15,2786
1	10972 8	241539	241423	0,0717	-1	66,4214
1	32411 7	210709	210696	0,0498	0,0498	38,5188

**Tabla 10 -Tabla de detalle de grafos. Fuente: los autores.**

Al final la tabla 10 no es más que la información de un grafo dirigido con pesos, donde la estructura de la tabla facilita la utilización del algoritmo del cálculo de rutas. La utilidad de esta información es muy amplia, ya que es aplicable a muchas áreas de estudio, no sólo para el cálculo de rutas.



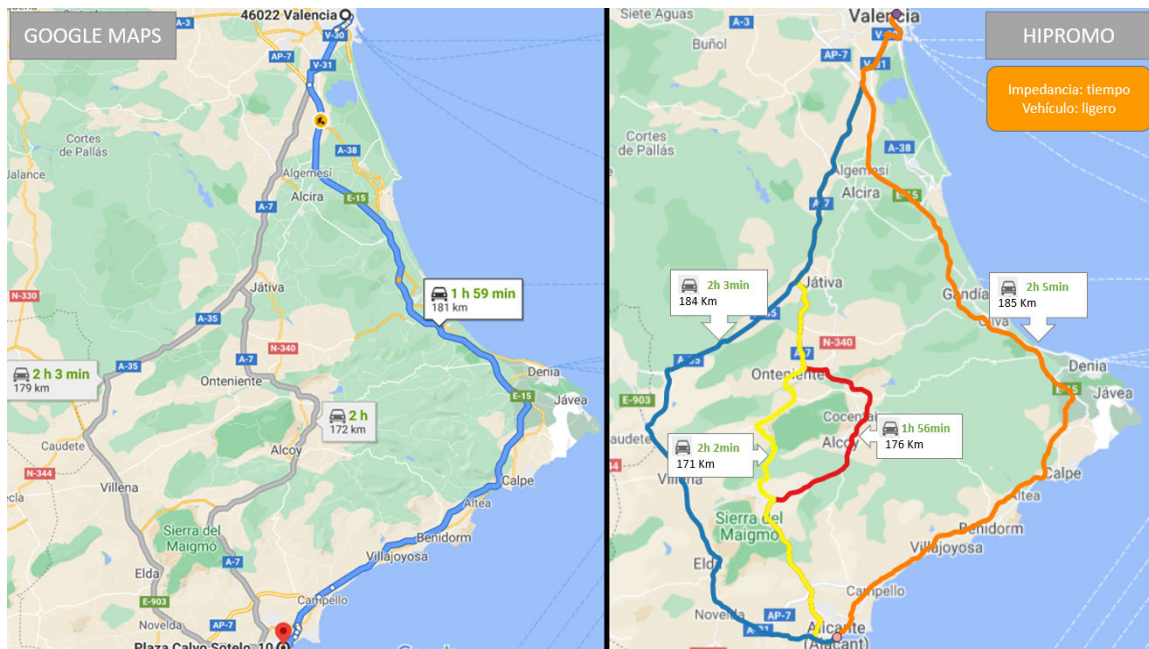
**Fig 6- Grafo 1. Fuente: los autores.**



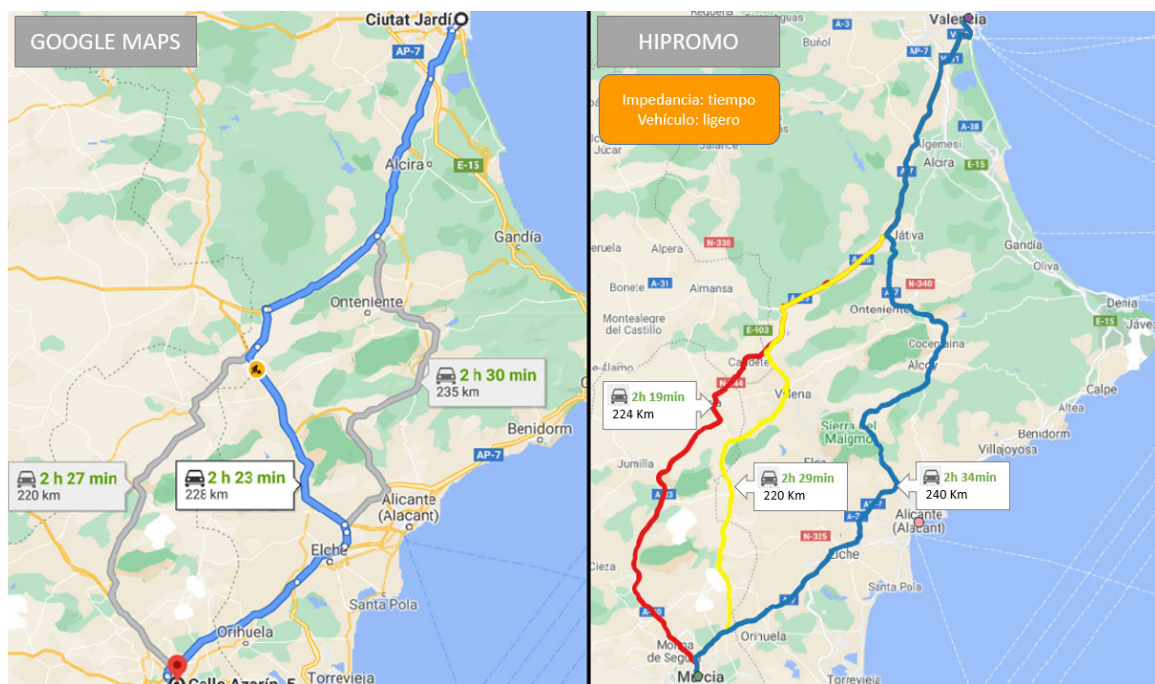
**Fig 7- Grafo 2. Fuente: los autores.**

Se pueden generar tantos grafos como uno desee. Al final del proceso se tiene un conjunto de grafos con toda la información necesaria para poder calcular haces de rutas entre los diferentes orígenes y destinos.

Para el último proceso se ha seleccionado el grafo 1 (Fig. 6) para calcular las diferentes rutas tomando como origen la ciudad de Valencia, y como destino las ciudades de Murcia, Albacete y Almería. Los resultados obtenidos han sido comparados con los que ofrece Google Maps obteniendo unos resultados muy parecidos (figs. 8, 9 y 10).

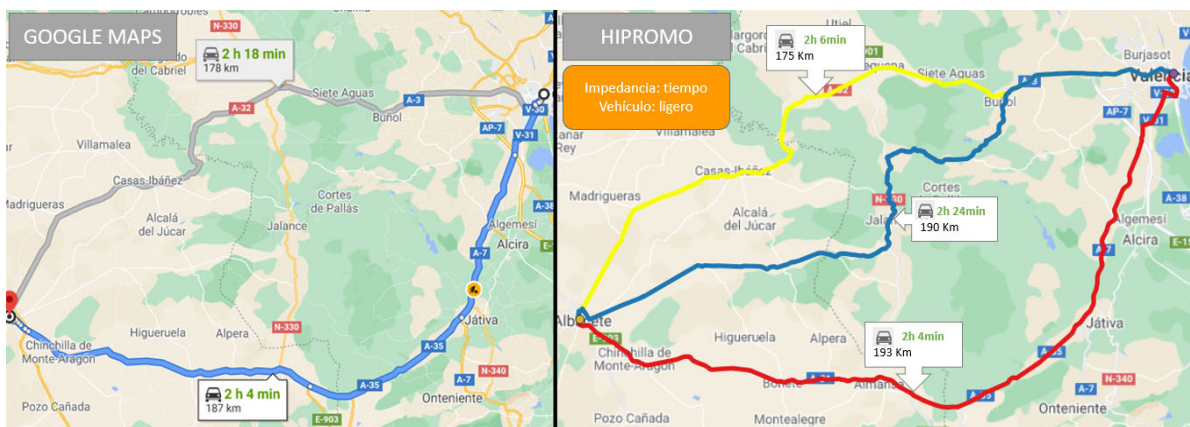


**Fig. 8- Rutas Valencia - Alicante. Fuente: los autores.**



**Fig. 9- Rutas Valencia - Murcia. Fuente: los autores.**





**Fig. 10- Rutas Valencia - Albacete. Fuente: los autores.**

Como se puede observar en los resultados anteriores, las rutas calculadas por HIPROMO son muy semejantes a las rutas calculadas por Google Maps, la principal diferencia es que las rutas de HIPROMO podemos acceder a todo el detalle de estas, así como acceder a la red principal e incluso a los datos origen de OSM gracias a la trazabilidad de la herramienta.

El detalle de las rutas se guarda en base de datos (tabla 11), donde se puede consultar la secuencia de la ruta, es decir, de que arco a que arco se va moviendo y el coste acumulado según va avanzando. La ruta óptima o de menor coste, siempre será la ruta “0”, las rutas alternativas serán las siguiente (1,2, 3, ...) dependiendo del número de rutas alternativas que se desee obtener.

DETALLE DE RUTAS								
ID Grafo	OD	Ruta	Sec. Ruta	ID Arco	Coste	Coste Agregado	Longitud	Longitud Agregada
1	1-4	0	0	175023	0,1593	0	124,7134	0
1	1-4	0	1	123753	0,6335	0,1593	62,7148	124,7134
1	1-4	0	2	123750	0,5220	0,7928	10,3388	187,4282
1	1-4	0	3	351037	0,6706	1,3148	80,1169	197,767
1	1-4	0	4	351032	0,6972	1,9854	92,6219	277,8839
1	1-4	0	5	395695	0,1491	2,6826	92,8417	370,5058

**Tabla 11 -Tabla de detalle de grafos. Fuente: los autores.**

**4. CONCLUSIONES**

En el presente estudio se presenta la metodología de uso de la red de HIPROMO, la cual se ha elaborado a partir de Python para QGIS que permite limpiar, filtrar, tratar, enriquecer determinadas fuentes de datos. La idea principal es la obtención de unos datos flexibles y fiables con lo que poder trabajar en diversos estudios, ya que cuando se quiere estudiar una

determinada zona requiere bastante tiempo y esfuerzo el conseguir unos datos óptimos con los que poder trabajar. Esta herramienta da respuesta a este problema, y permite la obtención de una red completa, con una información detallada de la zona de una manera rápida y sencilla, ahorrando mucho tiempo, dinero y esfuerzo en la obtención, limpieza y transformación de los datos. Otra ventaja, es que la red principal está preparada de manera que se puedan obtener redes (grafos) según los diferentes parámetros que uno desea para el estudio obteniendo un abanico muy amplio de posibilidades, ya que, se puede generar redes para cada tipo de vehículo (coche, bici, moto, etc.) y cada una de ellas da como resultado distintos grafos con distinta información.

Cabe destacar la importancia del software colaborativo, en cómo utilizando herramientas de software libre se puede crear una herramienta capaz calcular haces de rutas entre diferentes orígenes y destinos con unos resultados bastante buenos, y poder disponer de todo el detalle para poder trabajar con la información.

## REFERENCIAS

HOFFMANN, S. (2020). osm2pgsql.pdf. <https://osm2pgsql.org/>

MINISTERIO DE LA PRESIDENCIA. (2003). España. Real Decreto 1428/2003, de 21 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento General de Circulación para la aplicación y desarrollo del texto articulado de la Ley sobre tráfico, circulación de vehículos a motor y seguridad vial, aprobado por el Boletín Oficial Del Estado, 89. <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2003-23514>

MINISTERIO DE LA PRESIDENCIA. (2020). Modificación del Reglamento General de Circulación. Boletín Oficial Del Estado, 6. <https://www.boe.es/boe/dias/2020/11/11/pdfs/BOE-A-2020-13969.pdf>

PARK D. Y RILETT LR. (1997). Identifying Multiple and Reasonable Paths in Transportation Networks: A Heuristic Approach. Transportation Research Record, 1607(1), 31–37.

PGROUTING CONTRIBUTORS. (2021). pgrouting.pdf. Pgr\_trsp. [https://docs.pgrouting.org/3.0/en/pgr\\_trsp.html](https://docs.pgrouting.org/3.0/en/pgr_trsp.html)

Tool Alfa S.L. (2020). parámetros para la modelizacion de la seleccion de ruta.