

Implantación de una red tranviaria en Valladolid

Alumno: Alberto García Morchón

Tutor: Juan Carlos García Palomares

Master en Tecnologías de la Información Geográfica

Universidad Complutense de Madrid

Curso académico 2010/2011

Índice

1. Introducción.
2. Justificación del proyecto.
3. Un poco de historia.
 - 3.1. Auge y declive del tranvía.
 - 3.2. Renacimiento del tranvía moderno.
 - 3.3. Características básicas del tranvía moderno.
4. Objetivo y definición del área de estudio.
 - 4.1. Objetivo general.
 - 4.2. Objetivos específicos.
 - 4.3. Definición del área de estudio.
5. Recursos, fuentes y metodología.
 - 5.1. Recursos.
 - 5.2. Fuentes.
 - 5.3. Metodología.
6. Desarrollo y resultados del proyecto.
 - 6.1. Preparación de las restricciones y los factores.
 - 6.1.1. Anchura del viario urbano como restricción para la implantación del trazado tranviario.
 - 6.1.2. La población como factor de demanda.
 - 6.1.3. Los equipamientos como factor de demanda.
 - 6.2. El análisis ráster en la obtención de la demanda potencial.
 - 6.3. Diseño del trazado de las líneas de tranvía mediante análisis de redes.
 - 6.4. Localización de las estaciones del tranvía mediante análisis de redes.
 - 6.5. Análisis de cobertura de la propuesta de red tranviaria mediante análisis de redes
7. Conclusiones.
8. Bibliografía.

1. Introducción

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) constituyen una extraordinaria aportación al análisis territorial de los sistemas de transporte, así como a la toma de decisiones, gestión y planificación del mismo. Prueba de ello es que en el ámbito anglosajón se ha desarrollado una nomenclatura específica conocida como SIG-T (*GIS for transport* o GIS-T), integrando procesos de modelización, manipulación y análisis de datos no siempre incluidos en los SIG convencionales que van desde el análisis de redes, la evaluación de impactos ambientales, la localización y análisis de accidentes, etc etc...

De forma genérica, se distinguen tres áreas de aplicación de la tecnología SIG en el transporte: planificación del transporte, gestión de infraestructuras y servicios, y control de flotas y logística (SEGÚÍ PONS, MARTÍNEZ REYNÉS, 2004). En este sentido, el trabajo que aquí se presenta se enmarcaría en el área de la planificación, puesto que pretende ser una propuesta para la instauración de una red tranviaria en la ciudad de Valladolid.

Ya en el siglo XIX, la puesta en marcha de diferentes líneas de tranvía supuso la llegada del progreso a muchas ciudades de España y del mundo, ante la expansión de las ciudades producto de la Revolución Industrial. Estas redes fueron expandiéndose paulatinamente hasta la llegada del transporte privado masivo. Este hecho, unido a la progresión de las redes de autobuses, más flexibles, provocó el declive de este medio de transporte hasta su desaparición en muchas ciudades, Valladolid entre ellas.

Sin embargo, en los últimos años, el tranvía se ha reimplantado de nuevo en muchas zonas urbanas tras un proceso de modernización. La nueva expansión de las ciudades, la necesidad de un transporte público de calidad y eficiente, y la acomodación del tranvía a la conciencia medioambiental, hacen de este medio el transporte ideal para una ciudad como Valladolid.

No obstante, no se dispone de un conjunto de criterios debidamente justificados para el diseño del trazado de sus vías: no existe mucha documentación al respecto, y los parámetros no suelen coincidir. Es por ello que en la práctica se ha recurrido a la experiencia previa.

En este Trabajo Fin de Máster, con sus pros y sus contras, con sus puntos fuertes y sus limitaciones, se intenta dar salida a esta falta de criterios mediante la propuesta de implantación de una red tranviaria en la ciudad de Valladolid.

2. Justificación del proyecto.

La elección de este tema parte de la actualidad y profusión en la aplicación de las herramientas SIG a los transportes, así como por el gusto del que suscribe este trabajo por dicha temática. Además, la posible implantación de tranvía también es un punto de debate actual en Valladolid.

La ciudad de Valladolid y su entorno han sufrido una expansión en las últimas décadas, lo que ha llevado cada vez a la generación de un mayor número de desplazamientos. Además, no existe transporte metropolitano, y la red de autobuses urbanos resulta a todas luces ineficiente: la memoria de AUVASA (Autobuses Urbanos de Valladolid Sociedad Anónima) sitúa la velocidad de los autobuses urbanos en apenas 10 Km por hora, marca insuficiente si realmente se quiere competir con el vehículo privado. Todo ello, en suma, provoca que el tráfico de Valladolid presente un grave deterioro que amenaza la movilidad y que exige de soluciones urgentes.

La búsqueda de pautas de movilidad más sostenible, tanto en grandes ciudades como en ciudades medias (como es el caso de Valladolid), ha renovado el interés por la recuperación y promoción del tranvía como modo de transporte, convirtiéndose en rasgo distintivo de las políticas de transporte en las últimas décadas. El tranvía suele considerarse como una opción especialmente atractiva al suponer ahorros de costes en comparación con otras infraestructuras más exigentes en cuanto a inversión (metro, cercanías...), al tiempo que presenta ventajas frente a los autobuses en términos de rapidez, capacidad, fiabilidad, confort e impacto ambiental y urbano.

Los siguientes puntos ilustran bien la conveniente apuesta por el tranvía frente a otros medios de transporte:

- Es más puntual, debido a la prioridad semafórica y a la implantación de plataformas reservadas, en mayor o menor medida.
- Es más seguro, ya que es un medio de transporte guiado y previsible.
- Es más accesible para todo el mundo, gracias a que los nuevos tranvías son de piso bajo.
- Es más rápido, ya que dispone de una velocidad comercial muy alta, y al estar en superficie se reducen los tiempos de viaje.

- Es más versátil, porque su trazado no queda sujeto a requerimientos geológicos, y puede llegar a servir determinados núcleos de población de muy difícil acceso para otros medios de transporte.
- Cuenta con una mayor capacidad: un tranvía estándar puede transportar más de 200 personas (174 coches, 3 autobuses).
- Es menos contaminante al ser un transporte de tracción eléctrica, evitando emisiones de CO².
- Es menos ruidoso por su construcción con materiales ligeros que disminuyen el nivel de vibraciones y ruidos.
- Ocupa un carril más estrecho del que necesita un autobús, ya que carece de desplazamientos laterales, lo que racionaliza el uso del escaso espacio público urbano.
- Su construcción es mucho más económica y, por tanto, más viable que el metro.
- Consume menos energía que el metro, al no tener que contar con infraestructuras de acceso (ascensores, escaleras mecánicas, accesos...) ni iluminación.
- Tiene un radio de captación mayor que los autobuses urbanos (600 m).

Por otra parte, no son pocas las voces que se alzan en la ciudad en defensa de la implantación de este medio de transporte, si bien es cierto que también las hay en contra. Por tanto, también es un tema de debate en la actualidad de la ciudad de Valladolid.

La Cámara de Comercio e Industria de la ciudad ya encargó un proyecto que se decantaba abiertamente por este medio de transporte como apuesta básica. También ha sido un tema de debate en alguna campaña electoral. Pero a todo ello, se suma la oportunidad de implantar el tranvía en el nuevo bulevar que surgirá del futuro soterramiento de las vías ferroviarias a su paso por la ciudad, cuyo proyecto, encargado al arquitecto Richard Rogers, incluye la proposición de un tranvía a lo largo de este nuevo espacio.

Frente a las ventajas antes mencionadas, se suele argumentar que su implantación es cara. No obstante, a menudo se gastan ingentes cantidades de dinero en proyectos de dudosa utilidad, y además, existen diversos modos de gestión y

financiación que permiten abordar estas inversiones, como se ha hecho en otras ciudades.

Otra de las argumentaciones en contra es que la implantación del tranvía es incompatible en los cascos históricos, por su configuración. Pero existen ciudades en toda Europa con complejos cascos históricos que son muestra de la capacidad del tranvía para discurrir por todo tipo de vías.

También suele decirse que el tranvía reduce la capacidad de tránsito para el vehículo privado. Pero eso es precisamente lo que se busca con este tipo de iniciativas: estudios realizados en diferentes ciudades hablan de la reducción drástica del uso del vehículo privado, no por su penalización, sino por constituir una verdadera alternativa para ese uso. En Santa Cruz de Tenerife, de un tamaño similar a Valladolid, la empresa B&G Consulting constató una reducción del uso del vehículo privado en el entorno del tranvía de un 22%.

Además, el tranvía tampoco supone una nueva barrera, como algunos afirman. De hecho, la implantación de un tranvía moderno coexiste con el peatón, crea nuevos ambientes, más agradables. Se crea vida en torno a él fomentando el comercio y la intermodalidad, de modo que contribuye a la creación de ciudad y al desarrollo del entorno por el que circula. Es, en suma, un elemento de regeneración urbana.

Por último, cabría destacar que la implantación de diferentes líneas de tranvía permitiría un mejor aprovechamiento de la flota de autobuses urbanos mediante una redefinición de las líneas que contribuyesen a crear nodos de intermodalidad con el tranvía y posibilitar un incremento de las frecuencias.

3. Un poco de historia.

3.1. Auge y declive del tranvía.

El tranvía fue un medio de transporte que llegó a predominar como transporte urbano antes de ser suplantado por el automóvil. A principios del siglo XIX surgieron los tranvías primitivos, carruajes tirados por caballos sobre rieles para el transporte de mercancías o pasajeros. Estos tranvías, denominados de tracción a sangre, se extendieron por Europa y América en las décadas sucesivas.

Más tarde, llegó la tracción a vapor, pero las molestias causadas por el humo no hicieron popular este sistema, en contraposición a los primeros tranvías eléctricos, puestos en servicio en Berlín en 1879. Este tipo de tranvías fueron los que realmente supusieron la revolución en el transporte urbano, conociendo un desarrollo considerable entre principios del siglo XX y el período de Entreguerras. Llegaron a convertirse en el principal medio de transporte urbano ante la desaparición del transporte a caballo, la aún escasa existencia de autobuses, y lo restringido de contar con un vehículo privado.

Sin embargo, en los años posteriores, la venta masiva de vehículos, símbolo del progreso, así como la implantación de líneas de autobuses provoca la rápida desaparición del tranvía del paisaje urbano a partir de 1935. Las autoridades dejan de invertir en el tranvía, por lo que las redes comienzan a deteriorarse, dejando de ser atractivas para el público, con la consiguiente merma de la demanda.

De este modo, el tranvía experimentó un declive generalizado en la mayor parte de los países desarrollados hasta la década de 1970, paralelamente al incremento de las tasas de motorización privada. Este declive llevó a su práctica desaparición en muchos casos: en Estados Unidos, sólo 7 ciudades contaban con este servicio a finales de dicha década; en Reino Unido sólo Blackpool lo conservó, mientras que en Francia persistían apenas pequeñas redes en Lille, Marsella o St. Etienne. En el caso de España, se produjo la desaparición completa a medida que avanzaba la descapitalización y el deterioro de las redes: Sevilla (1960), Bilbao (1964), Valencia (1970), Barcelona (1971), Madrid (1972) o Zaragoza (1976) fueron las últimas grandes ciudades en cerrar sus redes (Albertos Puebla et al, 2010).

En cambio, en otros países se mantienen como es el caso de la Europa del Este, donde las economías de planificación central no permitieron la compra masiva

de automóviles privados. Pero también se conservaron en otros países occidentales, como Alemania, Austria, Bélgica, Países Bajos o Suiza, donde no sólo se mantuvo el servicio, sino que se modernizaron y abrieron nuevas líneas.

3.2. Renacimiento del tranvía moderno.

Tras un proceso de modernización iniciado hace unos 30 años, el tranvía vuelve a estar en auge, en muchas ocasiones, aprovechando corredores dejados por ferrocarriles abandonados. Desde los inicios de la década de 1980, la implantación de tranvías modernos se ha convertido en una innovación para la movilidad urbana que, tras la crisis del petróleo y la saturación de la ciudad por parte de los vehículos particulares. Su modernización reside principalmente en la prioridad semafórica y en la disminución de interferencias con el resto del tráfico mediante el uso de plataforma reservada en buena parte de su recorrido.

Fue en Francia, país donde prácticamente habían desaparecido los tranvías, donde se inauguró el primer tranvía moderno en Nantes (1985), al que siguieron otras 16 ciudades hasta la más reciente, Toulouse (2010). En Reino Unido, Manchester fue la pionera (1992), a la que siguieron otras 5 ciudades hasta 2010. Mayor desarrollo alcanza Alemania, que cuenta con cerca de 50 ciudades en las que disponen de una red de tranvías, o Estados Unidos, donde a San Diego (1981) se han unido otras 25 ciudades.

En el caso de España, se puede decir que a pesar de lo reciente de los tranvías modernos, es uno de los países europeos que mayor intensidad alcanza en la adopción de estos nuevos transportes. Valencia (1994) fue la pionera en nuestro país en los años 1990, pero ya en la primera década del siglo XXI se unieron Bilbao (2002), Alicante (2003), Barcelona (2004), Vélez-Málaga (2006), Madrid (2007), Sevilla (2007), Tenerife (2007), Murcia (2007), Parla (2007), Vitoria (2008) y Málaga (2009). Además, existen numerosos proyectos para el futuro: Jaén y Zaragoza (previstos para 2011), Granada (2012), Bahía de Cádiz y León (fecha aún por determinar) y otras (Castañer, 2011. Ver figura 1).



Figura 1. Gráfico cronológico de la implantación de tranvías modernos en España. Fuente: Estudio de los tranvías de España en la actualidad. Castañer Castillo, Carmen. 2010.

En total, en 2015 habrá unas 20 ciudades españolas que contarán con tranvía moderno, algunas de ellas de una entidad similar (Granada, Murcia, Tenerife...) o menor (Jaén, Parla, Vitoria, Vélez-Málaga...) que Valladolid. Esto sitúa a España en las primeras posiciones en cuanto a implantación de este medio de transporte. Además, estas cifras podrían ampliarse por las numerosas ciudades que debaten aún la posibilidad de adoptar este medio de transporte, Valladolid entre ellas. Si bien es cierto, algunas de estas propuestas podrán verse desechadas o postergadas dada la actual coyuntura de crisis.

3.3. Características básicas del tranvía moderno.

Los tranvías modernos son trenes ligeros que circulan en superficie en las áreas urbanas, por las propias calles, con o sin separación del resto de la vía. En algunos casos, la plataforma del tranvía se cubre con césped de modo que queda más integrada en el paisaje urbano. En general, utilizan un carril especial denominado carril de garganta, que permite pavimentar a ambos lados de los carriles y hasta su nivel superior, de modo que es posible la circulación de automóviles y peatones.

El principal objetivo de los tranvías modernos es garantizar la accesibilidad mediante el transporte público en las ciudades, bajo unas condiciones de respeto por el medio ambiente y de fomento de la sostenibilidad en el entorno urbano.

Con el tranvía, lo que se pretende es modificar el patrón de movilidad, incrementando la importancia relativa del transporte colectivo frente al transporte privado. Con ello se pretende mejorar la accesibilidad al centro desde los barrios, reduciendo la presión del tráfico de vehículos sobre el centro urbano, y mejorando la calidad de su entorno.

4. Objetivo y definición del área de estudio.

La elaboración de este Trabajo Fin de Máster forma parte del plan de estudios del *Máster en Tecnologías de la Información Geográfica* de la Universidad Complutense de Madrid, con un total de 6 créditos. En él, se trata de llevar a cabo un proyecto aplicando los conocimientos y competencias adquiridos durante el curso, de modo que utilizando las herramientas adecuadas se proceda a la resolución de un problema planteado.

4.1. Objetivo general.

El objetivo general de este trabajo consiste en establecer una red tranviaria en la ciudad de Valladolid, teniendo en cuenta la demanda potencial que tendría, y conocer la cobertura del mismo una vez realizada la propuesta.

4.2. Objetivos específicos.

Para poder llevar a cabo el objetivo general de este proyecto, será necesaria la previa resolución de los objetivos específicos:

- Analizar la bibliografía existente referente a esta temática.
- Recopilación de la cartografía existente con referencia al municipio de Valladolid, que pueda ser útil para el desarrollo del trabajo.
- Hallar la anchura de los diferentes viales de la ciudad de Valladolid para saber por qué calles puede discurrir un tranvía.
- Conocer la demanda potencial que tendría el tranvía en las diferentes zonas de Valladolid.
- Diseñar una red de líneas tranvía que unan las diferentes zonas de mayor demanda potencial.
- Localizar las diferentes estaciones con que contarán las distintas líneas.
- Conocer la cobertura de las mismas.

4.3. Definición del área de estudio.

Valladolid es una ciudad y municipio español, situado en el noroeste de la Península Ibérica, y capital su provincia y de la Comunidad Autónoma de Castilla y León. Cuenta con una población de 315522 habitantes (INE 2010), y una superficie de 197,91 Km².

El término municipal de Valladolid está compuesto por tres territorios separados entre sí: el principal, donde radica la propia ciudad, y dos exclaves, Navabuena y el Rebollar, situados en la comarca de los Montes Torozos. Asimismo, el territorio principal cuenta con varios núcleos de población: la ciudad de Valladolid, La Overuela, el Pinar de Antequera y Puente Duero-Esparragal. No obstante, el grueso de la población se asienta en el núcleo principal. La población se reparte del siguiente modo:

- Territorio principal:
 - Valladolid: 313501 habitantes.
 - La Overuela: 2309 habitantes.
 - El Pinar de Antequera: 848 habitantes.
 - Puente Duero-Esparragal: 1160 habitantes.
- Navabuena: 46 habitantes.
- El Rebollar: deshabitado.

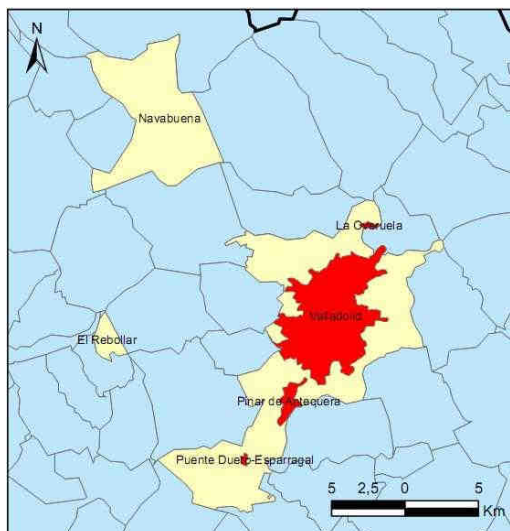


Figura 2. Esquema de la organización territorial de Valladolid. Elaboración propia.

Dada la naturaleza casi anecdótica de los exclaves del municipio, se ha decidido que el área objeto de este estudio se reduzca únicamente al componente principal municipal. Por tanto, el área de estudio cuenta con una población de 315476 habitantes, sobre una superficie de 142,06 Km².

Sin embargo, y dada la naturaleza de la temática de este trabajo, realmente no se va a trabajar en función del término municipal, sino teniendo más en cuenta los núcleos de población y sus componentes, y más concretamente, el núcleo principal de la ciudad de Valladolid.

5. Recursos, fuentes y metodología.

5.1. Recursos.

Para la elaboración de este proyecto se han utilizado herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG), concretamente, el potente software comercializado por ESRI: el programa ArcGis en su versión 10, el cual nos permite manipular la información geográfica con que contamos para la resolución del problema.

Puntualmente, también se ha acudido a las hojas de cálculo de Microsoft Excel, para el tratamiento de diferentes resultados numéricos.

5.2. Fuentes.

La información que se disponía al inicio del proceso ha sido bastante exigua, dada la escasez en la disponibilidad de datos libres y útiles para el caso que nos ocupa. Ésta puede dividirse en dos: información estadística e información cartográfica:

- Información estadística: se ha utilizado el servidor del Instituto Nacional de Estadística para descargar datos sobre la población a nivel de sección censal en Valladolid, procedentes del Padrón de 2010.
- Información cartográfica:
 - Base cartográfica municipal de Castilla y León, obtenido a través Centro de Descargas del Instituto Geográfico Nacional (IGN).
 - Secciones Censales de Valladolid, proporcionado por el Servidor de Cartografía Digital del Departamento de Geografía de la Universidad de Valladolid (UVA).
 - Portales y viario urbano de Valladolid, obtenido a través del centro de Descargas del Instituto Geográfico Nacional (IGN), a través del proyecto Cartociudad.
 - Equipamientos de Valladolid, proporcionado por el Servidor de Cartografía Digital del Departamento de Geografía de la Universidad de Valladolid (UVA).
 - Ortofoto Digital de Máxima Actualidad, en sus hojas 342, 343, 371 y 372, correspondientes a la ciudad de Valladolid, obtenido a través Centro de Descargas del Instituto Geográfico Nacional (IGN).

5.3. Metodología.

En el proceso de desarrollo del trabajo que se presenta, se han seguido una serie de fases que se mencionarán a continuación. Sin embargo, es necesario indicar a priori unas premisas:

- Este trabajo no se trata de un proyecto para la instalación de una red tranviaria en Valladolid, sino que es un documento académico que pretende proponer un trazado para dicha red. Por tanto, no se han tenido en cuenta ciertos aspectos que sí deberían considerarse en caso de proyecto real, y de tener la posibilidad de contar con más información.
- La recopilación de información ha sido ardua. Por un lado, como se ha comentado anteriormente, la información bibliográfica al respecto es poca y a menudo no coincidente; por otro lado, la escasa información cartográfica disponible también ha condicionado el desarrollo del trabajo.
- Es por ello que la demanda potencial del tranvía se ha calculado únicamente en base a la población y a los equipamientos.
- No se han tenido en cuenta algunas cuestiones urbanísticas, así como la afección y la necesaria reordenación del tráfico consecuente de la implantación de un tranvía en una ciudad.
- Se plantea la implantación de la red en un escenario en el que se han soterrado las vías del ferrocarril Madrid-Irún, y levantado las del ferrocarril Valladolid-Ariza, desde su origen hasta la nueva variante ferroviaria.

Una vez que se constató la falta de uniformidad en los criterios a la hora de diseñar el trazado de un tranvía y se comprobó la cartografía disponible para la realización del trabajo, se comenzó a diseñar una serie de factores y restricciones que pudieran afectar a la implantación de un tranvía.

En este sentido, está claro que la creación de un eje tranviario en una zona urbana ya establecida impone grandes restricciones a la inserción de la línea, de modo que los parámetros de trazado quedan condicionados por la anchura y pendiente de las calles. Puesto que Valladolid es prácticamente una ciudad llana, la pendiente se desechó, quedándonos con la anchura de las calles como restricción.

Por otro lado, y en base a la cartografía disponible, se decidió que la demanda potencial del tranvía estaría formada por la población y los equipamientos. Es lógico pensar que el empleo hubiera mejorado el modelo de demanda potencial,

pero no existían datos relativos a empleo al nivel en que se ha trabajado, el de las secciones censales.

El primer paso fue la adecuación de la cartografía disponible, tanto en lo referente a su escala como a su proyección y sistema de representación. En el caso de la escala, se ha reducido toda la información a la estrictamente incluida dentro del territorio principal del municipio de Valladolid. Por lo que respecta a la proyección y sistema de representación, se homogeneizó toda la información cartográfica en función del *European Terrestrial Reference System 1989* (ETRS89), que según el Real decreto 1071/2007 es el sistema de referencia geodésico oficial en España, proyectada en *Universal Transverse Mercator* (UTM).

A partir de aquí se procedió a la preparación de los distintos factores y restricciones:

- El caso más complicado fue hallar la anchura de las calles, puesto que se contaba con los tramos de calle, pero no con su ancho. Para hallar una primera aproximación a la anchura de las calles entraron en juego también los portales. Sin embargo, el resultado no fue del todo satisfactorio, por lo que se completó con edición manual. Además, también se digitalizaron nuevos viales sobre las actuales vías de ferrocarril, en previsión de su soterramiento/levantamiento.
- Por lo que respecta a la población, hubo que combinar la información estadística extraída del INE con la información cartográfica mediante una operación *Join*. No obstante, para una mayor exactitud en la localización de la población, se procedió a la edición de las secciones, relocalizando la población dentro de las mismas según los usos del suelo.
- Finalmente, el último elemento a tener en cuenta, los equipamientos, se actualizaron y dividieron según su tipo y dimensión. Posteriormente, se asignarían cada equipamiento a una categoría en función del interés o poder de atracción estimado, puntuando además dicho interés de 0 a 100.

El siguiente paso consistió en la obtención de la demanda potencial. Para ello se recurrió al análisis ráster, combinando los datos de población y equipamientos, mediante una ponderación 60%/40%, previamente normalizados mediante un ajuste de tipo lineal.

Posteriormente, se procedió a diseñar, mediante análisis de redes y sobre la capa de los tramos del viario urbano, rutas que unieran los puntos de mayor demanda a lo largo de la ciudad, que definirían las líneas de tranvía. Para ello se utilizó una jerarquía de viales que tendría en cuenta la anchura de las calles como restricción, favoreciendo la circulación del tranvía por los tramos más anchos.

También mediante la extensión de análisis de redes, se plantearon las diferentes estaciones del tranvía mediante la herramienta *Location-Allocation*, de modo que ofreciera las localizaciones convenientes para las mismas para ofrecer una cobertura óptima.

Finalmente, con la misma extensión se realizaron las convenientes operaciones para extraer la cobertura de las líneas de tranvía propuestas con respecto a la población y los equipamientos. El sistema más habitual para determinar el área servida por una estación de transporte público corresponde a la isocrona de 5 minutos andando a una velocidad media, mientras que el ratio de captación aumenta hasta la isocrona de los 10 minutos. Es por ello que estas coberturas se analizarán en franjas de 5 y 10 minutos a pie desde las estaciones.

6. Desarrollo y resultados del proyecto.

6.1. Preparación de las restricciones y los factores.

6.1.1. Anchura del viario urbano como restricción para la implantación del trazado tranviario.

Una de las mayores restricciones a la hora de implantar una red tranviaria en una ciudad es la capacidad de las vías urbanas para acogerlo. En este sentido, es muy importante la anchura mínima con que debe contar el viario para ser susceptible de formar parte del recorrido de una línea de tranvía. Sin embargo, la información cartográfica disponible no contaba con el dato de anchura de los tramos de viales, por lo que hubo que buscar un método para hallarlo.

Para ello, se ha utilizado la capa de los propios tramos, así como una capa de puntos que marca la situación de los portales de cada vial, proporcionado por el proyecto Cartociudad del IGN. Suponiendo la bondad en la edición de dichos puntos, los portales se situarían en los extremos de la calle, de modo que el método para conseguir el dato de anchura mínima consiste en lo siguiente:

1. Crear un campo PAR-IMPAR en la capa portales, asignando el valor correspondiente en función del lado de la calle en la que se sitúan los portales.
2. Hallar la distancia entre los portales y los viales: para lo cual se utilizó la herramienta *Near*.
3. En función del campo de identificación de cada vial, hallar el valor mínimo resultante para cada lado de la calle.
4. Sumar ambos valores, obteniendo como resultado el valor mínimo de anchura de cada vial.

No obstante, el resultado no fue totalmente satisfactorio ya que existen algunos viales para los que este método no es válido. Es el caso de aquellos viales que sólo cuentan con portales en uno de sus lados (en figura 3, señalados con flechas naranjas), o aquellos donde ni siquiera hay portales. Es por ello que ésta sólo fue una aproximación parcial a la anchura de las calles.

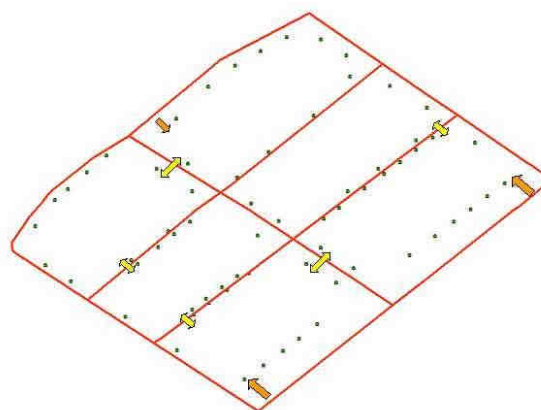


Figura 3: Ejemplo sobre el método para hallar la anchura de los viales. Elaboración propia.

Posteriormente, se procedió al depurado de la base de datos. Asimismo, tras llevar a cabo este proceso también se llevó a cabo una intensa labor de redigitalización manual para comprobar, y corregir en su caso, el ancho de los principales ejes de la ciudad, aquellos que a priori parecen susceptibles para acoger las vías del tranvía. Para ello, se utilizó el editor de ArcGis, así como la ortofoto digital suministrada por el IGN.

Por otro lado, y también con la ayuda de la ortofoto, se digitalizaron nuevos viales: tramos de nueva construcción en nuevos desarrollos urbanos, y sobre todo, los futuros bulevares que surgirán del soterramiento de las vías del ferrocarril Madrid-Irún, así como del levantamiento de las vías del Valladolid-Ariza desde su origen, cerca de la estación Campo Grande hasta la nueva variante ferroviaria, a los cuales también hubo que asignar un valor de anchura.

El resultado final de esta operación contiene los mismos elementos cartográficos que la capa origen de tramos de viario urbano, pero contando ya con su anchura mínima correspondiente, por lo que puede cartografiarse según su ancho, como se muestra en la figura 4. Esta capa se retomará posteriormente, utilizándose como restricción a la hora de crear la red tranviaria, de modo que se establecerá una anchura mínima de los viales por donde podrían pasar los tranvías, así como una jerarquía de los mismos, que premie la implantación de la plataforma tranviaria en los ejes urbanos de mayor categoría.



Figura 4: Capa del viario urbano de Valladolid representado según su anchura mínima. Elaboración propia. Fuente: Cartociudad, IGN.

6.1.2. La población como factor de demanda.

Uno de los factores más importantes de demanda del transporte público siempre es dónde se sitúa la población, para tomar las decisiones y planificar de manera que la cobertura del mismo sea óptima.

Para la toma en cuenta de este factor, la unidad estadística mínima de la que se cuenta con datos precisos para la ciudad de Valladolid es la sección censal. Dichos datos de población se han obtenido a través del Instituto Nacional de Estadística (INE), cuyos datos han sido cruzados mediante la operación *Join* con la base cartográfica de las mismas, cedida por el Departamento de Geografía de la Universidad de Valladolid.

Sin embargo, y dada la amplitud de alguna de estas secciones, se ha procedido a un ajuste de éstas para obtener una mayor precisión en los resultados. De este modo, se ha llevado a cabo la edición manual de las secciones censales, segregando de las mismas grandes espacios, a priori, sin población, tales como terrenos rústicos sin urbanizar, grandes equipamientos, espacios sin usos residenciales, etc... Además, para contar con un mayor grado de exactitud a la hora de redistribuir la población, también se han dividido las secciones en función de su tipología edificatoria, a saber, residencial multifamiliar y residencial unifamiliar.

Para ello, se ha contado de nuevo con la ayuda de la ortofoto digital, sobre la cual se han digitalizado las nuevas demarcaciones. Posteriormente, se ha llevado a cabo el cálculo de las nuevas poblaciones, para lo cual se ha acudido al método de la ponderación areal, tomando también en cuenta la intensidad en la urbanización de los espacios.

Las figuras 5 y 6 resumen el resultado de estas operaciones: la primera muestra la diferencia entre las secciones censales y las nuevas demarcaciones (se pasó de 270 secciones a 437 nuevos polígonos); mientras que la segunda refleja la densidad de población estimada para estas últimas, mostrando ya un primer acercamiento a las áreas que tendrían una mayor demanda, y que parecen mostrar una clara distribución: eje norte-sur desde Rondilla, pasando por el centro y prolongándose hasta Covaresa a lo largo del Paseo de Zorrilla; en el oeste, destaca el barrio de Parquesol; y barrios populares de la zona este, como Delicias, Pajarillos o Pilarica.

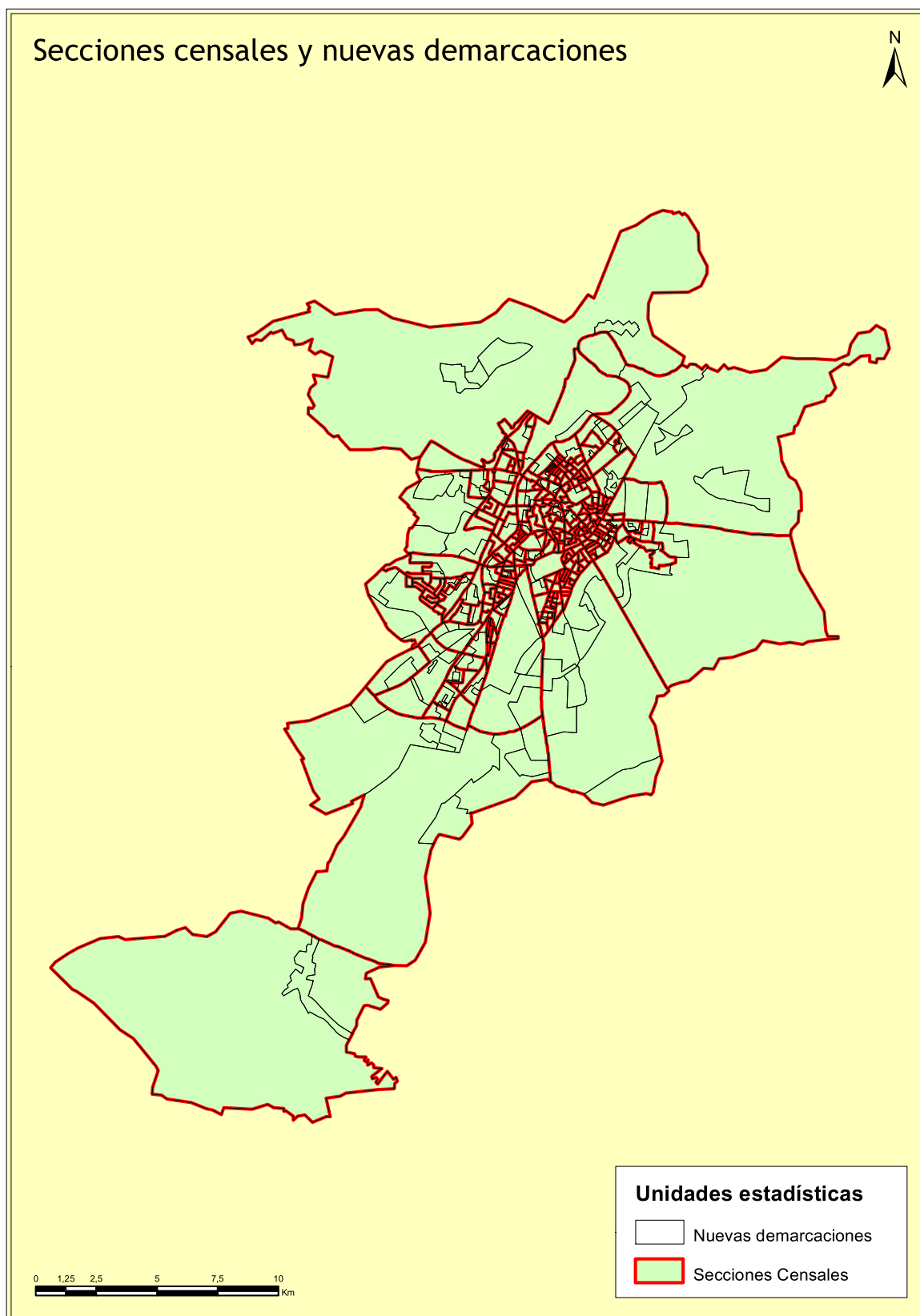


Figura 5: Diferencias entre las secciones censales originales y las nuevas demarcaciones, que serán las utilizadas en adelante. Elaboración propia. Fuente: INE y Departamento de Geografía de la Universidad de Valladolid.

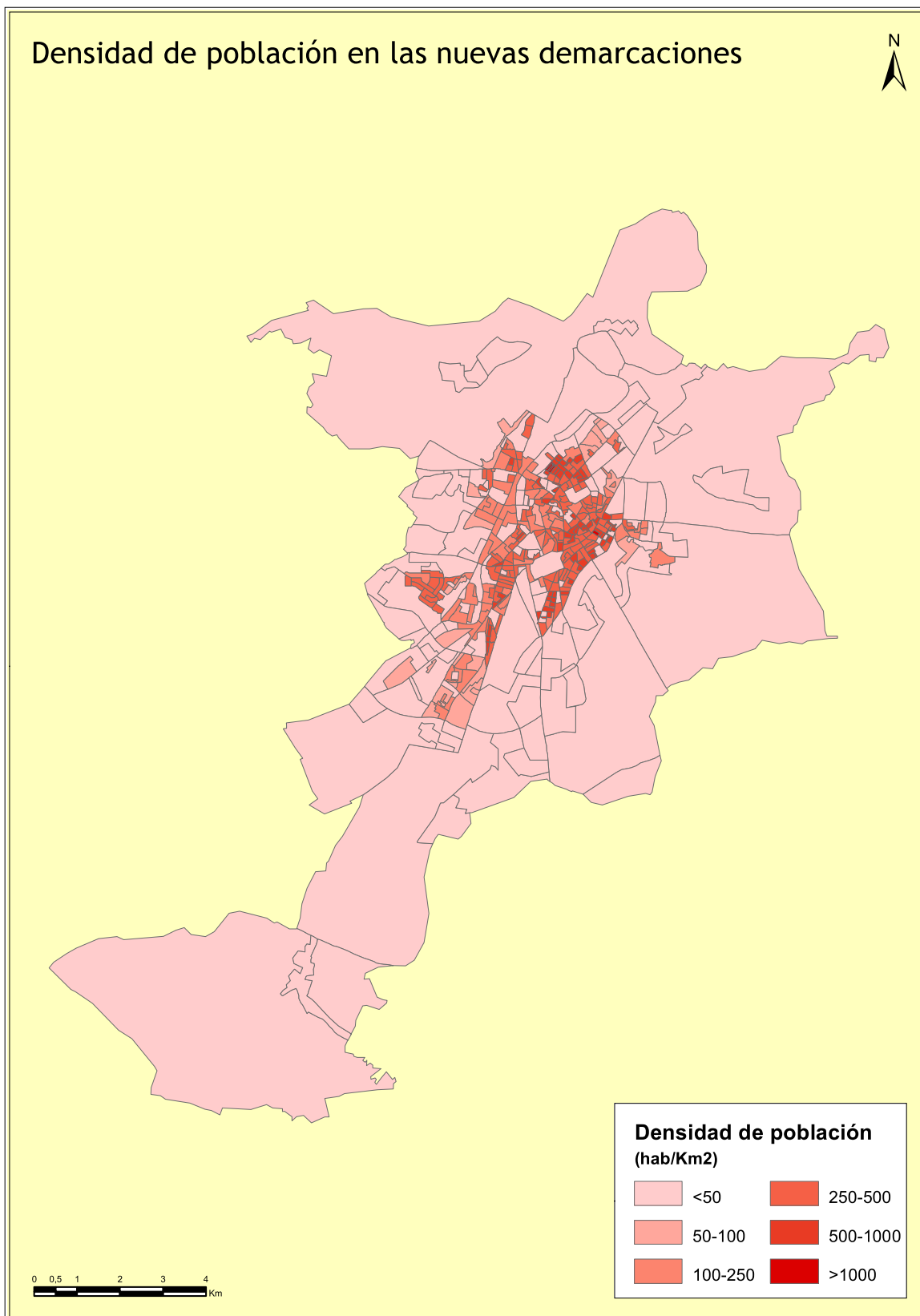


Figura 6: Densidad de población en la ciudad de Valladolid. Elaboración propia. Fuente: INE y Departamento de Geografía de la Universidad de Valladolid.

6.1.3. Los equipamientos como factor de demanda.

El otro gran factor a tener en cuenta para cuantificar la demanda potencial del tranvía en Valladolid, ha sido la malla de infraestructuras de equipamientos con que cuenta la ciudad. Para ello, se ha utilizado la capa de equipamientos proporcionada por el servidor de cartografía del Departamento de Geografía de la Universidad de Valladolid.

El primer paso en este sentido ha sido la edición de la capa para su actualización y corrección. Se han editado nuevos equipamientos que no aparecían, se han eliminado otros que, o bien han desaparecido o bien han cambiado de uso, y también se ha procedido a la corrección de la base de datos, pues contenía algunos errores.

Posteriormente, se ha asignado una categoría a los equipamientos según su función, y se han creado subgrupos dentro de las mismas, en función de su importancia.

- Comercial.
 - Grandes superficies.
 - Centros de ocio.
 - Mercados y pequeños centros comerciales.
- Cuerpos del Estado.
 - Academia de Caballería.
 - Cuarteles de Guardia Civil y Policía Nacional.
 - Servicios municipales: Policía Local, Bomberos...
 - Cuarteles militares.
- Cultural.
 - Centro Cultural Miguel Delibes.
 - Grandes museos.
 - Otros museos, teatros, etc...
 - Palacios y otros monumentos.
- Educación.
 - Universidad.
 - Institutos.
 - Colegios.
 - Otros centros de formación.
 - Comedores escolares, residencias estudiantiles, etc...

- Iglesias.
 - Catedral y grandes iglesias monumentales.
 - Otras iglesias.
- Instalaciones deportivas.
 - Estadio José Zorrilla.
 - Grandes instalaciones deportivas.
 - Polideportivos.
 - Residencias deportivas, etc...
- Organismos oficiales.
 - Grandes organismos oficiales.
 - Otros organismos oficiales.
- Otras instalaciones.
 - Feria de Muestras de Valladolid.
 - Otras instalaciones.
- Sanidad.
 - Hospitales.
 - Centros de especialidades.
 - Centros de salud.
 - Centros administrativos de sanidad.
- Social.
 - Centros cívicos.
 - Residencias, centros de días, etc...
 - Centros de minusválidos, beneficencia, banco de alimentos, CEAS...
- Transporte.
 - Estación de RENFE Campo Grande.
 - Estación de autobuses.
 - Talleres de RENFE.

Una vez realizada esta diferenciación, se procedió a la segregación de los distintos equipamientos en distintas capas, para poder tenerlos en cuenta de forma independiente, pues no todos los equipamientos tienen el mismo poder de atracción. De este modo, se crearon tres nuevas capas, a las que se asignaron los distintos equipamientos según la categorización anterior:

1. Grandes equipamientos.
2. Equipamientos medianos.
3. Pequeños equipamientos.

Y además, como tampoco dentro de estas categorías, todos los equipamientos tienen el mismo interés por su demanda, también se llevó a cabo una puntuación de los mismos. Para ello, en cada una de las nuevas capas se creó un nuevo campo de “Interés” en el que se puntuaron los equipamientos de 0 a 100, mostrándose el resultado de todas estas operaciones en las figuras 7 y 8.

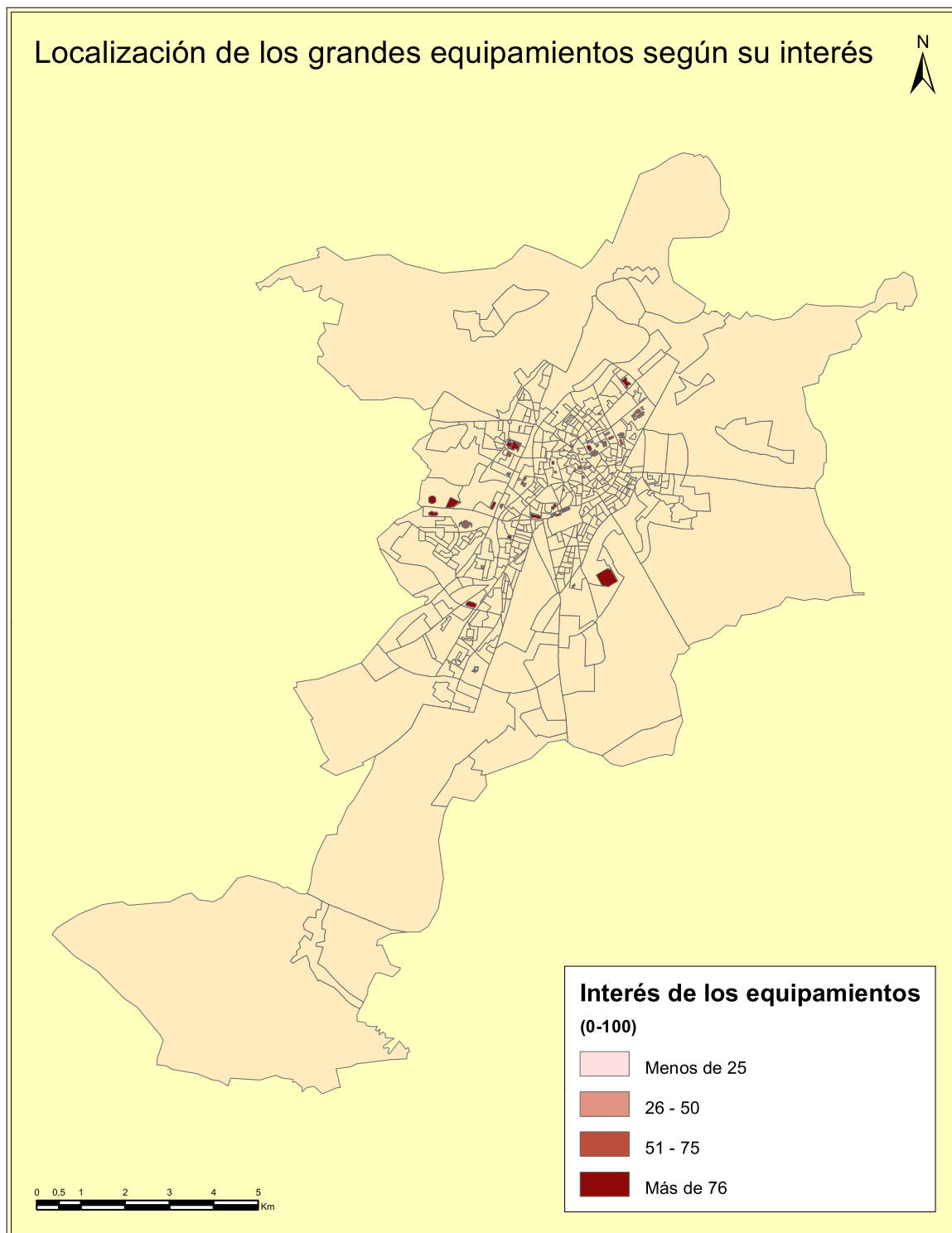


Figura 7: Situación de los grandes equipamientos sobre las nuevas demarcaciones estadísticas creadas a partir de las secciones censales. Los equipamientos aparecen cartografiados según su interés. Elaboración propia. Fuente: Departamento de Geografía de la Universidad de Valladolid.

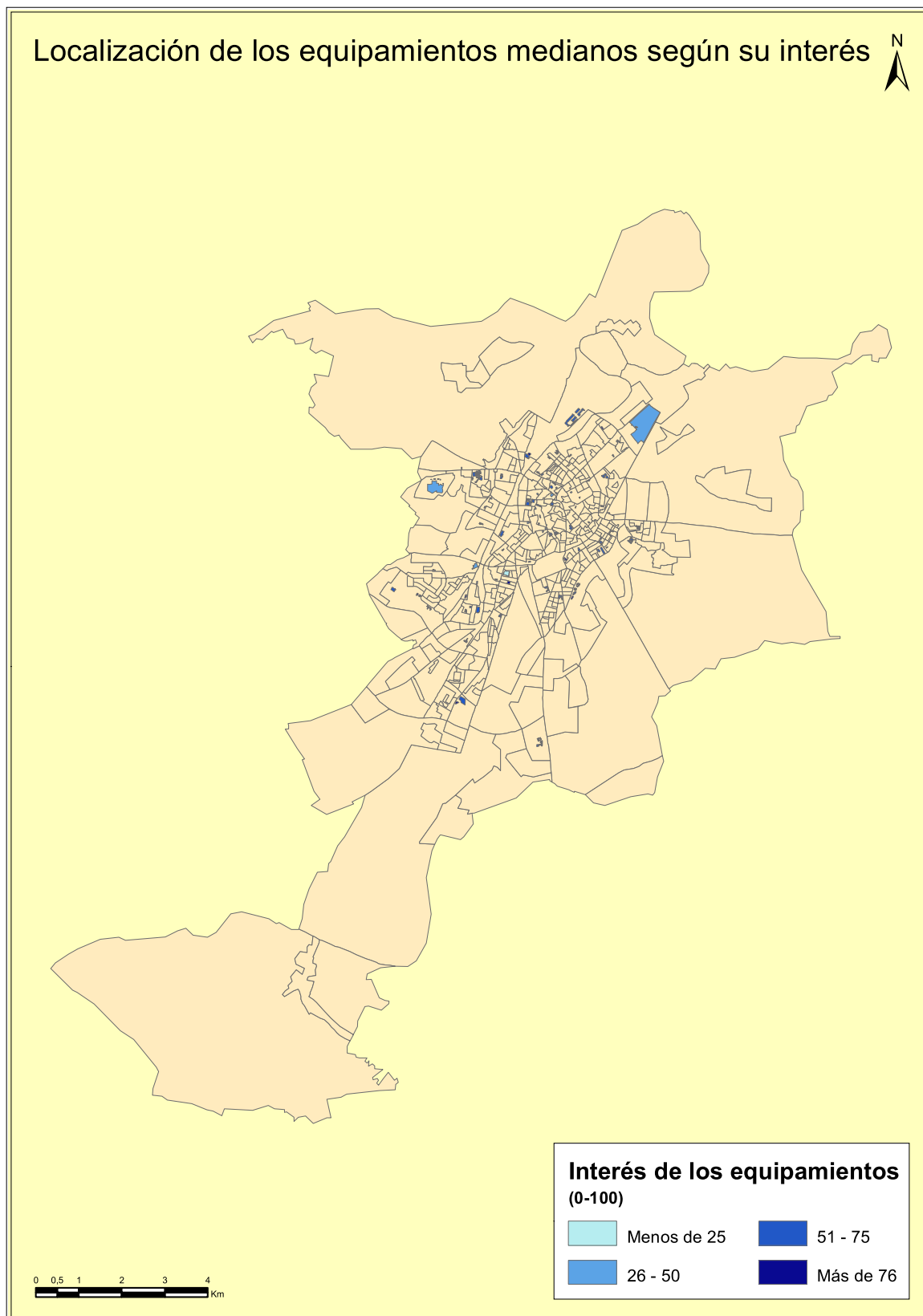


Figura 8: Situación de los medianos equipamientos sobre las nuevas demarcaciones estadísticas creadas a partir de las secciones censales. Los equipamientos aparecen cartografiados según su interés. Elaboración propia. Fuente: Departamento de Geografía de la Universidad de Valladolid.

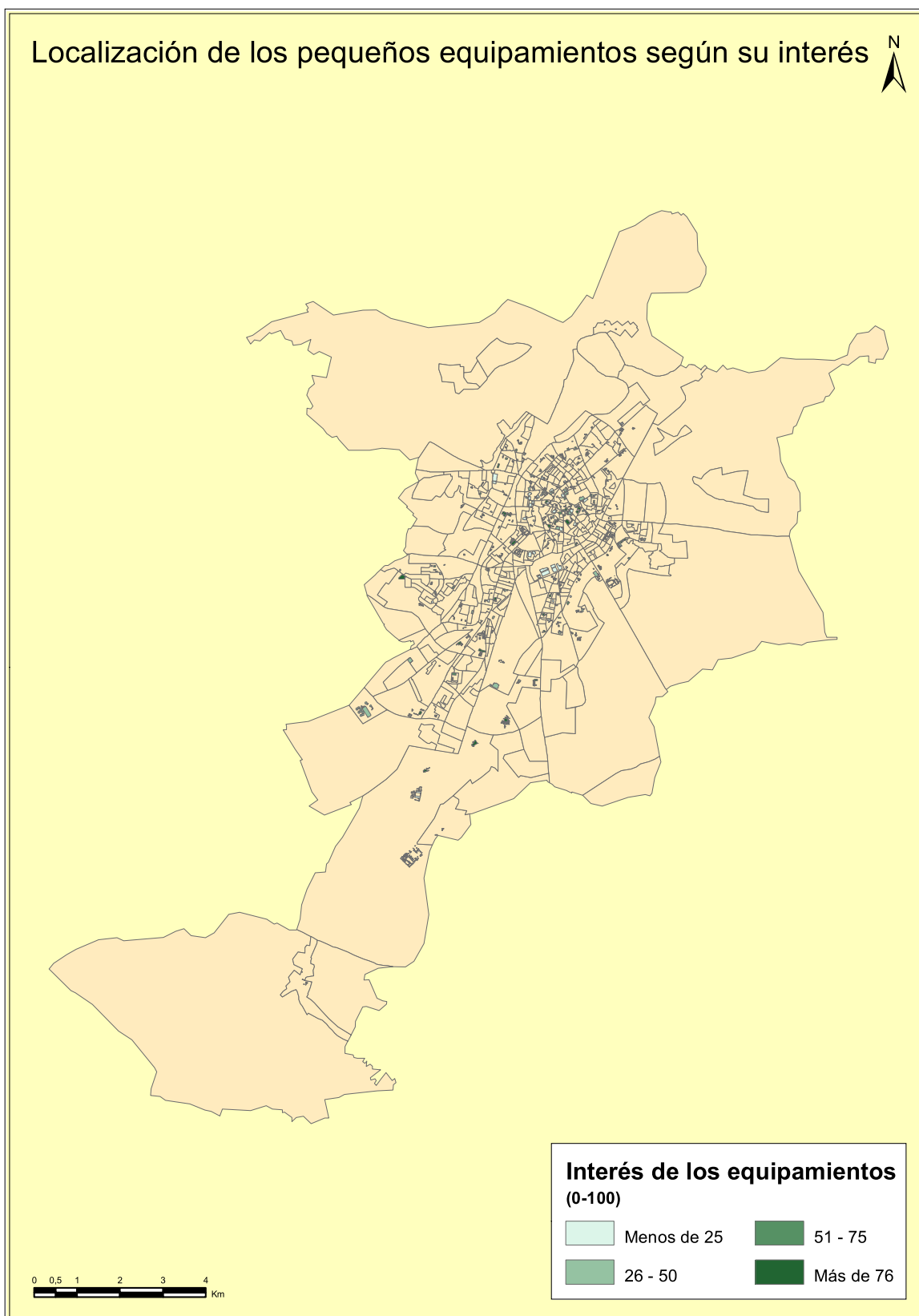


Figura 9: Situación de los pequeños equipamientos sobre las nuevas demarcaciones estadísticas creadas a partir de las secciones censales. Los equipamientos aparecen cartografiados según su interés. Elaboración propia. Fuente: Departamento de Geografía de la Universidad de Valladolid.

6.2. El análisis ráster en la obtención de la demanda potencial.

Con el paso anterior completamos el conjunto de factores que se tendrán en cuenta para calcular la demanda potencial del tranvía. Para ello, se acude al análisis ráster, pues resulta muy útil para las operaciones de superposición, dado lo cual es necesario convertir los resultados anteriores, en formato vectorial, a un formato ráster que proporcione una superficie continua de densidad.

Además, para suavizar dicha densidad, se ha acudido a la aplicación de un filtro kernel con un radio de 600 metros, coincidente con el radio de influencia de las estaciones de tranvía. Para llevar a cabo esta operación, es necesario una capa de puntos a partir de la cual construir la capa ráster de densidad kernel. En este sentido, para cada uno de los factores se han llevado a cabo los siguientes pasos:

- Factor población:
 - Como capa puntual se han utilizado los portales.
 - Se ha asignado población a estos portales del siguiente modo: dividiendo la población de cada demarcación entre el número de portales incluidos en la misma, asumiendo la hipótesis de que todos los portales cuentan con una población similar.
 - Como campo de población, se ha utilizado el número de habitantes de cada portal.
- Factor equipamientos:
 - Como capa puntual, se han utilizado los centroides de cada uno de los equipamientos.
 - Como campo de población, se ha utilizado el interés de cada uno de los equipamientos.

Posteriormente se ha procedido a la normalización de las distintas capas resultantes, paso previo necesario para su superposición. Ésta se ha llevado a cabo mediante un ajuste de tipo lineal, de modo que los nuevos valores asignados varían entre 0 y 100. Para esta operación se ha aplicado la siguiente fórmula:

$$f_i = (v_i - v_{\min}) / (v_{\max} - v_{\min}) * c$$

siendo: f_i = valor del factor normalizado, v_i = valor origen del factor, v_{\max} = valor máximo,
 v_{\min} = valor mínimo, c = rango de estandarización

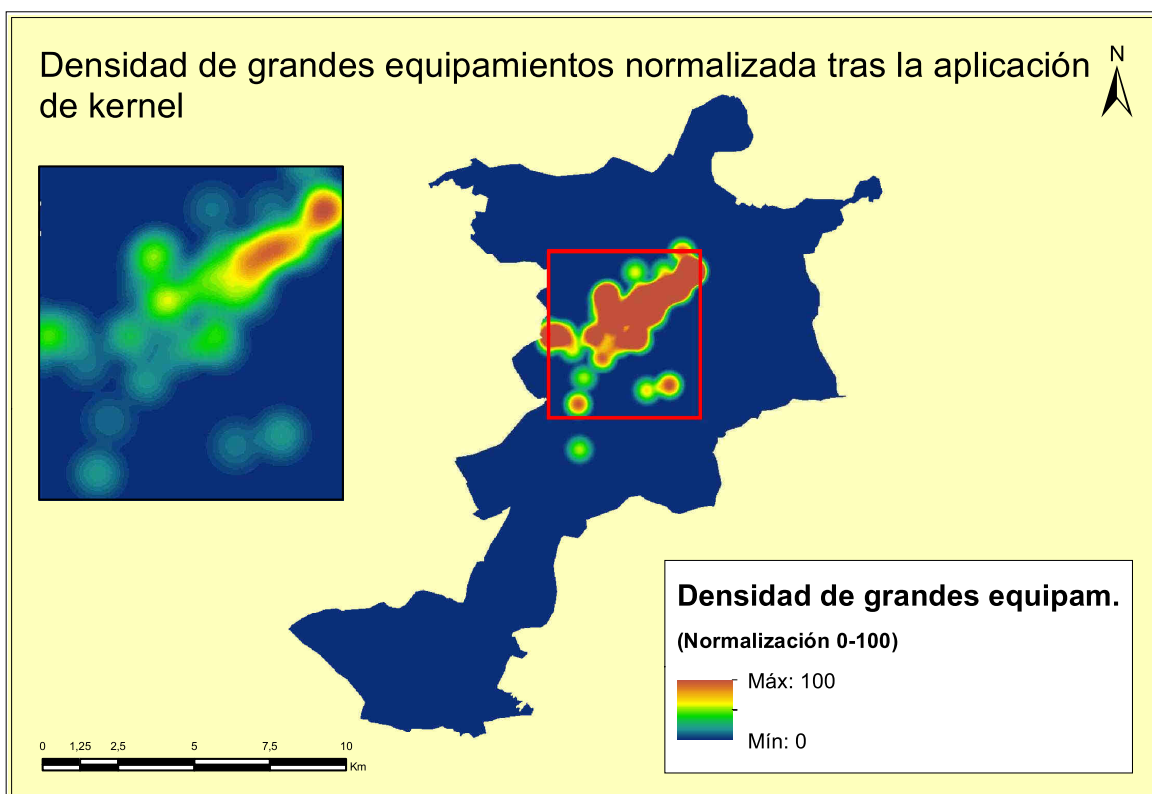
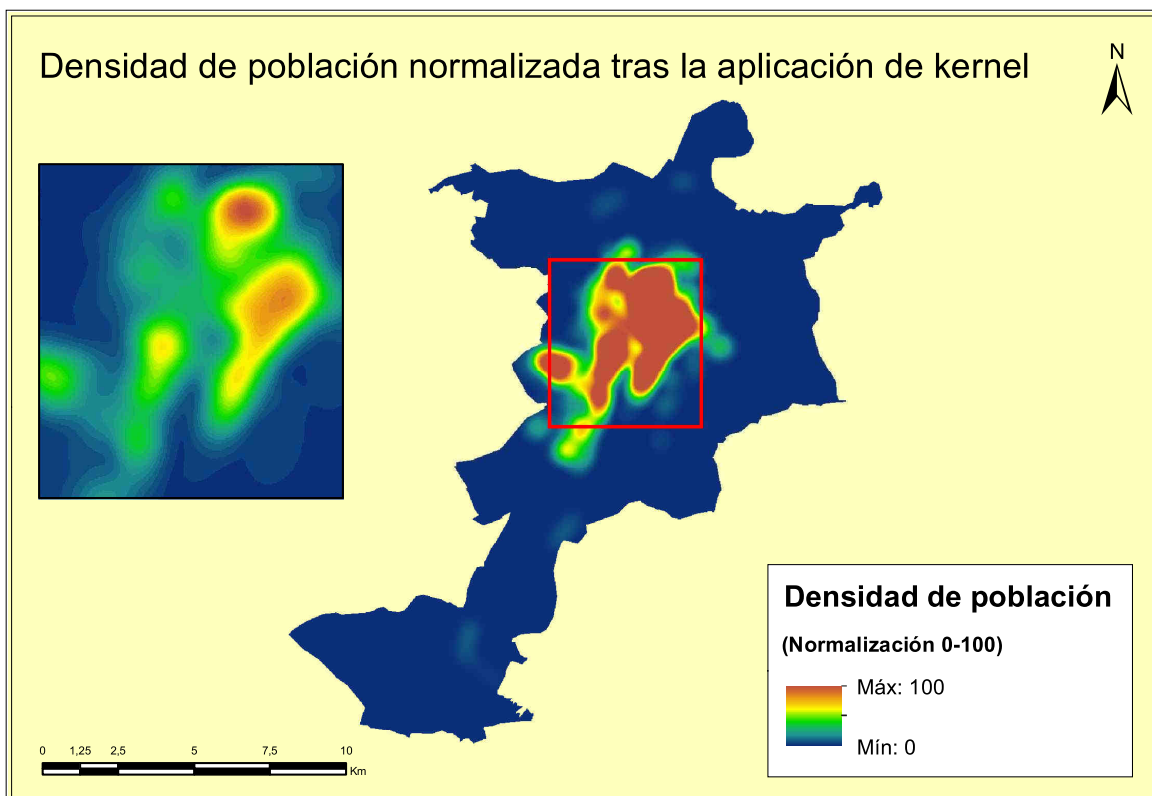


Figura 10: Densidad de población (mapa superior) y densidad de grandes equipamientos (mapa inferior) en Valladolid. Aplicación de filtro kernel y normalización de 0 a 100. Reclasificación sobre el zoom sobre el casco urbano. Elaboración propia. Fuente: INE y Departamento de Geografía de la Universidad de Valladolid.

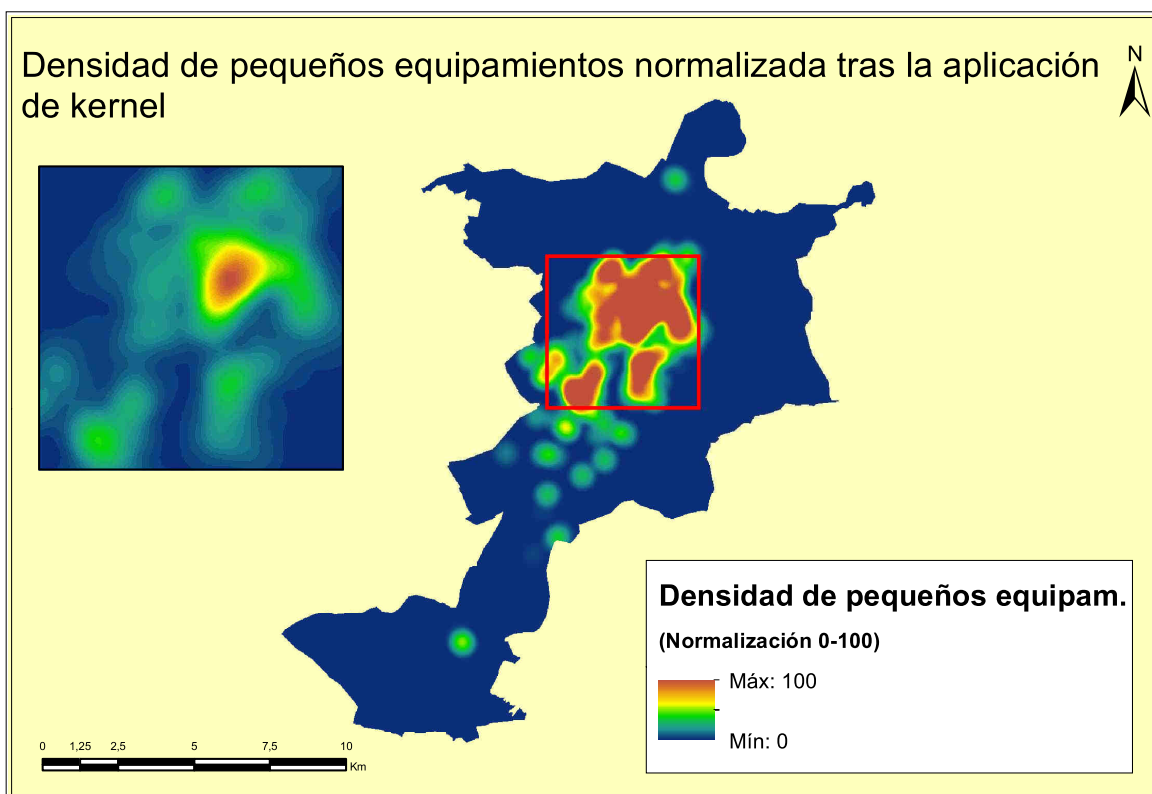
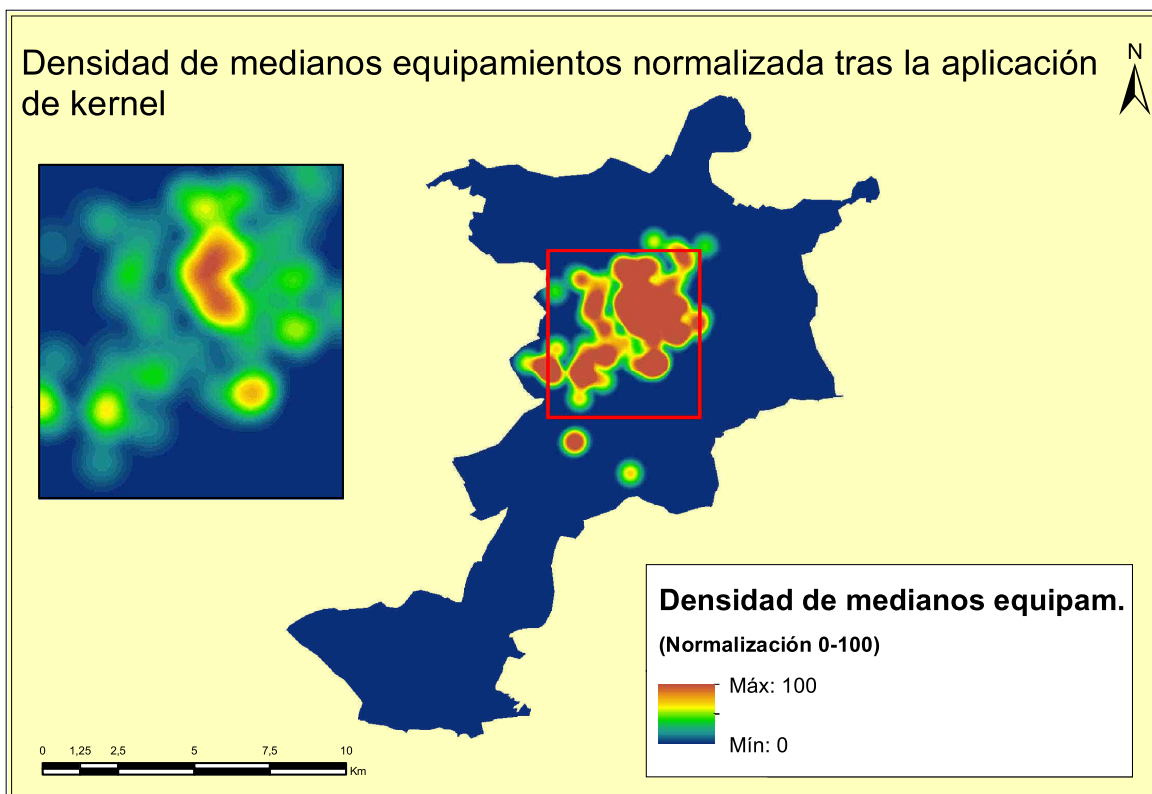


Figura 11: Densidad de medianos (mapa superior) y pequeños equipamientos (mapa inferior) en Valladolid. Aplicación de filtro kernel y normalización de 0 a 100. Reclasificación en el zoom sobre el casco urbano. Elaboración propia. Fuente: Departamento de Geografía de la Universidad de Valladolid.

Una vez normalizados los diferentes factores es posible proceder a su superposición. Para ello, se utilizará la calculadora ráster, donde se sumarán las distintas capas, pero además, se asignarán unos pesos diferentes a cada uno de los factores que, multiplicando por su peso, ponderarán la importancia de los mismos. Estos pesos son los siguientes:

- Población: 60%
- Equipamientos: 40%.
 - Grandes equipamientos: 20%.
 - Medianos equipamientos: 13%.
 - Pequeños equipamientos: 7%.

De este modo, la figura 12 muestra la demanda potencial del tranvía en Valladolid, obtenida a través de la siguiente fórmula en la calculadora ráster:

$$\text{Demanda} = (\text{Población} \times 0,6) + (\text{G. Equip.} \times 0,2) + (\text{M. Equip} \times 0,13) + (\text{P. Equip} \times 0,07)$$

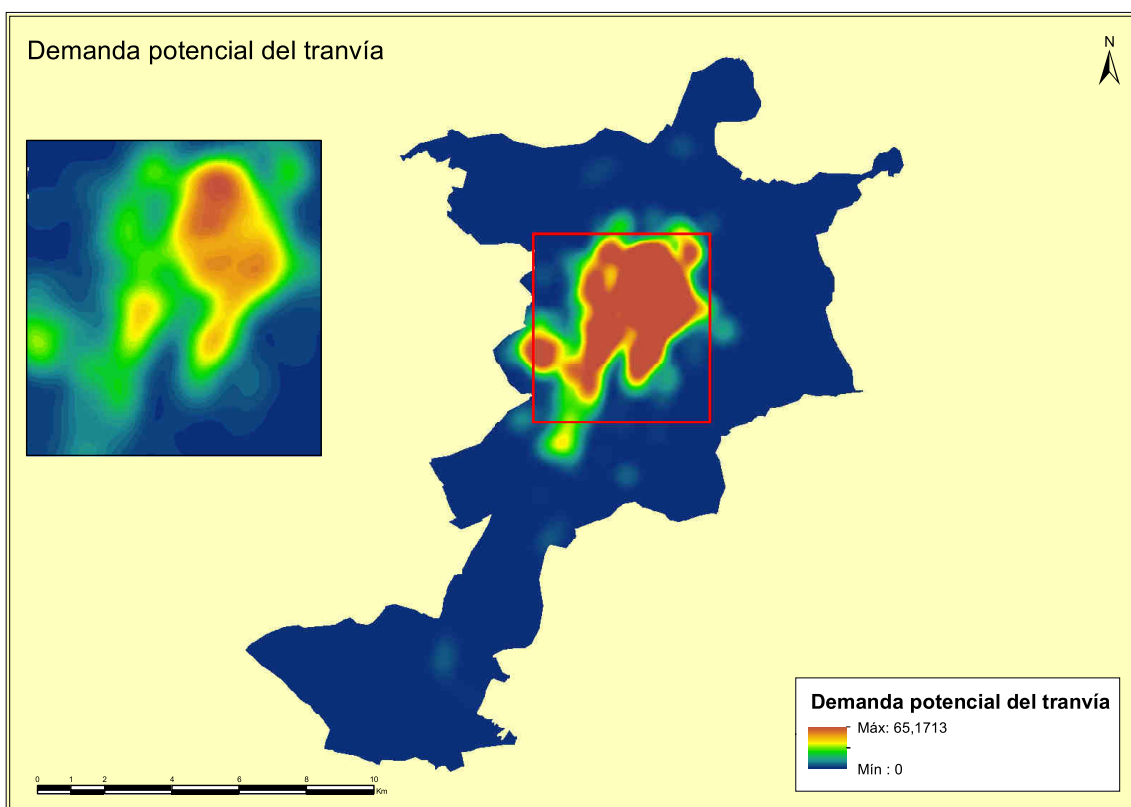


Figura 12: Demanda potencial del tranvía en la ciudad de Valladolid, basada en la localización de la población y los equipamientos. Reclasificación en el zoom sobre el casco urbano. Elaboración propia. Fuente: INE y Departamento de Geografía de la Universidad de Valladolid.

6.3. Diseño del trazado de las líneas de tranvía mediante análisis de redes.

Contando con la demanda potencial del tranvía, ya es posible crear una red de líneas que unan los puntos de mayor demanda. Para el diseño de las distintas líneas, se han tenido en cuenta unas premisas:

- Se crearán 3 líneas de tranvía.
- En la medida de lo posible, recorrerán la ciudad de un extremo a otro, uniendo barrios periféricos con el centro de la ciudad.
- Se cumplirá con el criterio de intermodalidad, favoreciendo la correspondencia de líneas, así como el cruce de las mismas con otros nodos de transporte urbano o interurbano.

Para llevar a cabo el diseño de las rutas, el primer paso fue la reclasificación de la capa de demanda potencial, con numerosas clases, para un mejor visionado (figura 13). Sobre ésta, y teniendo en cuenta las capacidades del viario en cuanto a su anchura, se editaron una serie de puntos allí donde se advertían grandes áreas de demanda (islotas de demanda).

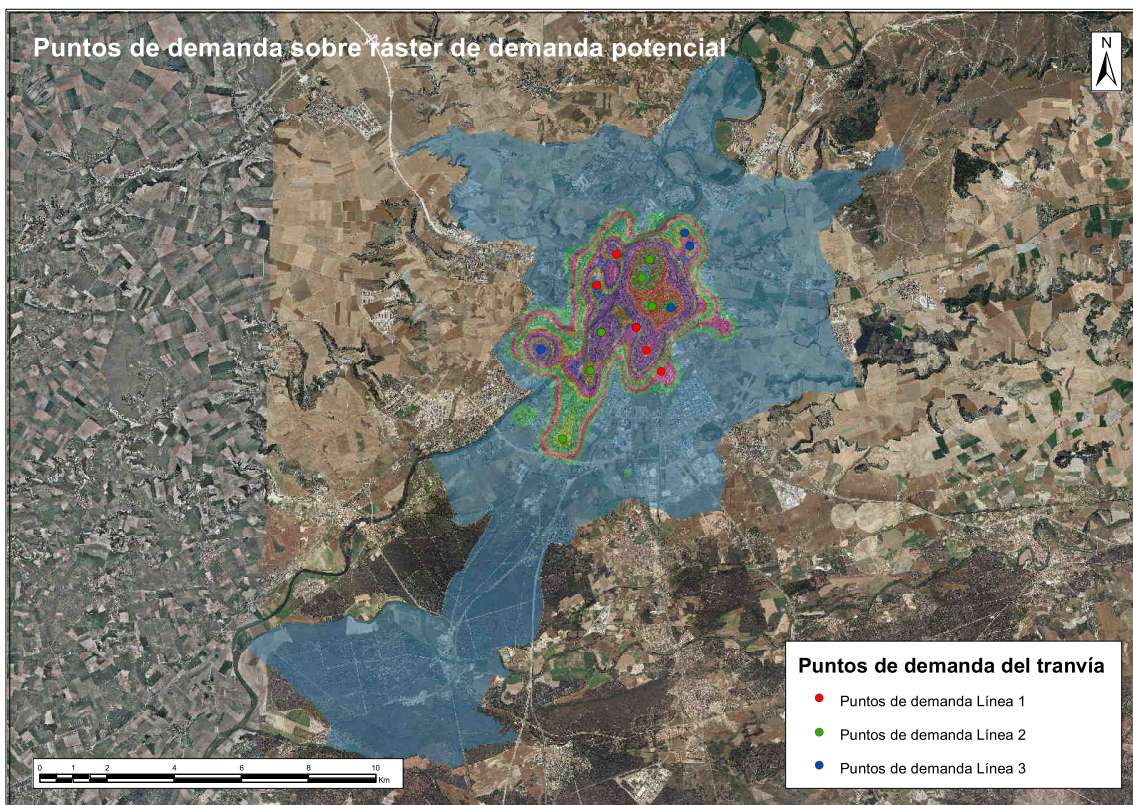


Figura 13: Puntos de demanda del tranvía. Elaboración propia. Fuente: INE, IGN y Departamento de Geografía de la Universidad de Valladolid.

Posteriormente, se procedió a la creación de la red del viario urbano. Para ello, se llevó a cabo primeramente una labor de preparación de la misma. Ésta consistió en lo siguiente:

- Creación de la topología de la capa para comprobar errores de digitalización, especialmente aquellos relativos a nodos colgantes e intersecciones entre tramos.
- Creación del campo “Jerarquía” en dicha capa, en el cual se asignaron los siguientes valores en función del ancho del tramo:
 - Menos de 12 m de ancho: valor -1, no entran en la jerarquía.
 - 12 a 14 m: valor 4, para casos excepcionales.
 - 14 a 20 m: valor 3.
 - 20 a 30 m: valor 2.
 - Más de 30 m: valor 1.

Estos valores fueron asignados en función del ancho necesario para la instalación de la plataforma, calculada en torno a unos 6 metros (tomando como referencia el apartado “Sección tipo” del estudio informativo del tranvía Leioa-Urbinaga), sumando 3 metros por cada lado para una movilidad adecuada de las personas con movilidad reducida (PMR).

- Creación del campo “Tiempo” donde se calcularán los tiempos en que se tardan en recorrer los tramos a pie. Para ello, se estimó una velocidad de desplazamiento habitual de 4,5 km/h (Gutiérrez Puebla et al, 2002).

Una vez realizados estos ajustes y mediante la extensión de análisis de redes, se creó la red a partir de la capa del viario urbano, utilizando como impedancias los campos de longitud, tiempo (ambos como coste) y jerarquía (como jerarquía).

El último paso para crear las líneas de tranvía fue, a partir del análisis de redes, crear 3 rutas uniendo los puntos de demanda anteriormente digitalizados junto a otros tanto para guiar el recorrido, tomando en cuenta el cumplimiento de los criterios mencionados previamente. Los resultados de esta operación se muestran en la figura 14.

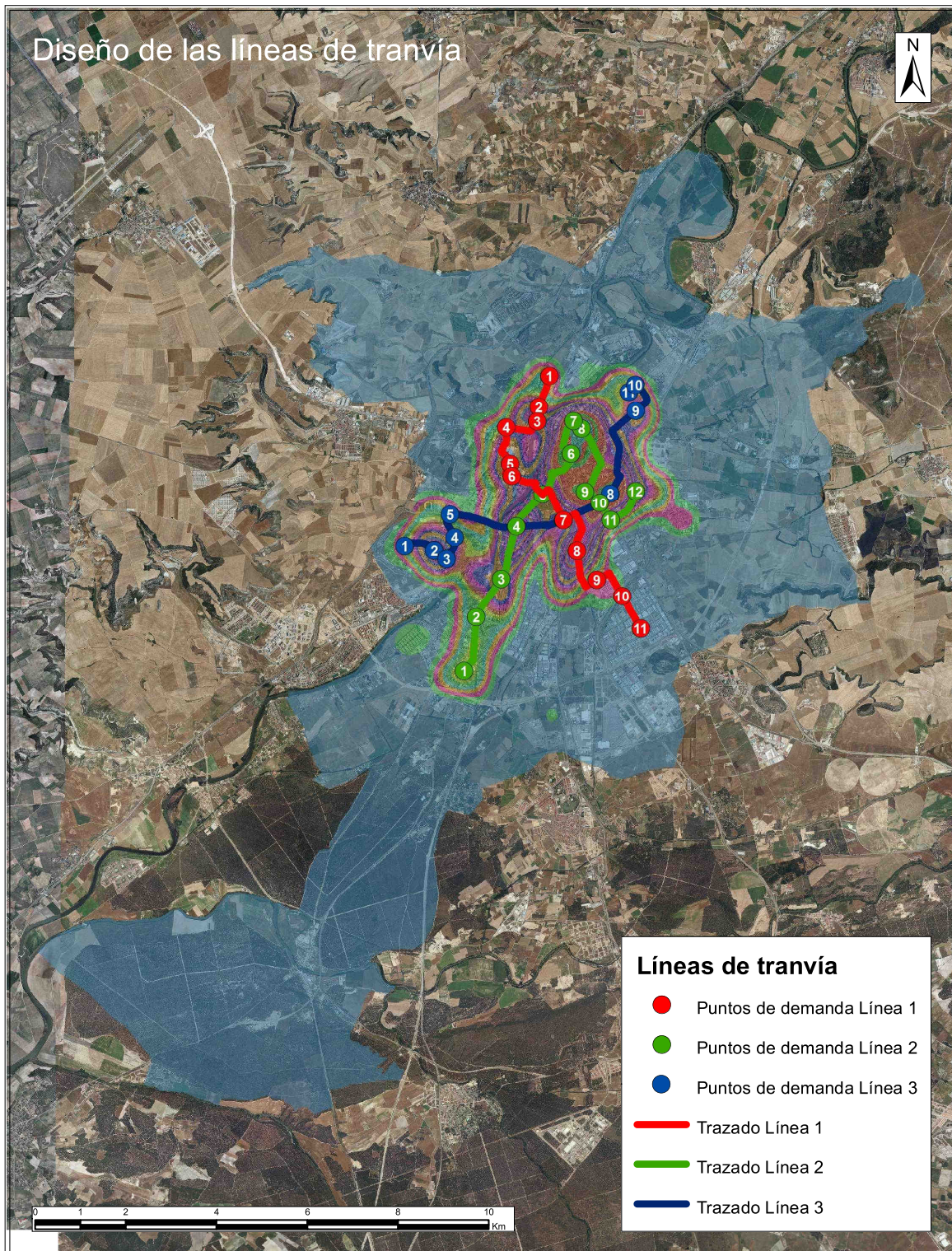


Figura 14: Diseño de los trazados de las líneas de tranvía mediante análisis de redes. Elaboración propia. Fuente: INE, IGN y Departamento de Geografía de la Universidad de Valladolid.

6.4. Localización de las estaciones del tranvía mediante análisis de redes.

Una vez que se han definido los trazados de las distintas líneas de tranvía, es necesario plantear dónde se localizarán las estaciones, que serán realmente las que presten servicio a la población. Para ello, se ha utilizado también el análisis de redes, pero en este caso, mediante la herramienta Location-Allocation, que permite obtener los emplazamientos óptimos en función de la demanda.

Uno de los aspectos a tener muy en cuenta en este sentido es la distancia que debe haber entre unas estaciones y otras. A este respecto, no existe un denominador común, como puede advertirse en la figura 15, donde se advierte que la distancia entre estaciones de tranvía debe ser mayor que entre las de autobús y menor a la existente entre las estaciones de los diferentes tipos de transporte ferroviario. Sin embargo, la horquilla 250-1200 metros es tan amplia como poco definitoria.

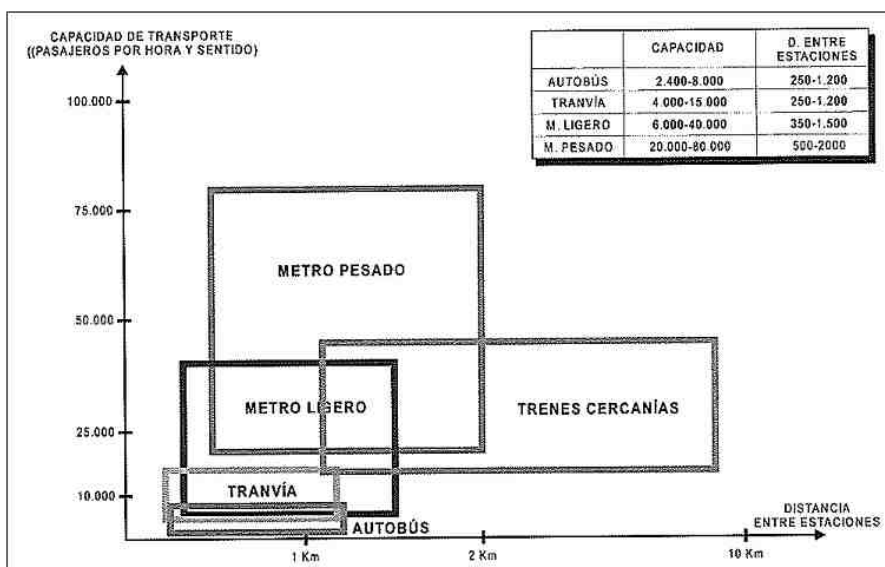


Figura 15: Comparación entre la capacidad y la distancia entre estaciones de los distintos sistemas de transporte urbano. Fuente: Ferrocarriles metropolitanos, Maynar, M. M. y Fernández F. J. G. (2002).

Es por ello que, como en otros casos, se ha acudido a la experiencia de otros sistemas tranviarios ya construidos o en proyección, para hallar una distancia media entre estaciones adecuada para el tranvía en Valladolid. De esta manera, y sólo contando los tranvías españoles, podemos advertir una clara disparidad en la distancia entre estaciones, lo cual no viene más que a confirmar la amplia horquilla ya mencionada. Las distancias medias entre estaciones varían desde los 1200 metros del tranvía alicantino (hay que tener en cuenta que hace un trayecto interurbano), hasta los 395 metros del tranvía de La Coruña (un proyecto de dudosa utilidad, mero atractivo turístico cuyo servicio deficitario ha sido suprimido recientemente).

Sin embargo, la mayor parte de los tranvías españoles cuentan con una distancia intermedia: Málaga y Madrid son las que tienen una distancia mayor entre estaciones (en torno a los 800 m); la mayor parte se sitúan en la franja entre 500 y 650 metros (Murcia con 625 m, Granada con 620 m, Tenerife con 610 m, Barcelona con 540 m, Parla con 530 m, Vélez-Málaga con 506 m, o Valencia, que se acerca con 493 m). Pocas son las ciudades que rebajan esta cifra: Sevilla (456 m, aunque resulta un proyecto claramente insuficiente), Bilbao (445 m) o Vitoria (421 m).

A la vista de estas cifras, y teniendo en cuenta el tamaño de la ciudad de Valladolid, se decidieron establecer una serie de premisas:

- La distancia media entre estaciones será de en torno a los 600 metros, similar a la de ciudades de una entidad similar como Murcia, Granada o Tenerife.
- Dado que esta distancia no siempre se puede cumplir, se establece una distancia mínima entre estaciones nunca inferior a 400 metros.
- Se establecerán como estaciones requeridas los extremos de línea, los cruces de líneas (a modo de intercambiadores), así como los lugares de mayor demanda según el ráster de demanda potencial.

La ejecución de la herramienta *Location - Allocation* precisa de algunas indicaciones previas, por lo que es necesaria una preparación de las mismas:

- Emplazamientos candidatos: los emplazamientos posibles deben localizarse a lo largo de la línea de tranvía. Para ello, se han dividido las rutas en pequeños segmentos (utilizando *Split line at vertices*), y éstos, a su vez, se han convertido en puntos.
- Puntos de demanda: como tales, se han introducido los portales, ponderando su peso según el campo “Población”.
- Tipo de problema: se ha elegido maximizar la cobertura, puesto que se pretende llegar al mayor número de población posible con un número determinado de estaciones.
- Número de estaciones a elegir: dependerá de la longitud de cada línea (teniendo en cuenta los 600 m de distancia media entre estaciones).
- Radio de influencia: 600 metros, distancia señalada como área de influencia de las estaciones de tranvía y que posteriormente se utilizará para hallar la cobertura de la red tranviaria.

De este modo, se crearon tres problemas de tipo *Location - Allocation*, uno por cada línea de tranvía. Sin embargo, y dado que las diferencias de demanda son muy amplias a lo largo del trazado de las líneas, el resultado mostraba un conjunto de estaciones demasiado focalizadas en las áreas de mayor demanda, dejando amplios vacíos en los segmentos de líneas que recorren las áreas de menor demanda. Por todo lo cual, se procedió a realizar la misma operación, pero en este caso, dividiendo cada línea en diferentes tramos, para los cuales se midió la longitud y se estableció el número de estaciones (requeridas o no) que debían tener.

En este sentido, se muestran como ejemplo las operaciones llevadas a cabo para el caso de la línea 1 (línea roja, Victoria-San Cristóbal):

- Tramo I (Puente Jardín-Canal de Castilla):
 - Longitud de tramo: 1848 metros.
 - Estaciones necesarias: 3
 - Requeridas: 2
 - Puente Jardín (extremo de línea)
 - Victoria (punto de fuerte demanda relativa).
 - A elegir: 1.

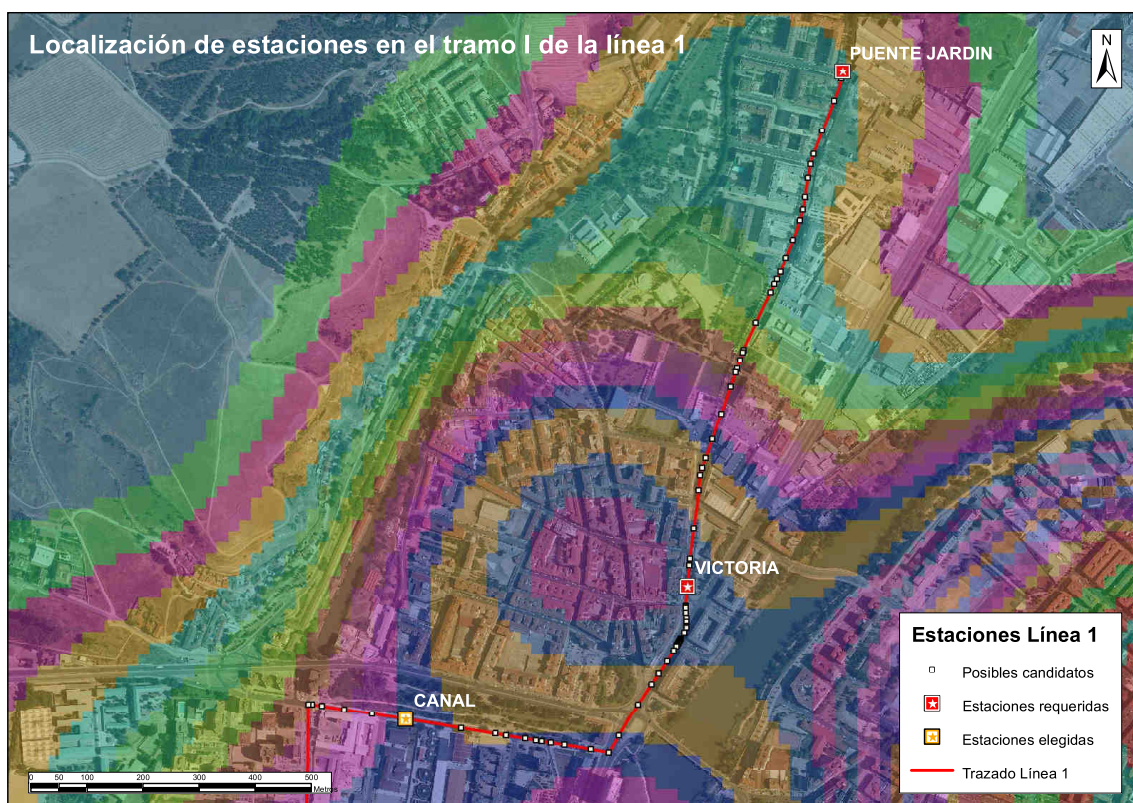


Figura 16: Localización de las estaciones del tramo I de la línea 1 de tranvía mediante análisis de redes. Elaboración propia. Fuente: INE, IGN y Departamento de Geografía de la Universidad de Valladolid.

- Tramo II (Canal de Castilla-Plaza de Tenerías):
 - Longitud de tramo: 1885 metros.
 - Estaciones necesarias: 3
 - Requeridas: 1
 - Huerta del Rey (punto de fuerte demanda relativa).
 - A elegir: 2.

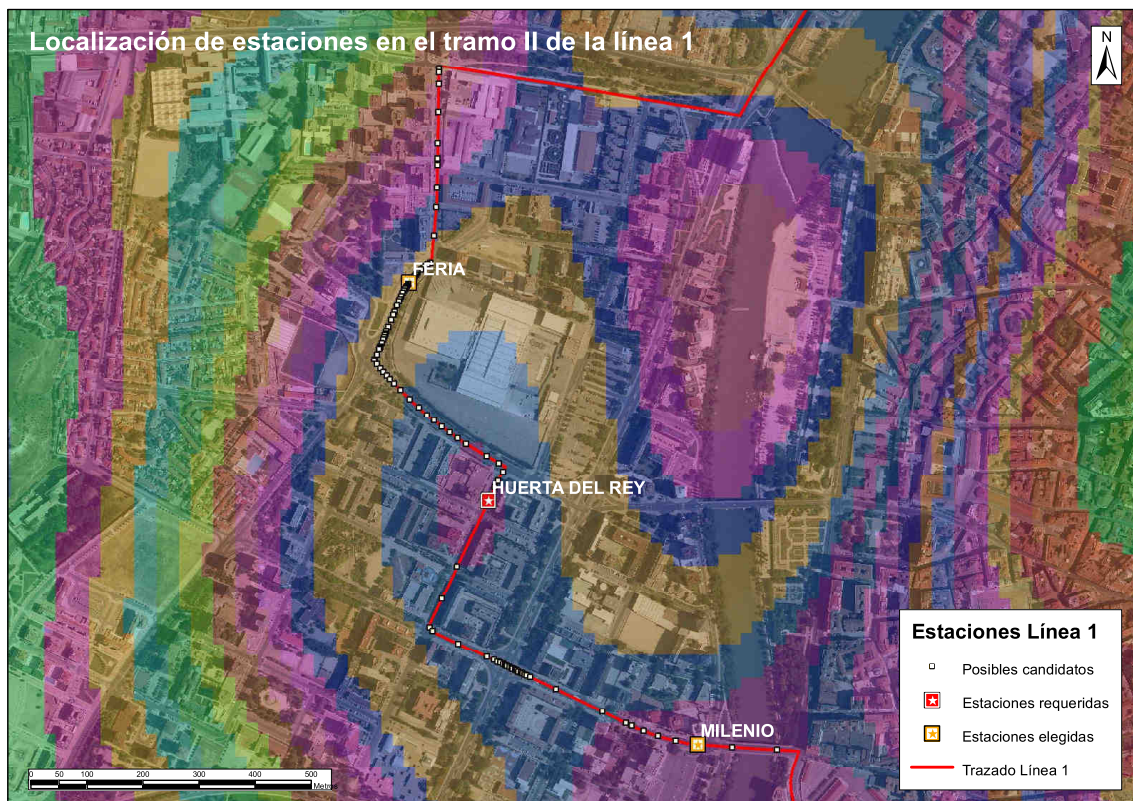


Figura 17: Localización de las estaciones del tramo II de la línea 1 de tranvía mediante análisis de redes. Elaboración propia. Fuente: INE, IGN y Departamento de Geografía de la Universidad de Valladolid.

- Tramo III (Plaza de Tenerías-Estación Campo Grande):
 - Longitud de tramo: 1273 metros.
 - Estaciones necesarias: 2
 - Requeridas: 2
 - Zorrilla (intercambiador con línea 2)
 - Campo Grande (intercambiador con línea 3 y RENFE).
 - A elegir: 0.

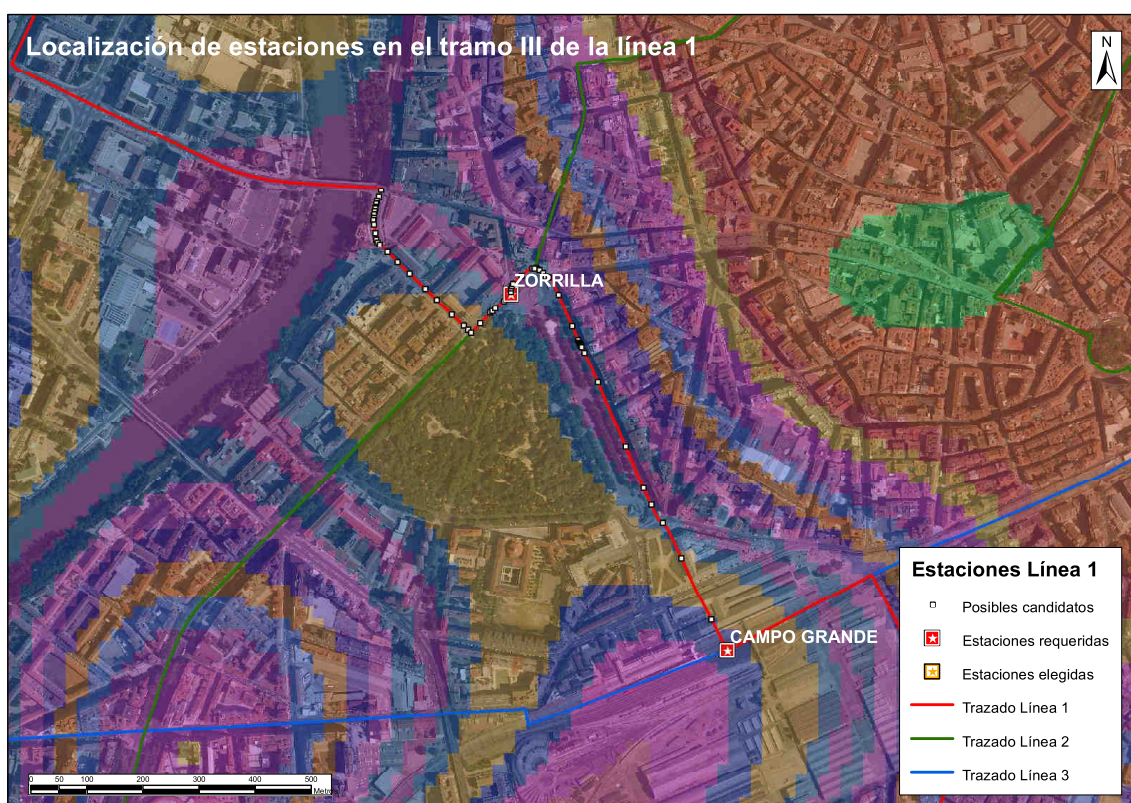


Figura 18: Localización de las estaciones del tramo III de la línea 1 de tranvía mediante análisis de redes. Elaboración propia. Fuente: INE, IGN y Departamento de Geografía de la Universidad de Valladolid.

- Tramo IV (Estación Campo Grande-Calle Carraca):
 - Longitud de tramo: 1972 metros.
 - Estaciones necesarias: 3
 - Requeridas: 1
 - Delicias (punto de fuerte demanda relativa).
 - A elegir: 2.

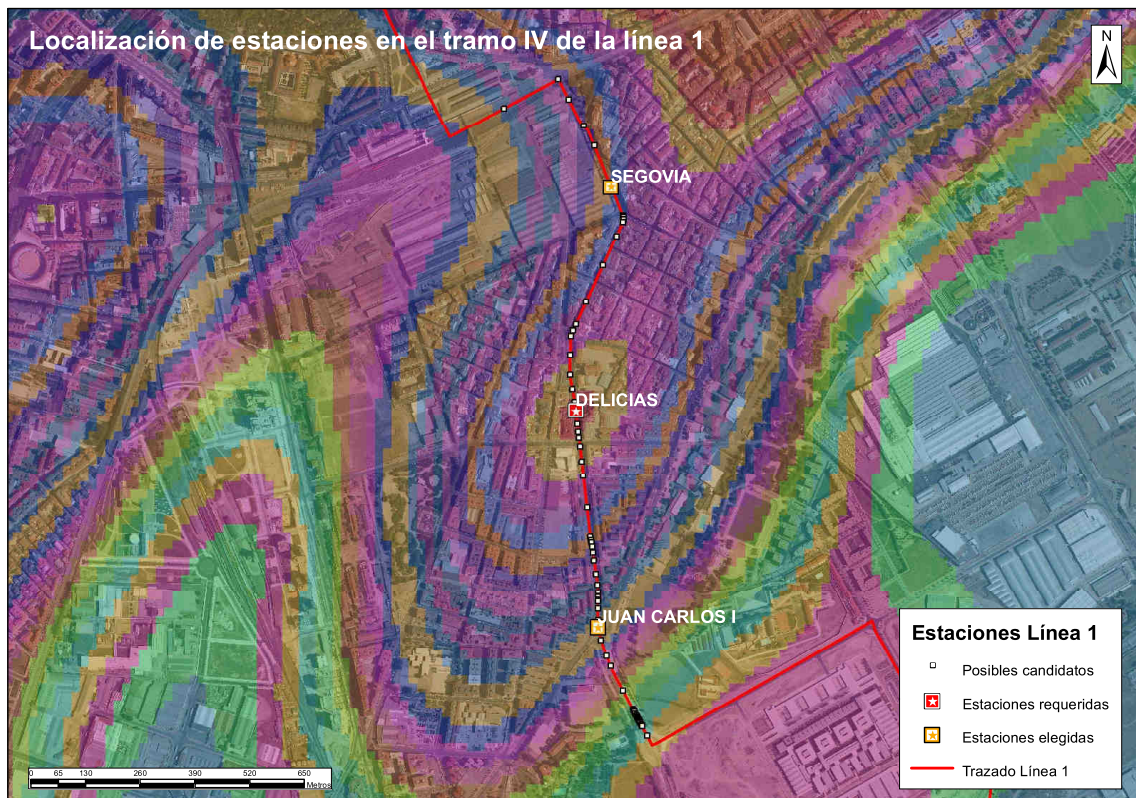


Figura 19: Localización de las estaciones del tramo IV de la línea 1 de tranvía mediante análisis de redes. *Elaboración propia. Fuente: INE, IGN y Departamento de Geografía de la Universidad de Valladolid.*

- Tramo V (Calle Carraca-Ronda Este):
 - Longitud de tramo: 1257 metros.
 - Estaciones necesarias: 2.
 - Requeridas: 0.
 - A elegir: 2.

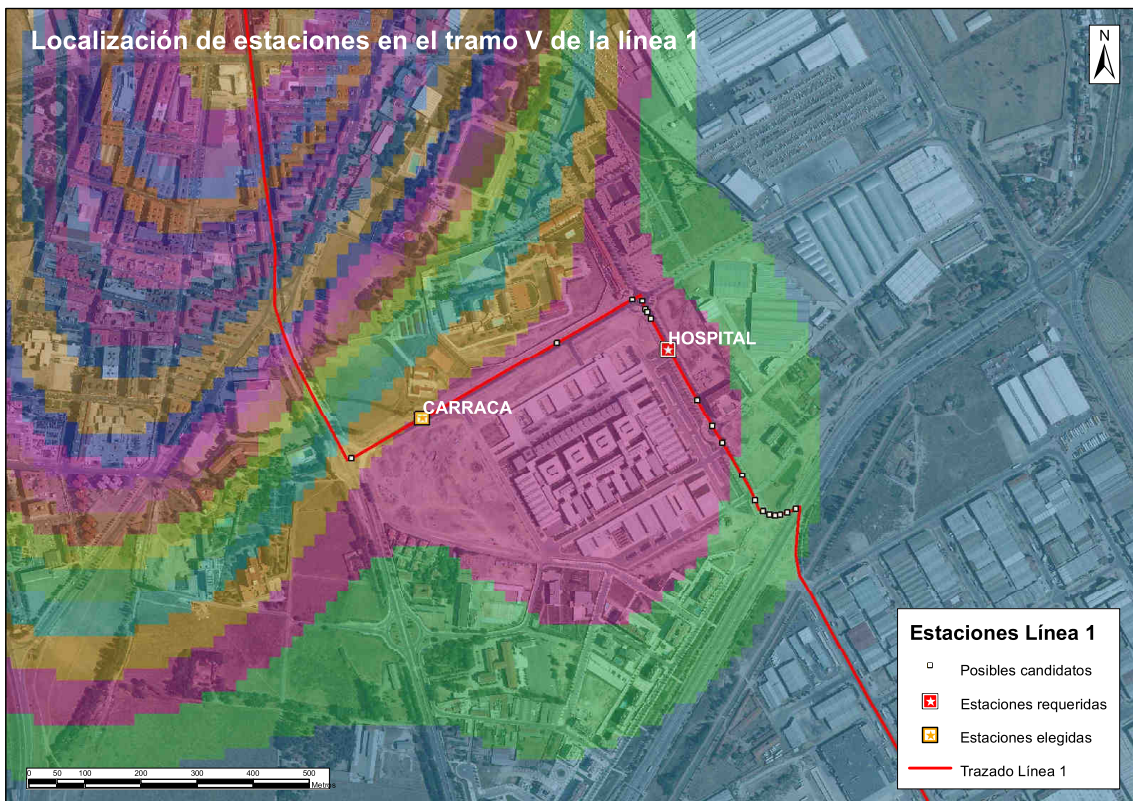


Figura 20: Localización de las estaciones del tramo V de la línea 1 de tranvía mediante análisis de redes. Elaboración propia. Fuente: INE, IGN y Departamento de Geografía de la Universidad de Valladolid.

- Tramo VI (Ronda Este-Polígono Industrial San Cristóbal):
 - Longitud de tramo: 958 metros.
 - Estaciones necesarias: 2 (por distancia residual acumulada por los distintos tramos).
 - Requeridas: 1
 - San Cristóbal (extremo de línea)
 - A elegir: 1.

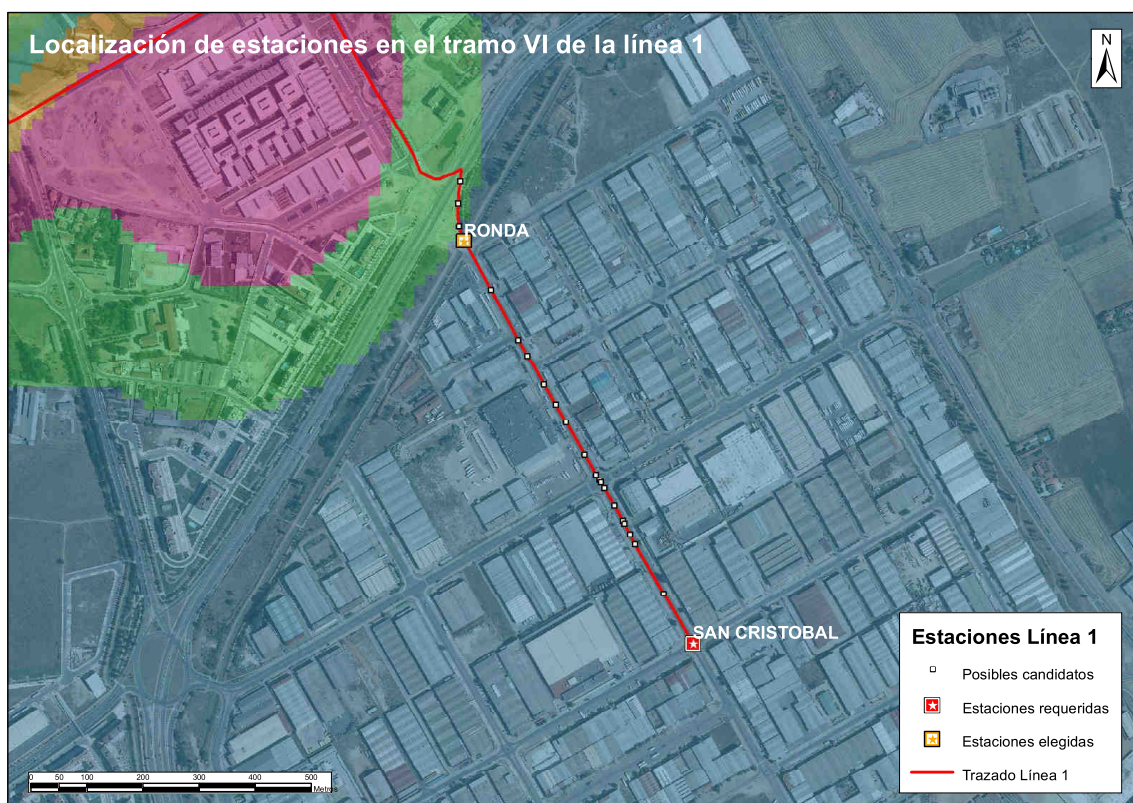


Figura 21: Localización de las estaciones del tramo VI de la línea 1 de tranvía mediante análisis de redes. Elaboración propia. Fuente: INE, IGN y Departamento de Geografía de la Universidad de Valladolid.

Posteriormente, se llevaron a cabo las mismas operaciones para las líneas 2 y 3, obteniendo como resultado las estaciones de toda la red tranviaria propuesta para Valladolid, reflejada en la figura 22.



Figura 21: Propuesta de líneas y estaciones de tranvía para la ciudad de Valladolid. Elaboración propia. Fuente: INE, IGN y Departamento de Geografía de la Universidad de Valladolid.

La red de tranvías propuesta finalmente tiene las siguientes características técnicas:

- Número de líneas: 3.
- Longitud total: 29,419 Km.
- Número de estaciones: 45.
 - Estaciones simples: 41.
 - Estaciones con correspondencia: 4.
- Distancia media entre estaciones: 632 metros.

6.5. Análisis de cobertura de la propuesta de red tranviaria mediante análisis de redes.

Tras diseñar el trazado de las líneas, y localizar en ellas sus estaciones, el último paso fue conocer el grado de cobertura de la red tranviaria propuesta. Para este cometido, también se ha utilizado el análisis de redes, pero en este caso, se ha optado por la herramienta *Service Area*. Gracias a esta herramienta, se puede conocer el área de influencia de cada estación, y por tanto, en este caso, la población y los equipamientos que son susceptibles de servirse de ella.

En este sentido y como se mencionó en la metodología, los radios utilizados se corresponden con tiempos de desplazamientos de 5 y 10 minutos desde las estaciones: “Su elección se justifica por el hecho de que para un desplazamiento peatonal, a una velocidad de 4,5 km/h y aceptando un índice de rodeo medio de 1,2 (característico de un viario ortogonal), la isolínea de los 600 metros corresponde aproximadamente con un tiempo de 10 minutos” (Gutiérrez Puebla, J. et al. 2002).

Siguiendo estas pautas, se realizaron las coberturas para cada una de las líneas, así como para el conjunto de las mismas, obteniendo los respectivos mapas de coberturas.

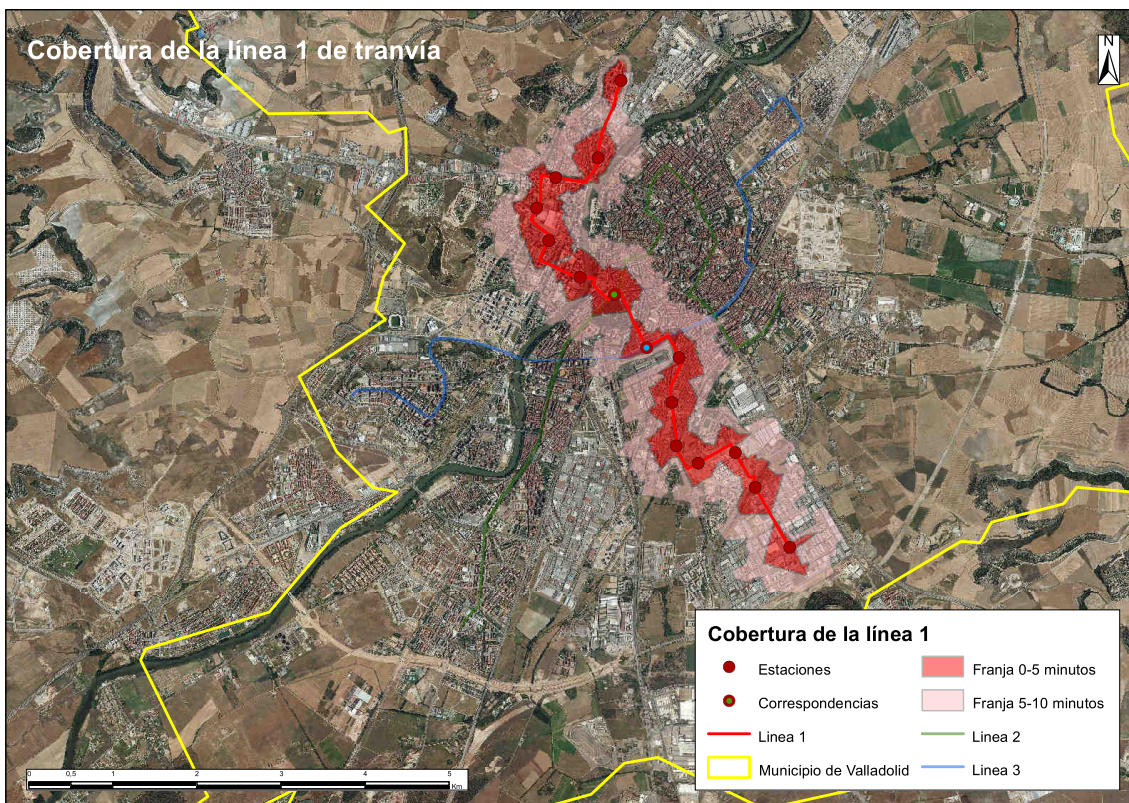


Figura 22: Áreas cubiertas por la línea 1 propuesta para la ciudad de Valladolid. Elaboración propia. Fuente: INE, IGN y Departamento de Geografía de la Universidad de Valladolid.

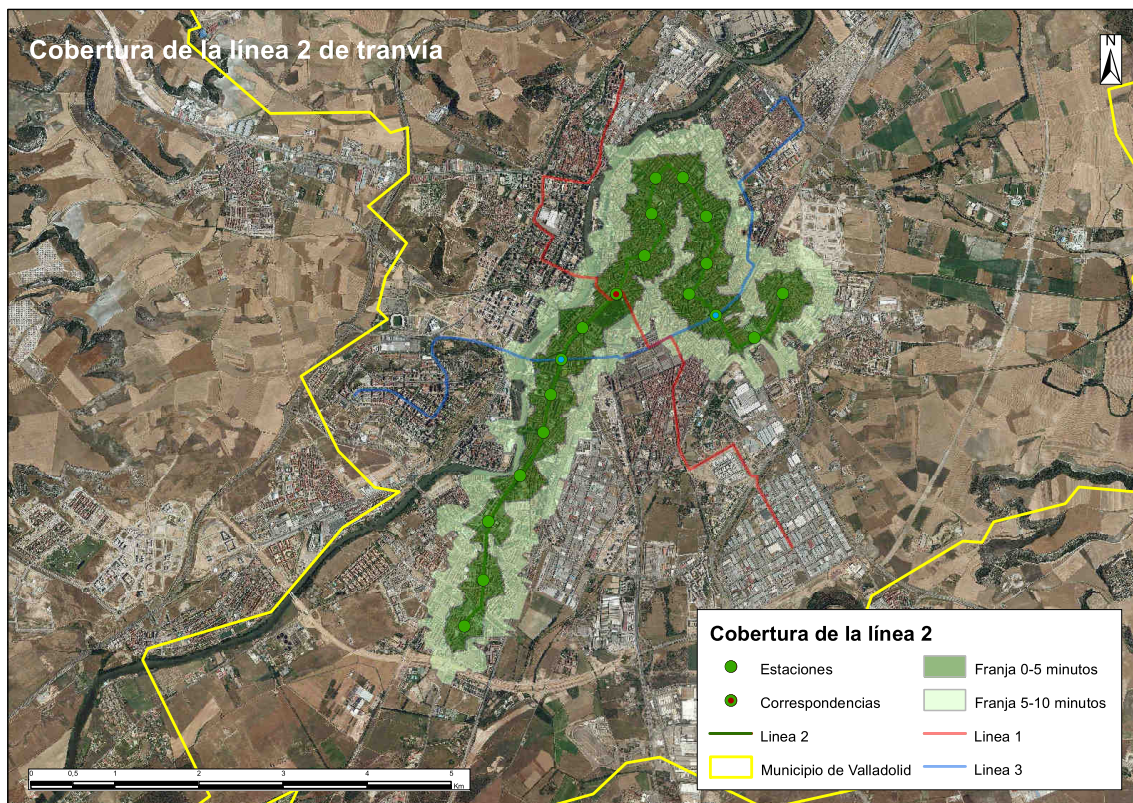


Figura 23: Áreas cubiertas por la línea 2 propuesta para la ciudad de Valladolid. Elaboración propia. Fuente: INE, IGN y Departamento de Geografía de la Universidad de Valladolid.

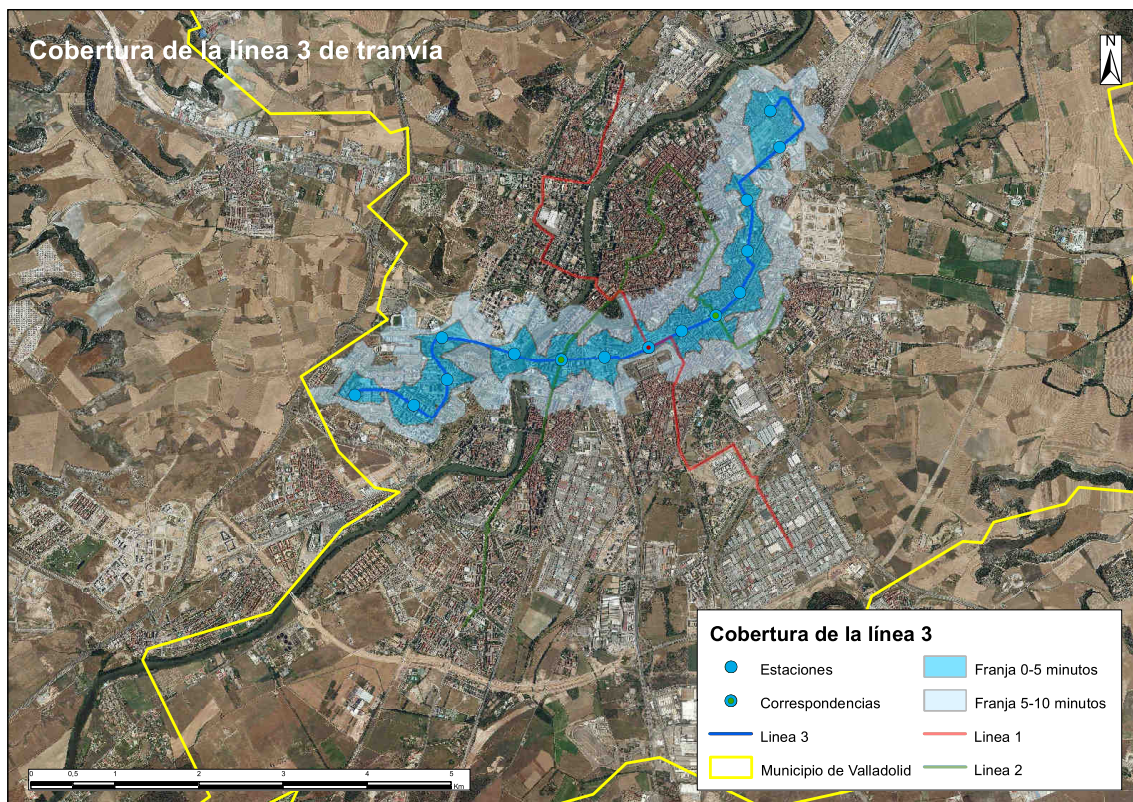


Figura 24: Áreas cubiertas por la línea 3 propuesta para la ciudad de Valladolid. Elaboración propia. Fuente: INE, IGN y Departamento de Geografía de la Universidad de Valladolid.

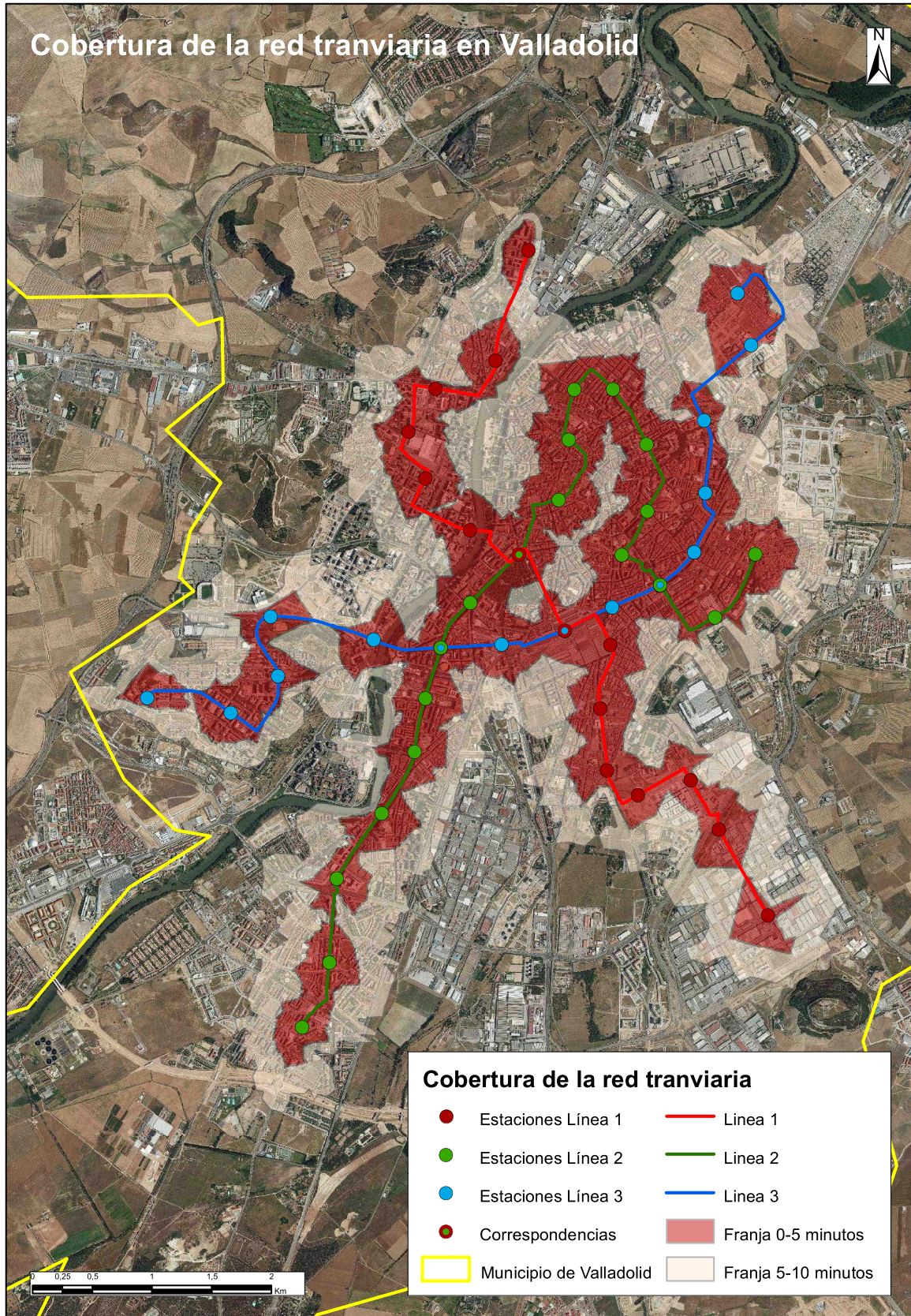


Figura 25: Áreas cubiertas por el conjunto de la red tranviaria propuesta para la ciudad de Valladolid. Elaboración propia. Fuente: INE, IGN y Departamento de Geografía de la Universidad de Valladolid.

Posteriormente se realizaron las operaciones de intersección, así como los resúmenes estadísticos correspondientes para hallar los datos reales de población y equipamientos servidos. Esto se hizo tanto para cada una de las líneas como para el conjunto de la red, y para franjas de influencia de 5 y 10 minutos desde las estaciones, lo cual se refleja en las tablas a continuación.

	Franja 0-5 minutos		Franja 5-10 minutos		Total	
	Absoluto	%	Absoluto	%	Absoluto	%
Población	46680	14,79	53457	16,94	100137	31,73
Grandes equipamientos	7	12,5	9	16,07	16	28,57
Medianos equipamientos	9	10,34	19	21,84	28	32,18
Pequeños equipamientos	26	9,06	59	20,56	85	29,62

Tabla 1: Cobertura de la línea 1. Elaboración propia. Fuente: INE, IGN y Departamento de Geografía de la Universidad de Valladolid.

	Franja 0-5 minutos		Franja 5-10 minutos		Total	
	Absoluto	%	Absoluto	%	Absoluto	%
Población	111984	35,48	89706	28,42	201690	63,91
Grandes equipamientos	15	26,79	13	23,21	28	50
Medianos equipamientos	31	35,63	23	26,44	54	62,07
Pequeños equipamientos	100	34,84	76	26,48	176	61,32

Tabla 2: Cobertura de la línea 2. Elaboración propia. Fuente: INE, IGN y Departamento de Geografía de la Universidad de Valladolid.

	Franja 0-5 minutos		Franja 5-10 minutos		Total	
	Absoluto	%	Absoluto	%	Absoluto	%
Población	65042	20,61	79248	25,11	144290	45,72
Grandes equipamientos	6	10,71	19	33,93	25	44,64
Medianos equipamientos	12	13,79	20	22,99	32	36,78
Pequeños equipamientos	19	6,62	70	24,39	89	31,01

Tabla 3: Cobertura de la línea 3. Elaboración propia. Fuente: INE, IGN y Departamento de Geografía de la Universidad de Valladolid.

De estos datos se desprende que la línea 2 es la más eficiente, en cuanto a demanda potencial se refiere, seguida de la 3 y la 1. Esto es debido a varios factores: en primer lugar, es la de mayor longitud de toda la red, discurriendo en casi todo su recorrido por tejido urbano consolidado; por otro lado, une dos de los barrios más

populosos de Valladolid (Rondilla y Pajarillos) con el eje norte-sur conformado por el Paseo Zorrilla, siendo la única que atraviesa el centro de la ciudad. Este hecho explica también la mayor cobertura hacia los equipamientos, puesto que buena parte de los cuales tienden a situarse en los espacios centrales de las ciudades.

No obstante, no han de desmerecerse los resultados obtenidos para las líneas 1 y 3. La primera logra situar a casi un tercio de la población de Valladolid a menos de 10 minutos de alguna de las estaciones, ascendiendo casi hasta el 50% de la población vallisoletana en el caso de la línea 3 para el mismo lapso temporal. Esto ocurre por la menor longitud de las mismas, así como por el paso de las mismas por nuevas áreas residenciales aún por poblar, áreas industriales, etc...

Sin embargo, y a la vista de las cifras referentes a la cobertura del conjunto de la red propuesta (tabla 4), parece evidente afirmar que el resultado es totalmente satisfactorio. Con este sistema tranviario, el 62% de la población vallisoletana quedaría a menos de 5 minutos a pie de alguna de las estaciones, incrementándose esta cantidad hasta el 93% si ampliamos el desplazamiento hasta los 10 minutos. Además, casi la misma proporción (en torno al 90%) de todos los equipamientos se localizarían también a menos de 10 minutos andando desde alguna de las paradas propuestas.

	Franja 0-5 minutos		Franja 5-10 minutos		Total	
	Absoluto	%	Absoluto	%	Absoluto	%
Población	195957	62,09	97294	30,83	293251	92,92
Grandes equipamientos	27	48,21	23	41,07	50	89,29
Medianos equipamientos	47	54,02	30	34,48	77	88,51
Pequeños equipamientos	137	47,74	117	40,77	254	88,50

Tabla 4: Cobertura del conjunto de la red tranviaria. Elaboración propia. Fuente: INE, IGN y Departamento de Geografía de la Universidad de Valladolid.

7. Conclusiones.

Fruto de la realización del presente Trabajo Fin de Máster, queda reflejada la importancia de las herramientas SIG en la planificación de los medios de transporte, particularmente en el transporte urbano. En este sentido, queda clara la utilidad de los Sistemas de Información Geográfica a la hora de diseñar el trazado de las líneas de una futura red tranviaria en todas sus fases: identificación de la demanda, diseño de las líneas, definición de las paradas, evaluación de la cobertura de la red resultante... Todas estas fases han quedado reflejadas en el presente trabajo, para el cual se han utilizado desde herramientas vectoriales de digitalización, a operaciones de celda con imágenes ráster, pasando por el uso de las funcionalidades que ofrece la extensión de análisis de redes.

No obstante, a pesar de haber indagado en cómo estas herramientas se utilizan para dicha tarea, ha sido difícil encontrar estudios previos de aplicación para el caso concreto del tranvía. Además, no existen criterios uniformes para la puesta en marcha de proyectos tranviarios, tan sólo algunas recomendaciones, por lo que cada proyecto tiende a remitirse a ciertas pautas utilizadas en proyectos anteriores, matizadas en función del espacio en que se inserta, ya que la ciudad no se adapta al tranvía sino que es el tranvía el que debe adaptarse a la ciudad.

Y es que el trazado de un tranvía, queda supeditado a la inserción urbana de las líneas. Estas líneas deben satisfacer las necesidades de movilidad existentes, pero también deben adecuarse a las principales limitaciones de la geometría urbana, como es el ancho de las calles. Por tanto, no se trata sólo de unir puntos concretos, sino de dar respuesta a un problema en el que se entrelazan un conjunto de factores. En este sentido, también entra en juego el carácter subjetivo de quien toma las decisiones finales.

Por otro lado, se ha puesto de manifiesto la importancia de la abundancia o escasez de información sobre el territorio, así como la bondad de la misma, pues de ello depende la correcta resolución de los problemas que se presenten. Sin embargo, también se ha conseguido desarrollar la capacidad para resolver éstos de modo original y creativo, mediante la aplicación de diferentes herramientas SIG.

En otro orden de aspectos, también ha servido para que el que suscribe conozca más de cerca el mundo del tranvía moderno, así como la realidad de la

ciudad de Valladolid y sus necesidades de movilidad. Un reto al que la ciudad debe enfrentarse ante los cada vez mayores problemas derivados del estancamiento del transporte público y la progresiva metropolización de Valladolid.

De la realización de este trabajo se extrae la posibilidad real que existe, y quizá la necesidad, de instalar una red tranviaria en la ciudad. Quizá construida poco a poco o no tan amplia como se plantea, pues conllevaría una costosa inversión, pero los datos sobre demanda potencial hablan por sí solos. Si bien es cierto, la verdadera talla de un sistema tranviario se manifiesta durante su fase de explotación.

No obstante, está claro que la coyuntura actual no es el mejor momento para plantear un proyecto de estas características. Sin embargo, dada la actualidad del debate en pro o contra el tranvía existente en Valladolid, así como la renovación urbanística que supondrá el soterramiento del ferrocarril y la liberación de terrenos ferroviarios, se presenta la oportunidad única para llevar a cabo un proyecto de estas características, que mejore la movilidad urbana y sea a su vez un modo de transporte atractivo.

8. Bibliografía.

- Albertos Puebla, Juan M.; Salom Carrasco, Julia; Pitarch Garrido, María D.; Noguera Tur, Joan; Maestro Cano, Ignacio C. “Tranvía y desarrollo urbano en ciudades medias. El caso de Gandía”. En: *Internacional Meeting on Regional Science. The Future o the cohesion policy*. (Badajoz-Elvas 17-19 de noviembre de 2010).
- Andrés Hilarión, Helena. “*Criterios de trazado para la inserción urbana del tranvía*”. Director: Andrés López Pita. Universidad Politécnica de Cataluña, departamento de Infraestructuras del Transporte y del Territorio, 2010.
- Castañer Castillo, Carmen. “*Estudio de los tranvías de España en la actualidad*”. Director: Luis Lezaún. Universidad de Zaragoza, Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial, 2010.
- Gutiérrez J., García J. C., Alventosa C., Redondo J. C., Paniagua E. “Accesibilidad peatonal a la red sanitaria de asistencia primaria en la Comunidad de Madrid”. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense* Vol. Extraordinario, 269-280. Madrid, 2002.
- León, Cyril. “*Estudio de la optimización del diseño de subestaciones para la alimentación de sistemas de tracción eléctrica*”. Director: Bernat Martínez. Universidad Politécnica de Cataluña, Departamento de Ingeniería Electrónica, 2007.
- Maldonado Ibáñez, Ana. “*Desarrollo de un modelo espacio-temporal para la simulación del movimientos espontáneo de las personas mediante la creación de superficies de movimientos*”. Directores: Mónica Wachowicz y Antonio Vázquez Hoenhne. Universidad Politécnica de Madrid, Departamento de Ingeniería Topográfica y Cartografía, 2010.
- Seguí Pons, Joana María; Martínez Reynés, María Rosa. *Geografía de los transportes*. Universidad de las Islas Baleares, 2004. 444 pp.
- Otras fuentes:
 - *Estudio de viabilidad y anteproyecto relativo a instalaciones tranviarias en Murcia*.
 - *Estudio Informativo del Tranvía Leioa - Urbinaga*.
 - *Proyecto de Trazado del Tranvía del Deba*.