
This is the **published version** of the bachelor thesis:

Jiménez Morales, Adrián; Gisbert Traveria, Meritxell, dir. Análisis y modelización del tráfico en el municipio de Rubí. 2020. (1373 Màster Universitari en Geoinformació)

This version is available at <https://ddd.uab.cat/record/231432>

under the terms of the  license

ANÁLISIS Y MODELIZACIÓN DEL TRÁFICO EN EL MUNICIPIO DE RUBÍ

2019-2020

-TRABAJO FINAL DE MÁSTER-



intra



Ajuntament
de Rubí

**máster en
geoinformación**
aplicaciones y gestión

UAB Universitat Autònoma
de Barcelona



ICGC
Institut
Cartogràfic i Geològic
de Catalunya

AUTOR: ADRIÁN JIMÉNEZ MORALES

TUTORIZACIÓN ACADÉMICA: MERITXELL GISBERT

EMPRESA: INGENIERÍA DE TRÁFICO S.L -INTRA-

TUTORIZACIÓN DE EMPRESA: DANIEL JORDI Y ANDREA MELERO

MÁSTER EN GEOINFORMACIÓN -3ª EDICIÓN-

**ORGANIZADOR: DEPARTAMENT DE GEOGRAFÍA, INSTITUT CARTOGRÀFIC I
GEO LòGIC DE CATALUNYA Y UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BARCELONA**

JULIO DE 2020

RESUMEN

El presente proyecto pretende analizar y realizar una modelización del tráfico en el municipio de Rubí mediante sistemas de información geográfica desde diferentes metodologías de trabajo para visualizar, consecuentemente, las diferentes problemáticas e impactos generados en la movilidad y el tráfico municipal. Además, pretende dar lugar a la creación de una base SIG de consulta de los datos disponibles y caracterización del tráfico municipal, cómo, además, una cartografía resultante para visualizar la situación del tráfico municipal desde diferentes parámetros establecidos. También introduce de manera alternativa la autocorrelación espacial cómo un elemento en el análisis de la movilidad y el tráfico municipal.

PALABRAS CLAVE

MODELIZACIÓN, SIMULACIÓN, TRÁFICO, MOVILIDAD SOSTENIBLE, ANÁLISIS DE REDES Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

RESUM

El present projecte pretén analitzar i realitzar una modelització del trànsit al municipi de Rubí mitjançant sistemes d'informació geogràfica a partir de diferents metodologies de treball per visualitzar, conseqüentment, les diferents problemàtiques i impactes generats en la mobilitat i el trànsit municipal. A més a més, pretén donar lloc a la creació d'una base SIG de consulta de les dades y caracterització del trànsit municipal, a més d'una cartografia resultant per visualitzar la situació del trànsit a partir de diferents paràmetres establerts. També introdueix de manera alternativa l'autocorrelació espacial com un element d'anàlisi de la mobilitat i del trànsit municipal.

PARAULES CLAU

MODELITZACIÓ, SIMULACIÓ, TRÀNSIT, MOBILITAT SOSTENIBLE, ANÀLISI DE XARXES I SISTEMES D'INFORMACIÓ GROGRÀFICA

ABSTRACT

The present project aims to analyse and to model the traffic of Rubí through geographical information systems, using a variety of working methodologies to visualize different issues and impacts occurred in the traffic and mobility of Rubí. This project also aims to create a consultable GIS source that enables to visualize and consult the traffic situation of Rubí and cartography using different parameters. The last target of the project is to alternatively introduce the spatial autocorrelation as an element destined to analyse the traffic and mobility of the city of Rubí.

KEYWORDS

MODELING, SIMULATION, TRAFFIC, SUSTAINABLE MOBILITY, NETWORK ANALYSIS AND GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS

AGRADECIMIENTOS

Agradecer plenamente la tutorización técnica al equipo multidisciplinar de INTRA S.L, en especial a Daniel Jordi y Andrea Melero por su dedicación, motivación y buen trato.

También quiero destacar y agradecer la tutorización académica a Meritxell Gisbert por establecer las directrices del trabajo, así, como una tutorización plena y eficiente en un clima cercano, cómodo e implicado.

Pese a un contexto académico y empresarial adverso, con una paralización total del sistema y una incertidumbre mayor por el estado de alarma generado por la pandemia SARS-CoV-2, el proyecto ha salido adelante gracias principalmente por la implicación de todas las partes, puesto que, pese a las adversidades, la motivación es la que posibilita el avance.

ÍNDICE

1.INTRODUCCIÓN	1
<u>1.1. Antecedentes</u>	2
<u>1.2. Estado de la cuestión</u>	3
<u>1.2. Marco institucional</u>	5
2. OBJETIVOS Y PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO	7
<u>2.1. Objetivo general</u>	7
<u>2.2. Objetivos específicos</u>	7
<u>2.3. Planificación de proyecto</u>	8
3. HIPOTÉSIS Y PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN DEL PROYECTO	9
4. MARCO CONCEPTUAL	10
5. PLANTEAMIENTO DE LA PROBLEMÁTICA DEL PROYECTO	13
6. METODOLOGÍA DE DESARROLLO DEL PROYECTO	14
<u>6.1. Inventario y actualización del GRAFO municipal</u>	14
<u>6.1.1 Modificación del sentido de circulación</u>	14
<u>6.1.2 Modificación del número de carriles</u>	15
<u>6.2. Planteamiento y estructuración de campos presentes en la capa</u>	16
<u>6.3. Geolocalización y categorización del total de aforos disponibles</u>	17
<u>6.4. Incorporación de datos de los diferentes aforos al GRAFO municipal</u>	18
<u>6.4.1. Estructuración y control de calidad de los datos</u>	20
<u>6.5. Extrapolación de datos a los arcos sin datos directos</u>	20
<u>6.6. Autocorrelación espacial, índice de Moran I</u>	23
<u>6.7. Generación de cartografía para el análisis de diferentes parámetros</u>	25
7. RESULTADOS OBTENIDOS	
<u>7.1. Grafo municipal con sentidos y carriles de circulación actualizado</u>	26
<u>7.2. Geolocalización y categorización de aforos obtenidos</u>	27
<u>7.3. Incorporación de información de los aforos a los arcos</u>	28
<u>7.4. Extrapolación de datos a arcos sin datos</u>	29

<u>7.5. Modelización resultante de los campos HPM, HPT, IML, IMD,</u>	29
<u>7.5.1. Modelización del campo de vehículos en hora punta matinal (HPM)</u>	29
<u>7.5.2. Modelización del campo de vehículos en hora punta de tarde (HPT)</u>	30
<u>7.5.3. Modelización de la intensidad media laborable (IML)</u>	31
<u>7.5.4. Modelización de la intensidad media diaria (IMD)</u>	32
<u>7.5.5. Modelización del porcentaje de vehículos pesados (PerPes)</u>	33
<u>7.5.6. Modelización del porcentaje de motos (PerMot)</u>	33
<u>7.6. Interpolate Distance Weighting (IDW)</u>	34
<u>7.7. Índice de Autocorrelación Espacial Moran</u>	35
8. IMPLEMENTACIÓN	38
9. CONCLUSIONES	39
10. BIBLIOGRAFÍA Y WEBGRAFÍA	41
<u>10.1. Webgrafía</u>	41
<u>10.2. Bibliografía</u>	41
ANNEXOS	44

1.INTRODUCCIÓN

Analizar y gestionar la movilidad urbana se ha convertido en un tema de interés para las administraciones públicas, ya sea por el contexto urbano masificado o por la gran dependencia del vehículo privado al no tener un transporte público suficiente. Fruto de este objetivo nacen un buen número de planes de movilidad urbana que tienen como objetivo mejorar el movimiento de sus habitantes, facilitando la accesibilidad a su puesto de trabajo o a servicios básicos (escuelas, hospitales, etc.) de su municipio. Así, por ejemplo, se pueden encontrar planes de movilidad en ciudades como Madrid, Barcelona o Bilbao, hecho que expone la necesidad de realización de dichos planes y consigo el análisis de la movilidad correspondiente. Cataluña no queda atrás en esta materia y, de acuerdo con el artículo 17 del Decreto 152/2007, de 10 de julio, se elaboraron 40 planes de movilidad urbana de municipios declarados zona de protección especial. Todos estos planes, que se realizaron siguiendo el marco superior del Pla Director de la Movilidad de la Región Metropolitana de Barcelona, tienen el objetivo de asegurar una movilidad sostenible de los municipios, así como una reducción del impacto ambiental. A partir del 2011 hay una gran eclosión de Planes de Movilidad Sostenible (PMUS), ya que el artículo 10 de la ley de 6/2011 de 1 de abril obliga a los municipios de más de 20.000 hab., o con una movilidad estacional intensa, que dispongan de un PMUS en un plazo de 4 años a partir de la aprobación de la ley. Por ello, y por la dedicación de fondos públicos a este tema, los municipios empiezan a implementar PMUS de una manera generalizada.

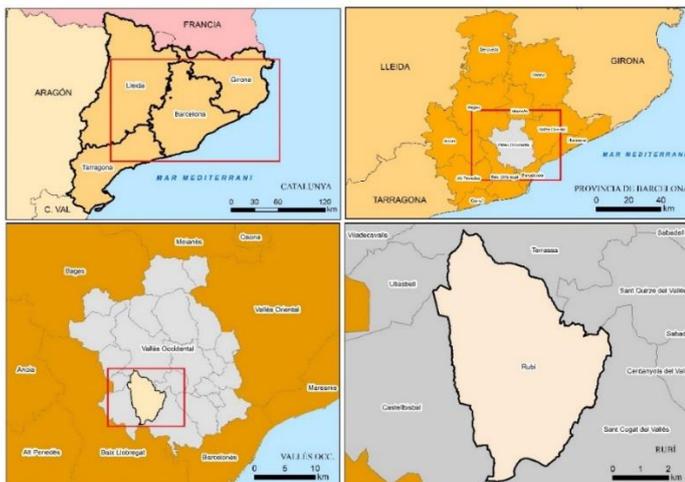
Este hecho es evidencial, la administración ha comenzado a gestionar y analizar la movilidad, pero estos estudios no dejan de carecer de una importante base técnica aplicada. Es por ello por lo que la utilización de Sistemas de Información Geográfica (SIG) es de vital importancia para la elaboración de planes de movilidad, ya que permite gestionar el presente y crear escenarios de futuro.

El presente proyecto, enmarcado en el ámbito público-privado, pretende analizar y modelizar el tráfico de la ciudad de Rubí mediante Sistemas de Información Geográfica con el objetivo de gestionar la movilidad del municipio para que sea lo más sostenible posible.

Rubí, con una superficie de 32,2 km², es, demográficamente hablando, el cuarto municipio más grande de la comarca del Vallés Occidental, provincia de Barcelona, con casi 77.500 habitantes (figura 1) (IDESCAT, 2019). Si a esta característica se le añade su proximidad a la ciudad de Barcelona (forma parte de la Región Metropolitana de Barcelona), la presencia de un importante polo industrial y la dependencia de sus

habitantes al vehículo privado, da lugar a que Rubí se convierta en una zona de interés para el análisis, diagnóstico y gestión de la movilidad.

Figura 1 Mapa de localización del área de estudio (Municipio de Rubí)



Fuente: Elaboración propia a partir de la base municipal 1:5.000 del ICGC.

La estructura del proyecto es una estructura típica de un proyecto académico, pero, el carácter técnico del entorno en el cual se desarrolla hace que esta esté sesgada. Por lo tanto, a parte de una introducción con sus antecedentes, estado de la cuestión y la presentación del marco institucional, se presentan los objetivos, la metodología, los resultados y las conclusiones, exaltando una ausencia de hipótesis de investigación debido a las características y el carácter técnico del desarrollo del proyecto.

1.1. Antecedentes

En el Màster en Geoinformación se han realizado varios proyectos, tanto en ámbito público como privado, referentes a temas de movilidad (Intra S.L., donde se enmarca también dicho proyecto, Departamento de Geografía de la Universidad Autónoma de Barcelona o Cyclocat).

Cómo proyectos precedentes al presente, y que se encuentran inmersos en una metodología de trabajo o temática semejantes, se encuentran los siguientes: “*Aplicación de herramientas SIG para el estudio del transporte a demanda en la comarca del Maresme, Barcelona*” de Ana Lucía Apillaga (Intra, S.L., 2016), que mediante SIG realiza un análisis de la red de transportes a partir de la oferta generada en la comarca del Maresme; “*Análisis de la accidentalidad de la villa de Bilbao desde las herramientas SIG*” de Núria Prieto (Intra, S.L.), que también mediante un geoprocésamiento exhaustivo con SIG y una estructuración de datos analiza la accidentalidad de la villa de Bilbao; “*Los costes temporales de la movilidad de la*

dispersión urbana, El caso de un municipio de la Región Metropolitana de Barcelona” de Giulio Mezzetti, que metodológicamente se asemeja al presente proyecto por el uso del análisis de redes, pero con un enfoque temático distinto. También dentro de una rama más técnica y de programación, se han desarrollado dos proyectos “*Creación de un visor web para la consulta del contenido de los Planes Locales de Seguridad Vial de Cataluña*” de Fernando Viedma (Intra, S.L., 2018), que se basa en la creación de un visor de consulta con todos los planes locales de seguridad vial de Cataluña, o el de “*Creació d'una xarxa de rutes ciclista : Topologia, visualització i càlcul dels camins òptims*” de Pau Estruch (Cyclocat, 2019), en el que se realizan simulaciones dentro de los visores o herramientas creados.

A parte de estos proyectos de Máster más actuales, existen otros de la misma temática, pero con más de ocho años de antigüedad. En este caso, por ejemplo, se encuentra el trabajo de “*Aplicación SIG para el análisis de la accidentalidad en Bilbao*” de L.Saénz Vallès (Intra, S.L., 2011) o el de “*Identificación de los tramos más deficientes de la seguridad pasiva de la red Viaria en Murcia*” de E. Parra (Intra, S.L., 2008).

1.2. Estado de la cuestión

Al tratarse de un proyecto con un enfoque metodológico técnico y, por tanto, no tener un sesgo académico, no se establece un estado de la cuestión asentado, si no, más bien, se utilizan cómo estado de la cuestión proyectos anteriores al mismo y proyectos de temática semejante para otras áreas de estudio o toda la legislación, orígenes y publicaciones de PMUS.

Los planes de movilidad, y consigo la importancia del análisis de la movilidad, nacen a principios del siglo XXI, donde desde la Unión Europea y su estrategia para el desarrollo sostenible se genera una focalización en el estudio de la movilidad y un replanteamiento de esta hacia una movilidad sostenible. El libro blanco del transporte (2001), establece un marco de estrategia conjunta hacia una movilidad sostenible a escala regional europea, pese a esto, a niveles estatales se empiezan a desarrollar planes de movilidad en la década de 1980. Por ejemplo, la realización de PDU (Plans de Desplacament Urba) en 1982 en las grandes ciudades francesas es el inicio del análisis y gestión de la movilidad a escala local. En el Reino Unido en la década de los 2000 con los Local Transport Plants se empieza a iniciar una gestión de la movilidad en los países anglosajones, también, en los 2000 en Italia con los PUM Plani urbani di mobilità, se establece por ley la obligatoriedad de redacción para las ciudades de más de 100.000 habitantes. Por lo tanto, a principios de los años 2000 surge un nuevo

contexto analítico de la movilidad a escala local (Ministerio de Fomento, 2017). España en el contexto europeo llega con retraso en cuanto a la legislación de movilidad y sobre todo en el desarrollo de PMUS, debido, principalmente, a su carácter descentralizado y a la dotación de competencias de movilidad a las autonomías, lo cual genera unas desigualdades territoriales en su desarrollo. Primordialmente, esto sucede por la ausencia sólida de una legislación a nivel nacional, ya que, por ejemplo, a nivel nacional solamente se encuentran planes y directrices que recomiendan la realización de planes de movilidad como el Plan Estratégico de Infraestructuras de Transporte (2005) o las Directrices Nacionales de Movilidad (ACM, 2019).

A nivel autonómico, Cataluña, País Vasco y Madrid son pioneros en la implementación de PMUS. Catalunya con la ley de movilidad 06/2003 y el País Vasco con el Plan Director de Transporte Sostenible. Las leyes y los planes se han ido reciclando hasta la actualidad en base a las directrices europeas de sostenibilidad y actualizándose en forma de nuevos planes a nuevos métodos de transportes y a la evolución de estos (Ministerio de Fomento, 2017). En Cataluña desde la ley de movilidad se han realizado infinidad de planes de movilidad sectoriales a diferentes escalas que regulan y establecen las estrategias futuras de la movilidad a nivel regional, así como a escala local. A nivel regional el marco de referencia sectorial es el Plan Director de Infraestructuras de Transporte de 2006 a 2020, el cual establece el marco legal y futuro de la movilidad en Catalunya. Con este y con la planificación en cascada, nacen planes de carácter sectorial como el Plan de Puertos de Catalunya 2030, el Plan de Movilidad Director de Girona, de Tarragona, y el de la Región Metropolitana de Barcelona.

Pese a los planes sectoriales de carácter regional, el instrumento de gestión local de la movilidad es el PMUS, el cual es de carácter obligatorio para los municipios de más de 20.000 hab. y que se haga una revisión de ellos cada 7 años, lo que genera un importante análisis de la movilidad actualizado a nivel municipal. Es por ello por lo que en los últimos años existe un gran auge de planes de movilidad a nivel municipal (Gencat, 2020).

En la línea de desarrollo por parte de Intra S.L, se cuenta con el “Pla de Mobilitat Urbana Sostenible de Rubí” en el cual se establecen las directrices de movilidad, realizando un análisis de esta mediante su oferta y su demanda y estableciendo un marco de referencia para la comprensión de la movilidad en el área de estudio, así como un marco de referencia cartográfico implementado por Intra S.L.

Para el establecimiento del marco teórico metodológico se han utilizado diferentes publicaciones basadas en el análisis de redes aplicados a la movilidad, al tráfico y a la seguridad vial mediante sistemas de información geográfica como se muestra Carlos Dómine (2015), que pese a que tiene un enfoque temático distinto establece un marco metodológico para el planteamiento del proyecto. También Daniel Robles (2009) realiza la simulación del tráfico en un área de estudio completamente distinta, pero que establece líneas de implementación y planteamiento del desarrollo metodológico del proyecto. Además, Daniel Robles (2009), plantea nuevos métodos de contabilización de vehículos para los aforos. Finalmente, Carlos Ramos (2017) también expone una metodología utilizada para el análisis de redes y para las simulaciones de tráfico mediante SIG y programación, las cuales son claves para el desarrollo del presente proyecto.

Para el desarrollo metodológico en relación con las herramientas utilizadas, se han utilizado principalmente manuales oficiales de ESRI basados en *Network Analysis* de ArcGis. Así, por ejemplo, se han usado manuales que muestran las herramientas y la estructuración de los datos para el desarrollo de la modelización y simulación de tráfico, así como diversas funciones complementarias.

En relación con el índice Moran, el cual se utiliza para ver la autocorrelación espacial del tráfico, se ha analizado la obra de Celemin (2007), una obra de referencia en cuanto al análisis y desarrollo de la autocorrelación espacial, concretamente en los indicadores locales de asociación espacial para el correcto desarrollo del índice de Moran.

1.3. Marco institucional

El presente proyecto se desarrolla dentro de un enfoque multidisciplinar y con un marco institucional público-privado. Público porque el trabajo es fruto del proyecto desarrollado durante las prácticas externas de la tercera edición del Máster en Geoinformación y privado puesto que se desarrolla para la consultoría de movilidad y transportes “*Ingeniería de tráfico Intra S.L*” dentro de una oferta publicada por el *Ayuntamiento de Rubí* para la actualización de su viario.

INTRA S.L (con más de 40 años de experiencia) es una consultoría de movilidad y seguridad vial, con un equipo multidisciplinar que realiza estudios de transporte, movilidad, seguridad vial y ordenación del territorio en sus aspectos relacionados con la movilidad, tanto para el sector público, como privado. Colabora con multitud de administraciones y organizaciones para una responsabilidad social corporativa.

Figura 2 Ámbitos de actuación de INTRA S.L



Fuente: INTRA S.L

2. OBJETIVOS Y PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO

En el presente apartado se exponen los objetivos planteados para el desarrollo del proyecto, que se dividen en uno general y ocho específicos que entablan las diversas fases de proyecto. Planteados los objetivos, se procede a detallar las fases de trabajo planteadas y la planificación de estas para su correcto desarrollo y eficacia.

2.1. Objetivo general

El objetivo principal es actualizar el modelo de tráfico y grafo del municipio de Rubí, incorporando datos de tráfico actualizados para poder analizar los mismos desde diferentes perspectivas. De este modo, se obtiene un grafo municipal actualizado al completo que incorpora datos obtenidos mediante trabajo de campo de aforos, que posibilitan la modelización y simulación de tráfico desde diferentes tipologías de vehículo y franjas horarias. La capa final obtenida se puede utilizar como herramienta de consulta del estado y geolocalización de los datos, además de la visualización de intensidades de tráfico para una posterior diagnosis de la movilidad generada a nivel municipal.

2.2. Objetivos específicos

- Actualizar y modificar el GRAFO que dispone el Ayuntamiento de Rubí a la situación de la movilidad actual del municipio.
- Incorporar al GRAFO actualizado aforos manuales y automáticos obtenidos mediante trabajo de campo, así como aforos direccionales.
- Realizar una modelización y simulación de tráfico en el municipio a partir de trabajos de campo y extrapolación de datos.
- Obtener mediante simulación la intensidad media en un día laborable.
- Obtener mediante simulación la intensidad media en un festivo.
- Analizar y extraer la intensidad media en hora punta tanto de mañanas como de tardes.
- Analizar el porcentaje de vehículos pesados y la intensidad de estos, así como las motocicletas.
- Observar el nivel de autocorrelación espacial del tráfico mediante el índice moran para la variable de intensidad media laborable.

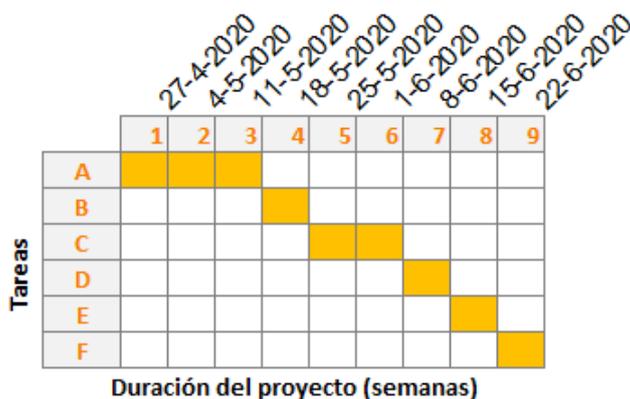
2.3. Planificación del proyecto

El proyecto se basa en el desempeño de las siguientes tareas (figura 3), tareas establecidas en función de la dimensión del proyecto y los objetivos establecidos. La dependencia de tareas precedentes en el presente proyecto es plena, es por ello por lo que no se puede producir un retraso de la fecha estimada de las tareas, debido a que esto genera un retraso en la finalización estimada del proyecto (figura 3). La finalización del presente proyecto, además, se encuentra ceñida por la situación contractual del proyecto con el Ayuntamiento de Rubí, así como el convenio entre Universidad Autónoma de Barcelona e INTRA S.L.

Figura 3 Tareas y diagrama de Gantt de la planificación del proyecto

Tarea	Duración (semanas)	Actividad Precedente
A	3	-
B	1	A
C	2	B
D	1	C
E	1	D
F	1	E

Tarea	Descripción
A	Actualización sistemática de GRAFO
B	Incorporación y geolocalización de aforos
C	Implementación de los datos de los aforos en los campos creados
D	Extrapolación de los datos y generalización de los mismos
E	Simulaciones y modelización del trafico final
F	Generación de cartografía



Fuente: Elaboración propia

3. HIPOTESIS Y PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN DEL PROYECTO

El presente proyecto no dispone de una hipótesis de un trabajo académico o de investigación, puesto que se trata de un proyecto de carácter técnico dentro del ámbito consultor privado.

Si el trabajo no tuviera este sesgo tan técnico, sino más bien uno más académico, sí que se podrían plantear hipótesis como las siguientes:

- “La gestión del tráfico en Rubí en hora punta es clave para el establecimiento de una diagnosis en el marco de movilidad sostenible”
- “Los SIG son una herramienta clave para un análisis óptimo y eficiente en movilidad sostenible para la administración pública”.

Pese a la inexistencia de una hipótesis de trabajo planteada, sí que se ha dispuesto a pensar una serie de preguntas de investigación que se pretenden resolver con la realización de dicho proyecto:

- ¿Cómo es la intensidad media diaria para la red viaria municipal?
- ¿Cómo es la intensidad media laborable para la red viaria municipal?
- ¿Cómo es la intensidad media en hora punta matinal?
- ¿Cómo es la intensidad media en hora punta de tarde?
- ¿Cuál es el porcentaje de vehículos pesados y la intensidad de estos en la red viaria?
- ¿Qué nivel de autocorrelación espacial encontramos en la modelización resultante de la intensidad media laborable?

4. MARCO CONCEPTUAL

En relación con el contexto de las definiciones y, por tanto, el marco conceptual básico del proyecto, se van a mostrar una serie de definiciones que posibilitan el correcto entendimiento del proyecto y de las diferentes fases metodológicas. Tal y como se indica, algunas de estas definiciones son oficiales, mientras que otras de carácter propio de INTRA S.L. Estos conceptos se acompañan de las abreviaciones correspondientes utilizadas en los campos de la base SIG.

- **Grafo:** capa que contiene el conjunto de líneas viarias digitalizadas con diferentes atributos de las vías: tipología, características, identificación y descripción (INTRA S.L, 2020).
- **Modelización de tráfico:** es el desarrollo de un modelo, o esquema en este caso, de tráfico para observar la movilidad viaria y poder analizar, diagnosticar y generar propuestas sobre el mismo.
- **Simulación:** es la realidad virtual de tráfico a partir de los datos obtenidos en todo el viario municipal para observar patrones de movilidad municipales (Ministerio de Fomento, 2017).
- **Extrapolación de tráfico:** es un método lógico científico que se basa en suponer movimientos simulados de tráfico futuro, o de vías o elementos de los cuales no se disponen datos. A partir de datos obtenidos reales y sus correspondientes procesos se pueden obtener datos de elementos de los cuales no se disponen (Ministerio de Fomento, 2017).
- **Movilidad:** es el conjunto de desplazamientos, en este caso de vehículos, en un entorno físico (viario) entre diferentes lugares y que genera en consecuencia una serie de impactos en el viario municipal (RAE, 2020).
- **Turismo (Tur):** automóvil destinado al transporte de personas de cuatro ruedas y con una capacidad máxima de 9 plazas (DGT, 2020).
- **Motocicletas (Mot):** vehículos de dos ruedas destinados al transporte de personas de una capacidad máxima de dos pasajeros (DGT, 2020).
- **Vehículos pesados (Pes):** vehículos destinados al transporte de mercancías de cuatro ruedas o más y con unas características de peso y longitud superiores a 3.500 kg (DGT, 2020).
- **Aforo:** es la contabilización de vehículos en un lugar determinado para establecer la movilidad generada en el mismo (INTRA S.L, 2020).

- **Aforo manual:** es la tipología de contabilización de vehículos en un lugar determinado que lo realiza una persona a partir de la visualización y contabilización manual (INTRA S.L, 2020).
- **Aforo automático:** es la tipología de contabilización de vehículos a partir de bandas ubicadas en el asfalto. Este tipo de contabilización registra, a partir de sensores, normalmente a lo largo de las 24 horas del día, todo tipo de vehículos incorporando la hora de conteo y la cantidad de vehículos por tipología (INTRA S.L, 2020).
- **Día laborable:** tipología de día comprendido de Lunes-Sábado en los cuales se realiza de manera general y cotidiana actividad laboral (Ministerio de Fomento, 2017).
- **Día festivo:** tipología de día compuesto por Domingos y días especiales decretados por festividad por parte de la administración, en los cuales hay una variación importante de la movilidad generada respecto a un día laborable (Ministerio de Fomento, 2017).
- **Hora punta mañana (HPM):** franja horaria matinal en la cual se genera más movilidad, es de gran importancia el conocimiento de las horas punta para una gestión y diagnóstico de la movilidad para evitar consecuencias negativas en el viario (Ministerio de Fomento, 2017).
- **Hora punta tarde (HPT):** franja horaria de tarde en la cual se genera más movilidad, es de gran importancia el conocimiento de las horas punta para una gestión y diagnóstico de la movilidad para evitar consecuencias negativas en el viario (Ministerio de Fomento, 2017).
- **Intensidad media laborable (IML):** es la cantidad media de afluencia de tráfico en un día laborable en 24h a partir de la media de datos (Ministerio de Fomento, 2017).
- **Intensidad media diaria (IMD):** es la cantidad media de afluencia de tráfico de todos los días incluidos festivos en 24h a partir de la media de datos (Ministerio de Fomento, 2017).
- **IDW (Inverse Distance Weithing):** método geoestadístico que estima valores desconocidos a partir de valores conocidos de referencia en función de la distancia especificada y el ajuste de potencias (ArcGis, 2020).
- **Índice de autocorrelación espacial Moran I:** es una medida geográfico-estadística que indica el grado de correlación entre valores de unidades territoriales. El valor de este índice varía entre -1 y +1, donde los valores negativos indican un conglomerado espacial de unidades territoriales con

valores de análisis distintos y los valores positivos indican un conglomerado espacial de unidades territoriales con valores de análisis similares. (CEPAL, NNUU, 2014). Así pues, la aplicación del índice de Moran presenta 5 resultados en función de los valores:

-> alto-alto: una unidad territorial con un valor de análisis por encima del promedio, rodeada significativamente por áreas vecinas que también se encuentran por sobre la media con respecto a la variable de interés. Estas unidades territoriales corresponden a los denominados conglomerados calientes.

-> bajo-bajo: una unidad territorial con un valor de análisis inferior al promedio, rodeada por áreas vecinas que también se encuentran bajo la media en relación con la variable de interés. Estas unidades territoriales corresponden a los denominados conglomerados fríos (cold spots);

-> bajo-alto: presencia de una unidad territorial con un valor de análisis bajo, rodeada significativamente por áreas vecinas con valores que se encuentran por sobre la media de la variable de interés.

-> alto-bajo: presencia de una unidad territorial con un valor de análisis alto, rodeada significativamente por áreas vecinas con valores que se encuentran bajo la media de la variable de interés.

-> relación no significativa: presencia de unidades territoriales donde el valor de análisis de la variable de interés no se relaciona significativamente con los valores que presentan sus vecinos.

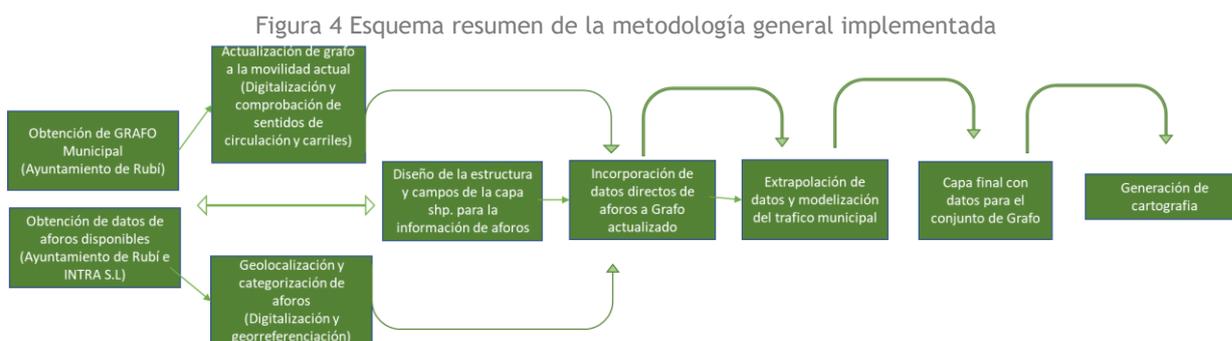
5. PLANTEAMIENTO DE LA PROBLEMÁTICA DEL PROYECTO

El proyecto surge a partir de la problemática de desactualización del viario municipal de Rubí (errores en los sentidos de las calles y ausencia de carriles por sentido de circulación), así como la falta de incorporación de datos de tráfico de una manera única y unificada. Por ello, el Ayuntamiento de Rubí realiza una petición para resolver dicha problemática y, además, solicita disponer de una modelización del tráfico desde diferentes perspectivas para observar y analizar cómo es el comportamiento de este y poder implementar futuras actuaciones municipales en la movilidad generada del municipio. Por lo tanto, con el objetivo de cumplir con esta petición y poder realizar actuaciones en cuanto a la modelización de tráfico, es necesario que inicialmente se actualice y estructure el grafo de Rubí y se integren y reagrupen los datos de tráfico en él. Estos últimos datos han sido recogidos a partir de aforos de diferentes tipologías (manuales o automáticos) y durante diferentes períodos de tiempo por diferentes empresas privadas.

Antes de entrar propiamente en materia es importante explicar que el grafo en cuestión tampoco cuenta con una jerarquía establecida, por lo que se tendrán que readaptar los métodos para la realización de las modelizaciones. Toda esta readaptación ha sido consensuada con la tutorización técnica del proyecto, así como la aplicación de metodologías alternativas han sido sufragadas por la tutorización académica del mismo.

6. METODOLOGÍA DE DESARROLLO DEL PROYECTO

En el presente apartado se presenta como se han ido desarrollando las diferentes fases de trabajo. Pese a tener diferentes apartados metodológicos para las diversas fases de trabajo, en el siguiente gráfico se resume de manera genérica la metodología implementada en el proyecto (figura 4). Para ejecutar todo el proceso se ha utilizado el programario SIG ArcGis en su versión 10.7.



Fuente: Elaboración propia

6.1. Inventario y actualización del GRAFO municipal

El objetivo de esta parte es actualizar toda la red viaria de Rubí, para así dinamizar el análisis y su eficiencia. El GRAFO ha sido proporcionado por el Ayuntamiento de Rubí, pero se ha detectado que era el mismo que el que se proporciona desde el apartado de redes de transporte del IGN. En esta línea, las modificaciones que se han tenido que efectuar a la capa han sido referentes a sentidos de circulación y a número de carriles por sentido.

6.1.1 Modificación del sentido de circulación

Para realizar cualquier análisis de redes es muy importante que las calles estén digitalizadas en el sentido de circulación. En el caso de Rubí, no sucedía, los arcos en la capa original no estaban digitalizados en función del sentido de circulación, es por ello por lo que se ha añadido un campo que incorpora la información que se muestra en la tabla 1, la cual es la nomenclatura que ArcGis entiende para definir los sentidos de la red viaria. De este modo, se han adaptado los arcos al sentido de circulación correspondiente. Es importante destacar, que también se podría haber adaptado la digitalización al sentido de circulación mediante la herramienta de geoprocso *flip line*, pero, a petición del cliente, no se podía modificar la estructura gráfica del grafo proporcionado. Por lo tanto, la única alternativa de variar los sentidos de circulación era incorporar el campo anteriormente comentado.

Tabla 1 Categoría establecidas para los sentidos de circulación

Categoría	Descripción
FT	Sentido de circulación y origen y final del arco, coinciden
TF	Sentido de circulación y origen y final del arco, no coinciden
N	No circulación
(Campo en blanco)	Circulación en ambos sentidos

Fuente: Elaboración propia.

La revisión se ha realizado de manera manual y sistemática, revisando cada arco del grafo uno a uno y editando los campos de cada uno de ellos para actualizar y modificar la información necesaria. Como base de revisión se ha utilizado el callejero de Google Maps mediante su Street-View (actualizado a nivel municipal al año 2020).

Figura 4 Metodología del inventario y actualización de sentidos y carriles del GRAFO



Fuente: Elaboración propia

6.1.2 Modificación del número de carriles

La incorporación del número de carriles se ha realizado de la misma manera, estableciendo dos campos, carriles de A-B y carriles de B-A, siendo A el origen del arco y B el final de este y, consecuentemente, se ha ido añadiendo arco a arco el número de carriles para cada origen-destino (A-B) establecido.

En este apartado, es de vital importancia observar el origen y final de la digitalización de los arcos, puesto que es el patrón para establecer (1) el sentido y (2) el número de carriles sin tener que modificar la estructura gráfica de la capa. Esta opción ha sido posible gracias a que la herramienta de edición marca el origen del arco con un punto verde y el final con un punto rojo.

La capa muestra una importante problemática, puesto que, debido a que no sigue una estructura gráfica de los sentidos (digitalización y sentido en misma dirección), muestra una gran dificultad de tratamiento, además, no sigue una linealidad, inclusive en algunos tramos de una misma calle, por ejemplo, entre intersecciones, llega a tener dispersiones de digitalización contraria en los sentidos de los arcos, cómo por ejemplo rotondas en sentido contrario etc., lo cual reproduce una gran dificultad de tratamiento y comprensión.

6.2. Planteamiento y estructuración de campos presentes en la capa

Una vez se ha actualizado el grafo, y con el fin de generar la modelización del tráfico, se propone una estructuración y planificación de la futura tabla de la capa. Es por ello por lo que se establecen los siguientes campos que se muestran en la tabla 3.

Tabla 2 Diseño de tabla de la capa shp. para la introducción de datos

Campo identificativo	Ejemplo de dato	Descripción del campo
Aforament	Manual	Tipología de aforo
Afo_Data	15/01/2019	Fecha de aforo
Afo_DiaSem	Dimarts	Día semanal de aforo (laborable/festivo)
Afo_Horaln	0 a 24	Hora de inicio de aforo
Afo_HoraFi	0 a 24	Hora final de aforo
Tipo_Via	ND	Situación de la vía, NC (No datos, NC (No circulación, Simulada etc.
Id_Eje_ref	321-2	ID del arco de referencia de simulación
Afo_TurAsc	388	Aforo de turismos en sentido ascendente
Afo_TurDes	316	Aforo de turismos en sentido descendente
Afo_MotAsc	10	Aforo de motocicletas en sentido ascendente
Afo_MotDes	8	Aforo de motocicletas en sentido descendente
Afo_PesAsc	34	Aforo de v.pesados en sentido ascendente
Afo_PesDes	34	Aforo de v.pesados en sentido descendente
Afo_HPMAsc	338	Aforo en hora punta matinal ascendente
HPMPer_As	7,9	Porcentaje de aforo en hora punta matinal ascendente
HPMH_As	8:00	Hora punta matinal establecida ascendente
Afo_HPT_As	339	Aforo en hora punta de tarde ascendente
HPTPer_As	7,9	Porcentaje de aforo en hora punta de tarde ascendente
HPTH_Asc	19:00	Hora punta de tarde establecida ascendente
Afo_24H_As	4284	Aforo total de 24h ascendente
Afo_HPMDes	418	Aforo en hora punta matinal descendente
HPMPer_Des	9	Porcentaje de aforo en hora punta matinal descendente

HPMH_Des	8:00	Hora punta matinal establecida descendente
Afo_HPTDes	390	Aforo en hora punta de tarde descendente
HPTPer_Des	8,4	Porcentaje de aforo en hora punta de tarde descendente
HPTH_Des	18:00	Hora punta de tarde establecida descendente
Afo_24HDes	4652	Aforo total de 24h descendente
HPM_Asc	432	Total hora punta de media ascendente
HPM_Des	358	Total hora punta de media descendente
HPT_Asc	258	Hora punta total ascendente
HPT_Des	300	Hora punta total descendente
IML_Asc	5468	Intensidad media laborable ascendente
IML_Des	3978	Intensidad media laborable descendente
IMD_Asc	3000	Intensidad media diaria ascendente
IMD_Des	2000	Intensidad media diaria descendente
PerPes_Asc	7,9%	Porcentaje de vehículos pesados ascendente
PerPes_Des	9,5%	Porcentaje de vehículos pesados descendentes
PerMot_Asc	10%	Porcentaje de motocicletas ascendente
PerMot_Des	8%	Porcentaje de motocicletas descendente

Fuente: Elaboración propia.

6.3. Geolocalización y categorización del total de aforos disponibles para el proyecto

Para poder dotar de la información de tráfico a la capa final, hay que gestionar y administrar los datos obtenidos de los aforos, que pueden proceder de diferentes fuentes públicas y privadas. Para ello, pues, es necesario categorizar y geolocalizar estos puntos de medición de tráfico. La categorización, que se hace con el objetivo de sintetizar y administrar los datos, se realiza tal y como se muestra en la tabla 4. Con ello, se establece un punto de partida para la entrada de datos y, además, se estructura y organiza cualquier incorporación de datos en los arcos del GRAFO.

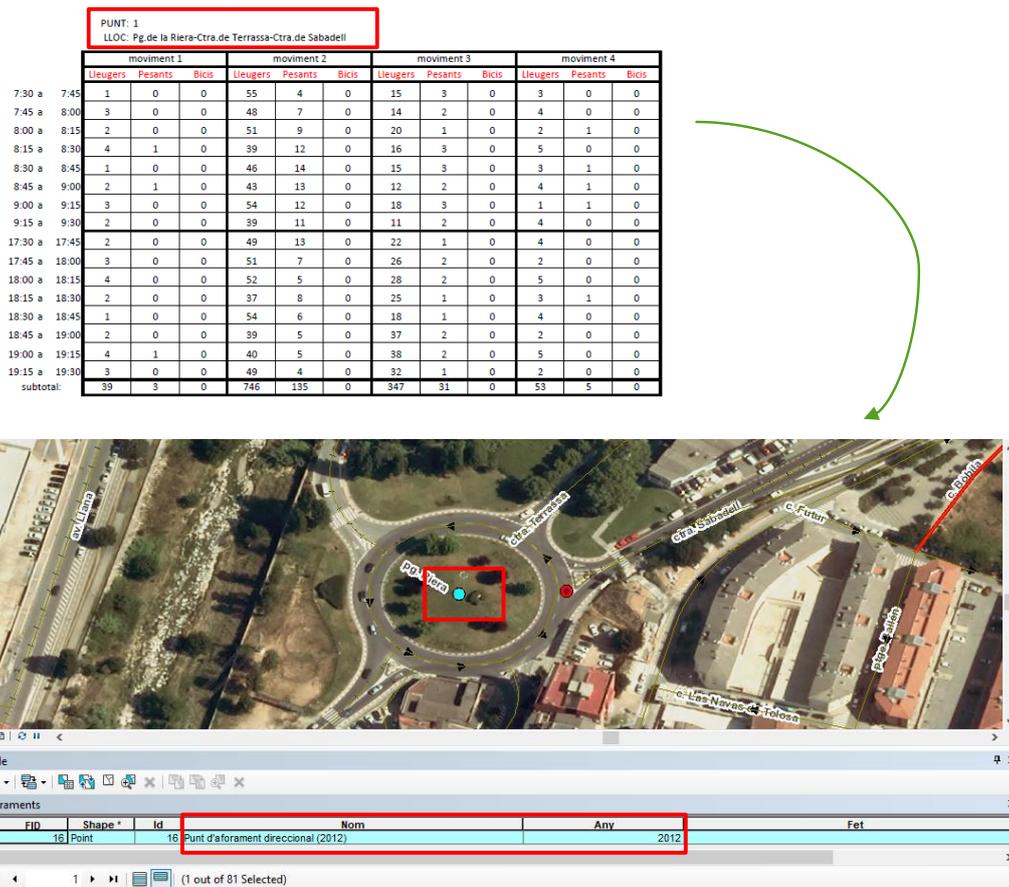
Tabla 3 Clasificación de aforos por tipología, año y simbolización

Tipo de aforo	Año de aforo	Simbolización
Punt d'aforament automàtic (2012)	2012	
Punt d'aforament direccional (2012)	2012	
Punt d'aforament automàtic (2013)	2013	
Punt d'aforament automàtic (2016)	2016	
Punt d'aforament direccional (2016)	2016	
Punt d'aforament automàtic (2017)	2017	
Punt d'aforament automàtic (2018)	2018	
Punt d'aforament manual (2018)	2018	
Punt d'aforament manual (2019)	2019	
Punt d'aforament manual (2020)	2020	

Fuente: Elaboración propia.

Los aforos se encuentran contabilizados sin geolocalización y en formato pdf, Excel o Word. Por lo tanto, es de vital importancia establecer una geolocalización para la posterior incorporación de datos a los arcos (figura 5). Desde el buscador de direcciones de Google Maps se busca la intersección en la que se ha realizado el aforo (incorporada en el identificador del aforo) y, posteriormente, se crea una capa de puntos shp. mediante una georreferenciación absoluta. Gracias a este proceso los puntos de los aforos se ubican espacialmente donde corresponden y con su correspondiente categoría y año de realización.

Figura 5 Geolocalización y categorización de aforos disponibles



Fuente: Elaboración propia.

6.4. Incorporación de datos de los diferentes aforos al GRAFO municipal actualizado

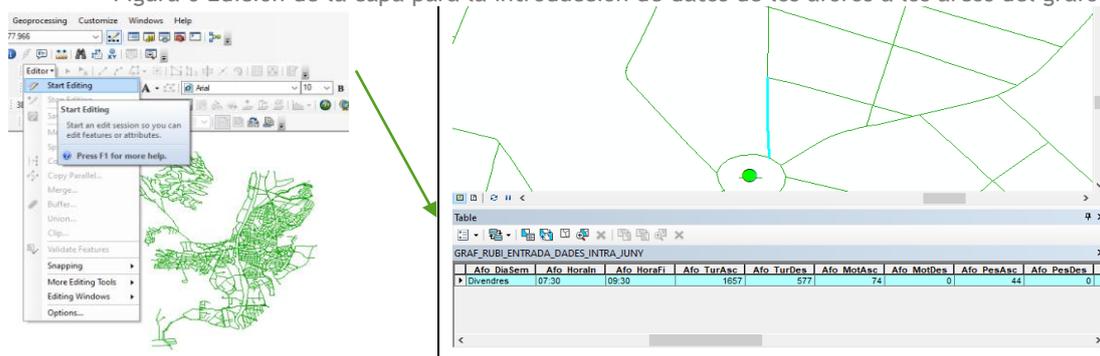
Con el grafo actualizado y los aforos categorizados y georreferenciados, se procede a la incorporación de los datos obtenidos de los diferentes aforos al grafo para la modelización del tráfico. Este apartado metodológico se ha realizado conjuntamente con técnicos de INTRA S.L debido a la carga de trabajo que implicaba.

La metodología implementada ha sido inicialmente la visualización y comprensión de los datos en formato PDF, Excel y Word de los diferentes aforos. Posteriormente, mediante la edición de la capa de grafo (actualizada), se introducen, mediante la edición de la capa, los datos de los aforos a cada uno de los arcos circundantes al aforo, según la estructura de tabla creada en el apartado metodológico 5.2.

Desde la tutorización académica y por parte del autor se procede a intentar implementar un método alternativo, que permita automatizar esta fase metodológica para así evitar tener que implementar la información arco a arco y campo a campo. El método pensado para implementar es la creación de un Excel con todos los campos correspondientes y que, mediante columnas, identifica cada uno de los aforos. Obtenida toda la base Excel con todos los datos para los respectivos arcos, se incorporaría mediante JOIN a la capa de geolocalización de aforos, implementando así toda la información de los aforos en la capa espacial. A continuación, para poder incorporar los datos de los aforos a cada uno de los arcos (información existente en la base), se realizaría mediante una relación espacial de distancia (join espacial). Para evitar duplicidades, uniones erróneas, etc. se establecería un control de calidad del proceso generado.

Pese al pensamiento y diseño de este bloque metodológico, finalmente, por decisión de tutorización técnica, se decide realizar la incorporación de datos de manera manual a cada uno de los arcos, evitando así la implementación de la metodología alternativa, pero valorando la eficacia de esta y la futura implementación metodológica en proyectos de la misma índole.

Figura 6 Edición de la capa para la introducción de datos de los aforos a los arcos del grafo



Fuente: Elaboración propia.

6.4.1. Estructuración y control de calidad de los datos

Incorporados los datos de primera mano, se realiza una estructuración de los mismos, donde se comprueba que no falten datos, que los datos tengan coherencia y se adapten a la realidad de los aforos.

Además, se complementa toda la ausencia de datos de los aforos manuales a partir de los automáticos en base a la proporcionalidad del automático más cercano. Para establecer a cada aforo manual su aforo automático más cercano, se genera una *near table*, donde posteriormente esta misma mediante *join*, se une a la capa de los aforos automáticos y con otro *join* a la de los manuales. De este modo, los aforos manuales pasan a tener los datos de referencia de los aforos automáticos más cercanos.

De este modo se cumplimentan todos aquellos campos vacíos que los aforos manuales tienen. El resultado es una capa con poco más del 10% de arcos (235) con información del tráfico, que servirá posteriormente para simulación del tráfico para todo Rubí. Es importante destacar, que no son muchos los arcos con información de tráfico, con lo cual, la calidad de la modelización puede verse afectada (a más datos más calidad).

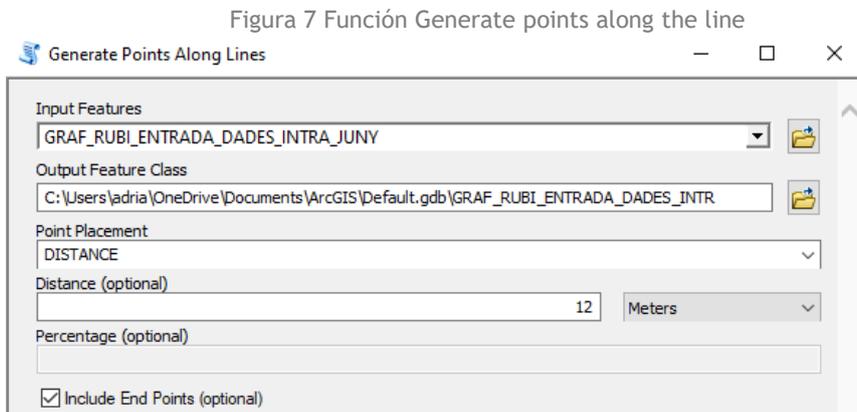
6.5. Extrapolación de datos a los arcos sin datos directos

En el presente apartado se procede a la modelización del tráfico, es decir la extrapolación de estos datos recopilados e implementados en el apartado 5.4 a todo el grafo municipal. Cabe destacar que únicamente se desea extrapolar los campos HPM, HPT, IML, IMD, PerPes y PerMotos, debido a que son los que el cliente en dicho caso desea.

Desde la tutorización académica se propone realizar la función de tráfico histórico de *network analysis* pero, después de investigar y profundizar en los parámetros y estructura necesarios para ejecutar la herramienta, se observa que el grafo y sus características no permiten la aplicabilidad de dicha herramienta al no tener un grafo con jerarquía ni con los ratios en los desvíos y cruces. Así, pues, debido a que *network analysis* no ofrece una viabilidad para la modelización, desde la tutorización académica se plantea un nuevo método de modelización basado en el *Inverse Distance Weithing* (IDW).

El método se desarrolla primeramente en la conversión de las líneas del grafo a puntos (arcos a puntos, mediante la función *Generate points along the line*), obteniendo de este modo puntos a partir de las líneas. Esta función se ejecuta debido a que el IDW

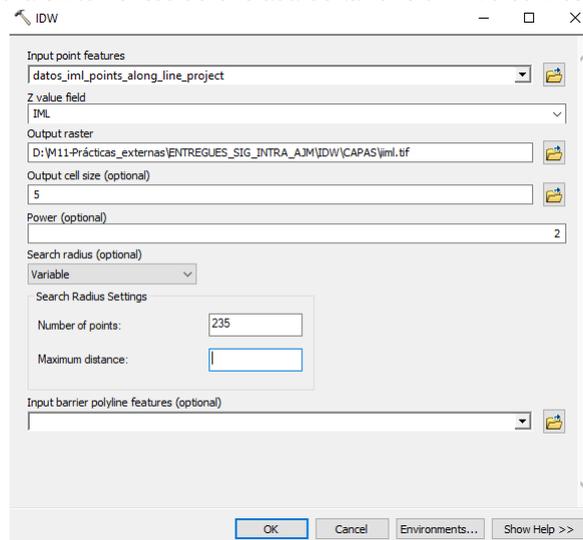
únicamente admite puntos y no líneas. La generación de puntos se hace cada 12m incluyendo el punto final de la línea, esto se realiza debido a que, si no, el IDW posterior genera distorsiones en los arcos de una longitud considerable. Además, se proyectan los puntos generados a la proyección ETRS89_31_N (25831) para evitar errores en la generación de la función IDW.



Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente se realiza la función IDW, que mediante un campo de referencia IML, nos genera un ráster de salida con la modelización para el campo deseado. Se establece una celda de salida de 5m y 235 puntos de referencia, los cuales dotan de información al IDW.

Figura 8 Elementos de entrada de la función Inverse Distance Weithing

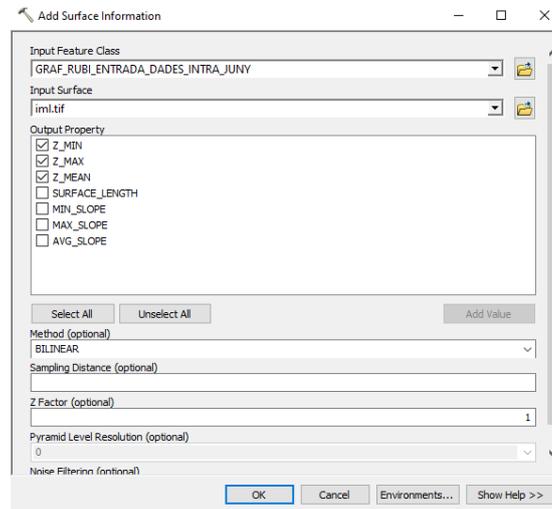


Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, mediante la función Add z Surface information, se extraen los valores del ráster para cada arco de grafo, obteniendo el valor medio de los 3 escenarios posibles

(mínimo, máximo y medio), se escogen los tres escenarios para el posterior desarrollo del índice de autocorrelación espacial y visualizando de esta manera las variaciones entre los 3 escenarios.

Figura 9 Elementos de entrada de la función Add Surface Information

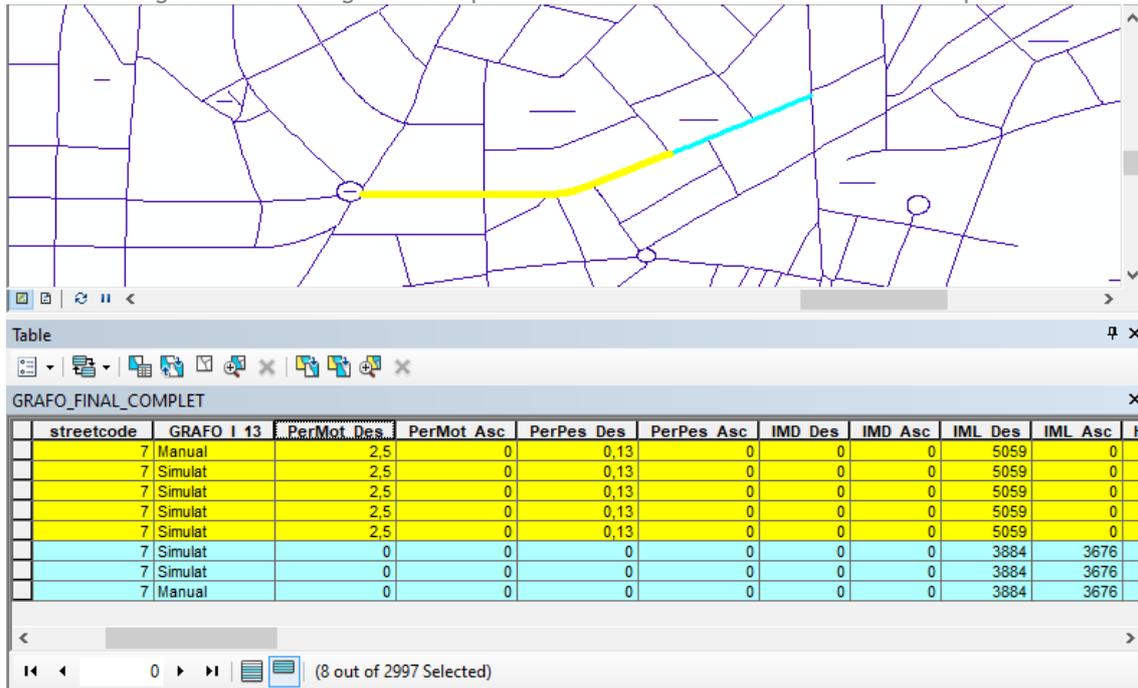


Fuente: Elaboración propia.

Esto genera una modelización de tráfico de todo el grafo a nivel municipal. Cabe destacar que, realizada la modelización, los valores en aquellos campos que ya tenían datos presentan una variación media inferior al 10%. Por lo tanto, dicho método se podría considerar óptimo para la modelización del tráfico. Pese a esto, la tutorización técnica del trabajo expone que no se conoce suficientemente el territorio, así como las características del tráfico, para modelar toda la red. Es por ello por lo que propone alternativamente otra metodología para la modelización.

La nueva metodología se basa en la prolongación de los datos a partir de la capa obtenida en el apartado 5.4, por lo que aquellas calles con información de aforo se prolongaran a partir de la continuidad de esta. Esta modelización alternativa se basa en prolongar los datos de cada arco para el resto de los arcos que conforman la calle, lo cual es posible gracias al código de calle presente en el grafo. Con esta nueva metodología es necesario analizar exhaustivamente arco a arco cada prolongación de datos, debido a que existen casuísticas que generan distorsiones. Por ejemplo, la presencia de diversos aforos en una calle, los cambios de nombre en un tramo recto natural, y los cambios de sentido u no circulación, son distorsiones presentes que cabe analizar exhaustivamente e interpretar el viario para la implementación de la modelización.

Figura 10 Metodología de extrapolación de datos de tráfico mediante el campo streetcode



Fuente: Elaboración propia.

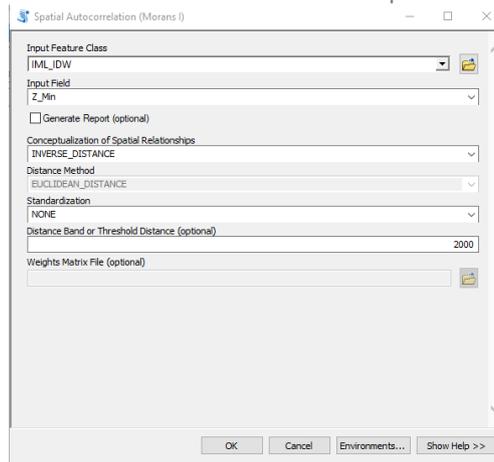
Pese a la metodología implementada en el proyecto, de manera paralela se establece la modelización a partir de IDW para el campo IML, implementando la metodología planteada, para así contrastar datos con la modelización oficial y así también enriquecer de una manera técnica el proyecto. Además, dicha modelización mediante IDW plantea la posibilidad de analizar la autocorrelación espacial tal cómo se expone en el apartado predecesor.

6.6. Autocorrelación espacial, índice de Moran I

A partir de los valores obtenidos de la modelización mediante IDW de la IML, resultantes del método alternativo de extrapolación, se realiza el índice de autocorrelación espacial Moran, para visualizar la autocorrelación espacial existente en la modelización alternativa.

El índice de Moran se realiza mediante la función de ArcGis *Spatial Autocorrelation (Global Moran)*, que genera un documento html. indicando si existe autocorrelación en la capa generada.

Figura 11 Elementos de entrada de la función Spatial Autocorrelation (Moran I)

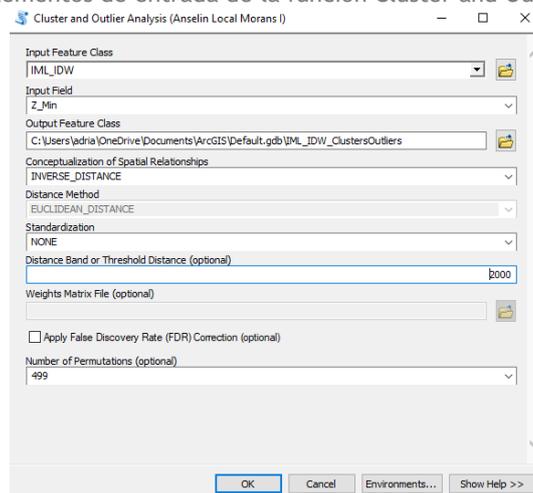


Fuente: Elaboración propia.

Obtenida la autocorrelación previa, se procede, mediante la función *Cluster and Outlier Analysis*, a visualizar arco por arco el nivel de autocorrelación de cada uno de los arcos gracias a sus datos de tráfico IML.

Cabe destacar que el índice de autocorrelación se decide realizar para los 3 escenarios resultantes del IDW, Zmin, Zmax y Zmean, aplicando una distancia de 0 y de 2000 para observar posibles diferencias en la autocorrelación espacial del volumen de intensidad media laborable modelado.

Figura 12 Elementos de entrada de la función Cluster and Outlier Analysis (Moran I)



Fuente: Elaboración propia.

6.7. Generación de cartografía para el análisis de diferentes parámetros

La generación de cartografía de los diferentes parámetros permite tener un primer análisis de la movilidad generada para su consecuente diagnóstico, es por ello por lo que es de vital importancia la generación de cartografía generando resultados. La cartografía se ha generado mediante ArcGis 10.7 y con las plantillas creadas por INTRA S.L a petición tanto de la tutorización técnica como del Ayuntamiento de Rubí. La plantilla únicamente establece el norte en la parte superior izquierda, la escala en la parte inferior derecha y la leyenda en la inferior izquierda, dotando a los mapas de simplicidad para mejorar la visualización y evitar elementos en la maquetación del mapa innecesarios que generen ruido y distorsión a los resultados obtenidos.

A modo de simbolización se establece que el volumen de vehículos se simbolice mediante símbolos graduados y con coropletas, para dar al grafo simbolizado un criterio voluptuoso de simbolización.

7. RESULTADOS OBTENIDOS

En el presente apartado se desarrollan y se exponen los resultados obtenidos de cada una de las fases de trabajo.

7.1. Grafo municipal con sentidos y carriles de circulación actualizado

Realizada la primera fase de trabajo se obtiene un Grafo actualizado y sólido con los sentidos de circulación y número de carriles por calzada del total del viario municipal (figura 13). El grafo actualizado contiene 2997 arcos con el sentido de circulación y el número de carriles, actualizando de esta manera el 100% de los arcos presentes en el GRAFO y aplicando cambios en los sentidos a 333 que son entrono a un 30% (los cuales cuentan con un campo TF, y por tanto erróneos en cuanto a su digitalización y sentido de circulación).

Figura 13 Evolución de la actualización resultante del GRAFO (Sentidos y carriles de circulación)



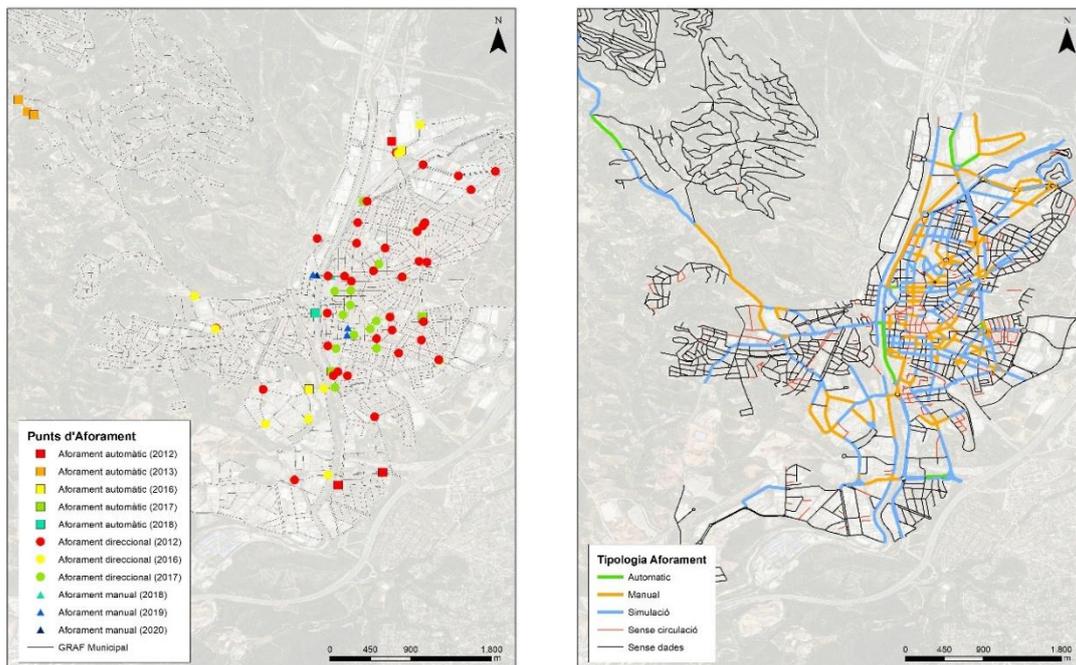
Fuente: Elaboración propia.

7.2. Geolocalización y categorización de aforos obtenidos

Dentro de la segunda fase de trabajo se obtiene un censo con la geolocalización y categorización de todos los aforos disponibles para el presente proyecto y que muestran la distribución de estos por el territorio municipal. En este sentido el resultado es una capa de puntos simbolizada con un total de 82 puntos, representando cada uno de los aforos existentes.

Este resultado muestra a su vez que existen una gran densidad de aforos en el núcleo urbano de Rubí, pero una escasa presencia de estos en los polígonos industriales Norte y Sur y en las urbanizaciones dispersas, hecho que no analiza la totalidad de la movilidad generada en el municipio. Además, cabe destacar que se observa una antigüedad notoria de los aforos, ya que en su mayoría son de 2012 y hay una escasa actualización y reposición de estos. También se observa una gran ausencia de aforos automáticos, los cuales son los más precisos y necesarios para analizar la movilidad generada para su posterior análisis mediante SIG, puesto que ofrecen una gama de datos más precisa y concreta.

Figura 14 Geolocalización y categorización de aforos y afectación del tipo de aforo a los arcos

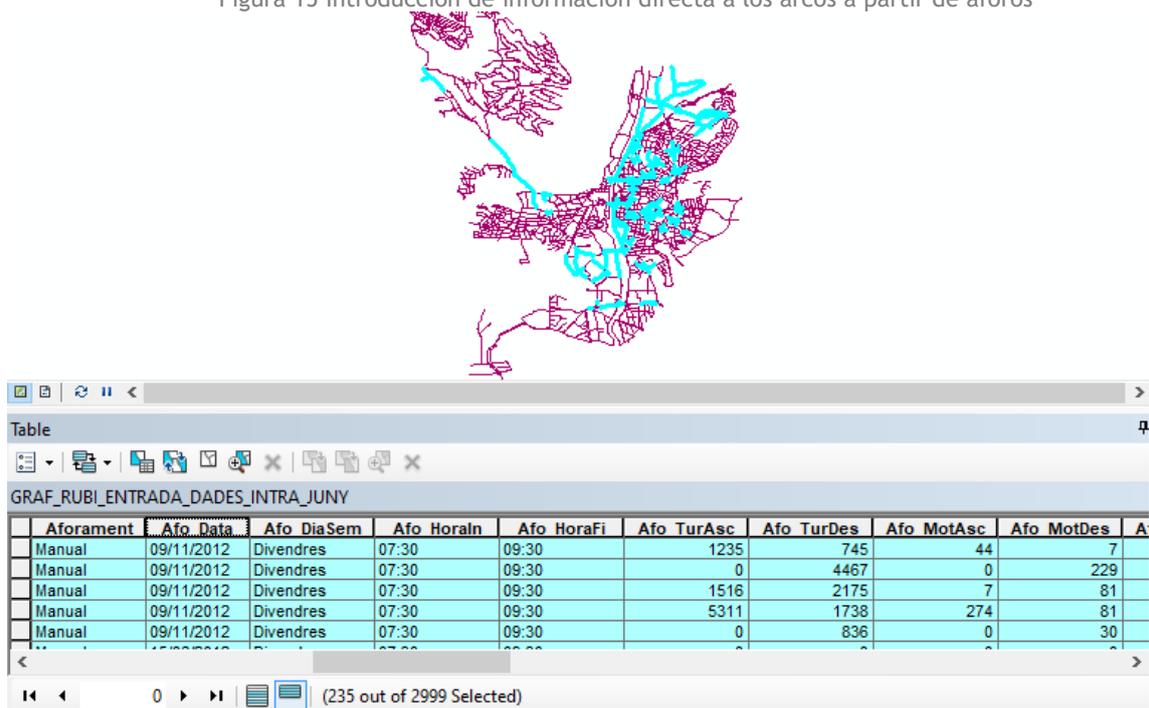


Fuente: Elaboración propia.

7.3. Incorporación de información de los aforos a los arcos

La incorporación de los datos a los aforos genera una importante carga y sentido a la capa trabajada en relación con los datos de tráfico. Así pues, de manera directa, gracias a los aforos, se consigue dotar de información directa del trabajo de campo (aforos) a 235 arcos de los 2997. Por lo tanto, un 7,8% del grafo cuenta con datos reales de campo en base a los aforos de los diferentes años y tipos.

Figura 15 Introducción de información directa a los arcos a partir de aforos



Fuente: Elaboración propia.

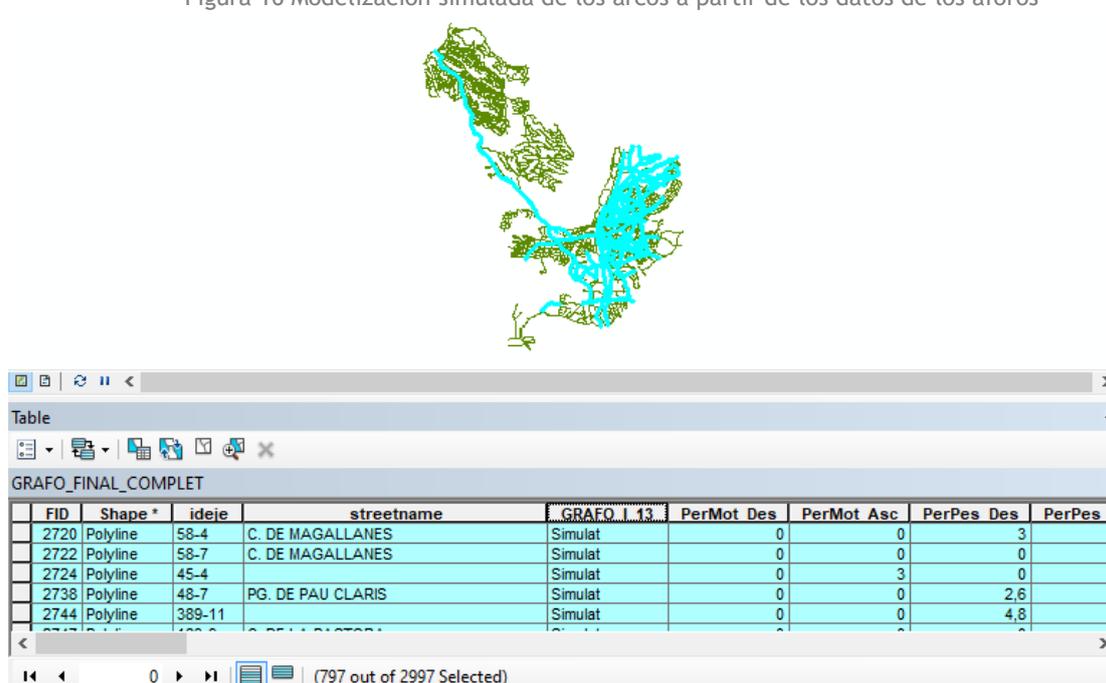
7.4. Extrapolación de datos a arcos sin datos

A partir de la incorporación de los datos, y siguiendo las directrices de la tutorización técnica, se consigue un aumento significativo de los datos en el grafo para los campos que se han decidido modelizar (HPM, HPT, IML, IMD, PerMot y PerPes). Y es que, mediante la prolongación de los datos de los 235 arcos a los arcos consecuentes, siempre y cuando sean del mismo tramo o calle, se genera un aumento de 572 arcos con información simulada. Por lo tanto, se obtiene un total de 797 arcos con información de tráfico, de los cuales 235 (7,8%) son a partir de los aforos y 572 (19%) a partir de la prolongación de los datos mediante el código de calle y las características del viario.

Cabe destacar que, pese a la prolongación de los datos, también se comprueban uno a uno los arcos y se categorizan, mediante ND (no datos directos) o NC (no circulación),

lo que establece finalmente que un 26,5 % del grafo tiene datos de tráfico, un 9,6% es no circulable y un 63,7% no tiene datos actualmente

Figura 16 Modelización simulada de los arcos a partir de los datos de los aforos



Fuente: Elaboración propia.

7.5. Modelización resultante de los campos HPM, HPT, IML, IMD, PerMot y PerPes

Mediante cartografía se generan los resultados de los campos decididos a modelar, obteniendo de esta manera las características territoriales de cada uno de los campos y observando de esta manera cómo se distribuye la movilidad generada en el municipio.

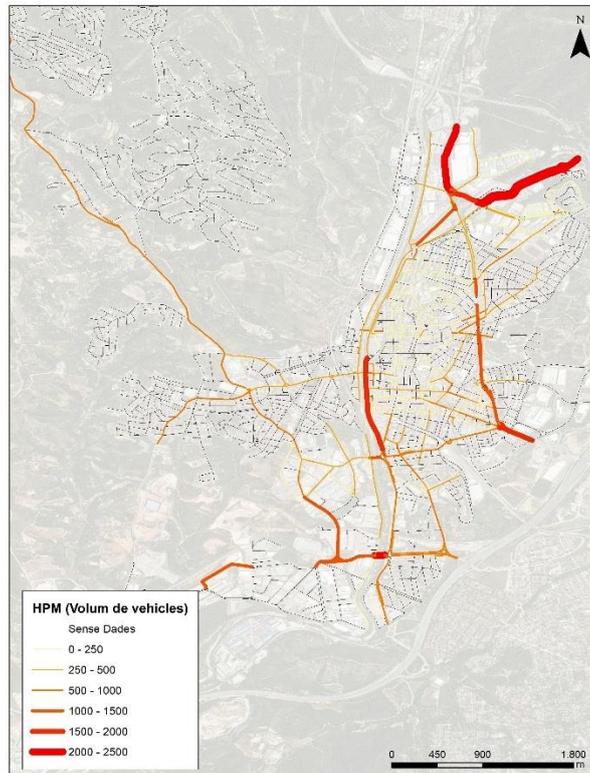
7.5.1. Modelización del campo de vehículos en hora punta matinal (HPM)

La hora punta matinal (HPM), muestra un importante volumen de vehículos en las arterias principales del municipio, siendo principalmente las vías de acceso y salida al municipio las vías con más vehículos (C-1413a y BP1503). Esto caracteriza y muestra una dependencia plena del vehículo privado, ya que en muchos tramos puede haber un volumen de entre 2000 y 2500 vehículos, propio de la suburbanización.

También se observa un importante volumen de vehículos en las vías de acceso a las urbanizaciones al noroeste del municipio (Camí a Ullastrell), así como en las entradas a los principales polígonos industriales del municipio, tanto el norte cómo sur, siendo el polígono norte el que experimenta mayor número de vehículos.

En el centro municipal también en hora punta matinal se experimenta un importante volumen de vehículos, entre los 1500 y 2.000 vehículos en hpm, generando también una importante movilidad en el centro municipal.

Figura 17 Modelización de Hora Punta Marinal (HPM)



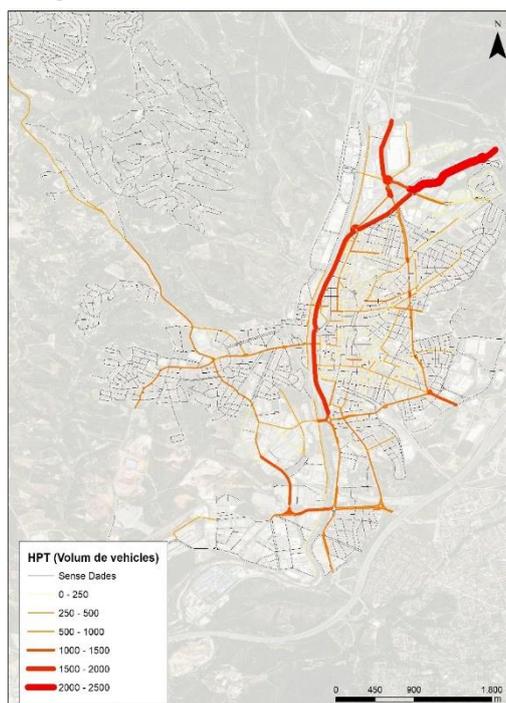
Fuente: Elaboración propia.

7.5.2. Modelización del campo de vehículos en hora punta de tarde (HPT)

En hora punta tarde, se observa un cambio en la tendencia en la movilidad generada respecto a la hora punta matinal, donde en hpt se observa una mayor aglomeración de vehículos en la arteria principal del municipio, generando un continuo volumen de vehículos en hpt superior a los 2000 vehículos.

De igual manera los polígonos industriales generan una gran movilidad de vehículos, pese a que el polígono sur pierde vehículos en relación con la hora punta matinal, también se observa una descongestión del centro municipal, así como una movilidad semblante a la hpm en las urbanizaciones dispersas del municipio.

Figura 18 Modelización de Hora Punta Tarde (HPT)



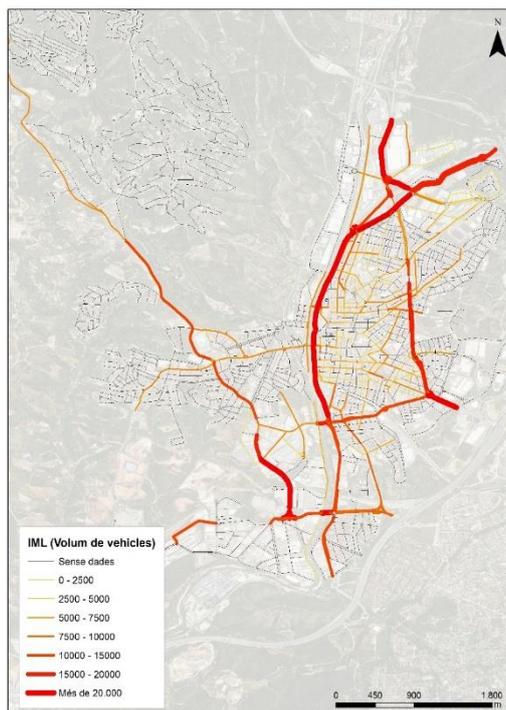
Fuente: Elaboración propia.

7.5.3. Modelización de la intensidad media laborable (IML)

La intensidad media laborable muestra el volumen de vehículos total laborable observando, en general, la capacidad de las vías para soportar el gran volumen de vehículos. La vía que en general absorbe más volumen de vehículos es la C-1413a, arteria principal del municipio, con unos valores superiores a los 20.000 vehículos o la BP-1503, el Camí a Ullastrell (entrada a las urbanizaciones dispersas) y la Avinguda Castellbisbal (polígono industrial sur). Cabe destacar también la gran congestión y presencia de vehículos en la zona norte municipal, punto de unión entre la C-1413a y la BP-1503.

El centro urbano muestra un volumen inferior de vehículos en relación con las grandes arterias urbanas, sin embargo, presenta una imponente abundancia de vías que abarcan un volumen de vehículos entre 5 y 10.000, y que, debido a las características del viario en dicha ubicación del municipio (vías de un sentido de circulación, vías estrechas etc.), genera consecuentemente una gran congestión del tráfico municipal, puesto que un viario de dichas características con un importante volumen de vehículos, congestiona el centro urbano repercutiendo negativamente en el mismo y en todas las actividades derivadas en este.

Figura 19 Modelización de Intensidad Media Laborable (IML)



Fuente: Elaboración propia.

7.5.4. Modelización de la intensidad media diaria (IMD)

No se obtiene un mapa de IMD puesto que experimenta una tendencia de la movilidad igual a la de IML. Así pues, la tutorización técnica decide establecer que el tráfico medio diario es un 30% inferior al de IML y, por tanto, generar un patrón de movilidad igual al de IML en cuanto a la movilidad generada.

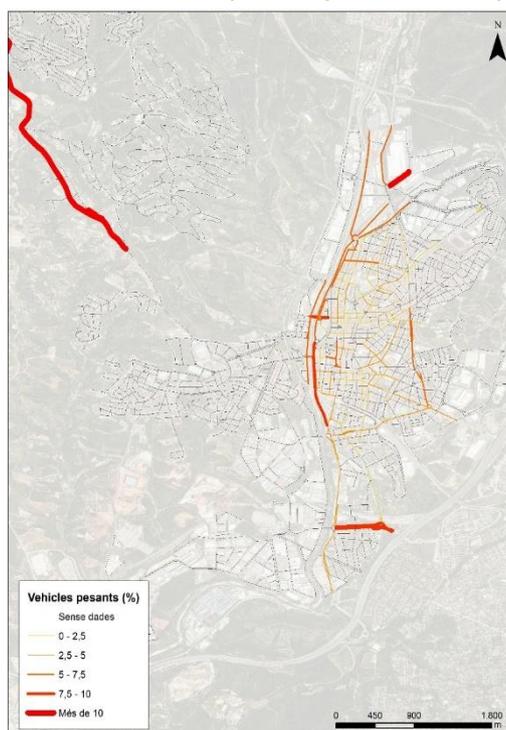
La intensidad media diaria, es un parámetro de gran dificultad de obtención, puesto que demanda de aforos automáticos que contabilicen la semana completa de lunes a domingo las 24h del día, así como una presencia de estos en diferentes estaciones, lo que genera un gran aumento de costes y control de estos.

Si bien es cierto, la presencia de aforos automáticos y la colocación de estos todos los días de la semana enriquecería el análisis de la movilidad generada y consecuentemente se generaría una importante base analítica para la posterior diagnosis y planteamiento de propuestas futuras óptimas, que dinamicen y encaucen la movilidad generada de los municipios hacia una sostenibilidad y/o mejor funcionamiento.

7.5.5. Modelización del porcentaje de vehículos pesados (PerPes)

El porcentaje de vehículos pesados en vías va en relación directa a la presencia de los polígonos industriales o urbanizaciones. En el Camí a Ullastrell y en el polígono industrial norte, por ejemplo, se genera más de un 10% de vehículos pesados del total. También la C-1313a muestra valores entorno al 8%, puesto que son vías de paso que conectan los polos industriales con la c-16.

Figura 20 Modelización del porcentaje de vehículos pesados (PerPes)

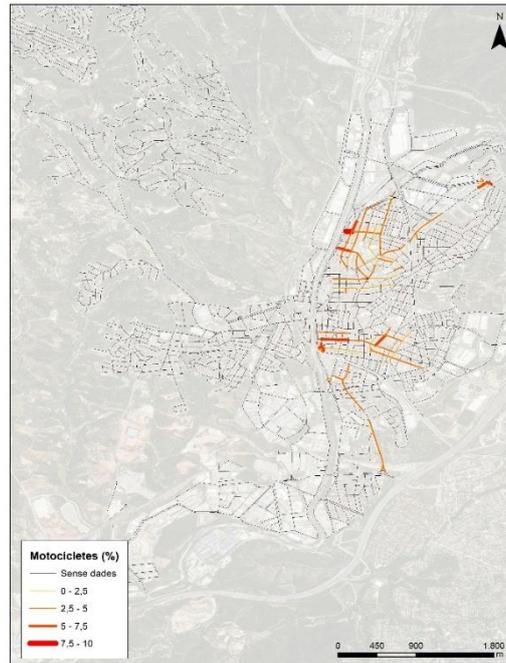


Fuente: Elaboración propia.

7.5.6. Modelización del porcentaje de motos (PerMot)

Las motocicletas tienen una escasa presencia en el municipio en base a la modelización generada, debido a que existe una gran problemática con su contabilización, puesto que los aforos automáticos no las contabilizan correctamente y los manuales tampoco debido a su dificultad de conteo. Pese a esto, se observa una mayor presencia de motocicletas en vías del centro urbano con valores entre el 5 y 10% mostrando una gran dependencia del coche y un escaso uso de la motocicleta a nivel municipal.

Figura 21 Modelización del porcentaje de motocicletas (PerMot)



Fuente: Elaboración propia.

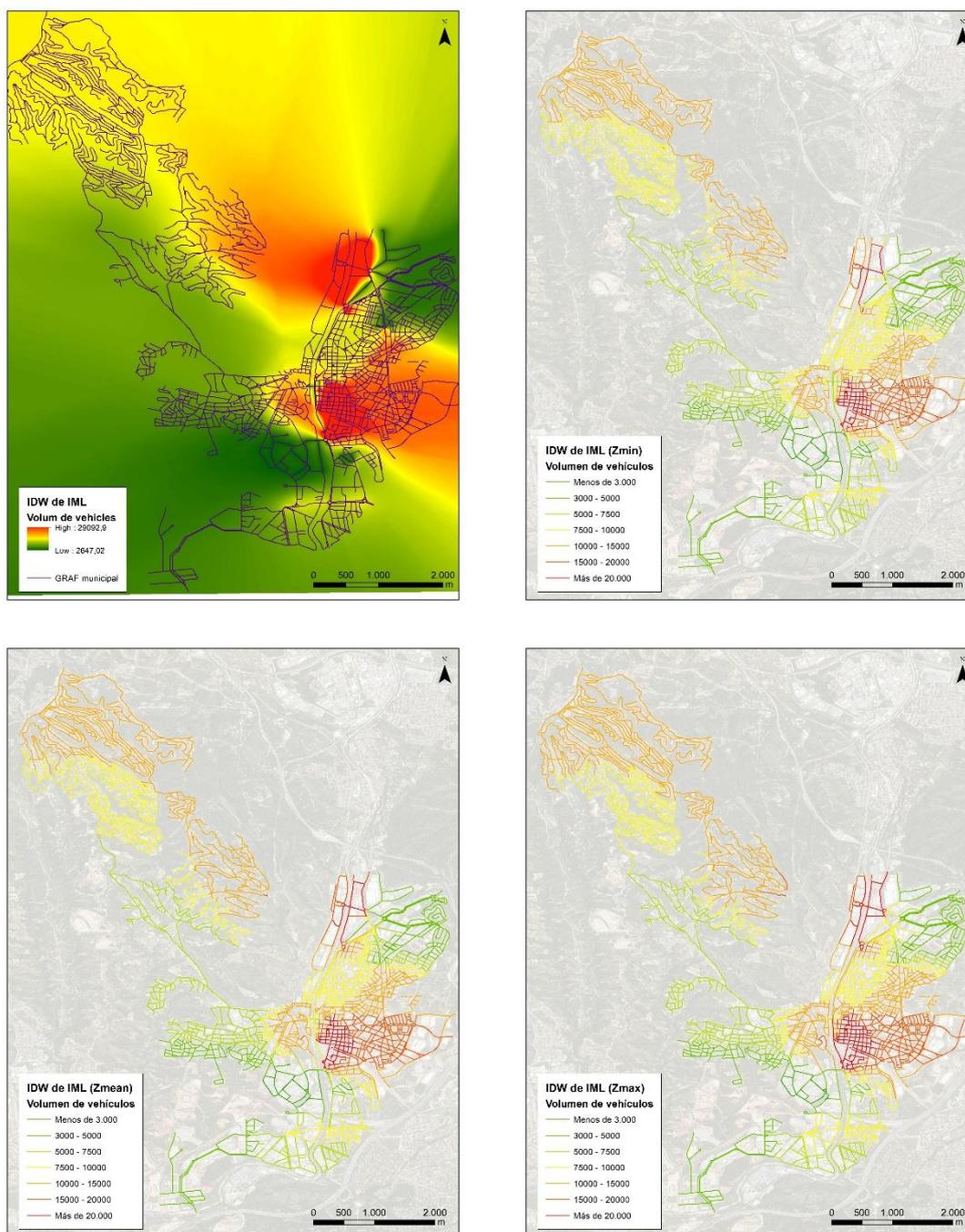
7.6. Interpolate Distance Weighting (IDW)

La distancia media inversa genera la modelización total de la IML del municipio para todo el grafo, dotando al mismo de una modelización completa a partir de los datos directos de los aforos. Si se tiene en cuenta la variable IML, esta muestra un patrón de movilidad con gran volumen de vehículos en el centro de la ciudad y las vías principales, así como en los polígonos industriales. Por el contrario, las urbanizaciones quedan a un nivel inferior de vehículos tanto por las características de urbanización, cómo la presencia de servicios, y/o densidad de población.

Pese a la obtención de valores de simulación en tres escenarios distintos, volumen máximo, mínimo y medio, el patrón de volumen de vehículos no varía de una manera notoria en su distribución, sino más bien se generan pequeñas modificaciones en las vías principales.

El IDW dota al proyecto de una modelización y simulación completa del viario municipal mediante SIG, lo que genera, a diferencia de las modelizaciones previas, una perspectiva global del municipio, sin una limitación a los aforos como generan las modelizaciones desarrolladas anteriormente.

Figura 22 IDW generado a partir de IML y absorción de IDW a los arcos para valores Zmin, Zmean y Zmax



Fuente: Elaboración propia.

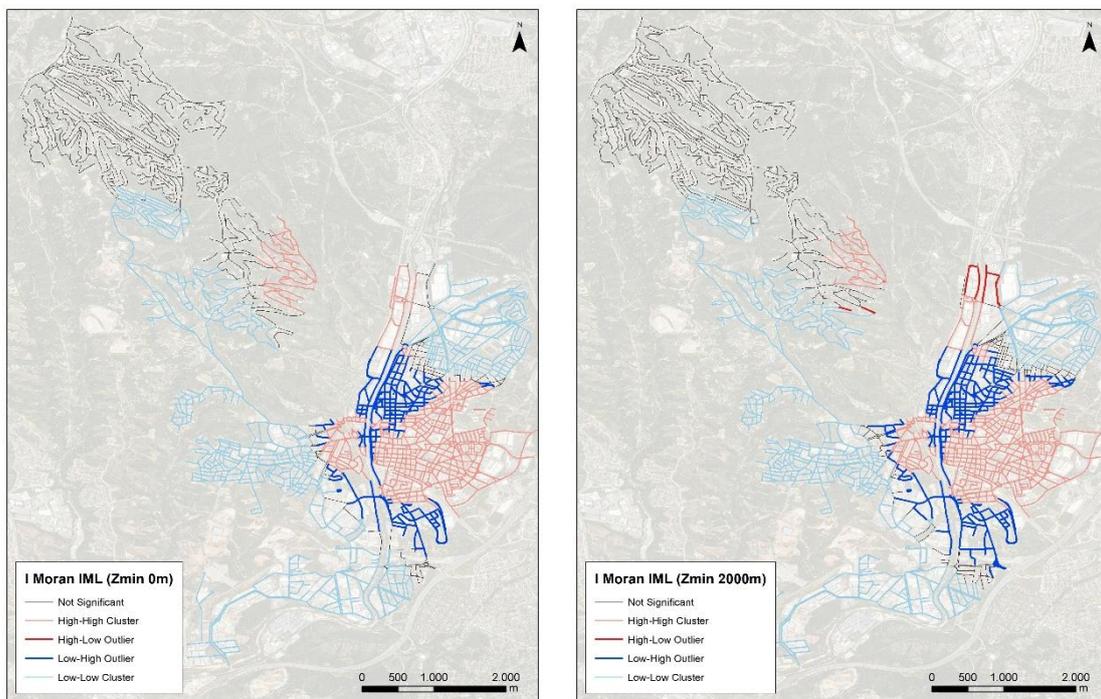
7.7. Índice de Autocorrelación Espacial Moran

El índice Moran muestra la autocorrelación espacial de los datos obtenidos de IML mediante IDW, y, por tanto, los datos de la modelización IML municipal. Pese a realizar el índice para los 3 escenarios de IDW, Zmin, Zmax y Zmean, no se observan diferencias notables entre los 3 escenarios posibles en relación con la autocorrelación espacial,

sino más bien, las diferencias se observan entre los valores de distancia realizados 0 y 2000, dando mayor presencia de autocorrelación High-Low así, como diferencias no significativas.

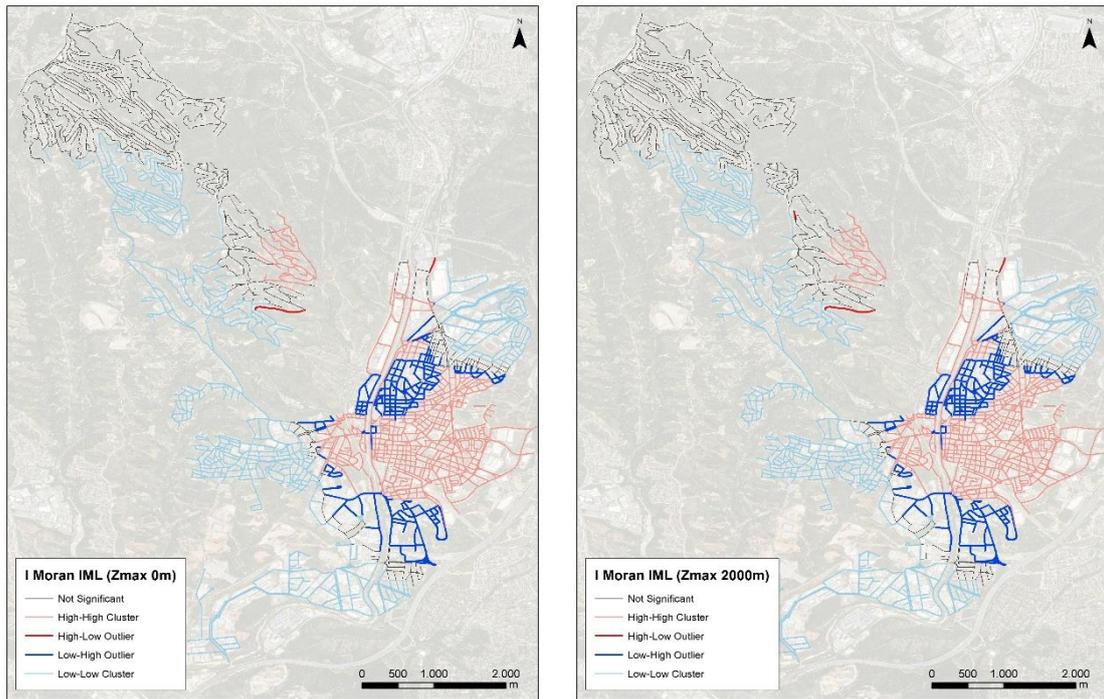
En cuanto a los valores de autocorrelación espacial, se observa que en el centro urbano se genera una autocorrelación alta-alta y baja-alta con escasa presencia de valores no significativos. Por el contrario, el polígono industrial sur y norte experimentan una autocorrelación baja-baja además de valores no significativos. Las urbanizaciones experimentan también una autocorrelación baja-baja o no significativa, generando un patrón de autocorrelación espacial muy notable en cuanto a los valores de simulación de IML.

Figura 23 Índice Moran a partir del IDW de IML para los valores de Zmin a 0 y 2000m de distancia



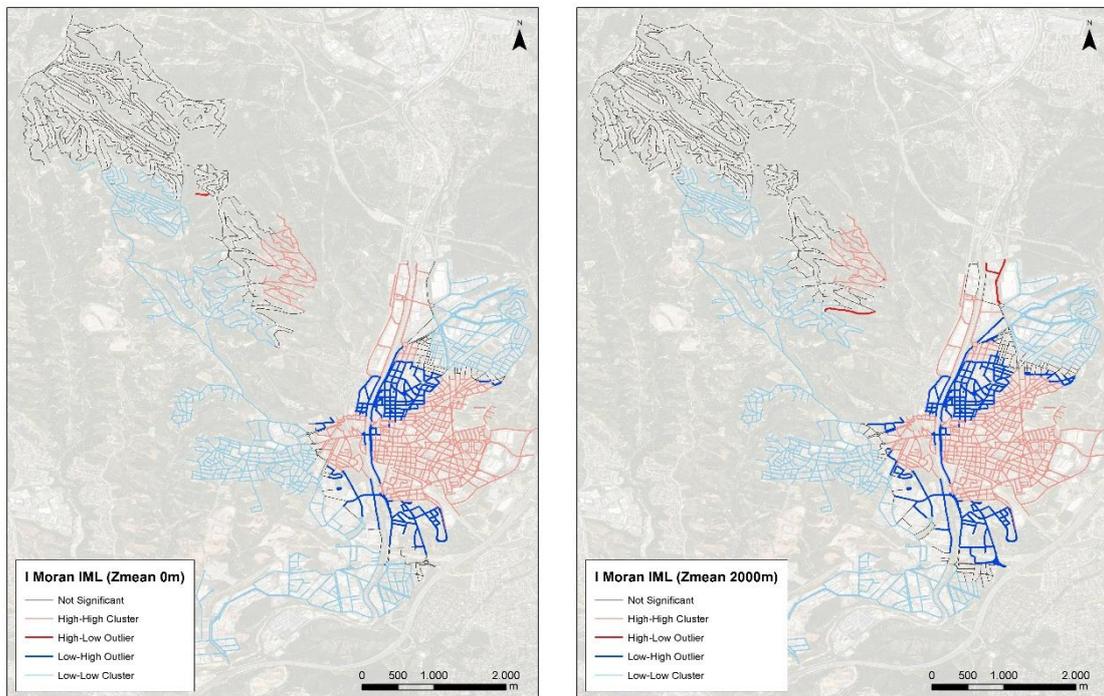
Fuente: Elaboración propia.

Figura 24 Índice Moran a partir del IDW de IML para los valores de Zmean a 0 y 2000m de distancia



Fuente: Elaboración propia.

Figura 25 Índice Moran a partir del IDW de IML para los valores de Zmax a 0 y 2000m de distancia



Fuente: Elaboración propia.

8. IMPLEMENTACIÓN

Pese a que se trata de un proyecto enfocado al análisis, y no a una línea de programación donde esta experimenta una implementación clara en el marco institucional, el presente proyecto sí que experimenta una implementación en el marco institucional (pese a su carácter analítico), ya que dota de una implementación para el Ayuntamiento de Rubí (cliente) y no para Intra S.L. (tutorización técnica, empresa).

En relación con el contexto de Intra, no tiene una implementación como proyecto, sino más bien puede ser una guía para futuros proyectos, sobre todo en la implementación de la simulación de tráfico y en la automatización de entrada de datos con las metodologías sugeridas, pero no implementadas.

En cambio, para el cliente, en este caso el Ayuntamiento de Rubí, sí que experimenta una implementación del proyecto, puesto que la base SIG surgida y trabajada, que contiene una actualización del viario, así como una modelización de tráfico a partir de los aforos, se convierte en una herramienta de consulta y análisis para la administración. Es a través de esta base que el Ayuntamiento podrá localizar zonas de conflicto por sobrecarga de movilidad y a su vez de desactualización del tráfico. Así pues, gracias a los diferentes campos establecidos en la base del grafo, se podrán analizar y diagnosticar diferentes problemáticas. Además de esto, a día de hoy el Ayuntamiento dispone de un conjunto de mapas que tienen una implementación plena, siendo un soporte, juntamente con el plan de movilidad urbana sostenible vigente, para fases futuras de diagnosis y prognosis de la movilidad. Por tanto, esto posibilita un importante análisis en las actuaciones que fuesen necesarias en el contexto de la movilidad de Rubí en beneficio de la movilidad o la voluntad política del momento.

9. CONCLUSIONES

A modo de conclusiones genéricas del proyecto, cabe destacar positivamente la resolución del objetivo general del proyecto, generando un análisis de la movilidad y una modelización de ésta en el municipio de Rubí.

Personalmente, el proceso de aprendizaje resultante del presente proyecto, y en general de las diferentes fases de consolidación del máster, han sido fructíferas pese a las grandes externalidades negativas existentes en el periodo de desarrollo del proyecto. Todo este aprendizaje ha establecido una base teórica y práctica de gran funcionalidad para el desarrollo en el campo de la geoinformación y en el análisis y uso de sistemas de geoinformación. Sobre todo, el presente proyecto final de máster ha servido cómo una fase de ejecución y consolidación de las bases establecidas a lo largo del periodo formativo, bases y formación que se debe reafirmar y expandir en el futuro. Al igual que el proceso de formación, que siempre se puede mejorar pese a las conclusiones positivas, por parte del autor cabe destacar una serie de conclusiones y críticas constructivas para una mejor realización y creación del análisis que se quiere desarrollar, así como de las metodologías de implementación. Todo esto, repercutiría en la mejora del mismo y, consecuentemente, generaría una ampliación de la formación académica y personal, que repercute positivamente en ambas partes (empresa y empleado) en base a la reducción de costes debido a la reducción del tiempo por la automatización de procesos.

Debido a que la actualización del grafo no permite la automatización de actualización, sí que se puede automatizar la implementación de datos y la transferencia de datos de los aforos, puesto que las capacidades del programario lo permiten. La empresa debe dar un paso adelante y automatizar dichas entradas de datos, lo cual permitiría una reducción de costes. La implementación de esta automatización podría ser con la metodología sugerida en el proyecto, u con otras que se crean convenientes, mediante un estandarte (plantilla de entrada de datos) que le permita adaptarse a todo tipo de datos de tráfico y evitar así la entrada manual. Sobre todo, en el cálculo de intensidades, esto podría ser de gran utilidad puesto que podría contar con diferentes ratios i formulas en una base de datos que permitan la obtención de dichos datos necesarios y su posterior incorporación a las bases en diferentes formatos. No hay que olvidar la importancia de la autocorrelación espacial para el análisis de la movilidad generada, una autocorrelación que permite observar las características espaciales del tráfico y su modelización, hecho de gran importancia para su interpretación en el territorio y observar la polarización existente.

De la misma manera, la implementación de la modelización también debe automatizarse, ya sea como el sugerido u otros que se crean convenientes, siempre y cuando los datos lo permitan. Por lo tanto, primero se deben adecuar los datos para las posteriores modelizaciones, dando lugar a una reducción de costes plena.

En cuanto a la obtención de resultados, se puede concluir que es óptima y que se basa, en su mayoría, en la generación de cartografía temática dentro de los objetivos marcados y con una gran capacidad analítica. Todos estos resultados muestran la gran importancia del análisis de los datos de movilidad, ya que permiten una diagnosis de esta y unas propuestas e incidencias en el territorio de gran utilidad para la seguridad de las ciudades.

A todo esto, se puede concluir que el proyecto se ha resuelto con gran éxito desarrollándose uno mismo profesionalmente al tener que resolver las dificultades técnicas propias de un proyecto real. Todo esto, pero, no hubiera sido posible sin la tutorización técnica y académica del proyecto, principalmente por su implicación y seguimiento dentro de las posibilidades existentes en un contexto externo adverso y con grandes externalidades negativas.

10. BIBLIOGRAFÍA Y WEBGRAFÍA

10.1. Webgrafía

- ICGC <https://www.icgc.cat/Descarregues> [mayo 2020].
- IGN <https://www.ign.es/web/ign/portal> [mayo 2020].
- MAPS <https://www.google.es/maps/?hl=es> [mayo 2020].
- AJUNTAMENT DE RUBÍ <https://www.rubi.cat/> [mayo 2020].
- INTRA S.L <http://www.intrasl.net/> [mayo 2020].
- ARCGIS <https://desktop.arcgis.com> [mayo 2020].
- NETWORK ANALYSIS
<https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/extensions/network-analyst>
<https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-network-analyst/overview>
[mayo 2020].
- MASTER GIS -NETWORK ANALYSIS-
<https://www.mastergis.com/product/analisis-de-redes-network-analyst/> [mayo 2020].
- DGT <http://www.dgt.es/es/> [junio 2020].
- MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA
<https://www.mitma.gob.es/> [junio 2020].
- GEODA <https://geodacenter.github.io/download.html> [junio 2020].
- CEPAL (NNUU)
<https://dds.cepal.org/infancia/guia-para-estimar-la-pobreza-infantil/guia-contenido-442.php>
[junio 2020].

10.2. Bibliografía

- ACEVEDO, Jorge; BOCAREJO, Juan Pablo. Editorial del Dossier: Movilidad sostenible: una construcción multidisciplinaria. Revista de Ingeniería, 2009.
- APILLAGA, Lucia. Aplicación de herramientas SIG para el estudio del transporte a demanda en la comarca del Maresme, Barcelona : Intra, S.L. 2016.
- BOILE, Maria P. Intermodal transportation network analysis-A GIS application. En 2000 10th Mediterranean Electrotechnical Conference. Information Technology and Electrotechnology for the Mediterranean Countries. Proceedings. MeleCon 2000 (Cat. No. 00CH37099). IEEE, 2000.

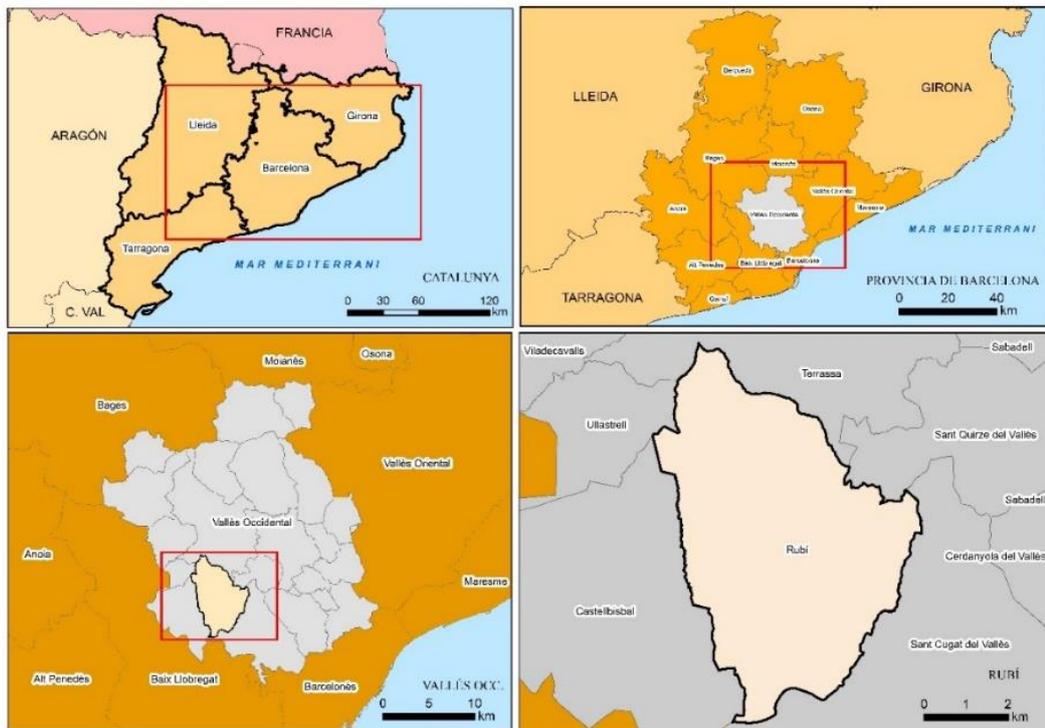
- DE GENNARO, Michele, et al. GIS-driven analysis of e-mobility in urban areas: An evaluation of the impact on the electric energy grid. *Applied Energy*, 2014.
- ESTRUCH, Pau. Creació d'una xarxa de rutes ciclista : Topologia, visualització i càlcul dels camins òptims. *Cyclocat*. 2019.
- RAMOS, Carlos. Simulación de un modelo microscópico de seguimiento de vehículos. 2017.
- FISCHER, Manfred M. GIS and network analysis. *Spatial Analysis and GeoComputation: Selected Essays*, 2006.
- GALLEGO, JA Gutiérrez, et al. Diseño de un modelo de asignación de viajes con aplicaciones SIG para la gestión de planes de movilidad urbana sostenibles en ciudades medias. *GeoFocus. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, 2013.
- HERNÁNDEZ, Diego; WITTER, Regina. Entre la ingeniería y la antropología: hacia un sistema de indicadores integrado sobre transporte público y movilidad. *Revista transporte y territorio*.
- MEZZETTI, Giulio. Los costes temporales de la movilidad de la dispersión urbana, El caso de un municipio de la Región Metropolitana de Barcelona. 2018
- MINISTERIO DE FOMENTO. Guía práctica PMUS para la elaboración e implementación de Planes de Movilidad Urbana Sostenible, 2018.
- MUÑOZ, María de los Angeles Díaz, et al. Propuesta de un sistema de indicadores de sostenibilidad para la movilidad y el transporte urbanos. Aplicación mediante SIG a la ciudad de Alcalá de Henares. *Cuadernos de geografía*, 2007.
- NAGNE, Ajay D.; GAWALI, Bharti W. Transportation network analysis by using Remote Sensing and GIS a review. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 2013.
- PARRA, E. Identificación de los tramos más deficientes de la seguridad pasiva de la red Viaria en Murcia. *Intra.S.L.* 2008.
- PETRENKO, Anastasia, et al. Exploring mobility indoors: an application of sensor-based and GIS systems. *Transactions in GIS*, 2014.
- RUEDA, Carlos DÓMINE. Simulación de tráfico en circuitos urbanos para analizar el efecto de diferentes estilos de conducción (2014).

-SAÉN VALLÈS, L. Aplicación SIG para el análisis de la accidentalidad en Bilbao de. Intra S.L. 2011.

-VIEDMA, Fernando. Creación de un visor web para la consulta del contenido de los Planes Locales de Seguridad Vial de Cataluña de Fernando Viedma. Intra, S.L.2018.

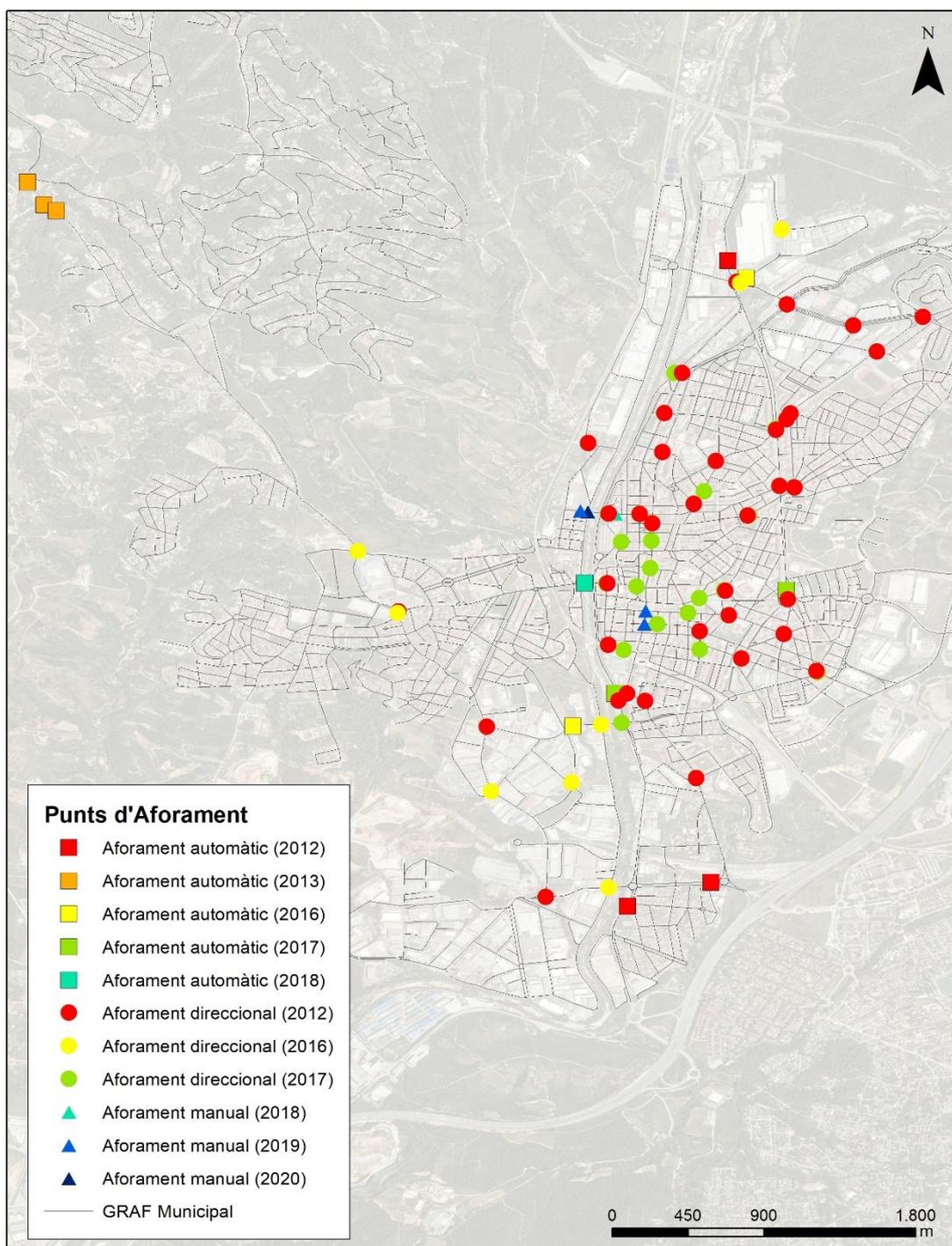
ANNEXOS

Figura 26 Mapa de localización del área de estudio (Municipio de Rubí)



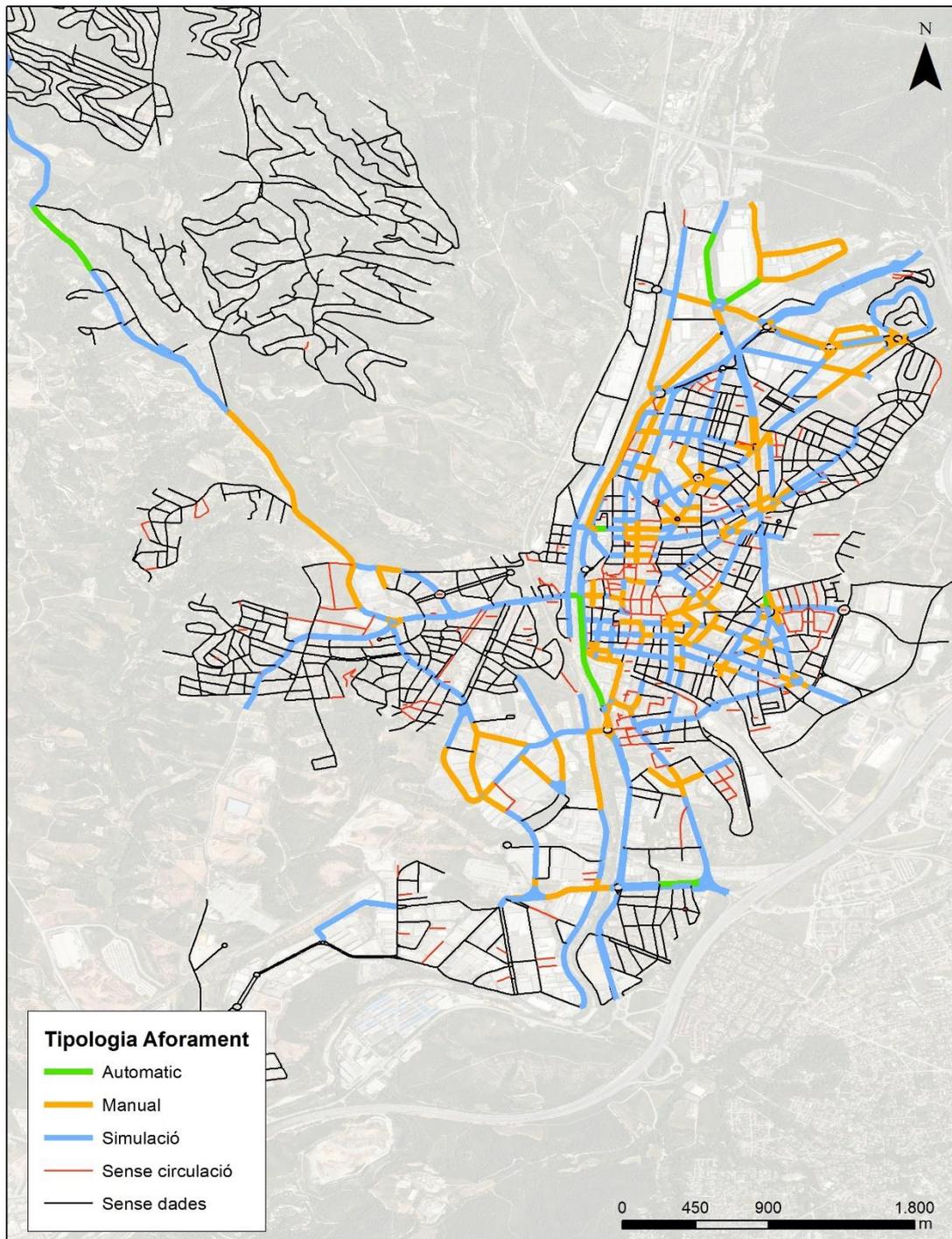
Fuente: Elaboración propia a partir de la base municipal 1:5.000 del ICGC.

Figura 27 Geolocalización de aforos en forma de puntos



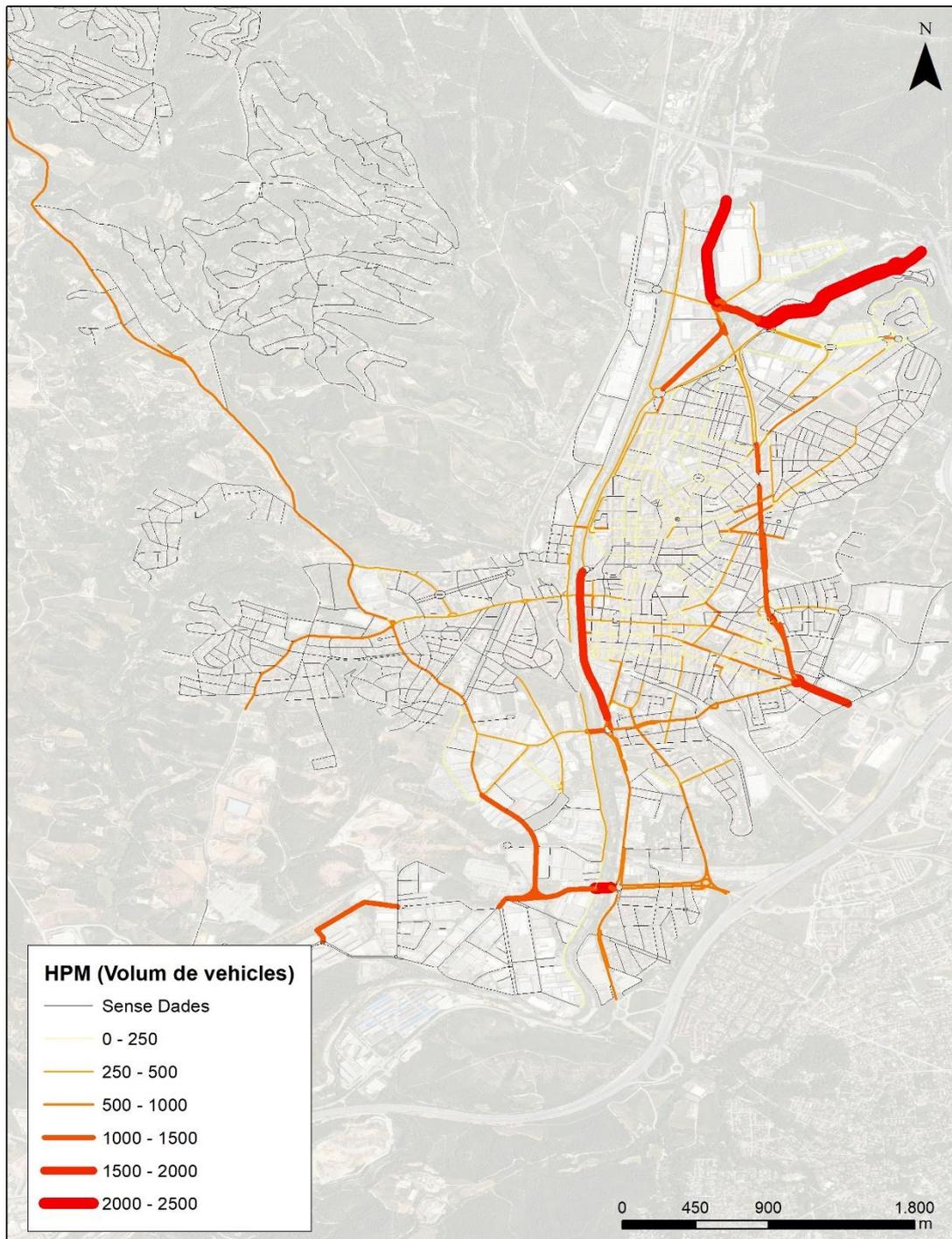
Fuente: Elaboración propia

Figura 28 Afectación del tipo de aforo a los arcos próximos



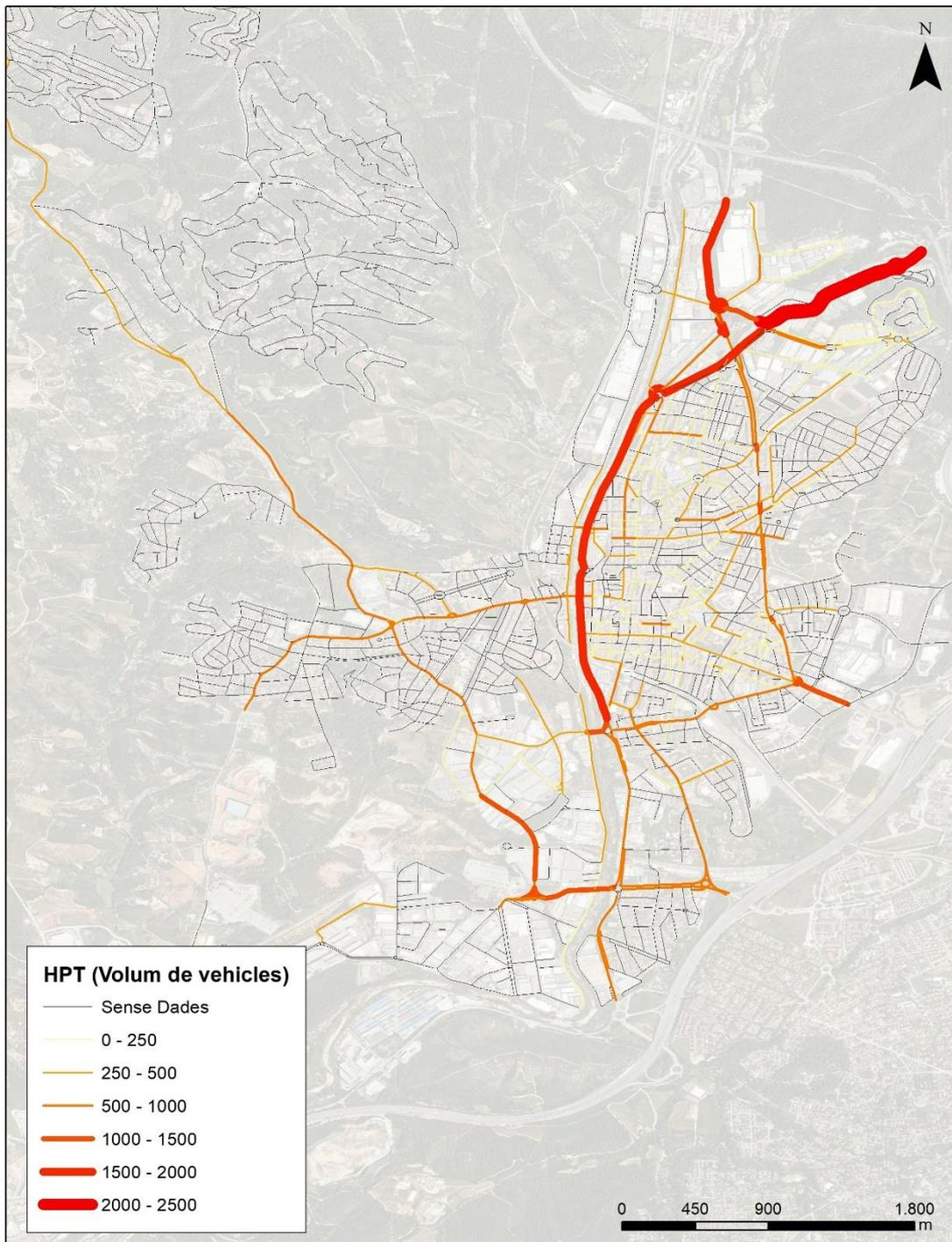
Fuente: Elaboración propia

Figura 29 Modelización de Hora Punta Marinal (HPM)



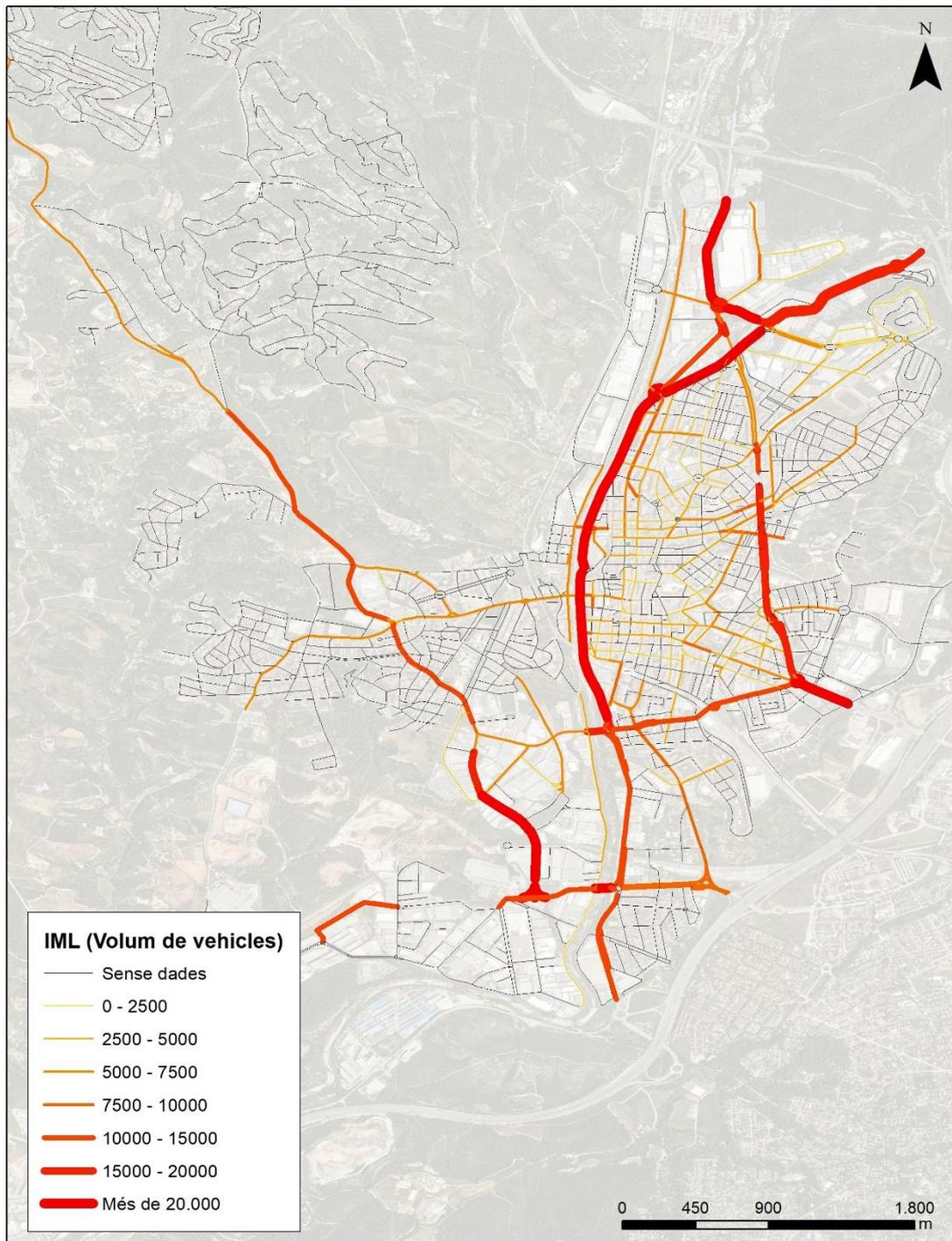
Fuente: Elaboración propia

Figura 30 Modelización de Hora Punta Tarde (HPT)



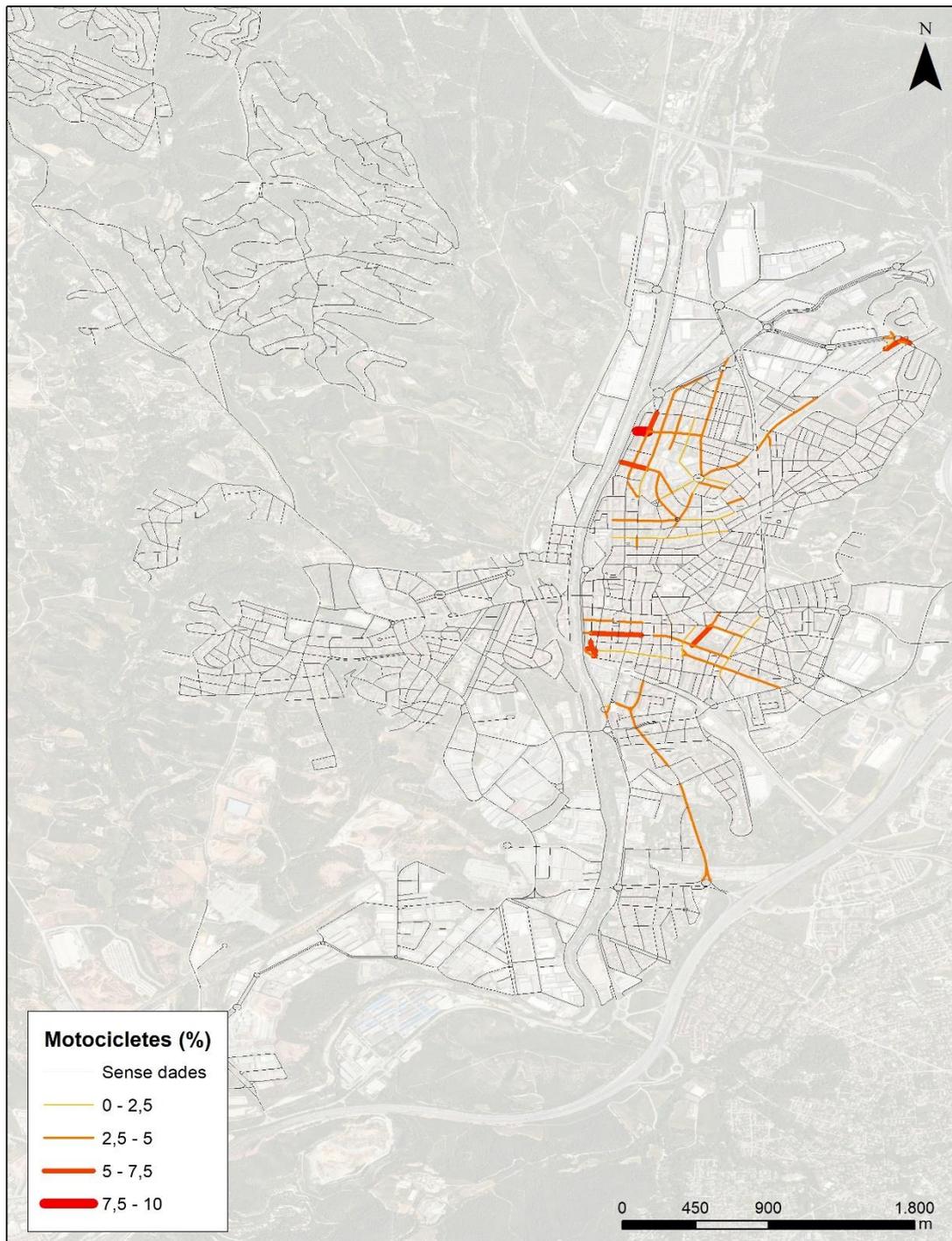
Fuente: Elaboración propia

Figura 31 Modelización de Intensidad Media Laborable (IML)



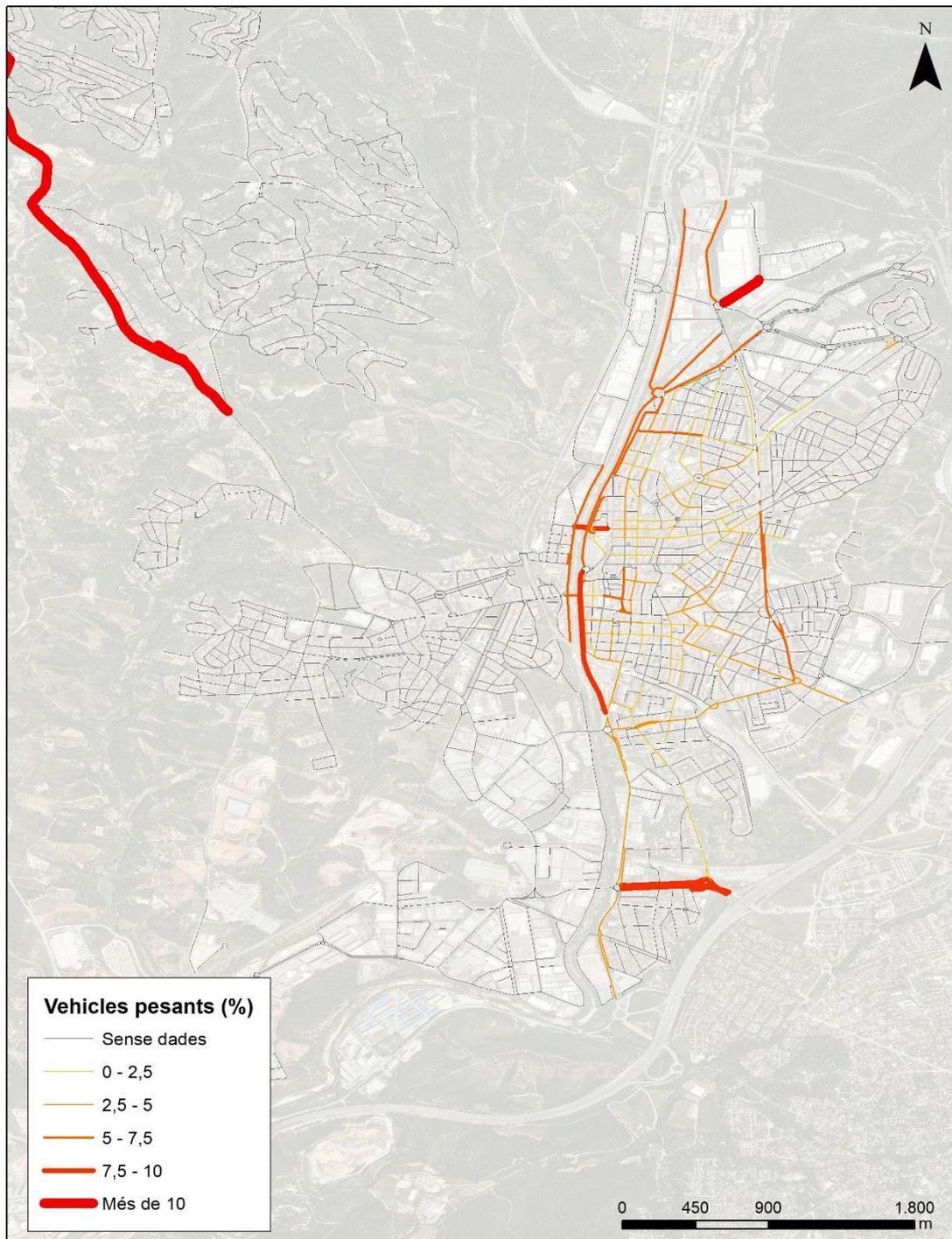
Fuente: Elaboración propia

Figura 32 Modelización del porcentaje de motocicletas (PerMot)



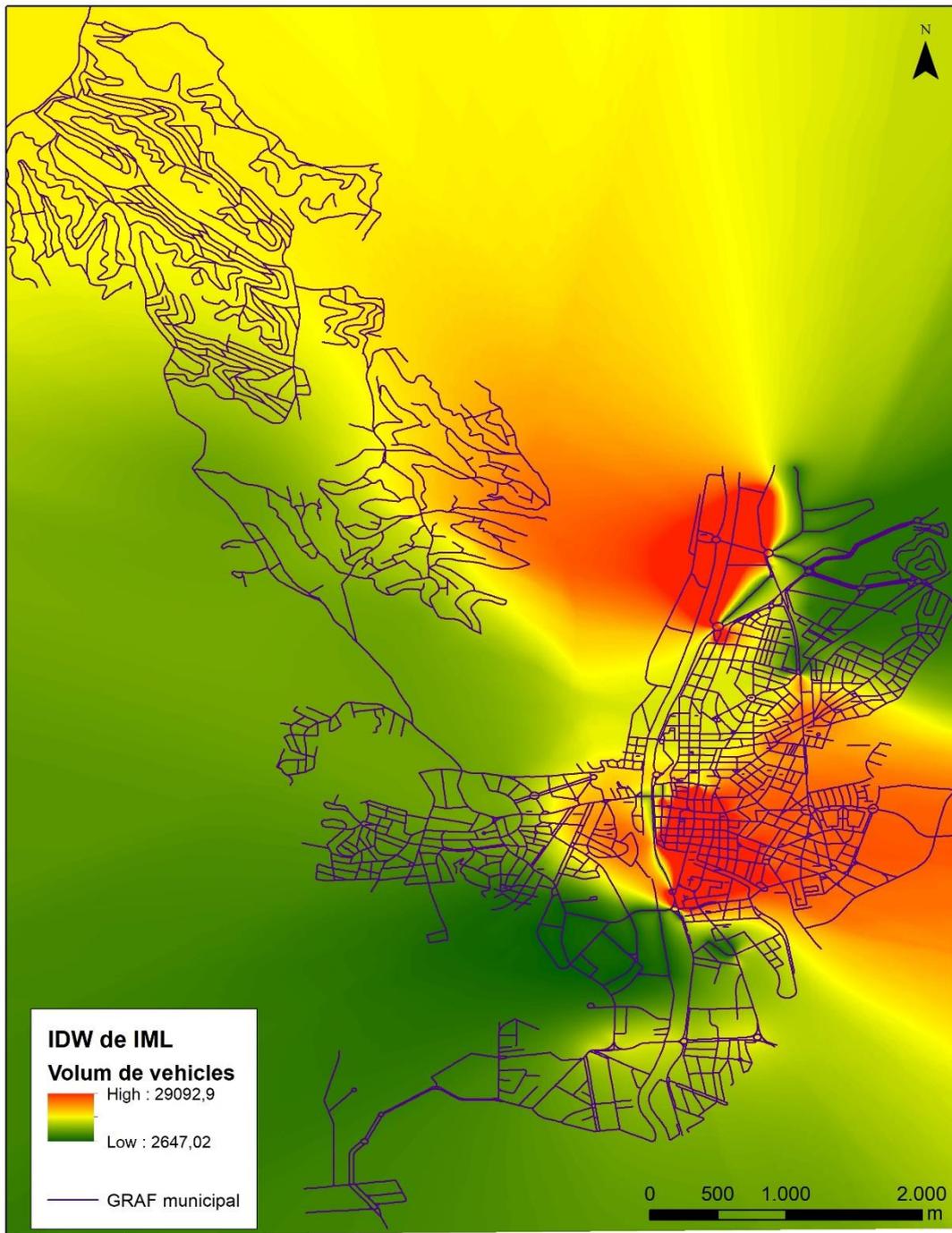
Fuente: Elaboración propia

Figura 33 Modelización del porcentaje de vehículos pesados (PerPes)



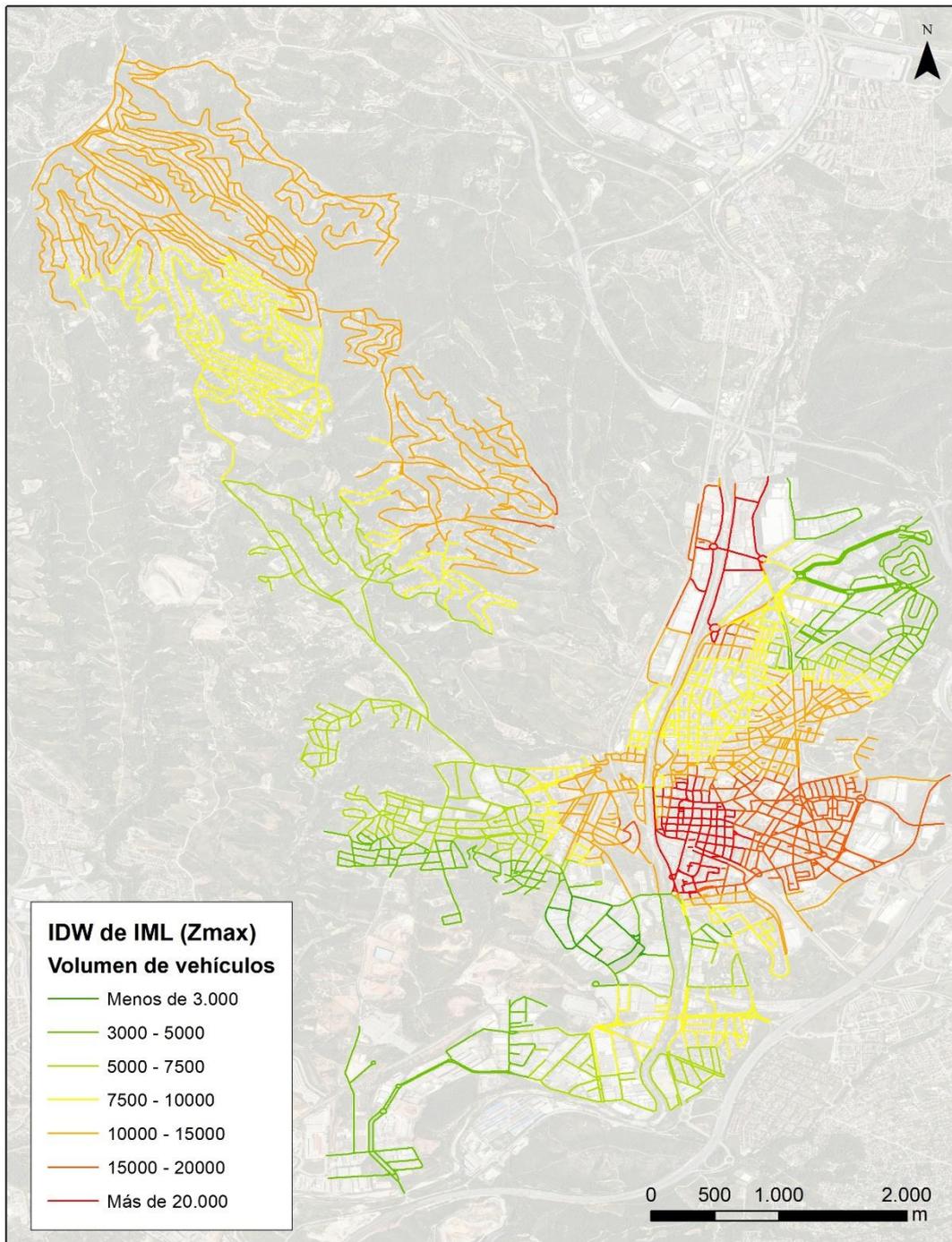
Fuente: Elaboración propia

Figura 34 IDW generado a partir de IML



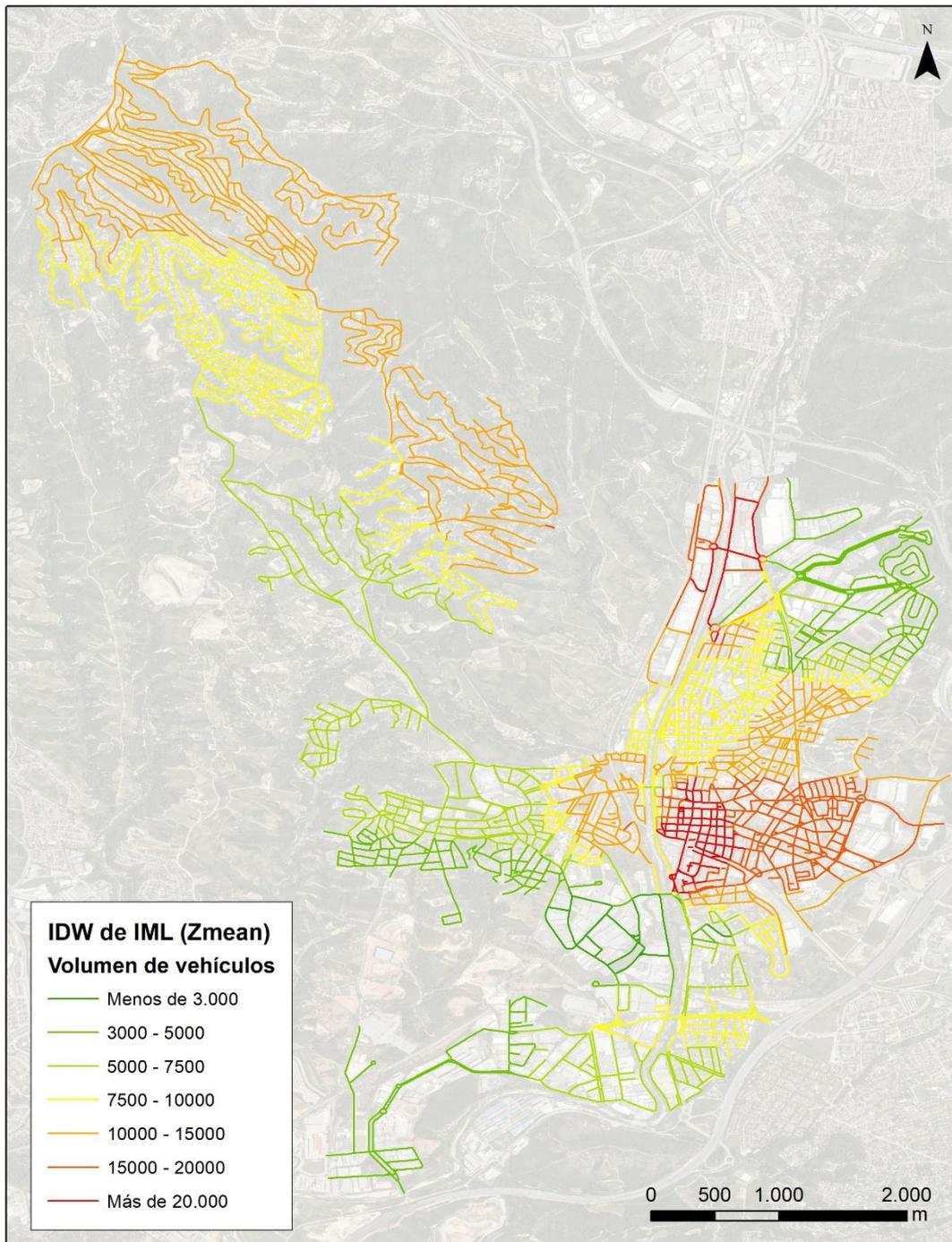
Fuente: Elaboración propia

Figura 35 Absorción de IDW a los arcos para valores Zmax



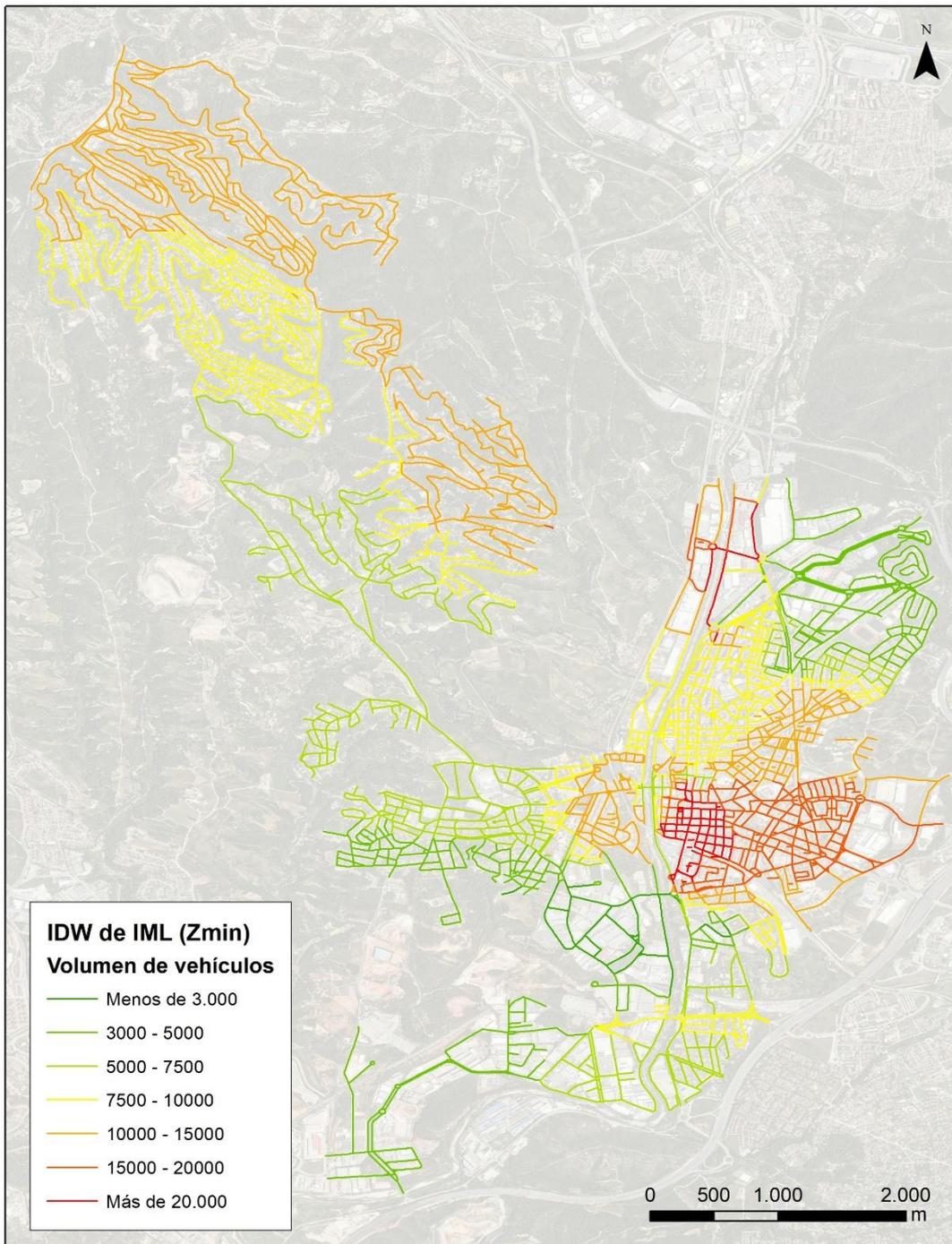
Fuente: Elaboración propia

Figura 36 Absorción de IDW a los arcos para valores Zmean



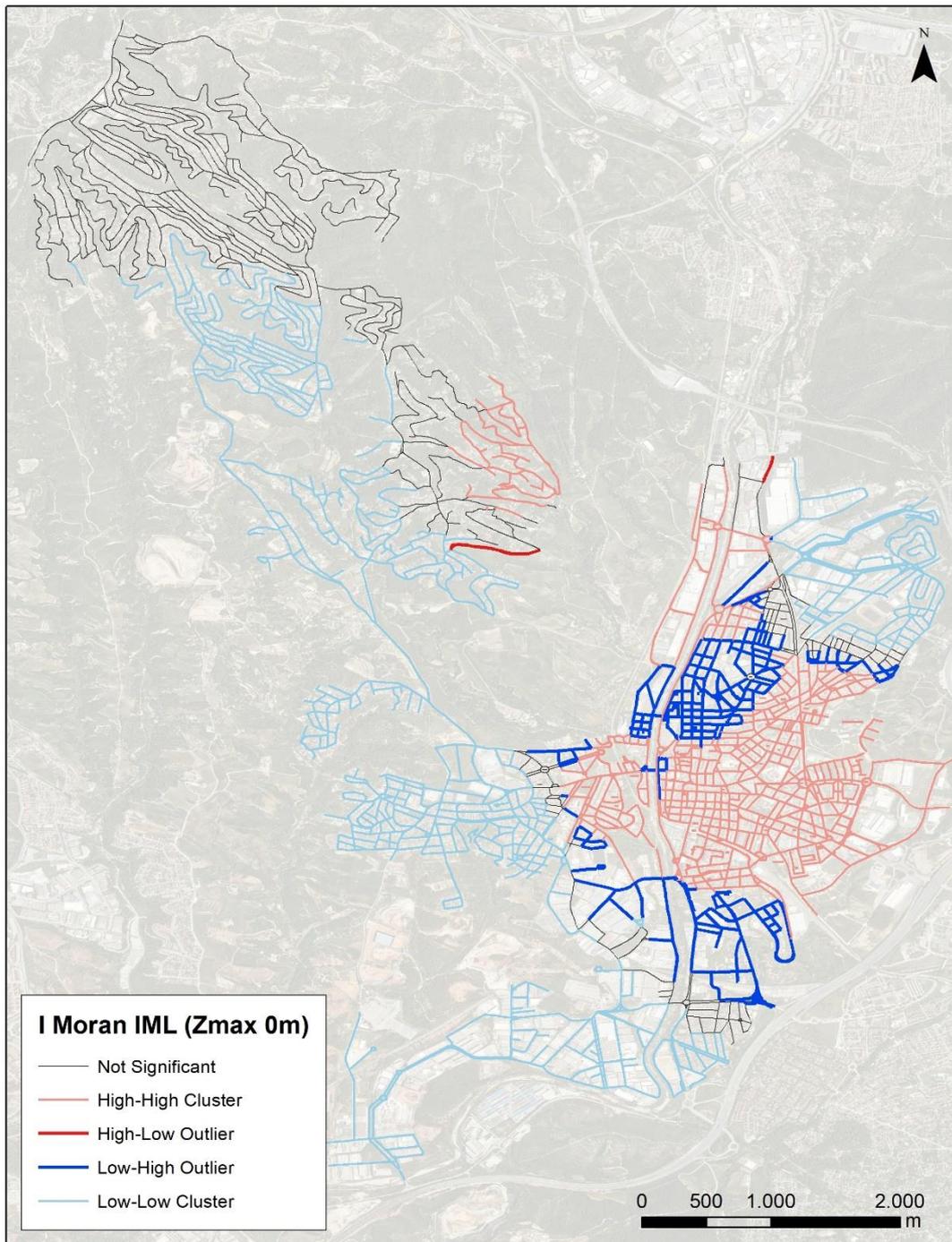
Fuente: Elaboración propia

Figura 37 Absorción de IDW a los arcos para valores Zmin



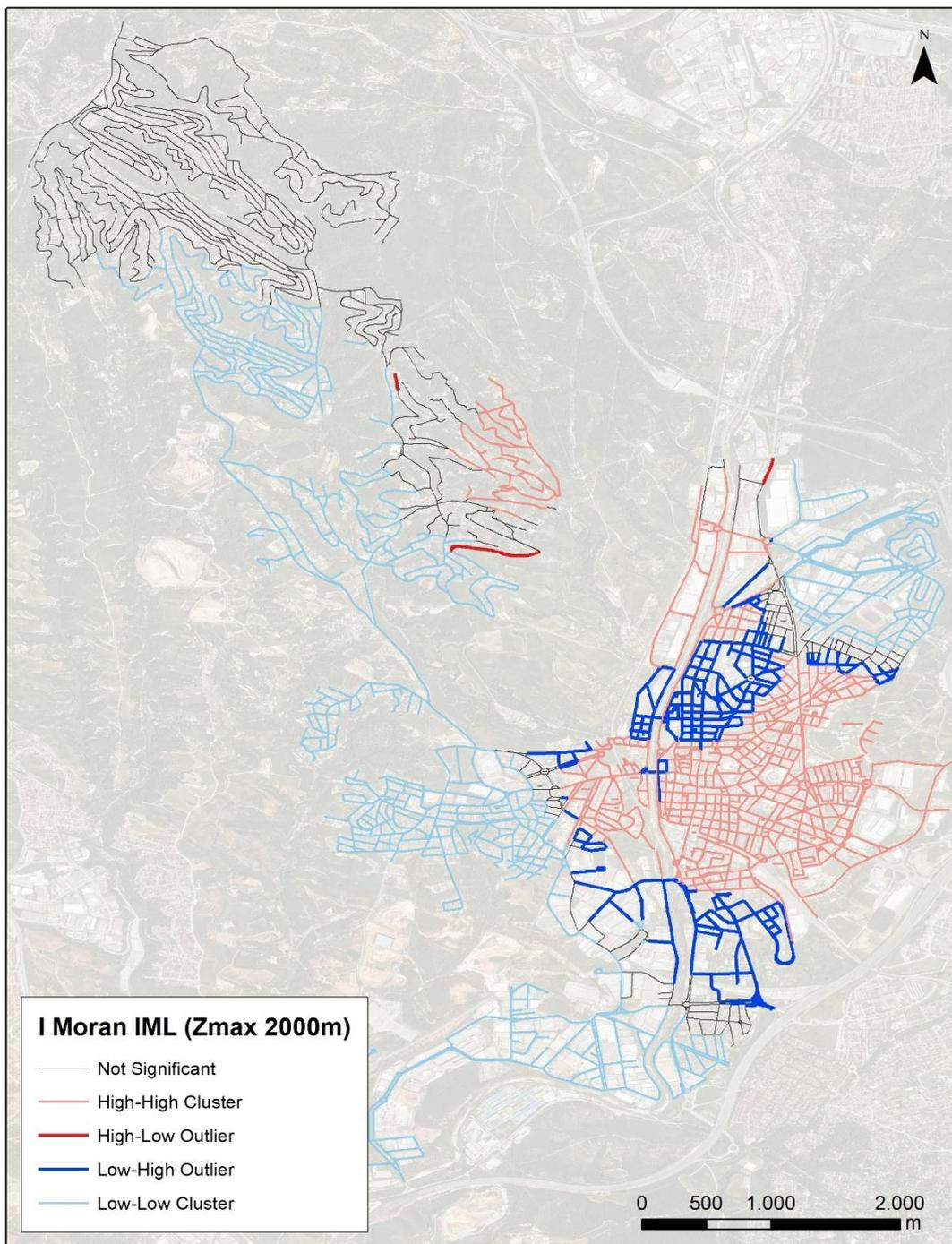
Fuente: Elaboración propia

Figura 38 Índice Moran a partir del IDW de IML para los valores de Zmax a 0m de distancia



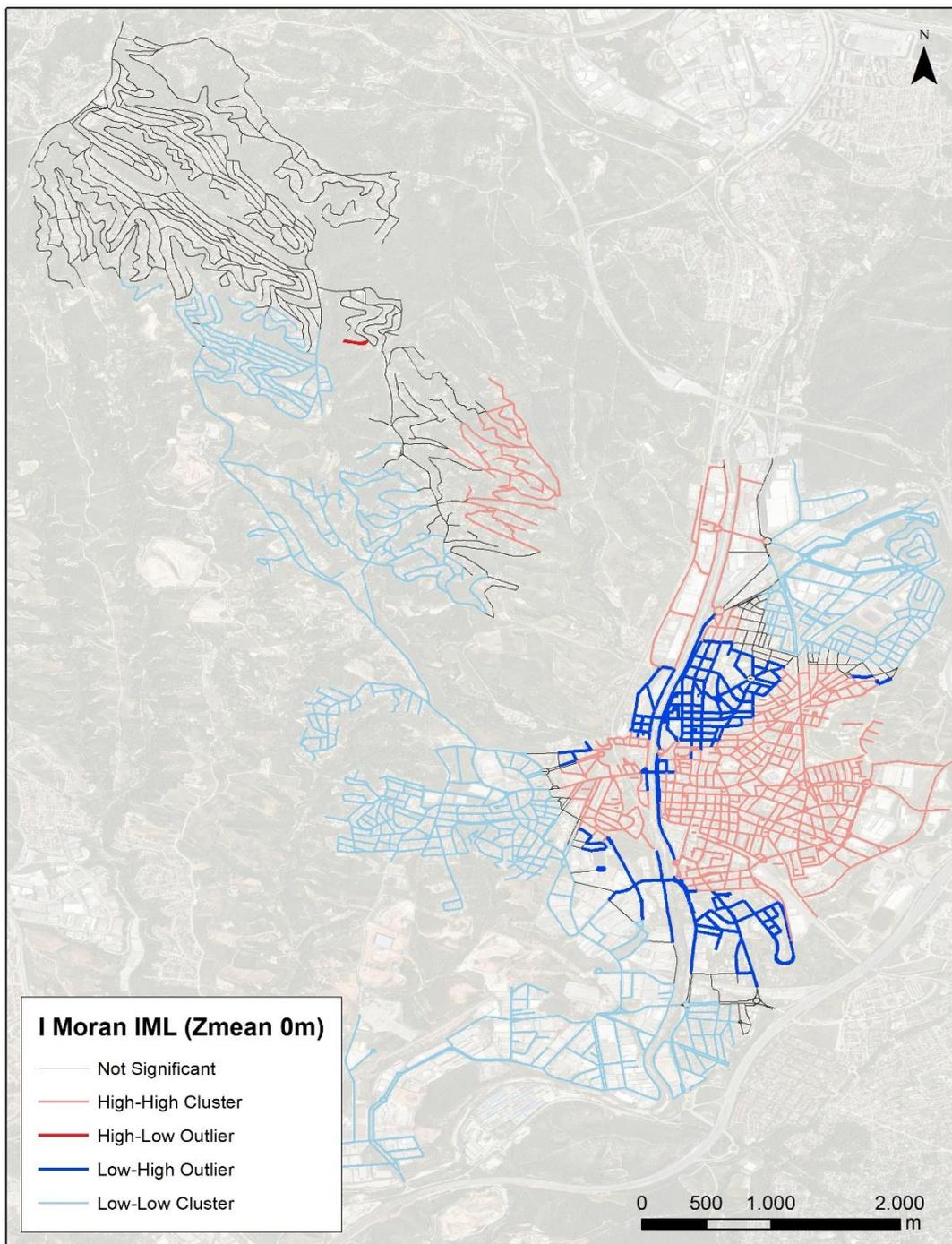
Fuente: Elaboración propia

Figura 39 Índice Moran a partir del IDW de IML para los valores de Zmax a 2000m de distancia



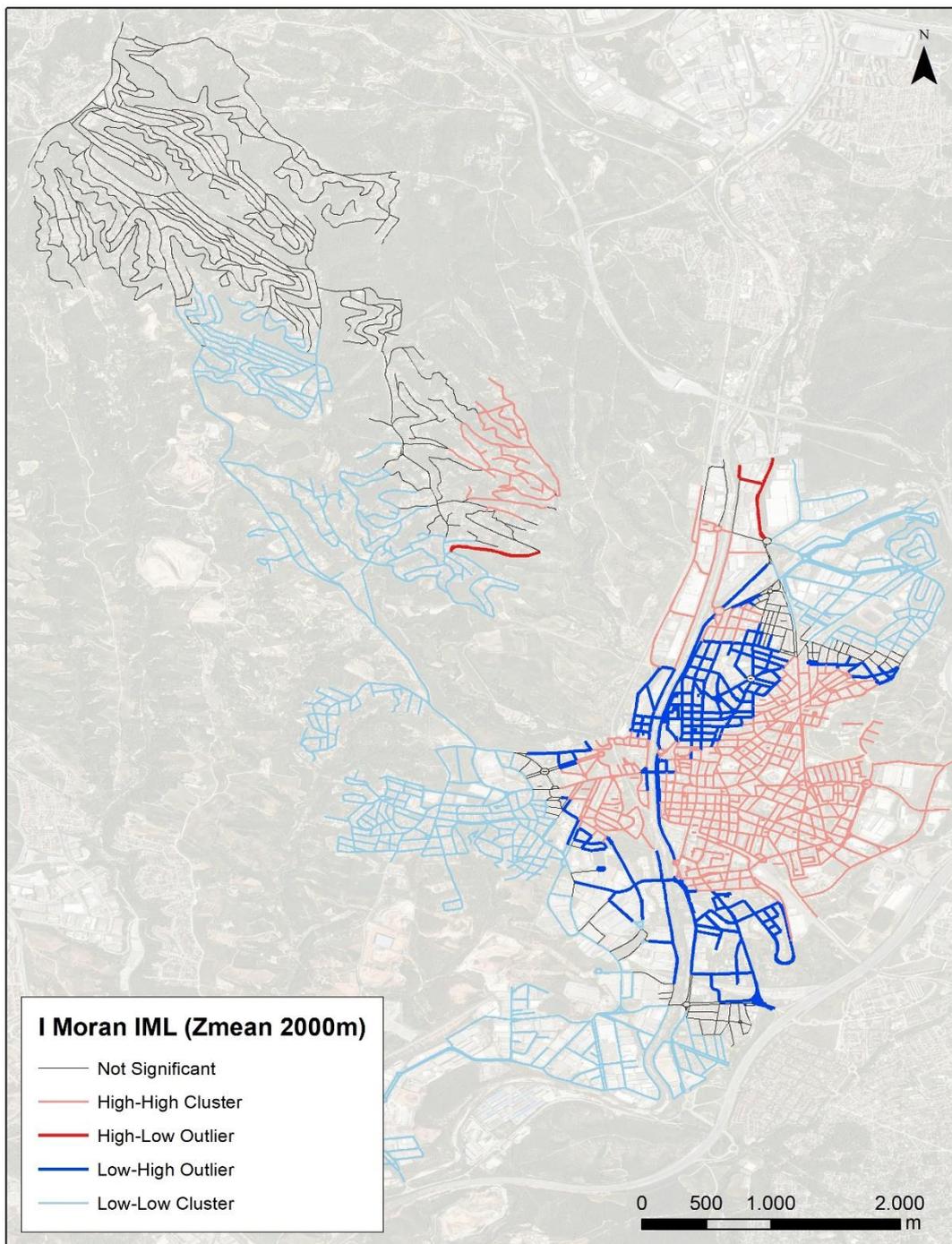
Fuente: Elaboración propia

Figura 40 Índice Moran a partir del IDW de IML para los valores de Zmean a 0m de distancia



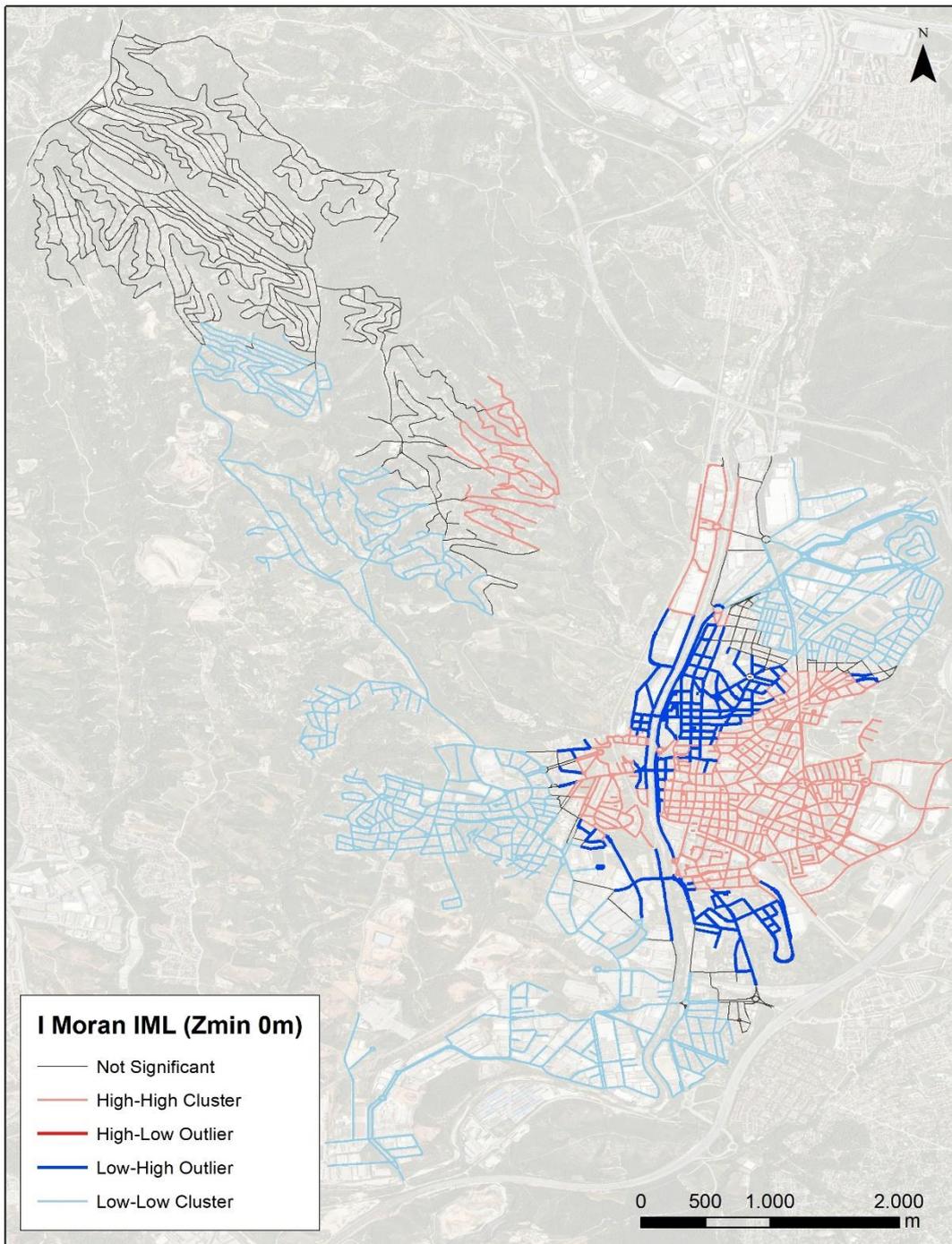
Fuente: Elaboración propia

Figura 41 Índice Moran a partir del IDW de IML para los valores de Zmean a 2000m de distancia



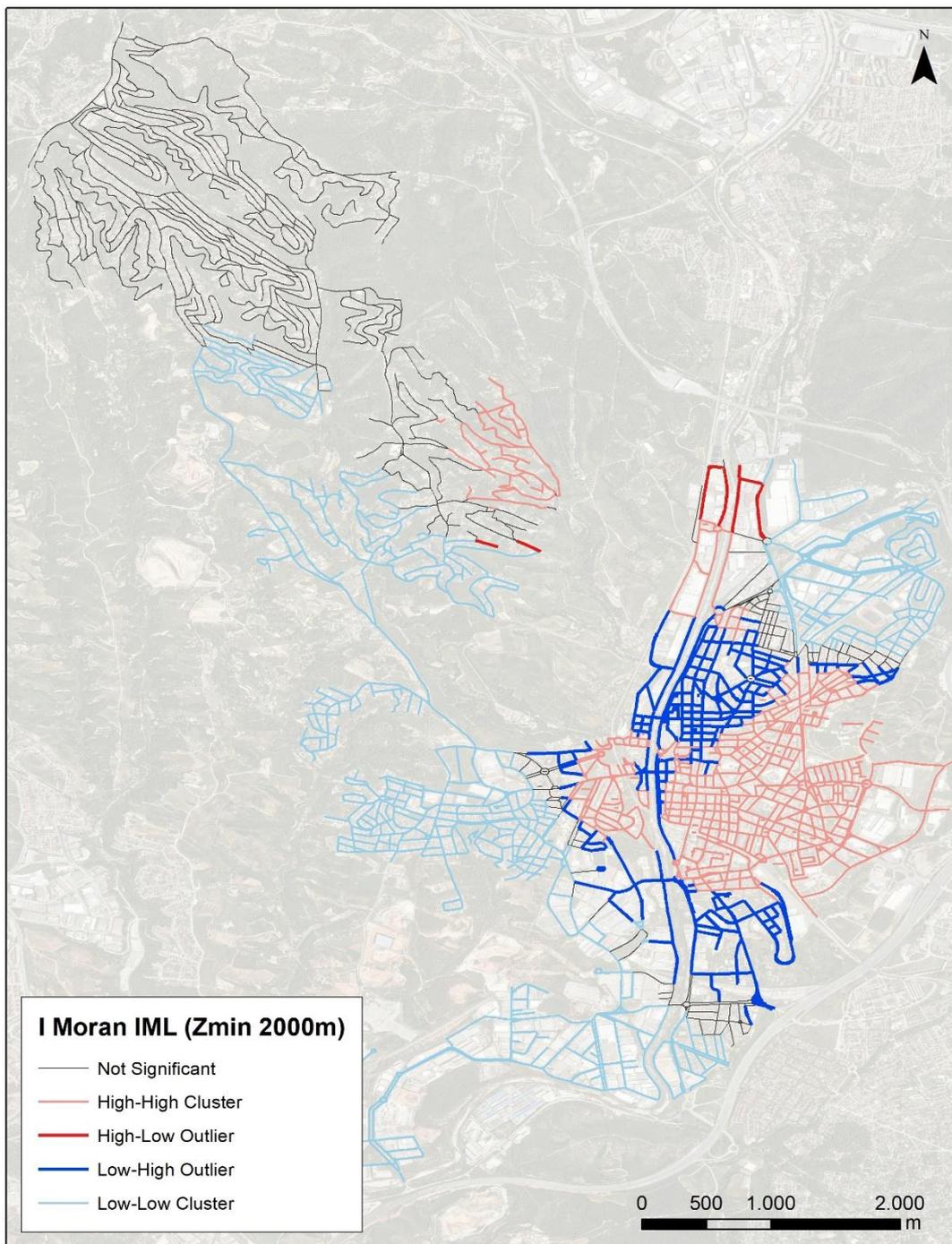
Fuente: Elaboración propia

Figura 42 Índice Moran a partir del IDW de IML para los valores de Zmin a 0m de distancia



Fuente: Elaboración propia

Figura 43 Índice Moran a partir del IDW de IML para los valores de Zmin a 2000m de distancia



Fuente: Elaboración propia