

---

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

González Gallardo, Alejandro; Vázquez Castro, Ángeles, dir. La implementación del 5G en la gestión del tránsito y el transporte público. Análisis de casos reales y propuestas para Barcelona. 2025. (Grau en Gestió de Ciutats Intel·ligents i Sostenibles)

---

This version is available at <https://ddd.uab.cat/record/317303>

under the terms of the  license

# La implementación del 5G en la gestión del tránsito y el transporte público. Análisis de casos reales y propuestas para Barcelona

Alejandro González Gallardo

**Resumen—** La congestión del tráfico y las limitaciones del transporte público son retos centrales en la movilidad urbana. Este trabajo explora cómo la tecnología 5G puede mejorar la gestión del tránsito y el transporte público en ciudades inteligentes, gracias a su capacidad para conectar dispositivos en tiempo real y facilitar soluciones como la comunicación V2X y la optimización de rutas. A partir de un análisis de casos reales y un diagnóstico de la situación actual en Barcelona, se proponen intervenciones basadas en 5G y se definen indicadores para evaluar su impacto potencial.

**Paraules clau—** Movilidad urbana, 5G, ciudades inteligentes, tráfico, transporte público, sostenibilidad, infraestructura inteligente y congestión del tráfico.

**Abstract—** Traffic congestion and public transport limitations are key challenges in urban mobility. This study explores how 5G technology can improve traffic management and public transportation in smart cities, thanks to its ability to connect devices in real time and enable solutions such as V2X communication and route optimization. Based on an analysis of real-world cases and a diagnosis of the current situation in Barcelona, 5G-based interventions are proposed, along with indicators to assess their potential impact.

**Keywords—** Urban mobility, 5G, smart cities, traffic, public transport, sustainability, intelligent infrastructure and traffic congestion.

## 1 INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, el ritmo vertiginoso del crecimiento urbano ha puesto en jaque la capacidad de las ciudades para adaptarse, especialmente en lo que se refiere a la movilidad. El aumento constante de vehículos privados, los atascos diarios, la contaminación del aire y la presión sobre el transporte público han convertido la movilidad urbana en uno de los grandes retos contemporáneos. Ante esta realidad, surge con fuerza el concepto de ciudad inteligente: un entorno urbano que se apoya en la tecnología no solo para ser más eficiente, sino para mejorar, de forma tangible, la calidad de vida de quienes lo habitan.

En este escenario, la innovación tecnológica enfocada en la movilidad se encuentra en plena ebullición. Las ciudades necesitan moverse al ritmo de sus ciudadanos, anticiparse a sus demandas y resolver con agilidad los problemas cotidianos del tráfico. Aquí es donde entra en juego el despliegue de las redes 5G, que no solo promete una revolución en términos de conectividad, sino también una transformación profunda en la manera de gestionar el transporte. Sin embargo, más allá del entusiasmo inicial, es fundamental determinar con claridad dónde puede marcar la diferencia

y cómo integrarla eficazmente en las estructuras urbanas ya existentes.

La tecnología 5G ofrece algo más que velocidad: su baja latencia y capacidad para conectar una enorme cantidad de dispositivos al mismo tiempo abre un abanico de posibilidades que hasta hace poco parecían futuristas. Desde semáforos que responden en tiempo real al flujo de vehículos, hasta autobuses inteligentes que adaptan su ruta según la demanda, o incluso la circulación segura de vehículos autónomos, este nuevo marco tecnológico tiene el potencial de redibujar el mapa de la movilidad urbana.

Barcelona, en particular, enfrenta desafíos significativos en este terreno. Según el TomTom Traffic Index, una de las referencias más completas en cuanto a análisis de tráfico a nivel global, la ciudad se sitúa en el puesto 21 mundial en cuanto al tiempo medio requerido para recorrer 10 kilómetros: unos 31 minutos y 13 segundos. Esto representa aproximadamente 5 minutos más que Valencia, la siguiente ciudad española en el ranking. Además, se calcula que un barcelonés pierde unas 87 horas al año en desplazamientos durante las horas punta. Aunque su nivel de congestión, un 26%, es menor que el de urbes como Londres o Dublín, el impacto sigue siendo notable en términos de ti-

empo perdido, emisiones contaminantes y presión sobre el transporte público.

Estos datos, basados en millones de vehículos conectados, permiten comparar de forma objetiva y consistente la situación de más de 500 ciudades en 62 países. Y lo cierto es que, pese a no encabezar los rankings de congestión, Barcelona tiene margen y necesidad de mejora. La buena noticia es que las herramientas para lograrlo ya están sobre la mesa. Lo que hace falta ahora es visión, voluntad y una integración inteligente de la tecnología.

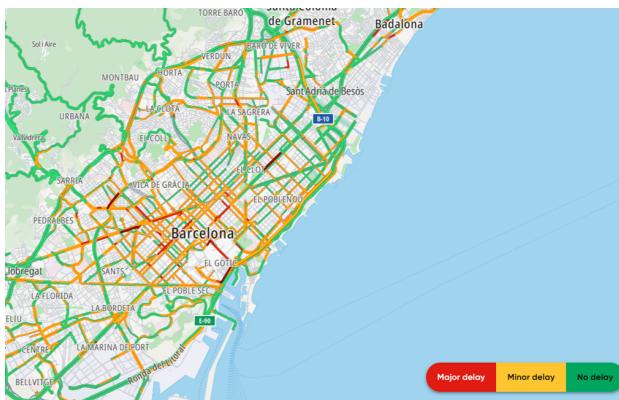


Fig. 1: Mapa de congestión del tráfico en tiempo real de Barcelona a las 12:00AM.

El sistema de transporte público, gestionado principalmente por Transports Metropolitans de Barcelona (TMB), Ferrocarrils de la Generalitat de Catalunya (FGC) y Renfe, cubre de forma extensa la ciudad, pero algunas líneas presentan saturación o falta de regularidad. A ello se suman el turismo, los eventos y el impacto del coche privado, que aún representa una proporción significativa de los desplazamientos.

## 2 OBJETIVOS Y ENFOQUE

Este proyecto tiene como eje central explorar cómo la tecnología 5G podría transformar la gestión del tráfico y del transporte público dentro del marco de las ciudades inteligentes. El foco está puesto en entender, desde una perspectiva realista y fundamentada, qué impacto tangible podría tener esta tecnología en la movilidad urbana, y cómo podría contribuir a un sistema más eficiente, sostenible y, sobre todo, alineado con las necesidades reales de la ciudadanía.

El propósito final es presentar propuestas concretas que no solo resulten técnicamente viables, sino que también estén pensadas para mejorar la calidad de vida en las ciudades. Para guiar esta exploración, el trabajo se articula a partir de una pregunta principal de investigación:

*¿Qué efectos podrían tener distintas soluciones basadas en 5G sobre la gestión del tráfico y del transporte público en el tramo de la Avinguda Diagonal que atraviesa la plaza Francesc Macià, si se implementaran a modo de prueba piloto?*

A partir de esta pregunta clave, se definen varios objetivos específicos que servirán de hilo conductor para el análisis y que permitirán aterrizar las ideas en propuestas claras y aplicables.

## 2.1 Objetivos específicos

### 2.1.1 Diagnóstico de la situación actual de Barcelona

Recopilar y analizar datos sobre el estado actual del tránsito, los patrones de congestión y el funcionamiento del transporte público en el tramo de la Avinguda Diagonal donde se ubica la plaza Francesc Macià. Para ello, se utilizarán fuentes de datos abiertos (como OpenData BCN), herramientas de información geográfica (SIG) y análisis de tráfico con datos reales extraídos de TomTom Traffic. El objetivo es identificar puntos críticos y oportunidades claras de mejora.

### 2.1.2 Propuesta de intervención tecnológica

Diseñar propuestas concretas de soluciones tecnológicas aplicables al contexto urbano del tramo analizado, fundamentadas en las necesidades detectadas durante el análisis previo. Cada propuesta se acompaña de una hipótesis evaluable sobre el impacto esperado.

### 2.1.3 Definición de indicadores de impacto

Establecer un conjunto de indicadores clave (KPI) asociados a cada propuesta, que permitan estimar de forma razonada su posible impacto en la mejora de la movilidad. Estos indicadores se construirán a partir de referencias reales (otros casos de aplicación en ciudades inteligentes), y permitirán valorar tanto la viabilidad como el potencial de mejora cuantificable.

## 3 ESTADO DEL ARTE

El 5G, como nueva generación en el mundo de las redes móviles, supone un salto cualitativo respecto a las tecnologías anteriores. No se trata solo de una mejora incremental, sino de una verdadera revolución en términos de capacidad y rendimiento. Con velocidades de transmisión que pueden llegar a ser hasta 100 veces más rápidas que las del 4G, una latencia ultrabaja cercana al milisegundo y la posibilidad de conectar simultáneamente una enorme cantidad de dispositivos por kilómetro cuadrado, esta tecnología se perfila como la columna vertebral de muchas transformaciones en marcha.

Uno de los campos donde su impacto se vislumbra con más fuerza es, sin duda, el de la movilidad urbana. En el contexto de las ciudades inteligentes, donde el objetivo es construir entornos más eficientes, seguros, sostenibles y centrados en las personas, el 5G abre puertas antes impensables. Gracias a su potencia, ya no hablamos solo de controlar el tráfico, sino de anticiparse a él; no solo de mejorar el transporte público, sino de hacerlo verdaderamente inteligente y adaptable.

### 3.1 Gestión inteligente del tráfico

Una de las primeras aplicaciones del 5G en movilidad urbana es la gestión adaptativa y en tiempo real del tráfico. Esto se logra gracias a una red de sensores IoT (Internet of Things), cámaras conectadas y sistemas de inteligencia artificial que recopilan y analizan datos sobre la circulación en las vías. En la ciudad de Hangzhou (China), el gigante

tecnológico Alibaba ha implementado un sistema llamado City Brain, que aprovecha la conectividad 5G para recibir datos en tiempo real de semáforos, cámaras de vigilancia, vehículos y sensores distribuidos por la ciudad. Estos datos son procesados por algoritmos que detectan patrones de congestión, accidentes o comportamientos inusuales en la circulación. El sistema puede ajustar automáticamente la duración de los semáforos, redirigir el flujo de vehículos y comunicar avisos tanto a conductores como a los servicios de emergencia. Como resultado, el tiempo medio de desplazamiento se ha reducido en torno a un 15-20%.

### 3.2 Transporte público conectado

El 5G también tiene un gran impacto en el transporte público al permitir la monitorización continua y en tiempo real de los vehículos. Esto implica conocer con precisión su ubicación, su estado mecánico, la ocupación en tiempo real y posibles incidencias, lo que mejora la planificación, la puntualidad y la experiencia del usuario. Un ejemplo destacable se encuentra en Turín (Italia), donde se ha llevado a cabo un proyecto piloto de autobuses conectados mediante tecnología 5G. Estos autobuses transmiten continuamente información sobre su ruta, su velocidad, número de pasajeros y estado técnico. A su vez, pueden recibir instrucciones dinámicas desde un centro de control para modificar recorridos o hacer ajustes si se detectan problemas en el tráfico o una alta demanda en alguna parada. Gracias a esta conectividad, el sistema puede ser más predictivo, anticipándose a cuellos de botella o necesidades de refuerzo de flota.

### 3.3 Comunicación V2X

La tecnología V2X (Vehicle-to-Everything) es una de las aplicaciones más prometedoras del 5G. Consiste en permitir que un vehículo se comunique no solo con otros vehículos (V2V), sino también con infraestructuras (V2I), peatones (V2P) y redes (V2N). Esta comunicación requiere una latencia muy baja, por lo que el 5G es esencial para su correcto funcionamiento. En el proyecto 5GCroCo, en el que participa Barcelona junto con otras ciudades europeas, se ha probado la interoperabilidad del 5G en escenarios transfronterizos. Entre las pruebas realizadas, se encuentra la transmisión de datos entre vehículos y semáforos inteligentes, alertas sobre condiciones de la vía o presencia de peatones, y la coordinación entre vehículos para facilitar cambios de carril o adelantamientos. Esta tecnología permite que los vehículos "vean más allá" de su entorno inmediato, mejorando la seguridad vial y reduciendo el riesgo de accidentes.

### 3.4 Vehículos autónomos

Los vehículos autónomos requieren procesar grandes cantidades de información en tiempo real para poder circular con seguridad: desde mapas en alta definición hasta detección de obstáculos o interpretación del entorno. Aunque muchos de estos cálculos se realizan a bordo (a través de sensores y procesadores propios del vehículo), el 5G permite ampliar su capacidad al conectar el coche con centros de datos externos y con otros elementos del entorno urbano. En Seúl (Corea del Sur), se ha habilitado un distrito completo para

la circulación de robotaxis y vehículos autónomos conectados por 5G. Los coches reciben actualizaciones en tiempo real sobre el estado del tráfico, rutas alternativas, obras en la vía, semáforos, e incluso información meteorológica que pueda afectar a la conducción. Además, el 5G permite que múltiples vehículos autónomos se coordinen entre sí, evitando maniobras arriesgadas y optimizando el flujo de tráfico.

## 4 METODOLOGÍA

La metodología aplicada combina el análisis documental con el trabajo aplicado mediante herramientas de sistemas de información geográfica (SIG). El enfoque adoptado se basa en el uso de fuentes de datos abiertas, el tratamiento geoespacial de la información, y la elaboración de propuestas contextualizadas que conecten la teoría con la realidad urbana de Barcelona. La metodología se estructura en dos fases principales: el análisis geográfico aplicado al caso de estudio, y el diseño de propuestas basadas en el potencial del 5G para mejorar la movilidad urbana.

### 4.1 Recopilación, tratamiento y análisis de los datos

Para realizar el diagnóstico territorial del tramo de la Avinguda Diagonal que atraviesa la plaza Francesc Macià, se llevó a cabo un proceso de recopilación, tratamiento y análisis de datos utilizando fuentes abiertas, herramientas SIG y plataformas especializadas en tráfico. El objetivo fue detectar patrones de congestión, elementos clave de la infraestructura viaria y la dinámica funcional del entorno, para así fundamentar propuestas tecnológicas adaptadas al contexto real.

En una primera fase, se descargaron capas de datos en formato .csv desde el portal Open Data BCN, incluyendo información sobre tramos viajeros, semáforos, carriles bici, paradas de taxi y transporte público. De forma específica, se trabajó con una tabla de datos de tránsito.

Sobre esta tabla se calculó un índice estimado de congestión, definido como la relación entre el tiempo actual de recorrido y el tiempo previsto en condiciones normales. Este cálculo se realizó mediante la calculadora de campos de QGIS. Se generó un nuevo campo dividiendo el valor del tiempo actual (tempo\_actual) entre el previsto (tempo\_previst). Luego, se unió esta tabla con otra que contenía las coordenadas de cada tramo, para georreferenciarlos y crear una capa de puntos. A partir de ella, se utilizó la herramienta "Puntos a líneas" para obtener una capa de tramos con su respectivo índice de congestión. Este se clasificó en tres niveles: tráfico ligero (Menor o igual a 1), moderado (1-1,25) y muy congestionado (mayor de 1,25).



Fig. 2: Mapa del transito promedio en Barcelona calculado a traves de datasets de openDataBCN. Elaboracion Propia.

Como complemento, se recurrió a la plataforma TomTom Traffic para enriquecer el análisis con datos actualizados. A través de su cartografía interactiva, se identificaron visualmente las zonas con mayor congestión en distintos momentos del día. También se generaron manualmente informes comparativos para el tramo estudiado, tomando dos franjas horarias: una punta (7:30–9:00) y otra de baja actividad (2:30–3:30 am). Estos informes ofrecieron datos precisos sobre velocidad media, tiempo de recorrido e impacto de la congestión, lo que permitió contrastar y contextualizar los resultados de Open Data BCN.

El cruce de ambas fuentes facilitó la identificación de zonas críticas y permitió superponer múltiples capas temáticas para reflejar la complejidad del entorno. Esta base analítica fue clave para justificar la elección del tramo como área prioritaria de intervención y guiar el diseño de soluciones vinculadas a la conectividad 5G.

## 4.2 Diseño de propuestas basadas en 5G

El diseño de las propuestas tecnológicas se ha basado en el cruce entre el diagnóstico territorial del tramo seleccionado de la Avinguda Diagonal, donde se encuentra la plaza Francesc Macià, y la revisión de soluciones existentes vinculadas a la conectividad 5G en el ámbito de la movilidad urbana. A partir del análisis de datos geoespaciales, mapas temáticos y observación directa de patrones de congestión, se han identificado oportunidades de intervención tecnológica aplicables al contexto real de la ciudad.

Las propuestas han sido formuladas tomando como referencia la situación funcional actual de la zona y considerando el potencial de mejora en aspectos como la seguridad, la eficiencia del flujo vehicular y la gestión del transporte público. Para cada propuesta se ha definido claramente el tipo de solución, la tecnología asociada y el tipo de interacción urbana que se pretende optimizar.

## 4.3 Definicion de los KPIs

El diseño de las propuestas tecnológicas parte de la intersección entre el diagnóstico territorial del tramo de la Avinguda Diagonal a la altura de la plaza Francesc Macià y el análisis de soluciones ya existentes vinculadas al uso del 5G en movilidad urbana. A través del estudio de datos geoespaciales, mapas temáticos y la observación directa de los patrones de congestión, se han detectado oportunidades concretas para aplicar intervenciones tecnológicas adaptadas al contexto real de la ciudad.

Estas propuestas se han elaborado tomando como punto de partida la configuración funcional actual de la zona, con el objetivo de mejorar aspectos clave como la seguridad, la eficiencia del tráfico y la gestión del transporte público. Para cada una se ha definido de forma clara el tipo de solución planteada, la tecnología que la sustenta y la interacción urbana que busca optimizar.

Los KPI definidos responden a tres finalidades principales:

- Medir la efectividad de la propuesta en relación con el problema urbano que aborda.
- Comparar el rendimiento esperado con el de otras experiencias internacionales ya implementadas, facilitando una estimación fundamentada del posible impacto local.
- Establecer una base para futuras pruebas piloto o procesos de evaluación si alguna de las propuestas fuera implementada por las autoridades competentes.

Cada indicador ha sido seleccionado considerando tanto su relevancia técnica como su viabilidad de medición en un entorno urbano real, incluso en fase piloto.

## 4.4 Limitaciones metodologicas

La principal limitación de este trabajo ha sido la falta de acceso a datos en tiempo real, ya que la mayoría de las fuentes utilizadas son estáticas o se actualizan con poca frecuencia. Además, el análisis del impacto de las propuestas no se ha basado en simulaciones avanzadas, sino en estimaciones fundamentadas en experiencias reales de otras ciudades, lo que dificulta precisar con exactitud los resultados esperables en una posible implementación.

## 5 PROPUESTAS DE IMPLEMENTACION EN UNA ZONA CONCRETA

### 5.1 Zona seleccionada

La Avinguda Diagonal de Barcelona, en el tramo donde se ubica la plaza Francesc Macià, ha sido seleccionada como área de estudio por su importancia dentro del sistema de movilidad urbana de la ciudad, tanto por su complejidad funcional como por los niveles de congestión detectados en el análisis territorial.

Esta elección se apoya en un diagnóstico multivariable que combina datos abiertos, visualización mediante sistemas de información geográfica (SIG) y observación directa del tráfico a través de plataformas especializadas. El tramo destaca además por su carácter de nodo multimodal, donde

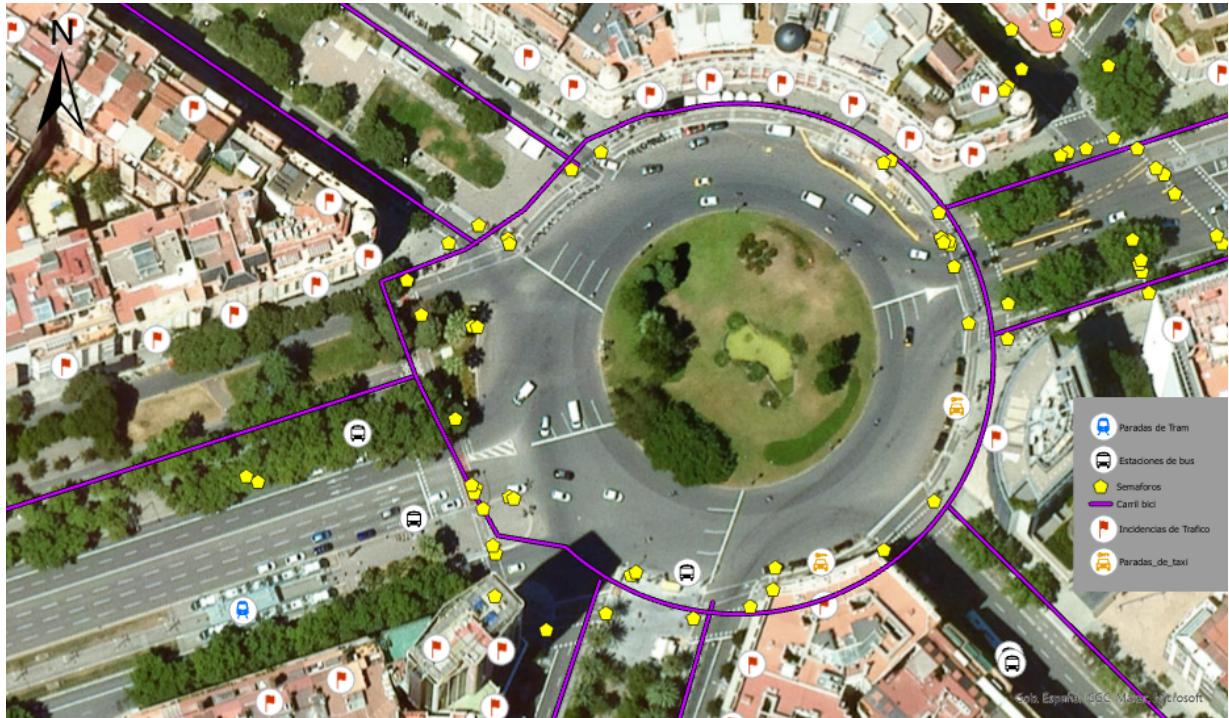


Fig. 3: Mapa de situación de la rotonda Francesc Macià. Elaboración Propia

confluyen vehículos privados, transporte público (tranvía y autobús), bicicletas y peatones. Esta diversidad lo convierte en un entorno especialmente adecuado para poner a prueba soluciones tecnológicas basadas en 5G, ya que requiere coordinación entre múltiples modos y actores del sistema de movilidad.

Por otro lado, la zona presenta condiciones urbanas estable, buena disponibilidad de datos abiertos y posibilidades reales de modelización espacial, lo que ha facilitado el desarrollo del análisis y el diseño de propuestas contextualizadas. En conjunto, se configura como un laboratorio urbano idóneo para explorar el impacto de las tecnologías conectadas aplicadas a la movilidad.

*en el cruce de la plaza Francesc Macià, el tiempo medio de espera de los vehículos durante la hora punta podría reducirse en al menos un 15%, optimizando el flujo en uno de los puntos más gestionados de la Avinguda Diagonal.*

### 5.2.2 KPI asociado

- **Indicador:** Reducción del tiempo de duración de los viajes en la zona.
- **Unidad:** Segundos
- **Fuente de referencia:** City Brain, Hangzhou (Alibaba)

### 5.2.3 Razonamiento de la hipótesis

Del análisis realizado con datos de Open Data BCN y TomTom Traffic se desprende que el entorno de Francesc Macià concentra una confluencia compleja de flujos en varias direcciones, lo que la posiciona como un punto especialmente sensible en la gestión de los tiempos semafóricos.

En la actualidad, los semáforos operan con ciclos programados de forma fija, sin capacidad de ajustarse en tiempo real al volumen de tráfico o a la ocupación específica de cada ramal del cruce. Esta rigidez puede generar ineficiencias notables, sobre todo en situaciones de saturación parcial donde pequeños desequilibrios provocan retenciones innecesarias.

### 5.2.4 Posible prueba piloto

La intervención consistiría en equipar la infraestructura semafórica existente con sensores de tráfico y módulos de comunicación 5G que permitan ajustar dinámicamente los ciclos semafóricos según el flujo real de vehículos. La prueba incluiría:



Fig. 4: Mapa del transito en la rotonda Francesc Macià en una hora con tránsito promedio. Fuente [1]

## 5.2 Primera propuesta. Semáforos inteligentes con control adaptativo

### 5.2.1 Hipótesis de la propuesta

*Si se implementa un sistema de control semafórico adaptativo basado en conectividad 5G*

- La instalación de sensores en puntos de entrada y salida del cruce.
- La activación de un sistema de gestión en tiempo real mediante plataforma conectada.
- La recogida de datos durante un periodo limitado, comparando los resultados con registros previos en situación base.

Para la implementación, se emplearían controladores semafóricos inteligentes como los Siemens Sitraffic sX o Swarco ITC-3, que permiten ajustar los ciclos semafóricos en tiempo real según las condiciones del tráfico. La detección se realizaría mediante radares de microondas como los Smartmicro UMRR o mediante cámaras con visión artificial, como las FLIR Trafisense AI.

La comunicación entre los sensores y la plataforma de gestión se establecería mediante conectividad 5G, utilizando módems industriales como el Huawei 5G CPE Pro o el Teltonika RUTX50. Todo el sistema estaría centralizado y operado desde un software especializado como EcoTrafix de Kapsch o Sitraffic Concert de Siemens.

### 5.3 Sistema de alerta para presencia de ciclistas

#### 5.3.1 Hipótesis de la propuesta

*Si se implementa un sistema de detección y alerta a ciclistas mediante sensores conectados por red 5G en puntos de cruce de la Avinguda Diagonal, se puede reducir en al menos un 15% los incidentes con vehículos motorizados y usuarios de carril bici en la zona.*

#### 5.3.2 KPI asociado

- **Indicador:** Reducción del número de impactos o incidentes entre ciclistas y automóviles.
- **Unidad:** N° de incidentes/mes
- **Fuente de referencia:** 5G-MOBIX

#### 5.3.3 Razonamiento de la hipótesis

En el entorno de Francesc Macià, pese a contar con una infraestructura consolidada, persisten puntos de riesgo, especialmente en giros a la derecha o en zonas con visibilidad limitada entre conductores y ciclistas.

Mediante el análisis espacial en QGIS, se han detectado tramos donde los flujos de bicicletas y vehículos motorizados se superponen sin contar con señalización dinámica que regule ese cruce. La incorporación de sensores conectados permitiría establecer un sistema de prevención activa, capaz de alertar automáticamente a los conductores cuando se aproxima un ciclista, incluso antes de que este entre en su campo de visión directo.

#### 5.3.4 Posible prueba piloto

La prueba consistiría en instalar sensores de detección en accesos al carril bici cercanos a intersecciones críticas, como los giros desde la Diagonal hacia la Av. Sarrià o Viladomat. Estos sensores, conectados mediante red 5G, estarían integrados con señales luminosas o sonoras ubicadas en la calzada, y enviarían alertas instantáneas tanto a los vehículos como, potencialmente, a los ciclistas mediante señalización visual directa.

El piloto se desarrollaría durante un periodo limitado y permitiría medir:

- Tiempos de respuesta desde la detección hasta la activación de la señal.
- Número de interacciones de riesgo detectadas.
- Valoración de la experiencia por parte de ciclistas y conductores.

Para esta intervención se utilizarían sensores de radar lateral como los Comtac SideRadar o cámaras térmicas FLIR ThermiCam V2X, capaces de detectar la aproximación de ciclistas incluso en condiciones de baja visibilidad. La señal se transmitiría mediante red 5G utilizando routers como el Cradlepoint R1900, y activaría señalización luminosa conectada, como balizas LED del sistema LumenEdge o paneles dinámicos LED de LUMIGUIDE. De forma complementaria, el sistema podría incorporar módulos V2X, como el Cohda Wireless MK6C, para enviar alertas directamente a vehículos conectados.

### 5.4 Paradas de taxi inteligente

#### 5.4.1 Hipótesis de la propuesta

*Si se implementa un sistema de parada inteligente para taxis con conectividad 5G en el tramo de Diagonal–Francesc Macià, se puede mejorar la eficiencia de ocupación en al menos un 15%, reduciendo tiempos de espera para usuarios y desplazamientos innecesarios de taxis vacíos.*

#### 5.4.2 KPI asociado

- **Indicador:** Tasa de ocupación eficiente
- **Unidad:** % de ocupación de taxis
- **Fuente de referencia:** Dubai Smart Queue

#### 5.4.3 Razonamiento de la hipótesis

La zona analizada presenta una alta demanda de transporte en determinadas franjas horarias, sobre todo en días laborables, y dispone de varias paradas de taxi ubicadas en puntos clave. No obstante, el sistema actual carece de mecanismos dinámicos de gestión, lo que puede derivar en una acumulación innecesaria de vehículos vacíos o en momentos puntuales de escasa disponibilidad.

El análisis realizado en QGIS permitió localizar la infraestructura de paradas de taxi en el entorno de Francesc

Macià y constatar su cercanía a áreas de gran actividad comercial, oficinas y nodos de transporte público. Esta combinación hace del tramo un escenario adecuado para implementar herramientas de gestión conectada que mejoren el aprovechamiento de los recursos ya instalados.

#### 5.4.4 Posible prueba piloto

Esta solución contemplaría el uso de sensores de ocupación por infrarrojos, como los InfraRed People Counter, o cámaras de visión artificial como la Axis M1137-E, para detectar la presencia de taxis disponibles en la parada. La información se mostraría en tiempo real a través de paneles digitales, la conectividad se gestionaría mediante routers 5G industriales como el Teltonika RUTX50. El piloto podría llevarse a cabo durante dos semanas en una parada situada entre la Diagonal y la calle Calvet, o directamente en Francesc Macià. Durante ese periodo se recogerían datos sobre los tiempos medios de espera de los usuarios antes y durante la prueba, la tasa de ocupación de los taxis respecto al total de vehículos disponibles y el ahorro estimado en desplazamientos vacíos.

### 5.5 Impacto estimado de las propuestas

#### 5.5.1 Semaforos inteligentes y adaptativos

Los datos obtenidos a través de TomTom Traffic indican que, durante la hora punta, el tramo analizado presenta un tiempo medio de recorrido de 5 minutos, frente a los 2 minutos registrados en condiciones de tráfico fluido. Esta diferencia supone una ralentización del 88%, evidenciando una congestión significativa en un tramo de apenas 870 metros.

Tomando como referencia la experiencia de la ciudad de Hangzhou, donde la implementación de semáforos adaptativos conectados permitió reducir los tiempos de recorrido entre un 15% y un 20%, se ha optado por aplicar una estimación conservadora del 15% sobre el tiempo real observado. Esto supondría un ahorro aproximado de 45 segundos por vehículo, situando el nuevo tiempo medio en torno a los 4 minutos y 15 segundos.

En este contexto, la hipótesis planteada en esta propuesta que estimaba una reducción mínima del 15% en los tiempos de espera mediante conectividad 5G puede considerarse razonablemente validada. A pesar de no contar con una simulación dinámica, la mejora proyectada se alinea con precedentes reales y con la magnitud del retraso actualmente observado, lo que refuerza la viabilidad de esta medida como estrategia eficaz para optimizar la movilidad en entornos urbanos congestionados.

#### 5.5.2 Alerta de ciclistas

De acuerdo con experiencias recogidas en proyectos como el europeo 5G-MOBIX, la implementación de sistemas de detección de usuarios vulnerables conectados mediante tecnología V2X ha permitido reducir entre un 30% y un 40% el riesgo de colisión en intersecciones urbanas. A partir de estos precedentes y teniendo en cuenta la dinámica específica de los cruces entre carriles bici y vías motorizadas, se ha proyectado una reducción del 25% en los conflictos potenciales gracias a la detección anticipada y a la activación de señales de advertencia en tiempo real.

Esta proyección supera con claridad el umbral mínimo del 15% planteado en la hipótesis de partida, por lo que puede considerarse que la propuesta cumple con margen suficiente. Aunque no se dispone de datos desagregados de siniestralidad para el tramo concreto analizado, el cruce de capas realizado en QGIS revela varios puntos con alta exposición al riesgo en accesos al carril bici, lo que refuerza la necesidad y pertinencia de la intervención.

La mejora prevista no solo apunta a una disminución efectiva del riesgo de incidente, sino también a un incremento en la sensación de seguridad entre los ciclistas. Este factor puede influir positivamente en la adopción del transporte activo, especialmente en zonas urbanas de alta densidad y complejidad circulatoria.

#### 5.5.3 Paradas de taxi inteligentes

Basándose en los resultados del sistema Smart Queue implementado en Dubái, donde el uso de tecnologías conectadas permitió mejorar la eficiencia en la asignación de taxis entre un 25% y un 30%, se ha optado por aplicar una estimación conservadora del 20% para el caso de estudio. Esta mejora implicaría una reducción aproximada de 1 minuto en los tiempos vinculados tanto a la espera de los usuarios como a la circulación de taxis vacíos en busca de pasajeros.

En el marco de la hipótesis planteada, según la cual una parada de taxi inteligente conectada mediante red 5G podría aumentar la eficiencia operativa en al menos un 15%, los resultados estimados refuerzan de forma razonada su viabilidad. La digitalización del punto de parada permitiría organizar mejor el flujo de vehículos, minimizar maniobras innecesarias y mejorar la percepción de disponibilidad del servicio, generando beneficios tanto en términos de movilidad como de sostenibilidad.

Aunque no se dispone de datos empíricos obtenidos directamente en Barcelona, la similitud funcional del entorno con experiencias internacionales como la de Dubái da respaldo técnico y contextual a esta propuesta, que se perfila como viable y con un alto potencial de réplica en otras zonas urbanas.

## 6 DISCUSION

### 6.1 Limitaciones del análisis

El análisis realizado en este trabajo ha estado marcado por ciertas limitaciones que conviene tener en cuenta. Para empezar, no fue posible llevar a cabo simulaciones avanzadas utilizando herramientas especializadas en modelización del tráfico. Esta carencia redujo la capacidad de estimar con precisión el impacto cuantitativo de las propuestas planteadas. En su lugar, se recurrió a valores de referencia procedentes de otras ciudades y a estimaciones razonadas, lo cual aporta una base útil, pero no permite hablar de resultados empíricos plenamente contrastados.

Además, aunque las soluciones tecnológicas que se proponen están inspiradas en casos reales y se apoyan en un análisis espacial sólido, lo cierto es que no han sido implementadas ni validadas sobre el terreno. Esto implica que no se ha podido comprobar de forma directa su eficacia en el entorno urbano concreto de Barcelona. Por tanto, es necesario aceptar un cierto grado de incertidumbre respecto a

cómo funcionarían estas medidas en la práctica.

## 6.2 ¿Que se podría haber hecho con más recursos?

Con más tiempo para desarrollar el proyecto y un acceso más amplio a datos relevantes, este trabajo podría haberse fortalecido de forma significativa en varios aspectos clave. Para empezar, disponer de información en tiempo real procedente de sensores municipales, flotas de transporte o plataformas de movilidad habría abierto la puerta a la construcción de modelos de simulación mucho más afinados. Esto permitiría, por ejemplo, captar con mayor precisión las variaciones horarias o estacionales del tráfico, así como identificar patrones de congestión con un nivel de detalle más fino.

Por otro lado, en lo que respecta a la dimensión participativa, habría sido especialmente enriquecedor incorporar la voz de quienes viven y transitan a diario por el entorno de Francesc Macià. La inclusión de encuestas dirigidas a conductores, ciclistas, taxistas y otros usuarios habituales no solo habría aportado una perspectiva cualitativa sobre los problemas detectados, sino que también habría ayudado a valorar el grado de aceptación social de las medidas planteadas. Y es que, al final, diseñar soluciones efectivas también implica entender cómo se sienten las personas que las van a experimentar.

## 6.3 Conclusion general

Este trabajo ha demostrado que la aplicación de tecnologías basadas en conectividad 5G puede ofrecer mejoras significativas en la gestión del tránsito y del transporte público urbano, especialmente cuando se aplican en zonas críticas como el tramo de la Avinguda Diagonal que atraviesa la plaza Francesc Macià. A través de un enfoque que combina el análisis territorial mediante herramientas SIG, la interpretación de datos reales de tráfico y la adaptación de casos internacionales exitosos, se han formulado propuestas viables, técnicamente justificadas y con impacto potencial contrastado.

Las intervenciones propuestas, semaforización adaptativa, detección de ciclistas y paradas de taxi inteligentes, no solo responden a problemas identificados en el diagnóstico urbano, sino que han sido acompañadas de hipótesis evaluables e indicadores clave (KPI) que permiten estimar su rendimiento en condiciones reales. Las estimaciones muestran que cada medida cumple con los objetivos planteados, con mejoras proyectadas que oscilan entre el 15% y el 30% en distintos indicadores operativos clave como tiempos de espera, eficiencia de ocupación o reducción de riesgos.

Si bien el trabajo no ha contado con recursos para validar las propuestas sobre el terreno, ni con acceso a datos en tiempo real o herramientas de simulación avanzada, se ha construido una base metodológica sólida que podría servir como referencia para futuras pruebas piloto. Además, se ha evidenciado que la combinación entre infraestructura digital y conocimiento del territorio es esencial para avanzar hacia una movilidad más inteligente, eficiente y segura.

En definitiva, este proyecto aporta una visión realista y fundamentada sobre el papel que puede desempeñar el 5G

en la transformación de la movilidad urbana, y abre la puerta a nuevas líneas de trabajo basadas en la experimentación local, la colaboración institucional y la incorporación progresiva de tecnologías conectadas en la planificación urbana.

## AGRADECIMIENTOS

Quiero comenzar expresando mi más sincero agradecimiento a mi tutora, Ángeles Vázquez Castro, porque aunque reconozco que no mantuve el contacto que habría sido deseable, una responsabilidad que asumo plenamente, su disposición para ayudarme cuando lo he necesitado ha sido clave para sacar adelante este proyecto.

También quiero agradecer de corazón a mis amigos y compañeros de clase: Alex Ruiz, Alex Navajas, Xavier, Joél y Sebastián. Su compañía, su apoyo constante y su sentido del humor han hecho que este recorrido, con sus retos y alegrías, haya sido mucho más llevadero. Gracias a ellos, me llevo no solo aprendizajes, sino también recuerdos que guardaré con mucho cariño.

Por último, quiero agradecer el trabajo y la dedicación de todos los profesores que me han acompañado durante la carrera. Sus enseñanzas han contribuido de forma significativa a mi crecimiento, no solo académico, sino también personal. A todos ellos, gracias.

## REFERÈNCIES

- [1] TomTom. Barcelona traffic index. [Click aquí para ir](#), 2024.
- [2] Ajuntament de Barcelona. Denúncies i sancions de trànsit a barcelona. [Click aquí para ir](#), 2024.
- [3] Ajuntament de Barcelona. Inventari de semàfors de barcelona. [Click aquí para ir](#), 2024.
- [4] Ajuntament de Barcelona. Xarxa de carrils bici de barcelona. [Click aquí para ir](#), 2024.
- [5] Ajuntament de Barcelona. Relació de trams de trànsit a barcelona. [Click aquí para ir](#), 2024.
- [6] ResearchGate. The city brain: Practice of large-scale artificial intelligence in the real world. [Click aquí para ir](#), 2019.
- [7] Wazoplus. Choosing the right taxi dispatch software in dubai for your business. [Click aquí para ir](#), 2024.
- [8] 5G-MOBIX Project. 5g-mobix d5.3 report on impact assessment and cost-benefit analysis. [Click aquí para ir](#), 2021.

## APÉNDICE

### Datos de los informes creados en TomTom

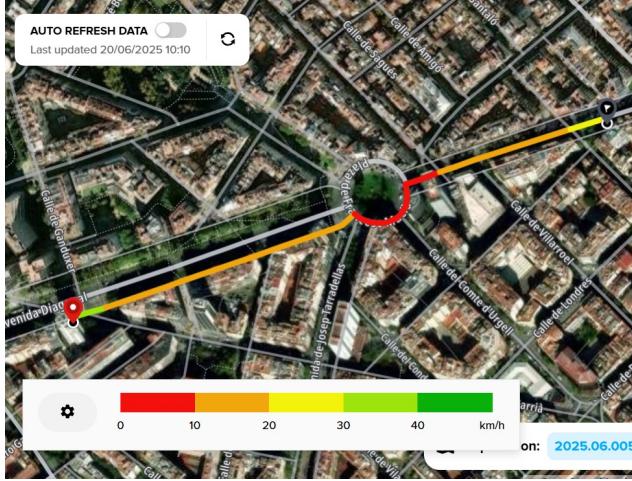


Fig. 5: Velocidades de la zona seleccionada en hora punta por tramos.

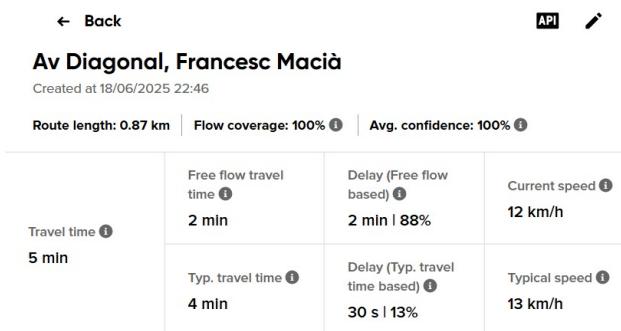


Fig. 6: Datos reales de tiempo de viaje en hora punta de la zona de estudio.

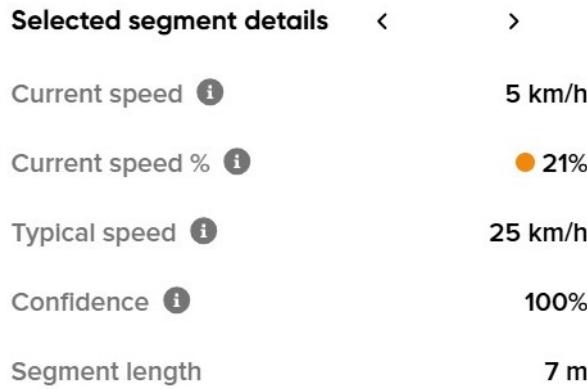


Fig. 7: Datos reales del subtramo con mas congestión en hora punta de la zona de estudio.

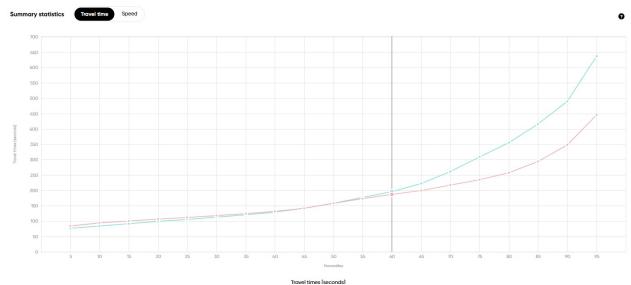


Fig. 8: Grafico de los tiempos de viaje comparados en hora punta y en una hora valle.

### Proceso de elaboracion del mapa

	Tram	Tram_Components	Descripción	Longitud	Latitud
1	1	1	Diagonal (Rond...	2.11203535639...	41.3841912394...
2	1	2	Diagonal (Rond...	2.101205286288...	41.3816307921...
3	2	1	Diagonal (Doct...	2.11194437680...	41.3844666668...
4	2	2	Diagonal (Doct...	2.101159408944...	41.3818679029...
5	3	1	Diagonal (Doct...	2.11209334303...	41.3842285092...
6	3	2	Diagonal (Doct...	2.12264979416...	41.3869296079...
7	4	1	Diagonal (Pl. Pi...	2.12259204931...	41.3871909418...
8	4	2	Diagonal (Pl. Pi...	2.111196902158...	41.3844570428...
9	5	1	Diagonal (Pl. Pi...	2.122657675929...	41.3869419579...
10	5	2	Diagonal (Pl. Pi...	2.12755961235...	41.3881790901...
11	6	1	Diagonal (Pl. M...	2.12744547149...	41.3884148694...
12	6	2	Diagonal (Pl. M...	2.12260182049...	41.3871984762...
13	7	1	Diagonal (Pl. M...	2.13270152457...	41.3894667384...
14	7	2	Diagonal (Pl. M...	2.12754890261...	41.3881628082...
15	8	1	Diagonal (Num...	2.13246229758...	41.3896789198...
16	8	2	Diagonal (Num...	2.12746219028...	41.3884400340...
17	9	1	Diagonal (Enten...	2.13732263883...	41.3906182062...
18	9	2	Diagonal (Enten...	2.14394391730...	41.3923458534...
19	9	3	Diagonal (Enten...	2.14417838627...	41.3925086487...
20	10	1	Diagonal (Franc...	2.14406099978...	41.3926586154...
21	10	2	Diagonal (Franc...	2.13711452171...	41.3908308777...
22	11	1	González Tablas...	2.10610749136...	41.3872236865...
23	11	2	González Tablas...	2.11043229970...	41.3850571472...

Fig. 9: Tabla de OpenDataBCN de los tramos de Barcelona georeferenciados.

```

CASE
    WHEN "tempoPrevist" = 0
    THEN NULL
    ELSE "tempoActual" /
    "tempoPrevist"
END

```

Fig. 10: Código utilizado para crear el índice con el cual se determinara el nivel de congestión de cada tramo.

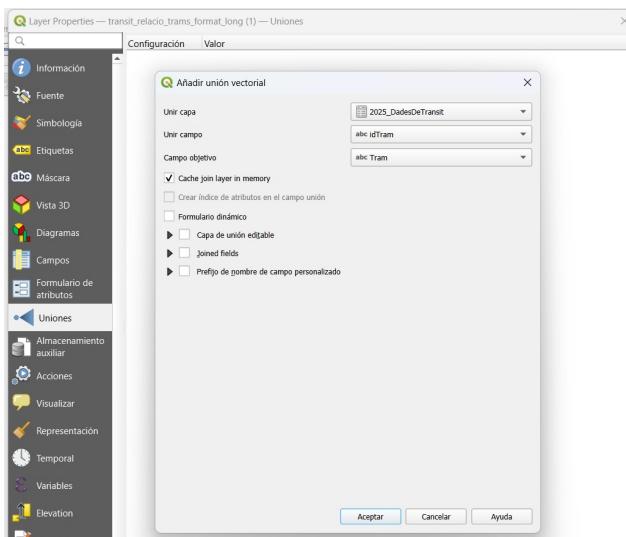


Fig. 11: Herramienta para agrupar en una sola tabla los tramos georeferenciados y los datos de indice de congestión por tramo.

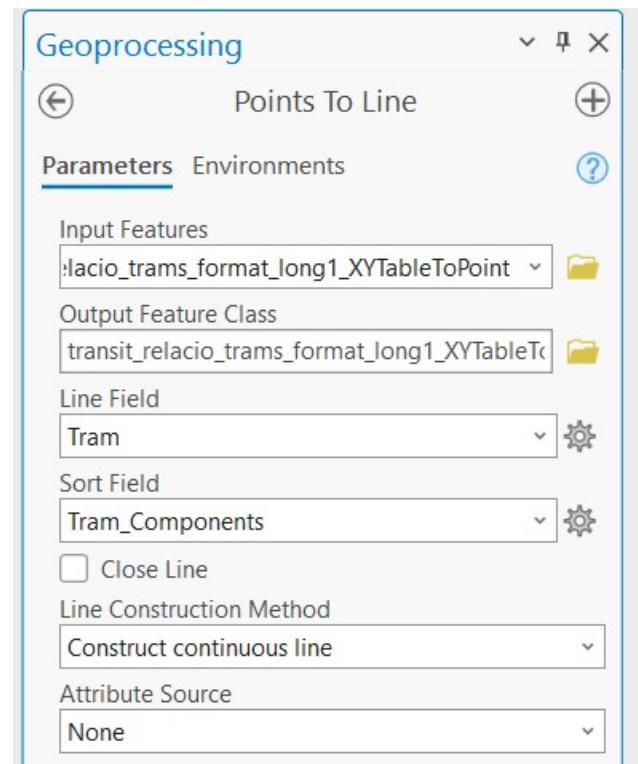


Fig. 13: Método para convertir la capa de puntos creada en una red de líneas.

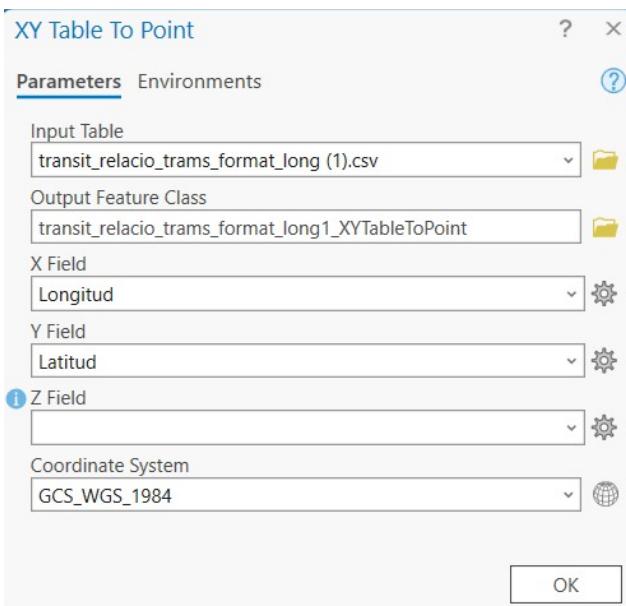


Fig. 12: Herramienta para transformar una tabla con datos georeferenciados en una capa de puntos visible en el mapa.

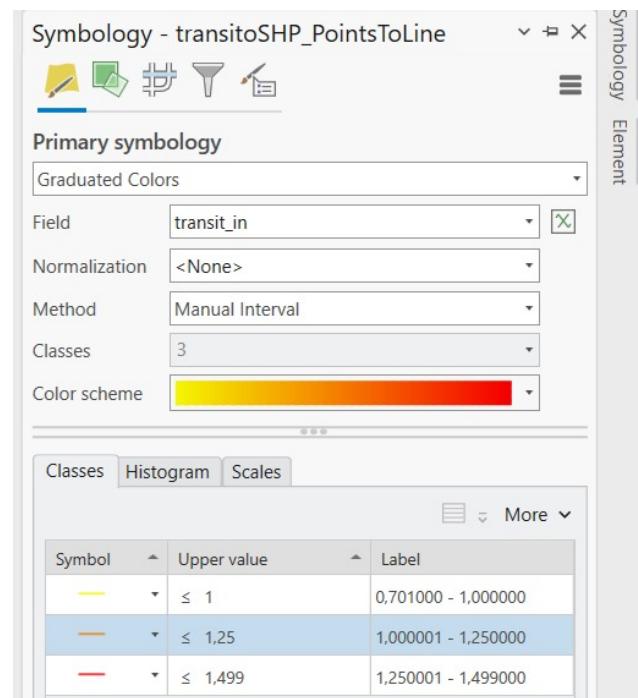


Fig. 14: Simbología aplicada en la capa de líneas para diferenciar a simple vista las zonas con mas congestión en el mapa.