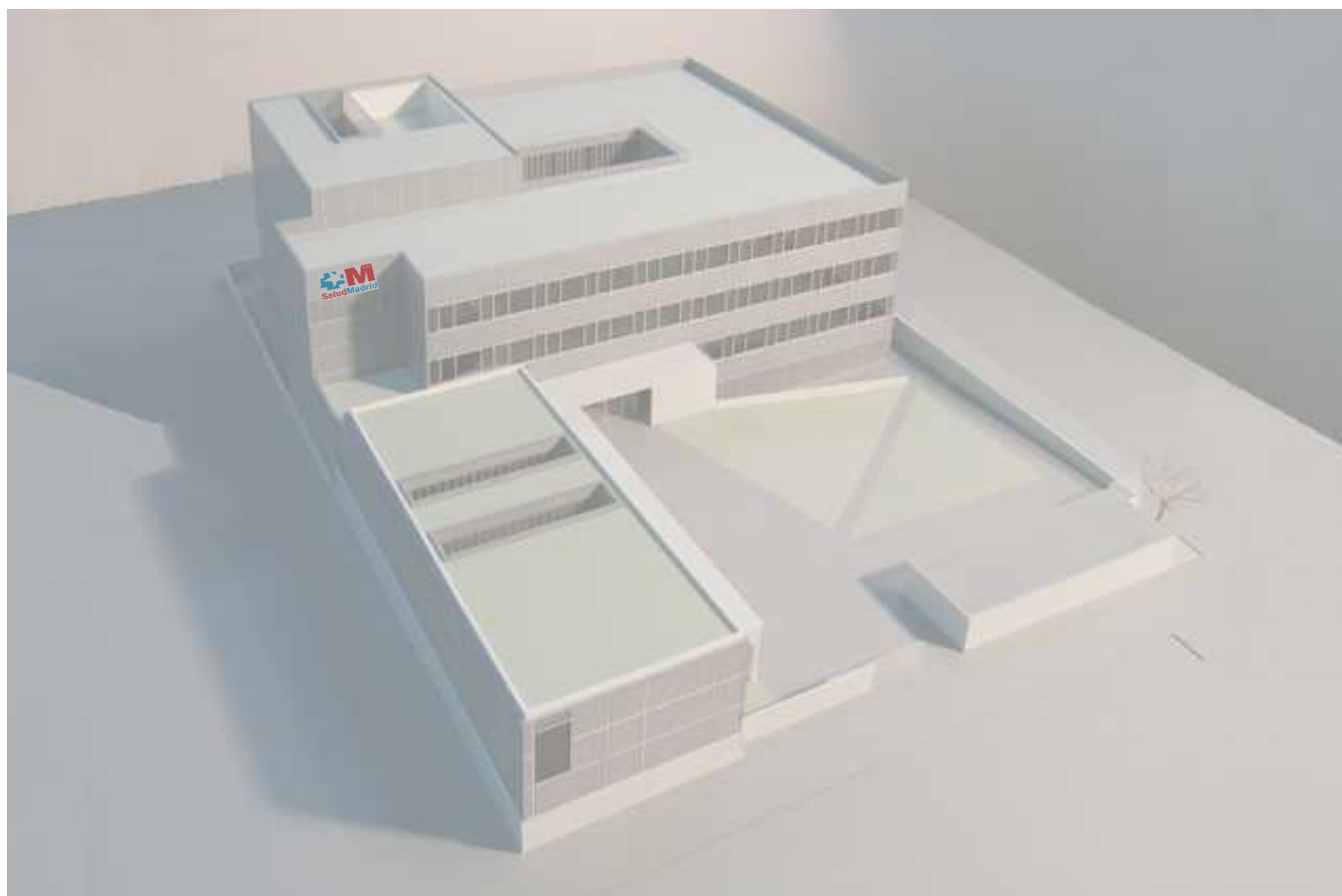


**LOCALIZACIÓN ÓPTIMA DE CENTROS DE SALUD EN
FUTUROS DESARROLLOS URBANÍSTICOS DE LA
COMUNIDAD DE MADRID: UNA APLICACIÓN DE LOS
MODELOS LOCATION-ALLOCATION**



Autor: Fernández Varone, Daniel

Tutor: Gutiérrez Puebla, Javier

Máster en Tecnologías de la Información Geográfica

Curso 2012/2013

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

ÍNDICE

1. PRESENTACIÓN	2
1.1. Objetivos	2
1.2. Estructura de trabajo	4
2. ESTADO DEL ARTE	5
2.1. Métodos de desagregación	5
2.2. Location-Allocation	6
3. DATOS Y METODOLOGÍA	8
3.1. Datos	8
3.1.1. Datos de partida	8
3.1.2. Adaptación de los datos para su procesamiento.	9
3.2. Cálculo de la demanda en los nuevos desarrollos.	11
3.2.1. Densidades netas.	11
3.2.2. Detección de nuevos desarrollos	14
3.2.3. Asignación de población a los nuevos desarrollos.	16
3.3. Creación de la red viaria.	18
3.4. Análisis de los centros de salud en 2009.	19
3.5. Modelos de localización óptima.	23
4. RESULTADOS	25
4.1. Localización de los centros de salud utilizando un modelo de minimización de instalaciones.	25
4.2. Localización de los centros de salud utilizando un modelo de mínima impedancia.	32
4.2.1. Según las coberturas medias obtenidas para el año 2.009.	32
4.2.2. Según resultados obtenidos en la minimización de instalaciones.	40
4.3 Comparación de resultados obtenidos	47
5. CONCLUSIONES	51
6. REFERENCIAS	53

1. PRESENTACIÓN

La preocupación en estos tiempos por la situación económica que atraviesa el Gobierno de España y, a su vez, la Comunidad de Madrid, y sus posibles consecuencias sobre las instituciones y administraciones dependientes de éstas, en especial la delicada sanidad pública, nos lleva a reflexionar sobre el qué y el cómo podemos aportar y aplicar nuestros conocimientos en una mejora de los servicios y prestaciones minimizando la inversión económica de la administración y asegurando unos principios sociales básicos de eficiencia, equidad y sostenibilidad del sistema.

La importancia de la Ciudad de Madrid, así como su área de influencia, hace que se encuentre en un continuo crecimiento poblacional. Es por ello que ésta se debe adaptar a los cambios que se producen de una forma eficiente, proporcionando a sus habitantes equidad y calidad de vida.

Es aquí donde entra en juego una correcta planificación, ya que los términos de eficiencia y equidad muchas veces son contradictorios y habrá que encontrar un punto intermedio en los que puedan convivir o se maximicen ambos principios. En esta planificación se nos plantean ciertas preguntas que se han de contestar, tales como ¿Dónde?, ¿Cómo?, ¿Cuándo? Y ¿Cuánto? Será este crecimiento.

Si se es capaz de responder a dichas preguntas la planificación podrá ser más adecuada a las características que se dan en la zona. En este trabajo se intenta responder a la pregunta ¿Cuánto? ya que las demás, en principio, son conocidas al inicio del estudio gracias a los trabajos realizados por el investigador de la Universidad Complutense de Madrid, Jaime Díaz Pacheco.

Pero para preservar dichos valores no sólo habrá que localizar y cuantificar el crecimiento poblacional que se dará en un cierto año, sino que lo fundamental será localizar los diferentes equipamientos públicos en función de dicho crecimiento y su situación espacial. Aunque en este trabajo sólo nos centraremos en la localización de centros de salud, los modelos y metodologías son extrapolables a otros equipamientos públicos.

1.1. Objetivos

El principal objetivo de este documento es la búsqueda, investigación e indagación de la localización más deseable (“óptima”) de los equipamientos públicos. Nos centraremos en la localización de centros de salud, partiendo de modelos de simulación en los que se representan los usos del suelo para el año 2.025, dichas simulaciones fueron realizadas y

proporcionadas por D. Jaime Díaz Pacheco, investigador de la Universidad Complutense de Madrid. Estos datos fueron obtenidos con patrones dados entre los años 2.000 y 2.009, años en los que la Comunidad de Madrid gozaba de buena salud económica y donde el mercado inmobiliario estaba en pleno auge.

Todo el trabajo se basa en estas simulaciones, y al fin y al cabo no dejan de ser simulaciones, por lo que estos escenarios se pueden dar o no. Posiblemente éstos no se den en el año 2.025, pero seguramente se den más adelante, por lo que el trabajo en sí no pierde interés alguno.

Mediante la aplicación de diferentes modelos se obtendrá, por un lado, la población desagregada al mismo nivel de resolución de los modelos de partida y, por otro, la localización óptima de los equipamientos. Para ello, siempre se mantendrán como fijos e inmóviles los equipamientos existentes en la actualidad, localizando sólo los necesarios para dar cobertura al crecimiento de la población (nuevos desarrollos).

Para el correcto desarrollo del trabajo se ha de tener datos más o menos precisos, tanto a nivel estadístico como geográfico, de la distribución de la población en la zona de estudio. Ya que el número de centros de salud y su localización dependerá directamente de ellos.

Para empezar, hay que considerar que estamos trabajando con modelos de simulación, en los que se predicen los cambios en el uso del suelo. Por lo tanto partimos de simulaciones donde se representan los usos del suelo en la Comunidad de Madrid, pero no conocemos los datos cuantitativos del crecimiento de población que se produce en ella. Es decir, sabremos la superficie de suelo residencial multifamiliar o unifamiliar que existirá, pero no los habitantes que radican en ellas.

Para resolver este problema, se pretende crear un modelo, utilizando un método de desagregación, para hallar las densidades netas de cada uso de suelo en cada zona estadística, estas zonas serán las secciones censales para el año 2.009.

En segundo lugar, una vez obtenidas las densidades netas, tendremos que desarrollar un método para extrapolar estas densidades a los nuevos desarrollos. Dotando así a cada unidad mínima de trabajo un número concreto de habitantes.

Por último tendremos que resolver el principal objetivo del trabajo, la localización óptima de los centros de salud. Para ello se aplicarán diferentes modelos en el que se halle el

número de centros de salud que se deben de localizar y su localización más deseable. Se emplearán herramientas de location-allocation (localización-asignación).

Para poder ejecutar correctamente estas herramientas se definirá una red de carreteras o transporte por donde se pueda desplazar la población a pie desde su vivienda hasta el centro de salud más próximo.

1.2. Estructura de trabajo

Para empezar se plantean los objetivos del trabajo, teniendo en cuenta los datos disponibles. A continuación se realiza una revisión bibliográfica de los principales temas acometidos en el trabajo. Se presentan los datos de partida utilizados y se desarrollan las metodologías empleadas para poder obtener los resultados, éstos se presentarán de forma resumida y explicativa. Finalmente, se realiza un análisis y comparativa de los resultados así como una conclusión final.

2. ESTADO DEL ARTE

En este trabajo se abordan dos temas fundamentales. Por un lado, se aplicarán modelos de desagregación, los cuales nos servirán para el cálculo de las densidades para el año 2.009 y su posterior extrapolación al año 2.025. Por otro lado, se utilizarán las diferentes herramientas de location-allocation para la localización de centros de salud y la asignación de su demanda.

2.1. Métodos de desagregación

Se parte de datos estadísticos a nivel de sección censal, para poder plantear el problema de localización-asignación, hay que obtener mapas dasimétricos, mapas que planteen y muestren un nivel de desagregación mayor a estos datos, ayudándose de informaciones complementarias. Para ello se emplearán métodos de desagregación, en la actualidad existen numerosos métodos, entre los que podemos destacar los siguientes:

El método de la interpolación picnofiláctica suavizada (Tobler, 1979). Este método fue desarrollado en 1979 y su fundamento teórico se basa en la consideración de que las transiciones abruptas en los límites, que caracterizan la representación por coropletas, contradicen la “Primera Ley de la Geografía” sobre la manifestación continua de los fenómenos geográficos en el espacio (Santos Preciados et al., 2011). Esto conllevaría a suavizar los límites de una superficie escalonada hasta obtener una superficie continua.

El cálculo de esta superficie continua es un procedimiento iterativo en el cuál se debe alternar el suavizado de la superficie (de fácil resolución con un software de GIS) y la conservación del volumen de población en cada una de las unidades de partida, introduciendo correcciones que garanticen esta propiedad.

El método de difusión y agregación (Bracken y Martín, 1989). Este método sustituye las unidades geográficas por sus centroides, atribuyéndole toda la población a dicho punto. Posteriormente, se reconstruye la totalidad de la superficie a través de una interpolación desde las celdas a los centroides.

El modelo reconstruye la distribución de la población, de manera que sea independiente de los límites arbitrarios de las unidades censales (Bonilla y Rosero, 2008). Los datos de población se distribuyen con una ponderación inversamente proporcional a la distancia, con un radio de proximidad determinado.

Los píxeles que queden dentro de intersecciones de radios de diferentes centroides recibirán la carga de la población correspondiente de cada uno de ellos. Mientras que los

pixeles que queden fuera del área de influencia de cualquier centroide no recibirán carga alguna, siendo su población final igual a cero.

Desagregación probabilística con datos auxiliares (Spiekermann y Wegener, 2000). Este será el método que emplearemos en la desagregación de los datos. Propone la utilización de usos de suelo como elementos auxiliares para dotar a cada unidad geográfica del territorio una probabilidad de acoger una cantidad de población determinada.

Para la utilización del método cada unidad geográfica debe estar caracterizada por dos atributos, por un lado el identificador de la sección censal (o unidad de agregación) a la que pertenece, por otro lado el tipo de uso de suelo que se produce en ella.

A cada uso de suelo se le asigna un peso, en forma de número entero. Así se obtendrá una grid en la que cada elemento debe tener asignado el identificador de la sección censal y un peso para su uso de suelo. Se divide el peso de cada elemento por la suma total de los pesos de todos los elementos de la sección censal a la que ésta pertenece, se obtiene así la probabilidad (o en cierta forma la proporción) de que la población de la sección censal sea asignada a dicho elemento.

Posteriormente, sobre este método los autores aplicaron el método de Monte Carlo, el cual reparte la carga total, en este caso de la población, a cada uno de los elementos de acuerdo a las probabilidades asignadas a cada uno de ellos y de forma aleatoria. Es por esto que en las zonas no residenciales la carga será nula (peso igual a cero, probabilidad nula), y en las zonas residenciales se repartirá la población de forma más o menos proporcional a las probabilidades dadas a cada elemento.

Por último se ha de verificar la propiedad pinofiláctica de forma que la suma de la población de los elementos que conforman una sección censal coincida con el dato original de población que se disponía al inicio del método.

2.2. Location-Allocation

Church y Murray (2009) han enunciado algunos principios básicos que se dan en la localización de un elemento, y éstos son: algunas localizaciones son mejores que otras; la eficiencia de una localización se puede ver alterada por el contexto espacial; los emplazamientos de un patrón espacial con múltiples instalaciones deben ser seleccionados simultáneamente, en lugar de independientemente unos de otros.

Los modelos de localización-asignación se pueden clasificar según el objetivo perseguido (Bosque y Moreno, 2011), entre los que destacamos los siguientes:

Eficiencia: Consiste en la reducción al mínimo de las impedancias (costes de desplazamiento), localizando así un número determinado de instalaciones. Esto se puede conseguir con tres modelos distintos: el modelo p-mediano, la maximización de la accesibilidad y la maximización de los beneficios.

Equidad espacial: Consiste en conseguir que las diferencias en la accesibilidad espacial de la demanda sean mínimas. La inaccesibilidad provoca una penalización para aquellos que la sufren, por tanto se intenta compensar la inaccesibilidad perdiendo así eficiencia. En definitiva, se persigue maximizar la igualdad a través de forzar que la impedancia sea la menor posible.

El principal objetivo del trabajo es la localización óptima o más deseable de los centros de salud de la Comunidad de Madrid a través de herramientas de location-allocation. Existe numerosa bibliografía relacionada con la aplicación de estas herramientas en diferentes situaciones y escenarios.

Sin ir más lejos, Bosque Sendra y Moreno Jiménez han publicado una segunda edición del libro titulado *Sistemas de Información Geográfica y Localización Óptima de Instalaciones y Equipamientos* (2012), en el cuál se exponen las diferentes metodologías y resultados, así como las cuestiones teóricas en las que se basa el desarrollo de este tipo de herramientas. Además, en él también se incluyen diferentes artículos mostrando así la aplicabilidad de estas herramientas, como por ejemplo, "Diseño de propuestas óptimas para ampliar la dotación de centros de salud en la región de Valparaíso (Chile)", en el que se emplean dichas herramientas para la resolución del problema.

Es posible encontrar numerosas aplicaciones y publicaciones que muestran el uso de SIG en el estudio de problemas de localización, entre otras podemos citar a Barredo Cano (1995) y Gómez y Barredo (2004) en las que describen un procedimiento que combinando SIG y técnicas de evaluación multicriterio, facilita encontrar las mejores localizaciones para situar los distintos usos del suelo que deseamos realizar en una región.

Pero no se encuentra bibliografía en la que se empleen dichas herramientas sobre simulaciones, jugando así un papel fundamental en la planificación de los futuros equipamientos públicos. Además, en el actual trabajo, se introduce como novedad la ejecución en varias fases de las herramientas location-allocation para conseguir un mejor equilibrio entre eficiencia y equidad.

3. DATOS Y METODOLOGÍA

El área de estudio del presente trabajo se refiere a la Comunidad de Madrid. Si bien el sistema de referencia oficial en España es el ETRS89, se opta por emplear para el tratamiento de datos y representación de resultados el WGS84, proyectado en UTM en el huso 30. La decisión de trabajar con este sistema de referencia se determina en primer lugar, porque aunque no sea oficial si es común la utilización en todos los ámbitos de trabajo de dicho sistema de referencia, y en segundo lugar, porque los datos de partida se proporcionan en WGS84 proyectado en UTM30 y ED50, estando este último en un total desuso debido a la normativa vigente.

El software utilizado para el procesado y análisis de datos es ArcGIS 10.0, así como sus extensiones, entre las que fueron de inevitable uso, análisis espacial (Spatial Analyst) y análisis de redes (Network Analyst). De igual forma, el uso del paquete Microsoft Office 2.007 fue indispensable, principalmente Microsoft Excel para la homogenización, preparación y tratamiento de datos para su posterior utilización en ArcGIS, así como Microsoft Word y PowerPoint para la redacción y presentación del trabajo.

3.1. Datos

3.1.1. Datos de partida

Para la realización del presente trabajo es necesaria la utilización de información obtenida y proporcionada por diferentes fuentes que se detallan a continuación:

Datos e información cedida por el investigador de la Universidad Complutense de Madrid, D. Jaime Díaz Pacheco:

- Mapas de usos de suelo de la Comunidad de Madrid para el año 2.009. Estos datos fueron proporcionados en formato raster (50 x 50 metros).

- Mapas de usos de suelo de la Comunidad de Madrid para los años 2.025. También proporcionados en formato raster (50 x 50 metros). Estos datos a futuro fueron obtenidos con patrones dados entre los años 2.000 y 2.009 y aplicando un proceso de simulación realizado por el autor y fruto de sus trabajos como investigador de la universidad.

Datos e información descargada desde el Instituto de Estadística de la Comunidad de Madrid:

- Padrón Continuo por secciones censales para el año 2009 para la Comunidad de Madrid. Estos datos fueron descargados en formato .xls (Excel). Este documento se detalla con un nivel de desagregación censal el número de habitantes de la Comunidad de Madrid.

Datos e información descargados desde el portal de descarga del nomenclátor oficial y callejero no me calles, perteneciente al Instituto de Estadística de la Comunidad de Madrid:

- Delimitación territorial de las secciones censales de la Comunidad de Madrid para los años 2.008, 2.009 y 2.010. Se descarga en las tres épocas debido a la continua modificación geográfica de estas. Estos datos fueron descargados en formato .shp (shape).

- Delimitación territorial de los municipios de la Comunidad de Madrid. Estos datos poligonales se proporcionan en formato .shp (shape poligonal).

- Zonas de Salud para la Comunidad de Madrid. Descargados en formato shape poligonal (.shp). Estos datos contienen información sobre la zonificación de las áreas de salud.

- Zonas metropolitanas de la Comunidad de Madrid. Descargados en formato shape poligonal (.shp).

- Localización de los Centros de Salud en el año 2009. Descargados en formato shape puntual (.shp).

- Ejes de viales de la red de carreteras de la Comunidad de Madrid. Descargados en formato shape lineal (.shp).

3.1.2. Adaptación de los datos para su procesamiento.

Para la correcta utilización de estos datos es necesario un tratamiento previo, en el cual normalizaremos los datos y los adaptaremos a nuestras necesidades y forma de trabajo.

Para mayor facilidad de trabajo aprovecharemos las ventajas que nos ofrecen las geodatabases y dataset, importando y convirtiendo a Feature Class todos los shapes utilizados, así como tablas y raster. Para ello se definirá a cada dataset el sistema de referencia (WGS84 UTM30) y sus características individuales.

Por un lado, hemos de proyectar todos los datos geográficos, tanto shape como raster, a un mismo sistema de coordenadas. Este sistema de coordenadas es el WGS84 con proyección UTM en el huso 30. Para ello emplearemos la herramienta "Project" disponible en ArcGIS que tiene como finalidad cambiar el sistema de coordenadas de una capa, aplicando los

correspondientes parámetros de transformación, obteniendo los mismos datos en el sistema de coordenadas deseado.

El raster proporcionado por Jaime Díaz Pacheco para el año 2.009 tiene una resolución de 50 por 50 metros. Para simplificar cálculos y agilizar las operaciones computacionales se opta por cambiar a una resolución 100 por 100 metros, dividiendo así por 4 el número de entidades. Esto lo realizamos con la herramienta “Resample”.

La simulación para 2.025 también tiene una resolución de 50 por 50 metros, pero no está georreferenciada ni escalada. Como sabemos que la resolución original es de 50 por 50 metros y en el software cada celdilla tiene una longitud de 1 metro, para adaptar la capa a las características de los datos originales ejecutamos la herramienta “Rescale” con un parámetro en X y en Y de 50. Posteriormente cambiaremos la resolución del raster como se ha explicado en el párrafo anterior obteniendo así un raster de resolución 100 por 100 metros. Debemos hacer coincidir el raster del año 2.025 con el raster del año 2.009 georreferenciándolo.

Por otro lado, se debe adaptar el formato de los ficheros Excel para su procesamiento dentro de ArcGIS, además de la codificación de las secciones censales, ya que ésta varía respecto a la codificación disponible en los ficheros shape con la delimitación territorial de las secciones censales, por lo que homogenizaremos las tablas para una cómoda y correcta utilización dentro de ArcMap.

Por último, los ficheros descargados de las delimitaciones de las secciones censales contienen errores topológicos y de codificación, por lo que es necesaria una edición previa de los ficheros para un uso correcto de los datos. Este inconveniente lo resolvemos creando unas reglas topológicas en el dataset que contiene la correspondiente Feature Class, al cual posteriormente, pasaremos dicha topología detectando así dichos errores.

Las reglas topológicas utilizadas son “Must Not Overlap” y “Must Not Have Gaps”. Estas herramientas detectan errores topológicos como superposiciones de polígonos o espacios vacíos entre polígonos. Destacar que esta herramienta sólo detecta los errores, no los corrige, esto lo debemos de realizar manualmente, editando la Feature Class.

- Los polígonos no deben superponerse (“Must Not Overlap”). Una zona solamente puede ser caracterizada por un polígono. A la derecha puede verse en color rojo la zona de solape que debería eliminarse.



- No debe haber Gaps o huecos (“Must Not Have Gaps”) entre polígonos que representen una superficie continua. Solamente se representarán los huecos reales, de tal forma que en caso de existir tal hueco sea debido a que no existe espacio protegido en ese lugar. A la derecha se puede apreciar en color blanco la zona que no interesa que aparezca.



Además de las secciones censales para el año 2.009 disponemos de las secciones censales para el año 2.008 y 2.010, podemos realizar una comparativa entre los datos de distintas fechas en las zonas donde se produce cada error topológico. Analizando esta comparativa corregiremos los errores de la forma más coherente, rellenando espacios o quitando superposiciones, obteniendo así una Feature Class continua en el espacio y sin superposiciones, evitando así futuros problemas en uniones y selecciones espaciales.

3.2. Cálculo de la demanda en los nuevos desarrollos.

Para poder determinar la localización de los centros de salud necesarios para cubrir una futura demanda, es necesario el cálculo aproximado de esta demanda. Partiremos de un mapa de usos de suelo, por lo que a estos habrá que aplicarle unos parámetros para así poder hallar la demanda (población) localizada en cada zona. Para ello aplicaremos las mismas densidades netas existentes en la actualidad o, en este caso, en la última época en la que disponemos de datos (año 2.009).

En primer lugar definiremos la unidad geográfica de estudio, esta será cada pixel o celdilla del fichero raster (100 x 100 metros) del mapa de uso del suelo del que partimos. O si estamos trabajando de forma vectorial se corresponderá con el centroide de cada una de ellas.

3.2.1. Densidades netas.

Se calcularán las densidades netas, en hab/ha (o lo que al caso es lo mismo habitantes por unidad geográfica), para los dos usos de suelo residencial que disponemos en los mapas de usos de suelo, residencial unifamiliar y residencial multifamiliar. Estas tendrán un único valor en cada sección censal, es decir, cada sección censal tendrá una densidad neta para uso residencial unifamiliar y otra para uso residencial multifamiliar.

Para esto es necesario primero desagregar los datos disponibles, agregados en secciones censales, en las unidades de estudio. Estos datos se corresponden con el padrón continuo, descargados desde el Instituto de Estadística de la Comunidad de Madrid. Como es lógico sólo se repartirá la población en las unidades geográficas de estudio que pertenezcan a un uso

residencial, ya sea unifamiliar o multifamiliar, dotando con población nula los demás usos de suelo (Industrial, Facilities, Water, etc.).

Este reparto se realizará por el método de *Desagregación probabilística con datos auxiliares* desarrollado por Spiekermann y Wegener (2.000). La metodología de este método se ha explicado en el apartado 2.1. Los pesos aplicados son los siguientes: 1 para el uso residencial unifamiliar y 7 para el uso residencial multifamiliar. Es por esto que, dentro de una misma sección censal, el modelo distribuirá 7 habitantes en uso residencial multifamiliar por cada 1 en uso residencial unifamiliar.

En la siguiente imagen se muestra el proceso de desagregación y cálculo de la densidad neta para cada sección censal.

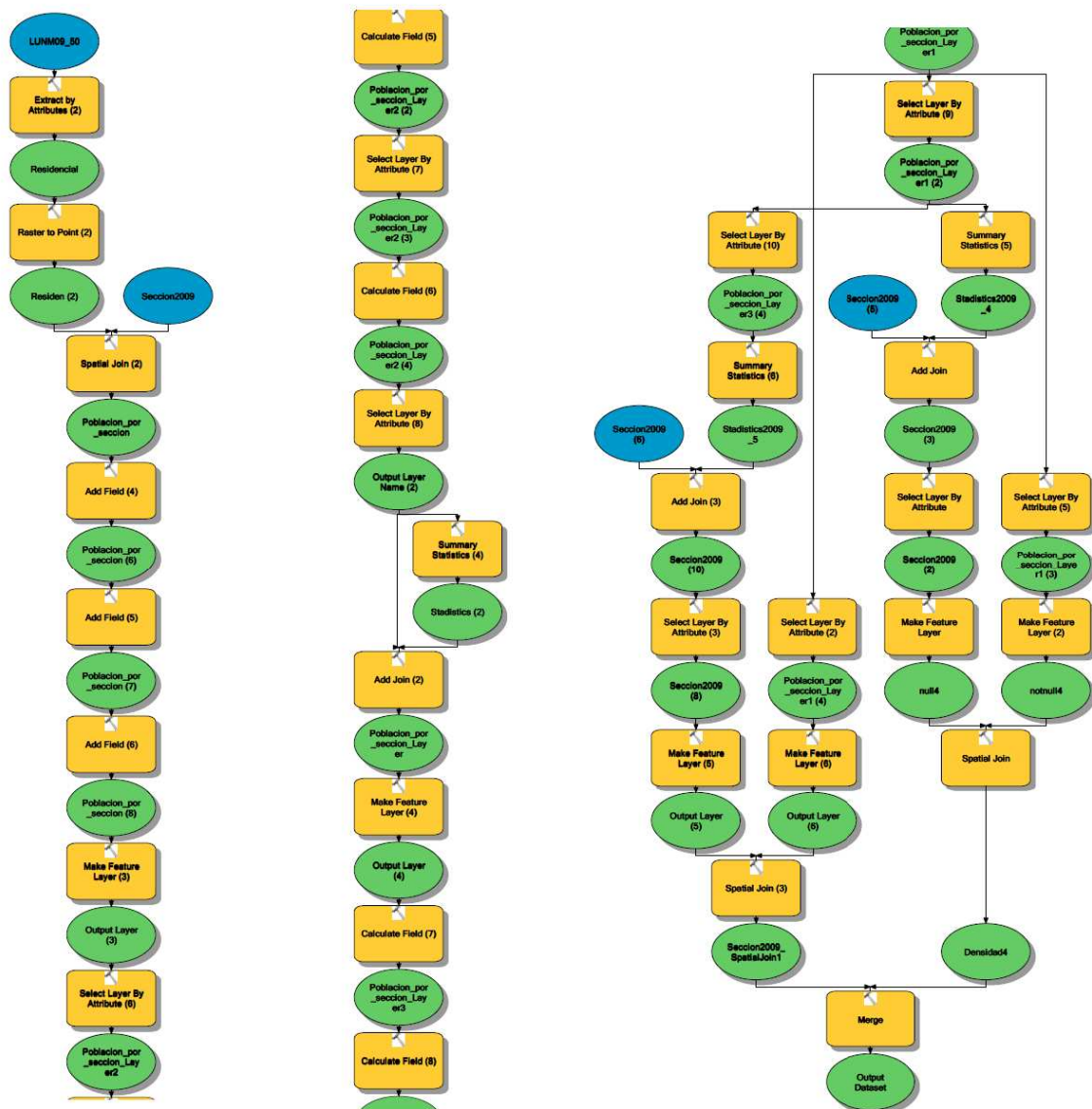


Imagen 1. Model Builder, proceso de desagregación y cálculo densidad neta. Fuente: Elaboración Propia.

La primera parte de este modelo (las primeras dos columnas) determina la densidad neta de cada uso y sección censal, donde los pasos más importantes se dan en la unión espacial entre los usos residenciales y las secciones censales (este proceso determina para cada unidad geográfica de estudio la sección censal a la que pertenece). Otra herramienta importante utilizada es la calculadora de campo, con ella en primer lugar dotamos de pesos a cada registro, y por otro lado calculamos la probabilidad y finalmente la densidad neta. Por último, realizamos un “summarize statistics” para resumir los datos y quedarnos sólo con un registro por uso de suelo y sección censal.

En el párrafo anterior se introduce el término probabilidad, ésta se refiere a las posibilidades que tiene cada habitante de pertenecer a la unidad geográfica de estudio correspondiente. En este estudio no se introduce el factor de aleatoriedad dado en el modelo de desagregación utilizado, por lo que la probabilidad puede fusionarse con el término proporcionalidad.

El problema surge cuando en ciertas secciones censales no disponemos de un uso residencial concreto para el año 2.009. Como es lógico no en todas las secciones censales existen todos los tipos de usos residenciales empleados, y si que en algunas de ellas sólo exista un sólo uso residencial (unifamiliar o multifamiliar). Esto nos lleva a plantearnos la posibilidad que en el año de la simulación, 2.025, se pueda dar casualidad de que se produzcan nuevos desarrollos de un tipo de uso de suelo que no existiera en 2.009 en una sección censal determinada.

Este problema lo resolvemos con la segunda parte del modelo (tercera columna). Para esto empleamos la herramienta “spatial join” con la opción “closest facilities”. Esta herramienta une los atributos de una clase de entidad con otra basada en una relación espacial, en este caso, se hace coincidir la entidad en las entidades de unión que está más cerca de una entidad de destino.

Las entidades de clase de entrada son las secciones censales donde no disponemos de datos, mientras que las entidades de unión son todos los puntos de un mismo uso en los que si disponemos de la densidad neta. Este proceso lo realizaremos una vez para cada uso residencial.

Con esto logramos dotar a una sección censal en la que, por su tipología en el año 2.009, no disponemos de datos (densidades). A todas estas secciones censales le asignaremos los datos del punto más cercano, ya que las entidades de clase de entrada (secciones censales)

son polígonos, mientras que las entidades de clase de unión (usos de suelo, representado por su centroide y con la asignación de población realizada) son puntos.

3.2.2. Detección de nuevos desarrollos

Como dijimos anteriormente partimos del año 2.009, ésta será la época base, es decir, se hallarán todos los nuevos desarrollos (usos residenciales) que aparezcan a partir de esta fecha.

Este proceso se puede realizar fácilmente con la herramienta disponible en ArcGIS en la extensión de análisis espacial llamada "combine". Esta herramienta combina múltiples rásteres de manera que se asigna un único valor de salida a cada combinación única de valores de entrada. Este raster de salida se asocia a una tabla de atributos la cual guarda los valores originales de los rásteres combinados. Por lo cual de este fichero podemos extraer sólo los datos correspondientes a los nuevos desarrollos, es decir, los datos que se correspondan con valores distintos para ambas fechas y con un uso del suelo residencial para la fecha de la simulación, ya sea unifamiliar o multifamiliar.

A continuación se muestran dos imágenes correspondientes a los datos proporcionados por Jaime Díaz Pacheco. La primera se corresponde con los usos de suelo de la Comunidad de Madrid para el año 2.009, mientras que la segunda se corresponde con el año 2.025.

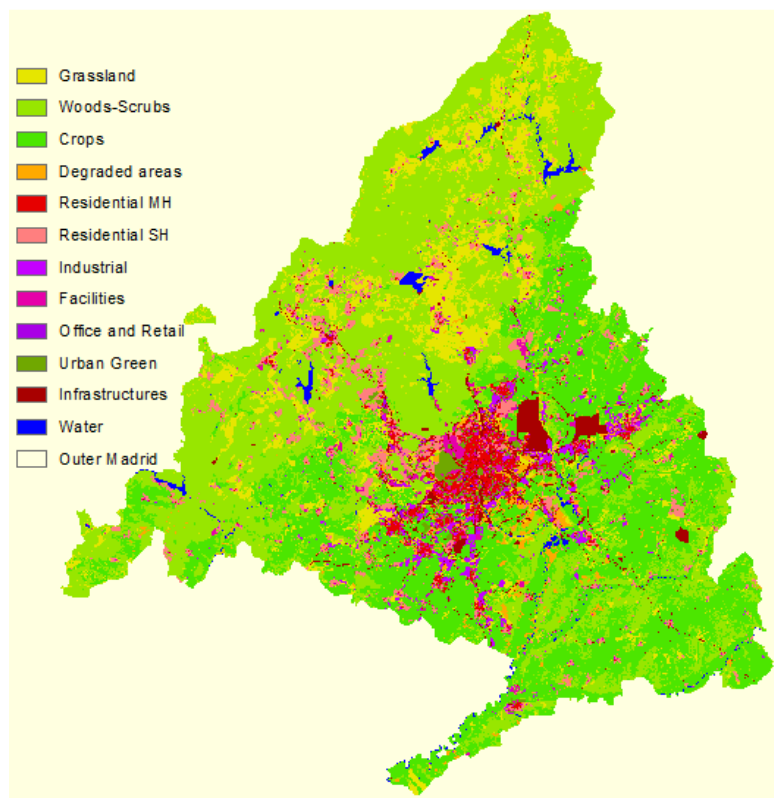


Imagen 2. Mapa usos de suelo año 2009. Fuente: Jaime Díaz Pacheco.

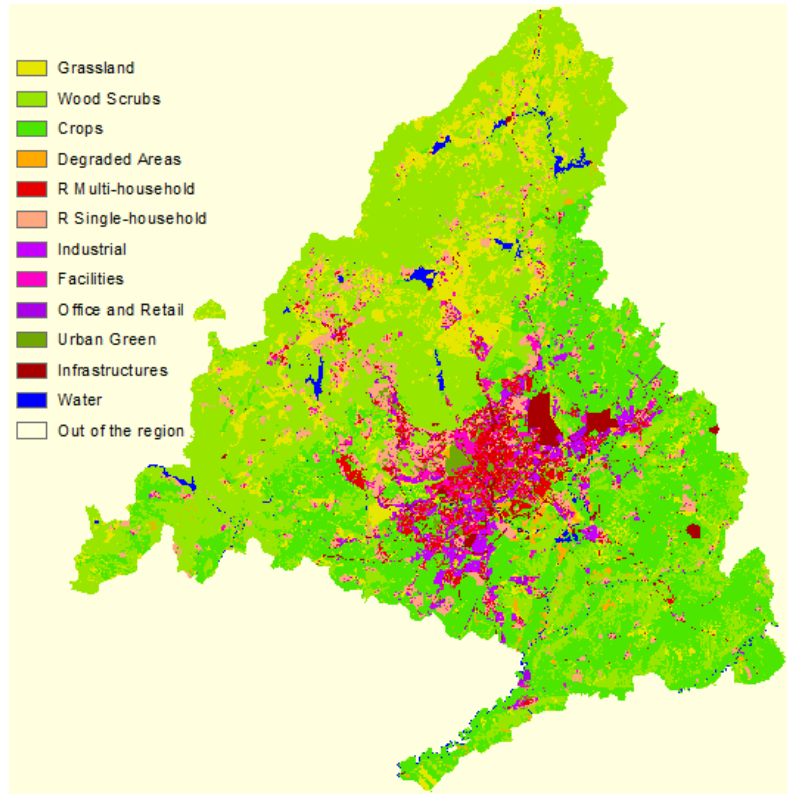


Imagen 3. Mapa usos de suelo año 2025. Fuente: Jaime Díaz Pacheco.

La imagen 4 muestra el resultado obtenido, representando así los nuevos desarrollos urbanísticos detectados en el proceso.

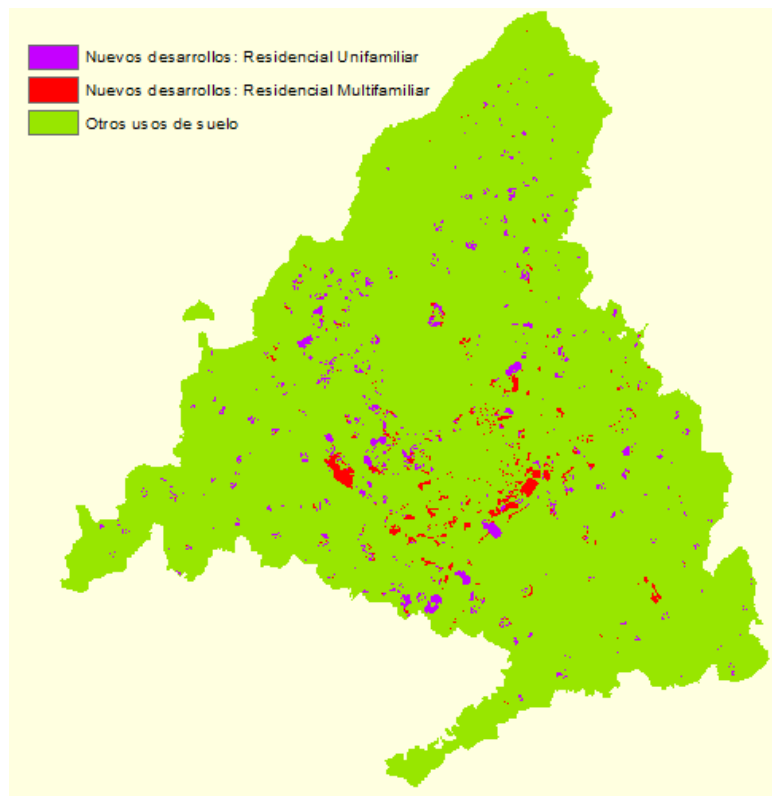


Imagen 4. Mapa nuevos desarrollos 2009 - 2025. Fuente: Elaboración propia.

Para una mayor comodidad a la hora de ejecutar posteriores herramientas y modelos pasaremos los datos obtenidos en este proceso (raster) a formato vectorial, obteniendo un punto en cada centroide de cada celdilla o pixel del raster. Este procedimiento lo realizamos con la herramienta raster to point, la cual preserva los atributos originales, por lo que no perderíamos información al realizar este proceso.

3.2.3. Asignación de población a los nuevos desarrollos

En el apartado 3.2.1 hemos visto como calcular la densidad neta que se aplicará en los nuevos desarrollos, mientras que en el apartado 3.2.2 hemos visto como detectar estos nuevos desarrollos. En este apartado veremos cómo aplicar dicha densidad neta a cada entidad clasificada como nuevo desarrollo.

Para empezar, como los datos de densidad de población los disponemos desagregados en secciones censales, debemos de asignarle a cada entidad el código de sección censal a la que pertenece, esto lo realizaremos con una unión espacial con la opción “intersect”. Una vez que cada entidad está localizada en su sección censal se le aplica la densidad correspondiente a su situación espacial con una unión por atributos (“add join”). Por último, unimos ambos usos de suelo con la herramienta “merge”.

Al finalizar este proceso tendremos localizados los nuevos desarrollos que se producen en la simulación, y asignados a ellos la población demandante. Para realizar este proceso hemos empleado el siguiente modelo:

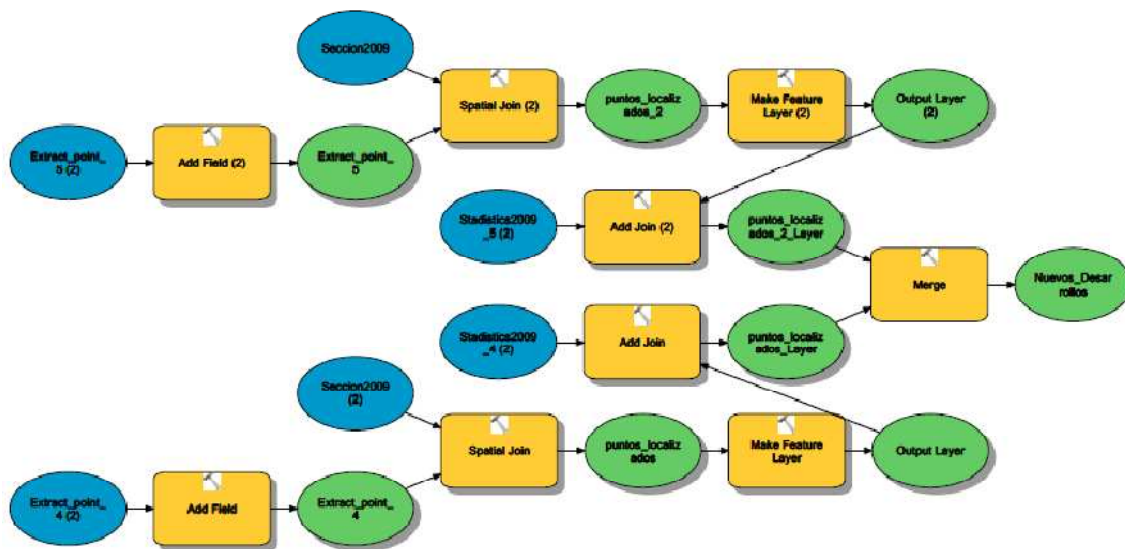
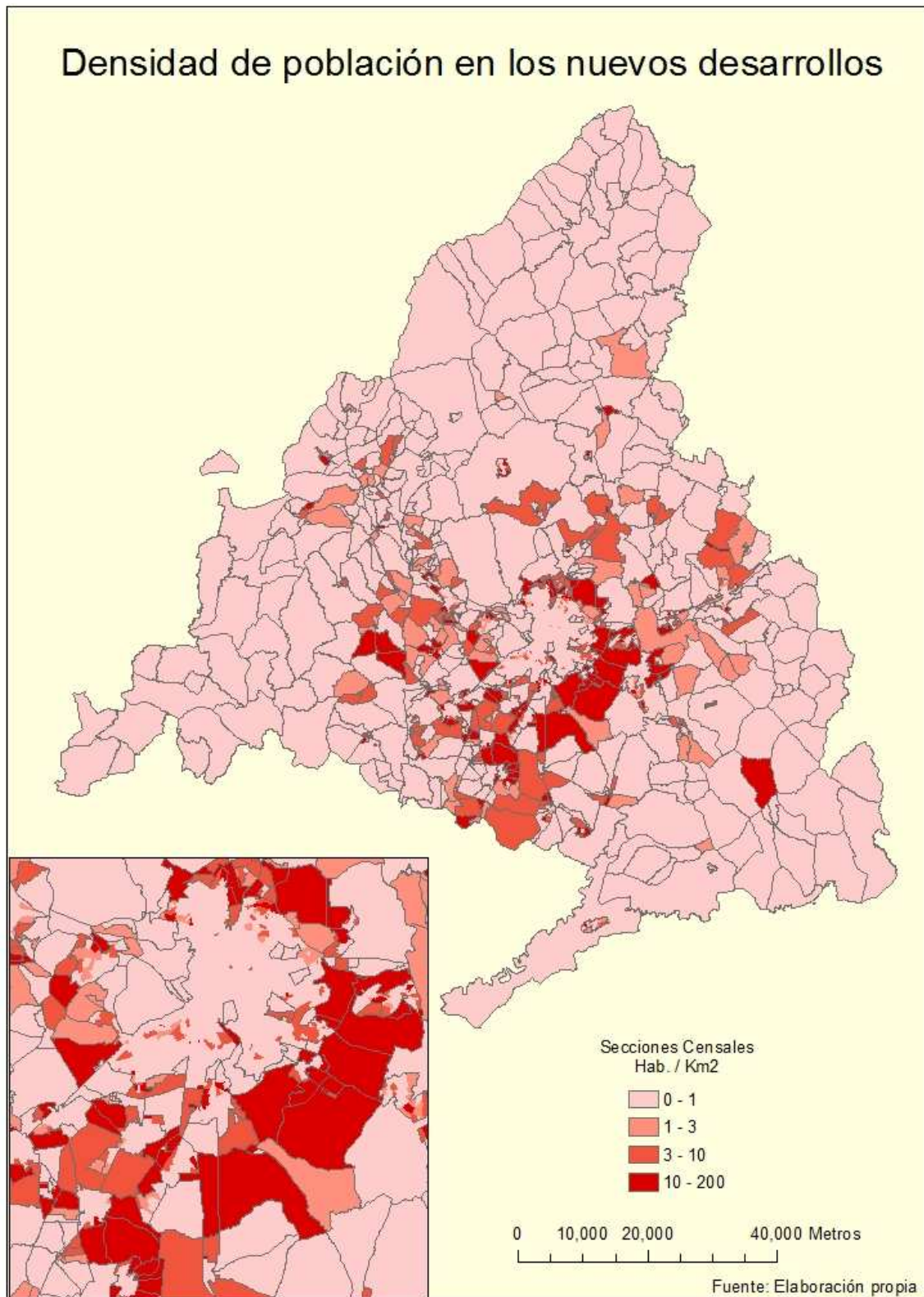


Imagen 5. Model Builder, asignación de población a los nuevos desarrollos. Fuente: Elaboración Propia.

En el siguiente mapa se muestra la densidad de población existente en los nuevos desarrollos.



3.3. Creación de la red viaria.

El objetivo final de este estudio es la determinación del número y localización de los centros de salud que serán necesarios en el año 2.025. Para determinar estos parámetros emplearemos herramientas de location-allocation. Y a su vez, esta herramienta trabaja sobre una red. La demanda (habitantes) se desplazará por dicha red, por lo que dicha red deberá ser la red viaria de la Comunidad de Madrid.

Desde el Instituto de Estadística de la Comunidad de Madrid, se ha descargado la red viaria. Esta red puede ser compatible con los datos del año 2.009, pero no para el año 2.025 debido al crecimiento de la población y a la creación de nuevos desarrollos lejanos a la red actual.

Anteriormente se han obtenido los nuevos desarrollos (usos residenciales en 2.025 y no en 2.009), y en principio, éstos estarán lejanos a la red original, por lo que si ejecutamos las correspondientes herramientas con esta red los resultados obtenidos serían erróneos. Principalmente porque la distancia existente entre el centroide y la red no computa en el cálculo, por lo que esta distancia será obviada por la herramienta.

Es por todo esto que se decide ampliar dicha red. En principio no sabemos cómo evolucionará la red en el tiempo, pero podemos intuir de forma general su forma final debido a la situación de los nuevos desarrollos.

Para solucionar este inconveniente se decide generar una malla que una los puntos clasificados como nuevos desarrollos que se encuentren a más de 100 metros de la red actual, se impone esta medida porque existen nuevos desarrollos en zonas ya urbanizadas en la actualidad. Para realizar esta operación pasamos esta entidad de clase a raster para posteriormente, pasar este raster a una entidad de clase lineal. Así se nos creará una malla entre celdas contiguas.

En la siguiente imagen se muestra parte de la malla obtenida en el proceso anterior (rojo), si la representamos con la red viaria actual (verde) vemos que no es continua.

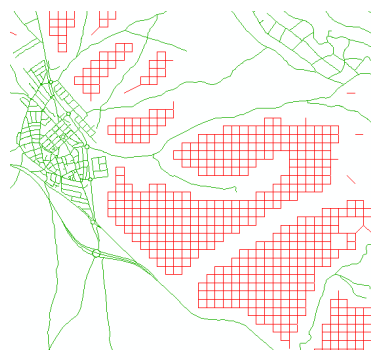


Imagen 6. Estado intermedio de la red viaria.

Fuente: Elaboración Propia.

Para solucionar este problema uniremos ambas redes formando un fichero único y pasaremos topología, esta vez con la regla "Must Not Have Dangles". Esta regla detecta todos los nodos colgados, por lo que detectará tanto los nodos colgados de la red original, normalmente vías sin salidas, y los nodos colgados de la malla.

Una vez detectados los cambios se procede a la edición de la red uniendo la malla nueva con la red antigua, asegurando así una red continua en el espacio. Por último, se calcularán en un campo nuevo la longitud en metros de cada tramo, esta longitud será la impedancia en el análisis de redes. Una vez realizado este proceso disponemos de una red actualizada al año en cuestión que nos permite emplear las herramientas de location-allocation.

3.4. Análisis de los centros de salud en 2009.

En este apartado analizaremos el estado actual del sistema sanitario de la Comunidad de Madrid, en especial los centros de salud. Para el año 2009 existen 267 centros de salud, los cuales están distribuidos en 247 zonas de salud. En la mayoría de los casos a cada zona de salud le corresponde un centro de salud, pero existen excepciones en las que puede haber 2 o incluso 3 centros de salud en una misma zona de salud.

Desde luego no todos los centros de salud tienen las mismas características, por lo que sus capacidades serán distintas en cada caso. Esta vendrá dada principalmente por las características físicas y lógicas de cada centro así como también de la necesidad por culpa de una alta o baja densidad de población en los alrededores.

Por ello la planificación en la ubicación del centro y la asignación de la demanda es fundamental para un correcto, equitativo y eficiente servicio. Y por esto se han de localizar los nuevos centros de salud de forma óptima. Se emplean herramientas de location-allocation, realizando dos estudios distintos para luego poder ser analizados y comparados. En el primero se minimizarán los centros de salud y en el segundo se minimizará la impedancia.

Por consiguiente es necesario calcular ciertos datos o estadísticas que se dan en la actualidad para extrapolarlos al año 2025. Es decir, partiremos de la idea que ciertas estadísticas son correctas, equitativas y eficientes por lo que las utilizaremos para el año de la simulación.

En el 2009 la Comunidad de Madrid tenía, según el padrón continuo, una población de 6.342.406 habitantes. Por lo que, si la demanda se repartiera de forma igualitaria, cada centro

de salud albergaría una demanda de aproximadamente 24.000 habitantes. Este será un parámetro fundamental en los cálculos.

Por otro lado si comparamos los habitantes asignados a cada centro de salud en función de las zonas de salud obtenemos la siguiente tabla, debido al elevado número de zonas de salud se eliminan resultados intermedios dejando sólo los resultados mayores a 40.000 y menores a 10.000 habitantes.

Zona de Salud	Habitantes asignados	Numero CS	Habitantes por CS
Ventas	63.701	1	63.701
Buenavista	51.750	1	51.750
Pinar del Rey	49.884	1	49.884
S. Lorenzo del Escorial	44.284	1	44.284
Villanueva de la Cañada	44.251	1	44.251
Galapagar	44.003	1	44.003
Boadilla del Monte	43.172	1	43.172
Valdebernardo	42.997	1	42.997
Panaderas	42.848	1	42.848
Navalcarnero	42.622	1	42.622
Valverde	42.603	1	42.603
Algete	42.202	1	42.202
Ibiza	41.933	1	41.933
Getafe-1	41.683	1	41.683
Las Rozas	82.205	2	41.102
Francia	41.011	1	41.011
Acacias	40.895	1	40.895
Entrevías-2	40.853	1	40.853
Pilar	40.667	1	40.667
M ^a Jesús Hereza	40.472	1	40.472
Coronel de Palma	40.401	1	40.401
...
La Cabrera	9.905	1	9.905
Argüelles	19.616	2	9.808
Dr. Trueta	9.787	1	9.787
San Martín de Valdeiglesias	16.551	2	8.276
Villa del Prado	8.067	1	8.067
Getafe-7	8.030	1	8.030
El Soto	6.963	1	6.963
Buitrago de Lozoya	6.760	1	6.760
Torrelaguna	6.237	1	6.237
Entrevías-1	5.978	1	5.978
Cadalso de los Vidrios	5.416	1	5.416
El Pardo	3.794	1	3.794
Rascafría	3.093	1	3.093

Tabla 1. Habitantes por centro de salud según zonas de salud. 2009.

Como vemos en la tabla 1 existen zonas de salud con cargas de hasta 60.000 habitantes, ubicada en el centro de Madrid, cercana a la almendra central (Las Ventas), mientras que en el

otro extremo existen zonas de salud con una carga de apenas 3.000 habitantes en zonas rurales.

También podemos hacer estas comparativas partiendo de la idea de que a cada ciudadano se le asigna el centro de salud más cercano, olvidándonos así de las zonas de salud. Para realizar estas estadísticas creamos polígonos de Thiessen a partir de los centros de salud y analizamos la población que le corresponde a cada polígono.

NOMBRE	Habitantes Asignados
Centro de Salud Daroca	63.799
Centro de Salud Dr. Castroviejo	60.616
Centro de Salud Monterrozas	57.708
Centro de Salud Majadahonda-Cerro del Aire	55.654
Centro de Salud Guayaba	49.250
Centro de Salud La Chopera	48.204
Centro de Salud Torito	48.011
Centro de Salud Algete	45.586
Centro de Salud Santa Mónica	45.098
Centro de Salud Dos de Mayo	44.180
Centro de Salud Panaderas	43.241
Centro de Salud Francia	42.997
Centro de Salud Sierra de Guadarrama	41.223
Centro de Salud Joaquín Rodrigo	41.204
Centro de Salud La Rivota	40.851
Centro de Salud Condes de Barcelona	40.851
Centro de Salud Navalcarnero	40.727
Centro de Salud Gandhi	40.646
Centro de Salud Lavapiés	40.507
Centro de Salud Reina Victoria	40.497
...	...
Centro de Salud La Cabrera	9.713
Centro de Salud Alameda	9.442
Centro de Salud Santa Hortensia	9.217
Centro de Salud Virgen del Cortijo	8.667
Centro de Salud Robledo de Chavela	8.429
Centro de Salud Perales del Río	8.399
Centro de Salud Navas del Rey	8.335
Centro de Salud Embajadores	8.109
Centro de Salud Torrelaguna	7.704
Centro de Salud Villa del Prado	7.306
Centro de Salud Leganés-Norte	7.196
Centro de Salud Cebreros	7.051
Centro de Salud Buitrago de Lozoya	6.152
Centro de Salud La Garena	5.927
Centro de Salud V Centenario	5.705
Centro de Salud Cadalso de los Vidrios	5.416
Centro de Salud Campohermoso	5.269
Centro de Salud Rascafría	3.220
Centro de Salud El Pardo	3.212

Tabla 2. Habitantes por centro de salud según proximidad euclidiana. 2009.

Vemos que los resultados son similares a la tabla anterior, habiendo centros de salud con más de 60.000 habitantes asignados y otros con apenas 3.000.

También podemos realizar un estudio similar pero teniendo en cuenta ahora la red viaria, y ejecutando la herramienta de location-allocation y minimizando la impedancia (metros). Si bien los resultados obtenidos son muy similares a los obtenidos anteriormente, notamos una pequeña variación en la asignación de los centros de salud.

Nombre	Habitantes
Centro de Salud Daroca	69.049
Centro de Salud Francia	62.297
Centro de Salud Dr. Castroviejo	60.947
Centro de Salud La Chopera	58.651
Centro de Salud Majadahonda-Cerro del Aire	58.566
Centro de Salud Torito	57.006
Centro de Salud Guayaba	49.637
Centro de Salud Santa Mónica	47.820
Centro de Salud Villa de Vallecas	47.379
Centro de Salud Gandhi	45.998
...	...
Centro de Salud Robledo de Chavela	7.743
Centro de Salud Alameda	7.639
Centro de Salud Navas del Rey	7.543
Centro de Salud Campohermoso	7.333
Centro de Salud Buitrago de Lozoya	7.070
Centro de Salud Santa Hortensia	5.666
Centro de Salud La Garena	5.608
Centro de Salud Cadalso de los Vidrios	5.416
Centro de Salud Mejorada del Campo	3.330
Centro de Salud El Pardo	3.212
Centro de Salud Rascafría	3.082
Centro de Salud Juncal	2.958

Tabla 3. Habitantes por centro de salud según mínima impedancia. 2009.

Aprovechando este análisis nos fijaremos en las distancias recorridas por los habitantes para poder trasladarse hasta el centro de salud más cercano.

Nombre	Metros
Centro de Salud Buitrago de Lozoya	31.679
Centro de Salud Paracuellos del Jarama	25.188
Centro de Salud Torrelaguna	23.693
Centro de Salud Villarejo de Salvanús	23.078
Centro de Salud Torres de la Alameda	23.033
Centro de Salud Campo Real	21.768
Centro de Salud San Carlos	18.519
Centro de Salud Robledo de Chavela	17.560
Centro de Salud V Centenario	16.511
Centro de Salud Villanueva de la Cañada	16.365
Centro de Salud Rascafría	16.095

Nombre	Metros
Centro de Salud Cadalso de los Vidrios	16.073
Centro de Salud Perales de Tajuña	15.835
Centro de Salud Colmenar de Oreja	15.833
Centro de Salud Navalcarnero	15.809
Centro de Salud Griñán	15.570
Centro de Salud Navas del Rey	15.490
Centro de Salud Luis Vives I y II	15.425
Centro de Salud Meco	15.160

Tabla 4. Distancias máxima para cada centro de salud. 2009.

Vemos que en las zonas rurales el desplazamiento es considerable, ya que ciertos habitantes han de desplazarse más de 30 kilómetros para poder ir a su médico de cabecera, todos estos casos se dan en zonas limítrofes con otras comunidades autónomas.

Por otro lado, la distancia media que debe recorrer un ciudadano para acudir a su centro de salud es de unos 1.200 metros, quizás esto no sea mucho en zonas rurales, pero sí lo es en zonas urbanas. Si realizamos el mismo análisis en la almendra central y su periferia, obtenemos una distancia media de 700 metros (destacar que en la almendra central sólo es de 500 metros, pero en ella los nuevos desarrollos son insignificantes), mientras que en la corona de Madrid obtenemos una distancia media de 1.200 metros y en las zonas no metropolitanas la distancia media es de 3.800 metros.

Por último, si analizamos el número de habitantes por zonas vemos que en el área metropolitana de Madrid obtenemos una media de 25.000 habitantes por centro de salud. Mientras que en las llamadas coronas esta media es de 23.000 habitantes. Y en las zonas no metropolitanas la media desciende hasta los 21.000 habitantes.

De todo esto podemos concluir que aunque descienda el número de habitantes por centro de salud en zonas rurales no lo hace de manera significativa, ya que estos valores son semejantes a los dados en las zonas urbanas. El valor que sí varía entre estas zonas es la distancia que ha de recorrer un habitante para poder trasladarse hasta el centro de salud más cercano.

3.5. Modelos de localización óptima.

Para la localización óptima de los centros de salud se han usado las herramientas de Location-Allocation dentro del módulo de Análisis de Redes de ArcGIS 10. Estos problemas pueden tratarse desde diferentes puntos de vista, en función del problema al que se quiera dar respuesta:

- Minimizar la impedancia: las instalaciones se ubican de modo a minimizar la suma de todos los costes ponderados entre los puntos de demanda y las instalaciones de la solución. Los centros de salud se eligen de tal modo que se minimiza la suma de las impedancias ponderadas, es decir, la demanda asignada a un centro de salud multiplicada por la impedancia o el coste de desplazamiento en metros hasta la instalación.
- Minimizar las instalaciones: Las instalaciones se ubican de modo que se asigne el máximo número de puntos de demanda a las instalaciones de la solución dentro de la tolerancia de impedancia; además, se minimiza el número de instalaciones necesarias para cubrir los puntos de demanda.

En el presente estudio se van a emplear ambas opciones. Primero se minimizarán las instalaciones, así tendremos un dato objetivo para plantear el modelo de minimización de la impedancia, ya que éste exige como parámetro de entrada el número de centros de salud a localizar.

Para resolver este primer modelo se ejecutará en varias fases, ya que exige como parámetro de entrada la impedancia máxima asumible por la demanda. Esta no es la misma en zonas urbanas y rurales, ya que los urbanitas no estarán dispuestos a recorrer grandes distancias para trasladarse a su centro de salud, en cambio en las zonas rurales los habitantes asumen un mayor desplazamiento, debido a la baja densidad de población y a la baja demanda de sus centros de salud. Tendremos en cuenta una impedancia máxima de 1.000 metros, luego de 5.000 metros, para terminar con un coste de viaje inferior a los 10.000 metros.

De este proceso se obtiene un número determinado de nuevos centros de salud, este número se utilizará para la ejecución del modelo de mínima impedancia. Este modelo también se ejecutará por zonas, en primer lugar donde la demanda sea máxima, y luego en zonas con menor demanda. Con esto logramos que los centros de salud no se sobrecarguen y sus coberturas se repartan de forma más equitativa.

Por último, ejecutaremos nuevamente este modelo (mínima impedancia), pero en este caso con un número de nuevos centros de salud derivado de los datos estadísticos del año 2.009, manteniendo así las condiciones que se dan en esta época. La forma de ejecutar dicho modelo será de forma similar a la anterior.

4. RESULTADOS

4.1. Localización de los centros de salud utilizando un modelo de minimización de instalaciones.

El modelo minimizar instalaciones localiza los centros de salud de tal forma que la impedancia no sea superior a un parámetro dado, minimizando así el número de centros de salud.

En este análisis se utilizarán los centros de salud de la actualidad como centros de salud requeridos, evitando así una drástica modificación del sistema sanitario, y evitando también la localización de centros de salud cercanos a los actuales, limitando solapamientos en la cobertura de cada uno de ellos.

Si sólo realizamos un análisis con un parámetro fijo de impedancia el resultado será inviable ya que si adoptamos una medida que se ajuste al centro urbano, en zonas rurales necesitaremos un número excesivo de centros de salud, además sus demandas serán demasiado bajas. Mientras que si adoptamos una impedancia máxima que se ajuste a las zonas rurales veremos como en el centro urbano se localizan un número mínimo de centros de salud, sobrecargando éstos e imponiendo un desplazamiento muy costoso para una elevada demanda.

Para evitar estos casos ejecutaremos el modelo en tres fases variando la distancia (impedancia) máxima asumible por la demanda. Como hemos visto anteriormente, en el centro urbano la distancia media es de 700 metros, para este análisis se ha decidido pasar un primer filtro con una distancia máxima de 1.000 metros. Después de la obtención de los resultados de la ejecución de este modelo nos quedaremos sólo con los centros de salud que tengan una cobertura de más de 5.000 habitantes.

Posteriormente ejecutaremos nuevamente la herramienta, pero esta vez los centros de salud requeridos serán los actuales más los que han resultado del análisis anterior y, además, ampliaremos la distancia máxima a 5.000 metros. Se procede igual que en el análisis anterior y sólo contamos con los centros de salud que tengan una cobertura de más de 5.000 habitantes.

Para finalizar, ejecutaremos nuevamente la herramienta, pero esta vez los centros de salud requeridos serán la totalidad de los resultados en los anteriores análisis y los centros de salud actuales y ampliaremos la distancia máxima a 10.000 metros. De este proceso sólo nos interesarán los centros de salud de más de 2.500 habitantes de cobertura.

De este proceso obtenemos 103 centros de salud para dar cobertura a los nuevos desarrollos. A continuación se muestran dos tablas, en la primera de ellas podemos ver los centros de salud de nueva construcción de mayor y menor demanda. En la segunda tabla podemos ver las mayores distancias en metros que debe hacer un habitante para trasladarse a su centro de salud.

Nombre	Demanda	Línea	Metros
4450	46.450	6940 - Centro de Salud Torrelaguna	23.680
5767	41.441	12865 - Centro de Salud Campo Real	21.356
4235	37.172	12899 - Centro de Salud Campo Real	21.214
4003	35.555	12775 - Centro de Salud Campo Real	20.262
4623	35.290	12769 - Centro de Salud Campo Real	20.121
5994	33.729	14062 - Centro de Salud Villarejo de Salvanús	20.102
4494	31.996	12762 - Centro de Salud Campo Real	20.094
4099	31.055	12738 - Centro de Salud Campo Real	19.974
14607	26.409	13942 - Centro de Salud Villarejo de Salvanús	19.868
3651	24.677	12747 - Centro de Salud Campo Real	19.830
...	...	12756 - Centro de Salud Campo Real	19.818
7270	5.452	12768 - Centro de Salud Campo Real	19.712
315	5.209	14998 - Centro de Salud Villarejo de Salvanús	19.541
3928	5.176	14997 - Centro de Salud Villarejo de Salvanús	19.463
1488	4.760	15021 - Centro de Salud Villarejo de Salvanús	19.458
1165	4.377	6994 - Centro de Salud Buitrago de Lozoya	19.425
1453	4.194	14996 - Centro de Salud Villarejo de Salvanús	19.403
5969	3.132	15020 - Centro de Salud Villarejo de Salvanús	19.399
5748	2.961	14945 - Centro de Salud Villarejo de Salvanús	19.386
1583	2.742	7000 - Centro de Salud Buitrago de Lozoya	19.374
1571	2.630	7003 - Centro de Salud Buitrago de Lozoya	19.329

Tabla 5. Coberturas centro de salud. MF2025.

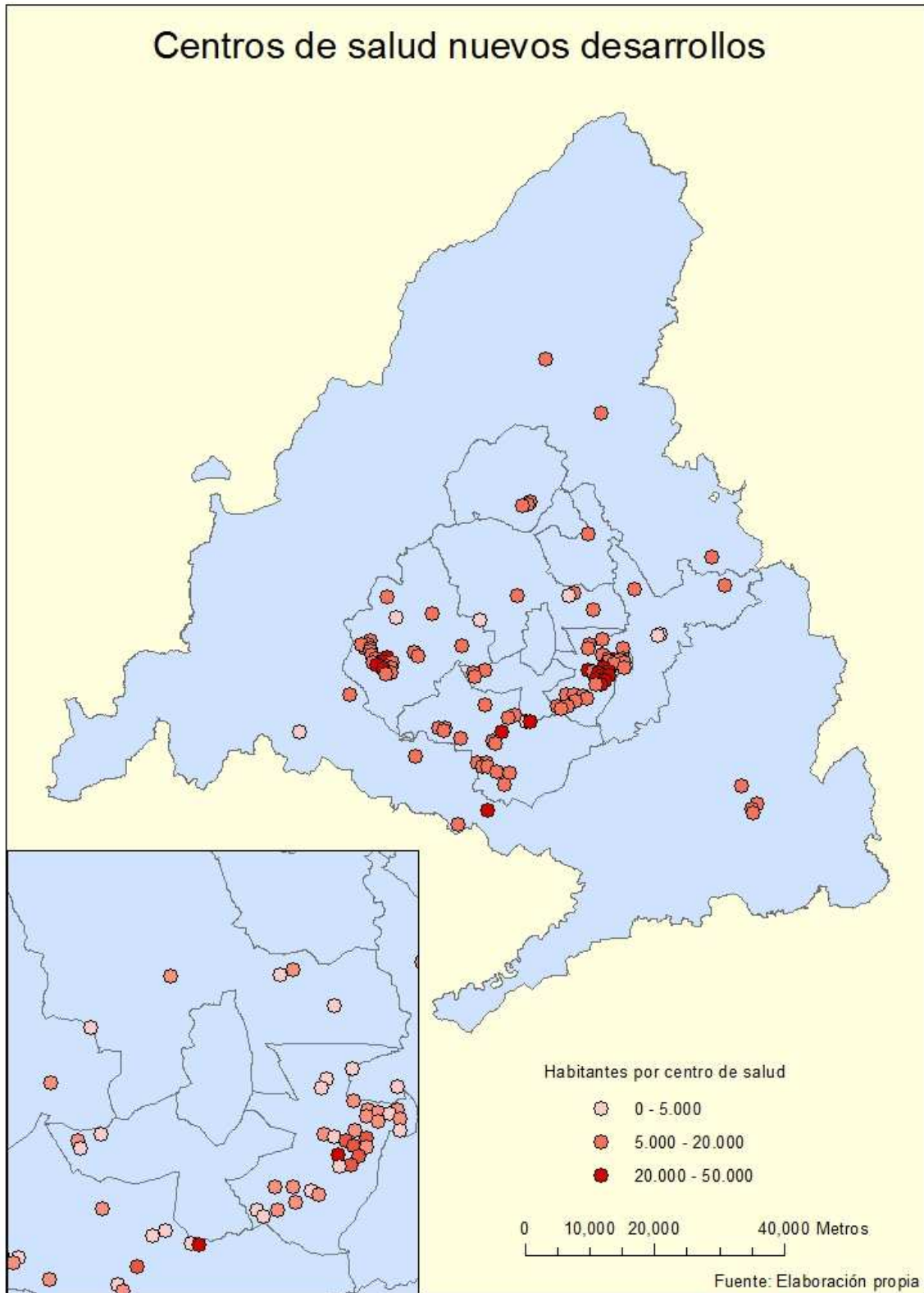
Tabla 6. Distancias máximas MF2025.

En la tabla 5 vemos que existe una leve sobrecarga de cobertura en los centros de salud de nueva construcción, son pocos los que superan los 30.000 habitantes, por lo que en principio se podría considerar un resultado satisfactorio. Sin embargo, el total de centros de salud de nueva construcción son 103, 22 más de los necesarios según las características que se daban en el año 2.009 y, además, 500.000 habitantes fueron absorbidos por centros de salud existentes en dicho año.

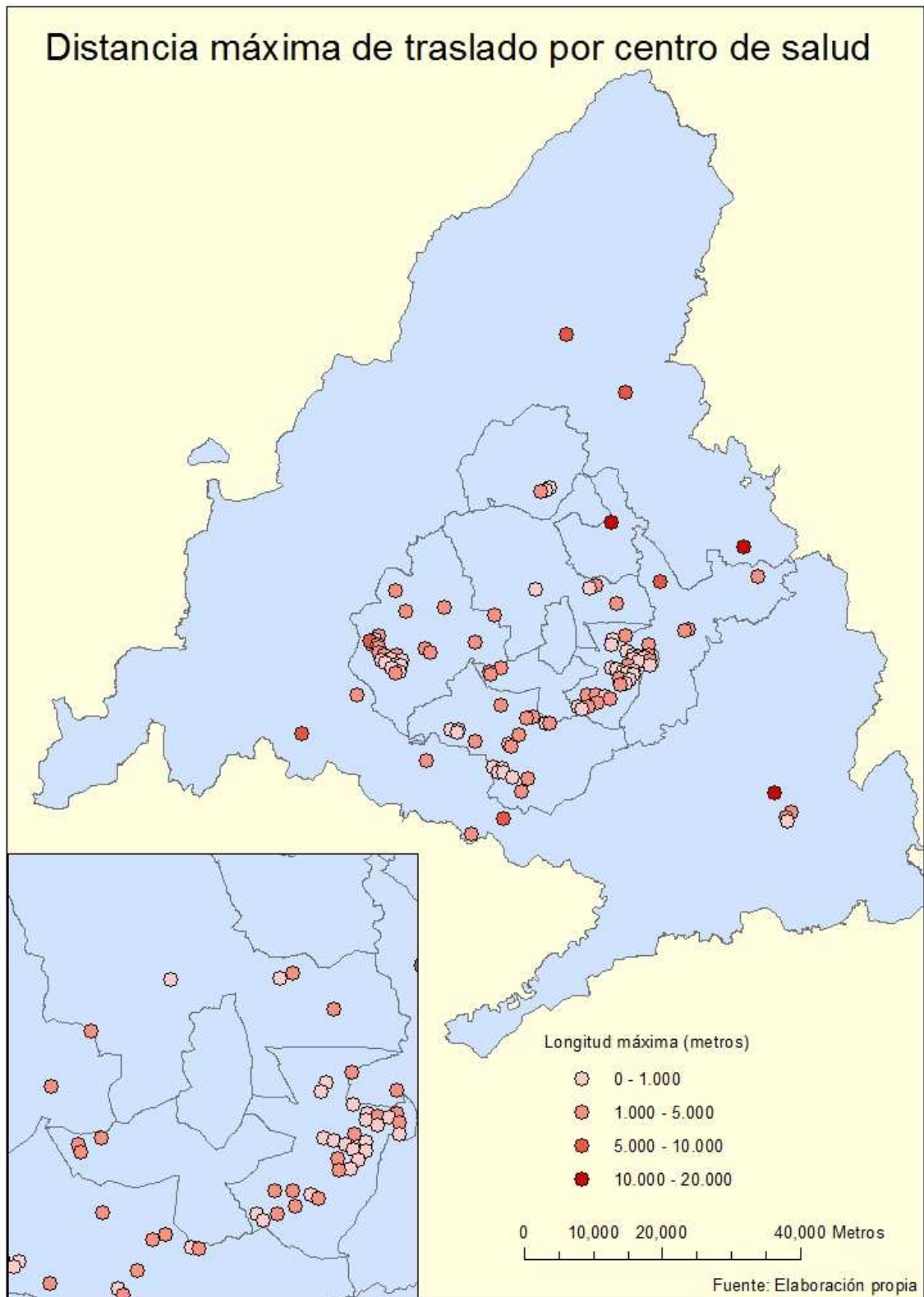
En la tabla 6 vemos una disminución importante de la distancia máxima que asume un habitante para desplazarse a su centro de salud, ya que esta disminución es de 8.000 metros. Mientras que la media pasa a ser de 1.100 metros contra los 1.200 metros que obtenemos en el año 2.009.

La cobertura media de los centros de salud obtenidos en este proceso es de 13.000 habitantes por centro de salud.

En el siguiente mapa se representa la localización de los centros de salud obtenidos en el proceso así como la demanda asumida por cada uno de ellos.



Por otro lado, en el siguiente mapa se representa la distancia máxima que ha de asumir un habitante para poder trasladarse a su centro de salud.



Por último, realizaremos un análisis sobre la distribución de los centros de salud y la población asignada para el año 2.025, contando en este caso con la totalidad de la población para dicho año y no sólo los nuevos desarrollos. Para ello contamos con 370 centros de salud y una población aproximada de 8.200.000 habitantes.

Resultado de este análisis es la siguiente tabla donde se muestran los centros de salud con una mayor y menor demanda.

Nombre	Demanda
Centro de Salud Daroca	74.042
Centro de Salud Francia	62.121
Centro de Salud Dr. Castroviejo	61.997
Centro de Salud Torito	56.795
Centro de Salud Santa Mónica	51.575
Centro de Salud Guayaba	50.359
Centro de Salud Majadahonda-Cerro del Aire	49.017
Centro de Salud Los Yebenes	48.806
Centro de Salud Sierra de Guadarrama	48.066
Centro de Salud Perales del Río	47.448
Centro de Salud Gandhi	46.903
4450	46.450
...	...
Centro de Salud Embajadores	5.888
Centro de Salud Cadalso de los Vidrios	5.691
315	5.209
3928	5.176
Centro de Salud Santa Hortensia	5.158
1165	4.377
1583	4.144
Centro de Salud El Pardo	3.744
Centro de Salud Rascafría	3.407
5748	2.961

Tabla 7. Cobertura centro de salud, población total. MF2025.

Vemos que existen centros muy recargados con una asignación de 74.000 habitantes, algo que no sucedía en 2.009, esto se debe a que a la propia población localizada en desarrollos existentes en 2.009 se le ha sumado un número importante de población de nuevos desarrollos en 2.025. Estos centros ya contaban en el año 2.009 con un elevado índice de sobrecarga y, además, se le han asignado parte del crecimiento poblacional, agravando así su situación.

En la siguiente tabla se muestran las distancias máximas que ha de recorrer un habitante de la Comunidad de Madrid para trasladarse al centro de salud más cercano a él.

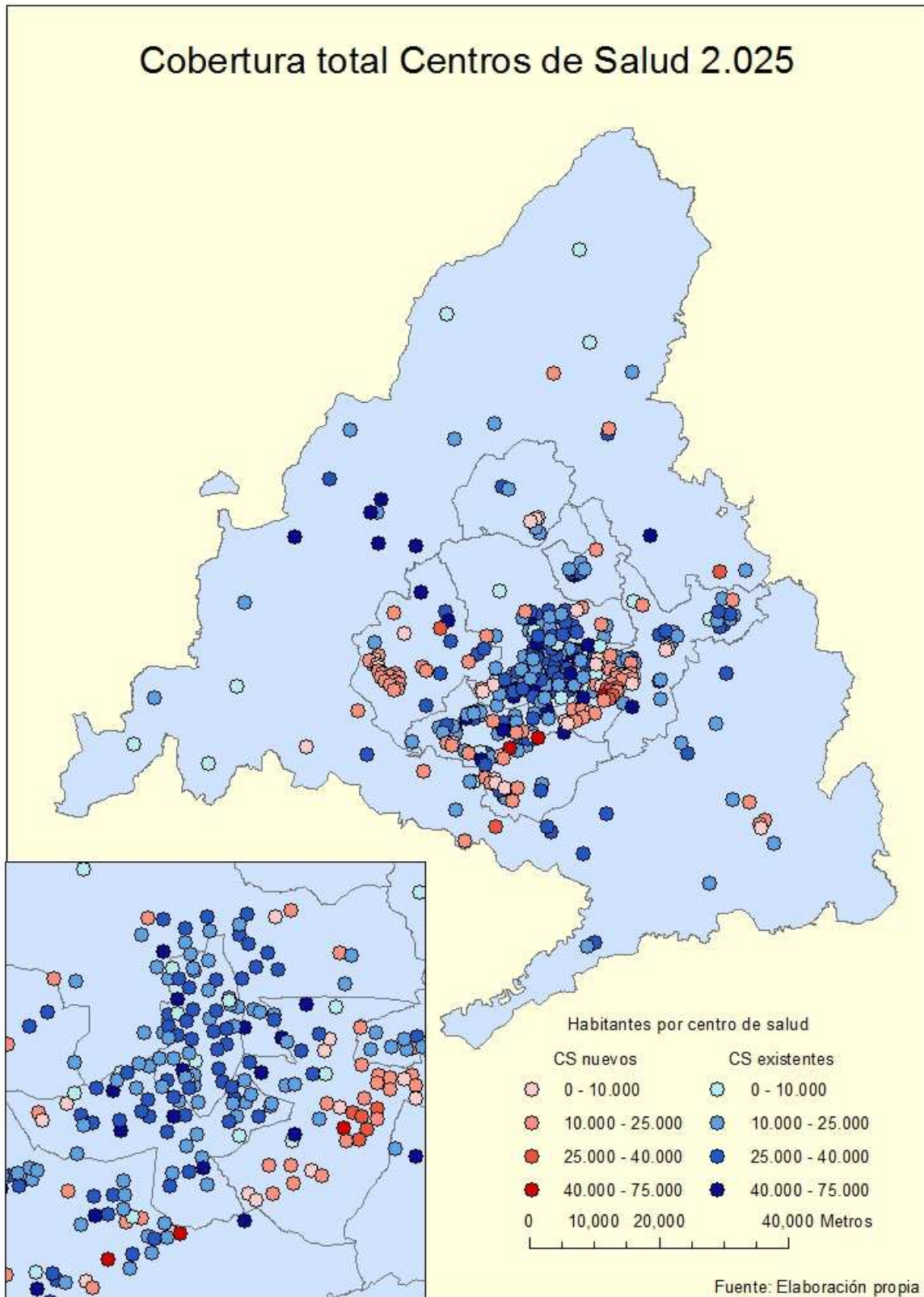
Nombre	Metros
Centro de Salud Buitrago de Lozoya - 22446	31.477
Centro de Salud Buitrago de Lozoya - 22455	31.422
Centro de Salud Buitrago de Lozoya - 22445	31.388
Centro de Salud Buitrago de Lozoya - 22429	31.200
Centro de Salud Buitrago de Lozoya - 22233	25.582
Centro de Salud Villarejo de Salvanús - 64019	24.711
Centro de Salud Torrelaguna - 22980	23.680
Centro de Salud Torrelaguna - 22995	23.680
Centro de Salud Torrelaguna - 22985	23.646
Centro de Salud Torrelaguna - 22994	23.587
Centro de Salud Torrelaguna - 22993	23.517
Centro de Salud Villarejo de Salvanús - 63834	23.079
Centro de Salud Villarejo de Salvanús - 63857	23.061
Centro de Salud Villarejo de Salvanús - 63888	22.929
Centro de Salud Torres de la Alameda - 51854	22.825
Centro de Salud Torres de la Alameda - 54425	22.685
Centro de Salud Campo Real - 56647	21.735
Centro de Salud Campo Real - 57016	21.672
Centro de Salud Campo Real - 56561	21.618
Centro de Salud Campo Real - 56562	21.616
Centro de Salud Campo Real - 56941	21.550
Centro de Salud Campo Real - 56560	21.544
Centro de Salud Campo Real - 56649	21.497

Tabla 8. Distancias máximas, población total. MF2025.

Vemos en la tabla 8 que las distancias recorridas por los habitantes son similares a las del año 2.009 esto se debe principalmente a que estas distancias se dan en las mismas circunstancias que en 2.009, es decir, se produce en los mismos centros de salud y con los mismos desarrollos. Las pequeñas variaciones en la distancia se deben al cambio que se ha producido en la red de carreteras y que ha podido afectar de forma beneficiosa a estos desarrollos.

Pero sí existe un descenso considerable en las distancias medias, ya que para el año 2.009 es de 1.200 metros y en los resultados obtenidos para este proceso obtenemos una distancia media de 1.050 metros.

A continuación se muestra el resultado de ejecutar la herramienta mínima impedancia con los 267 centros de salud actuales más los 103 centros de salud resultante de este análisis. Teniendo en cuenta no sólo los nuevos desarrollos para 2.025, sino también los ya existentes en 2.009. En él vemos la ubicación de los diferentes centros de salud y así como sus capacidades.



4.2. Localización de los centros de salud utilizando un modelo de mínima impedancia.

El modelo de mínima impedancia localiza los centros de salud de tal forma que la impedancia sea la menor posible, minimizando así la impedancia ponderada por la demanda asignada a cada uno de ellos. Un parámetro obligatorio en este proceso es el número de instalaciones que debemos localizar.

Para ello se utilizarán los centros de salud de la actualidad como centros de salud requeridos, evitando así una drástica modificación del sistema sanitario, y evitando también la localización de centros de salud cercanos a los actuales, limitando solapamientos en la cobertura de cada uno de ellos, y se aplicarán las siguientes metodologías para la localización de los nuevos centros:

4.2.1. Según las coberturas medias obtenidas para el año 2.009.

Para la ejecución de este modelo se tienen en cuenta las coberturas medias de los centros de salud en el año 2.009 para cada área de estudio. A continuación se adjunta una tabla en la que se calculan los ratios para el año 2.009 en diferentes zonas de la Comunidad de Madrid, y posteriormente se extrapolarán al año 2.025 obteniendo así un número limitado de centros de salud (81).

	2.009			Nuevos desarrollos		CS Totales
	Habitantes	CS	Hab/CS	Habitantes	CS	
Municipio de Madrid	3.264.948	129	25.129	555.220	23	152
Coronas metropolitana	2.310.983	99	23.545	1.014.350	45	144
No metropolitano	806.636	39	20.666	294.432	13	52
Totales	6.382.567	267		1.864.002	81	348

Tabla 9. Cálculo del número de centros de salud necesarios.

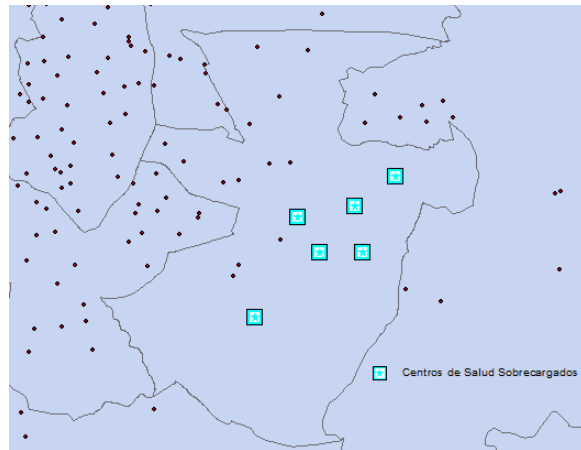
La herramienta location-allocation con el tipo de problema de mínima impedancia no tiene en cuenta en ningún momento la capacidad máxima de los centros, por ello muchas de las soluciones resultan inviables por la inmensa capacidad que deben de tener para poder asegurar los principios de eficiencia y equidad, así como una cierta calidad en el servicio prestado. Como se ha dicho anteriormente y para evitar dicha situación se aplicará el modelo en diferentes zonas, para así evitar una excesiva sobrecarga de cobertura de los centros de salud.

Para detectar dichas zonas realizaremos un primer análisis ejecutando esta misma herramienta e introduciendo el número total de centros de salud (81). Obtenemos así la siguiente tabla.

Nombre	Demanda
5674	83.265
6541	76.063
4247	70.624
6524	68.456
3265	55.456
4956	51.548

Arriba. Tabla 10. Sobrecarga centros de salud.

Derecha. Imagen 7. Situación de los centros sobrecargados.



En los resultados anteriores podemos detectar una elevada sobrecarga en la cobertura de los centros de salud localizados en la zona Periferia Este, dado que aquí se producen los nuevos desarrollos con mayores densidades de la Comunidad. Y en ella, a su vez, en dos zonas de salud concretas (010205 y 010207).

Por tanto se ejecutará en primer lugar e individualmente en estas zonas, para posteriormente ejecutar el modelo en la Periferia Este, luego en el resto de periferias y coronas y, por último, en las zonas no metropolitanas.

Zonas	Habitantes	CS Nuevos	Acumulados
2.009	6.382.567		267
Zona Salud 010207	279.748	11	278
Zona Salud 010205	136.319	6	284
Resto Periferia Este	133.861	6	290
Resto Periferia y Coronas Metropolitanas	1.019.642	45	335
No metropolitano	294.432	13	348
Totales	8.246.569	81	

Tabla 11. Orden de ejecución y número de centros de salud.

En la tabla 11 vemos el número de centros de salud nuevos que se han de localizar en las diferentes zonas. Las llamadas zonas de salud son conflictivas debido a su alta densidad de población y no al número de habitantes, de hecho como se puede ver la periferia y coronas metropolitanas tienen una mayor población pero al ser su densidad menor no ofrece grandes problemas en la resolución del análisis.

La herramienta se ejecutará varias veces en el orden indicado en la tabla anterior, pero cada vez que la ejecutemos se incluirán los centros de salud obtenidos en el proceso anterior como instalaciones requeridas. Por ejemplo, para la Zona de Salud 010205 incluiremos los centros de salud existentes en el año 2.009 y los 11 obtenidos en el análisis de la Zona de Salud 010207 como instalaciones requeridas. Con esto evitaremos la localización de dos centros de salud próximos entre sí.

De todo este proceso obtenemos 81 centros de salud nuevos para dar cobertura a los 1.800.000 habitantes que poblarán los nuevos desarrollos en el año 2.025. A continuación se muestran dos tablas, en la primera de ellas podemos ver los centros de salud de nueva construcción de mayor y menor demanda. En la segunda tabla podemos ver las mayores distancias en metros que debe hacer un habitante para trasladarse a su centro de salud más cercano.

Nombre	Demanda	Línea	Metros
5768	40.642	Centro de Salud Torrelaguna - 6940	23.680
4449	37.780	Centro de Salud Campo Real - 12865	21.356
3597	37.316	Centro de Salud Campo Real - 12899	21.214
3055	36.821	Centro de Salud Campo Real - 12775	20.262
3210	36.604	Centro de Salud Campo Real - 12769	20.121
6707	35.241	Centro de Salud Villarejo de Salvanús - 14062	20.102
6037	33.907	Centro de Salud Campo Real - 12762	20.094
3156	31.832	Centro de Salud Campo Real - 12738	19.974
3674	30.119	Centro de Salud Villarejo de Salvanús - 13942	19.868
4623	29.173	Centro de Salud Campo Real - 12747	19.830
...	...	Centro de Salud Campo Real - 12756	19.818
7433	4.671	Centro de Salud Campo Real - 12768	19.712
969	4.612	Centro de Salud Villarejo de Salvanús - 14998	19.541
1453	4.194	Centro de Salud Villarejo de Salvanús - 14997	19.463
5969	3.132	Centro de Salud Villarejo de Salvanús - 15021	19.458
998	3.123	Centro de Salud Buitrago de Lozoya - 6994	19.425
5748	2.961	Centro de Salud Villarejo de Salvanús - 14996	19.403
1357	2.622	Centro de Salud Villarejo de Salvanús - 15020	19.399
391	2.569	Centro de Salud Villarejo de Salvanús - 14945	19.386
818	2.206	Centro de Salud Buitrago de Lozoya - 7000	19.374
10331	1.856		

Tabla 12. Coberturas centro de salud. MI 2025.

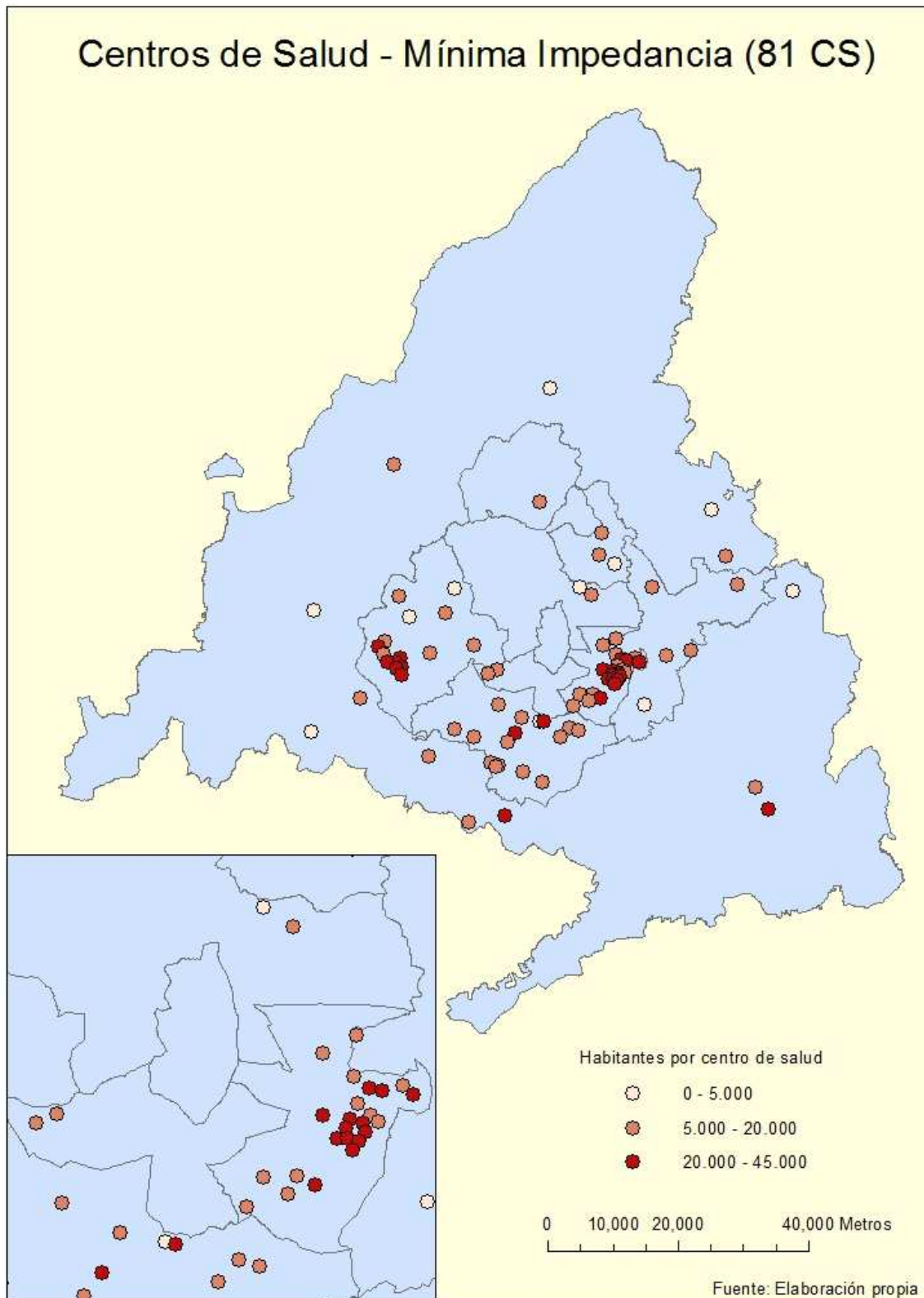
Tabla 13. Distancias máximas MI 2025.

En la tabla 12 vemos que existe una leve sobrecarga de cobertura en los centros de salud de nueva construcción, como podemos ver son pocos los que superan los 30.000 habitantes. Y, además, 400.000 habitantes son absorbidos por la red de centros sanitarios existentes.

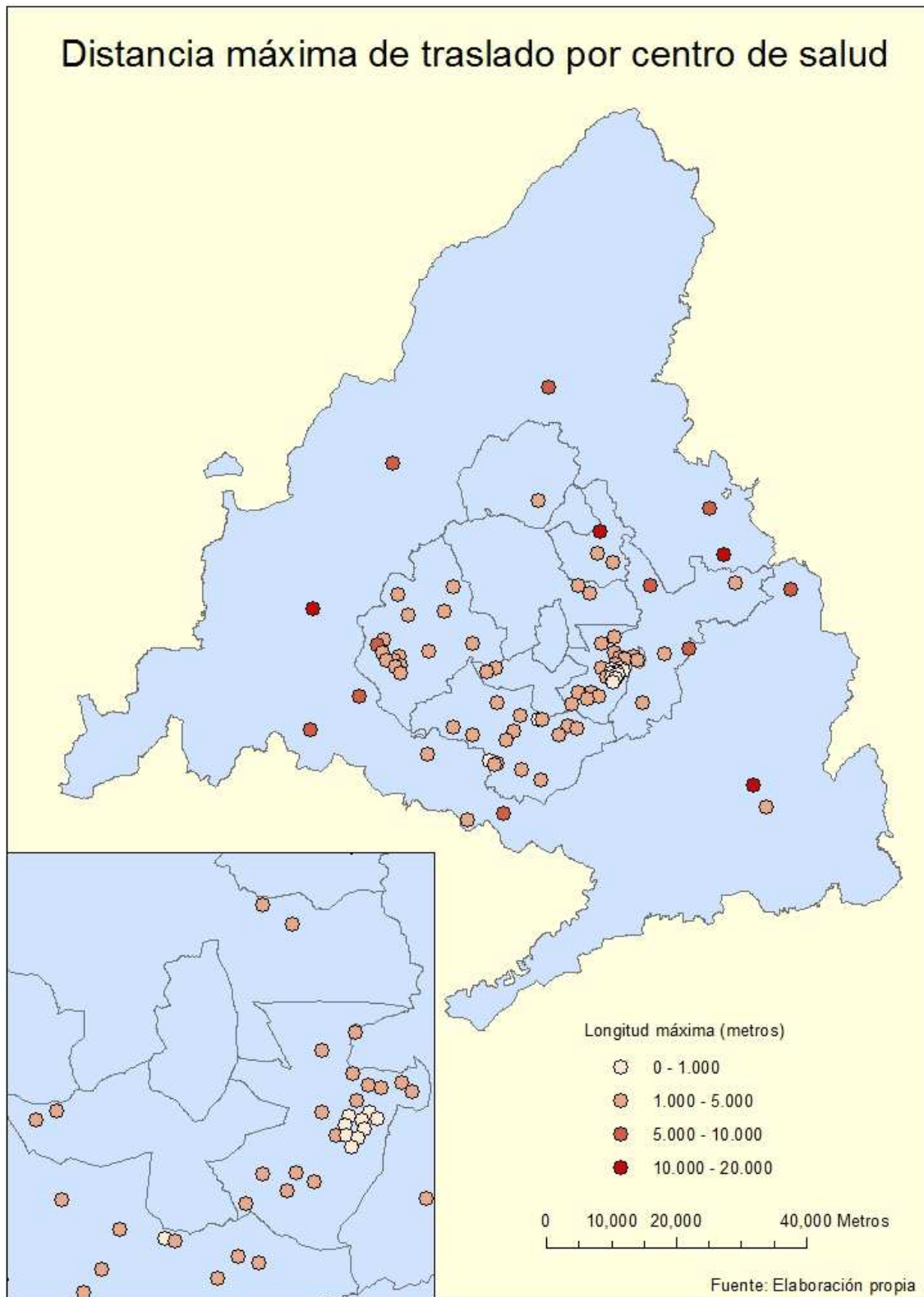
En la tabla 13 vemos una disminución importante en la distancia máxima que asume un habitante para desplazarse a su centro de salud, ya que esta disminución es de 8.000 metros. Mientras que la distancia media para un habitante pasa a ser de apenas 1.000 metros contra los 1.200 metros que obtenemos en el año 2.009.

La cobertura media de los centros de salud obtenidos en este proceso es de 17.000 habitantes por centro de salud.

En el siguiente mapa vemos la representación de la localización de los centros de salud obtenidos durante el proceso, así como la demanda absorbida por cada uno de ellos.



En el siguiente mapa se representan los centros de salud con la distancia máxima que ha de asumir un habitante para poder trasladarse al centro de salud más cercano.



Para concluir, realizaremos un análisis sobre la distribución de los centros de salud y la población asignada para el año 2.025, contando en este caso con la totalidad de la población para dicho año y no sólo los nuevos desarrollos. Para ello contamos con 348 centros de salud y una población aproximada de 8.200.000 habitantes.

Resultado de este análisis es la siguiente tabla donde se muestran los centros de salud con una mayor y menor demanda.

Nombre	Demanda
Centro de Salud Daroca	74.042
Centro de Salud Dr. Castroviejo	61.997
Centro de Salud Francia	61.978
Centro de Salud Torito	56.795
Centro de Salud Guayaba	50.359
Centro de Salud Los Yebenes	48.806
Centro de Salud Sierra de Guadarrama	48.066
Centro de Salud Gandhi	46.903
Centro de Salud Algete	46.128
...	...
Centro de Salud Cadalso de los Vidrios	5.691
Centro de Salud Robledo de Chavela	5.210
10331	5.204
391	5.201
Centro de Salud Santa Hortensia	5.158
Centro de Salud El Pardo	3.744
Centro de Salud Rascafría	3.407
5748	2.961
Centro de Salud Mejorada del Campo	2.938
818	2.389

Tabla 14. Cobertura centro de salud, población total. MI 2025.

En la tabla 14 vemos como el Centro de Salud Daroca tendría una demanda asignada de 74.000 habitantes, pero teniendo en cuenta que en el año 2.009 ya tenía 69.000 habitantes no es un problema fruto del análisis, sino que es un problema que ya existía con anterioridad. En una situación similar se encuentran los demás centros de salud expresados en la tabla con una elevada demanda asignada a cada uno de ellos donde su explicación radica en el año 2.009 y no en este análisis.

En la siguiente tabla se muestran las distancias máximas que ha de recorrer un habitante de la Comunidad de Madrid para trasladarse al centro de salud más cercano a él.

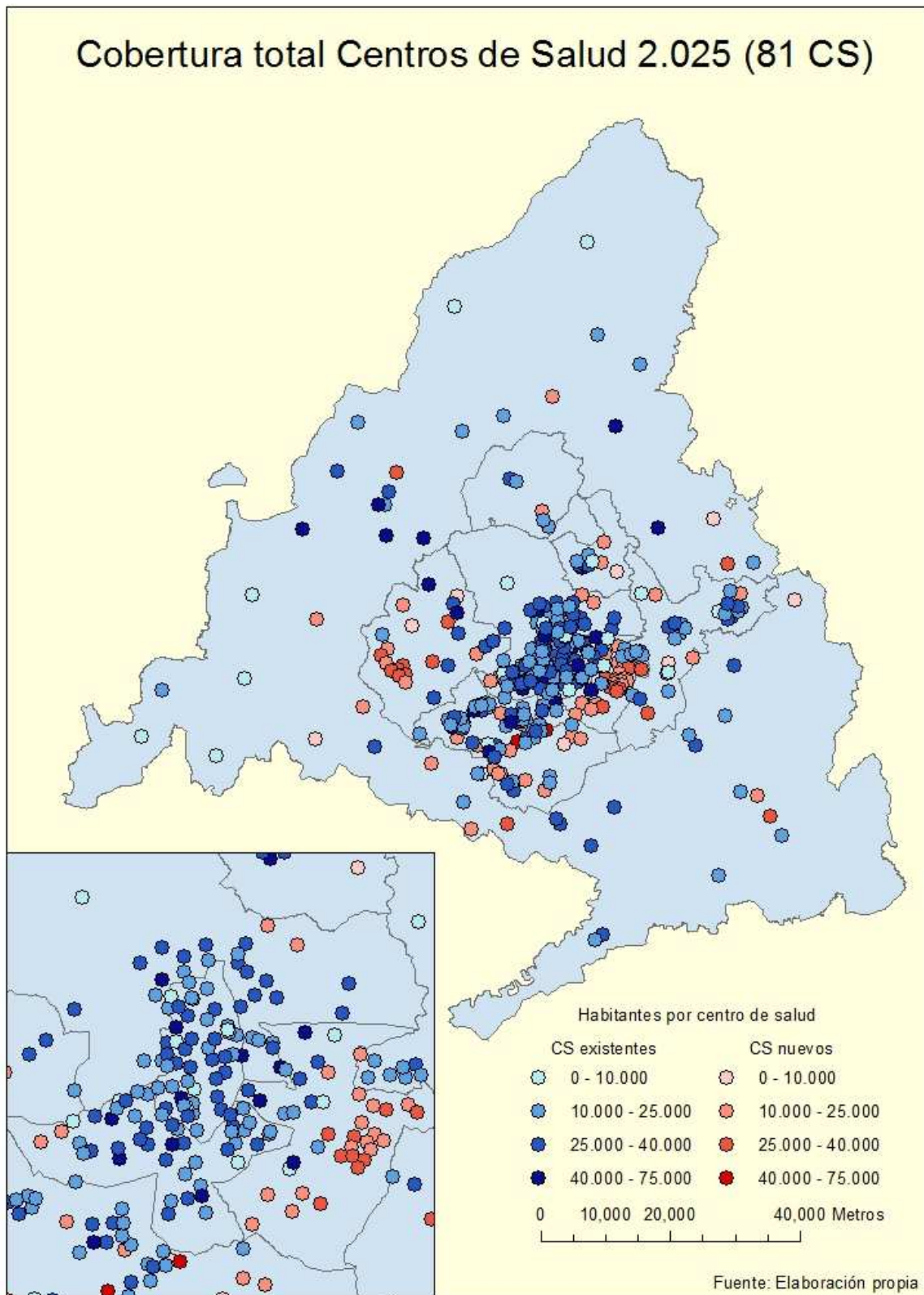
Línea	Metros
Centro de Salud Buitrago de Lozoya - 22446	31.477
Centro de Salud Buitrago de Lozoya - 22455	31.422
Centro de Salud Buitrago de Lozoya - 22445	31.388
Centro de Salud Buitrago de Lozoya - 22429	31.200
Centro de Salud Buitrago de Lozoya - 22233	25.582
Centro de Salud Villarejo de Salván - 64019	24.711
Centro de Salud Torrelaguna - 22980	23.680
Centro de Salud Torrelaguna - 22995	23.680
Centro de Salud Torrelaguna - 22985	23.646
Centro de Salud Torrelaguna - 22994	23.587
Centro de Salud Torrelaguna - 22993	23.517
Centro de Salud Villarejo de Salván - 63834	23.079
Centro de Salud Villarejo de Salván - 63857	23.061
Centro de Salud Villarejo de Salván - 63888	22.929
Centro de Salud Torres de la Alameda - 51854	22.825
Centro de Salud Torres de la Alameda - 54425	22.685
Centro de Salud Campo Real - 56647	21.735
Centro de Salud Campo Real - 57016	21.672
Centro de Salud Campo Real - 56561	21.618
Centro de Salud Campo Real - 56562	21.616

Tabla 15. Distancias máximas, población total. MI 2025.

Como hemos visto en el apartado anterior esta tabla presenta unas distancias recorridas por los habitantes similares a las del año 2.009 debido principalmente a que estas distancias se dan en las mismas circunstancias que en 2.009, es decir, se producen en los mismos centros de salud y en los mismos desarrollos. Las pequeñas variaciones en la distancia se deben al cambio que se ha producido en la red de carreteras y que ha podido afectar de forma beneficiosa a estos desarrollos.

Pero, en la resolución de este proceso obtenemos una distancia media de traslado de 1.050 metros. Si lo comparamos con el dato de 2.009 (1.200 metros) notamos una mejoría en este aspecto, reduciendo en más de 150 metros el recorrido medio que los habitantes deben realizar para desplazarse hasta el centro de salud más cercano.

A continuación se muestra el resultado de ejecutar la herramienta mínima impedancia con los 267 centros de salud actuales más los 81 centros de salud resultante de este análisis. Teniendo en cuenta no sólo los nuevos desarrollos para 2.025, sino también los ya existentes en 2.009. En él vemos la ubicación de los diferentes centros de salud y así como sus capacidades.



4.2.2. Según resultados obtenidos en la minimización de instalaciones.

Para la ejecución de este modelo se tiene en cuenta el resultado obtenido en el modelo de minimización de instalaciones (apartado 4.1). En él obtenemos un resultado de 103 centros de salud de nueva construcción para dar cobertura a los nuevos desarrollos.

Con este dato se incrementan de forma proporcional los resultados obtenidos en el apartado 4.2.1, obteniendo así los datos que se expresan en la siguiente tabla.

Zonas	Habitantes	CS Nuevos	Acumulados
2.009	6.382.567		267
Zona Salud 010207	279.748	15	282
Zona Salud 010205	136.319	8	290
Resto Periferia Este	133.861	8	298
Resto Periferia y Coronas	1.019.642	56	354
Rural	294.432	16	370
Totales	8.246.569	103	

Tabla 16. Orden de ejecución y número de centros de salud.

En la tabla 16 vemos el número de centros de salud nuevos que se han de localizar en las diferentes zonas. Al igual que en el apartado anterior las llamadas zonas de salud son conflictivas debido a su alta densidad de población, es por esto que se decide proceder de forma similar.

La herramienta se ejecutará en varias fases en el orden dado en la tabla anterior, pero cada vez que la ejecutemos se incluirán los centros de salud obtenidos en el proceso anterior como instalaciones requeridas. Por ejemplo para la Zona de Salud 010205 incluiremos los centros de salud existentes y los 15 obtenidos en el análisis de la Zona de Salud 010207 como instalaciones requeridas. Con esto evitaremos la localización de dos centros de salud próximos entre sí.

De este proceso obtenemos 103 centros de salud nuevos. A continuación se muestran dos tablas, en la primera de ellas podemos ver los centros de salud de nueva construcción de mayor y menor demanda. En la segunda tabla podemos ver las mayores distancias en metros que debe realizar un habitante para trasladarse al centro de salud más cercano.

Nombre	Demanda
5768	40.642
6707	35.241
6037	33.907
4623	29.173
3200	28.855
3597	28.254
3727	26.654
14792	26.409
4520	25.879
3156	24.515
...	...
1453	4.194
5969	3.132
998	3.123
5748	2.961
1529	2.777
1357	2.622
391	2.569
818	2.206
579	1.897
10331	1.856

Tabla 17. Coberturas centro de salud. MI 2025.

Línea	Metros
Centro de Salud Torrelaguna - 6940	23.680
Centro de Salud Campo Real - 12865	21.356
Centro de Salud Campo Real - 12899	21.214
Centro de Salud Campo Real - 12775	20.262
Centro de Salud Campo Real - 12769	20.121
Centro de Salud Villarejo de Salván - 14062	20.102
Centro de Salud Campo Real - 12762	20.094
Centro de Salud Campo Real - 12738	19.974
Centro de Salud Villarejo de Salván - 13942	19.868
Centro de Salud Campo Real - 12747	19.830
Centro de Salud Campo Real - 12756	19.818
Centro de Salud Campo Real - 12768	19.712
Centro de Salud Villarejo de Salván - 14998	19.541
Centro de Salud Villarejo de Salván - 14997	19.463
Centro de Salud Villarejo de Salván - 15021	19.458
Centro de Salud Buitrago de Lozoya - 6994	19.425
Centro de Salud Villarejo de Salván - 14996	19.403
Centro de Salud Villarejo de Salván - 15020	19.399
Centro de Salud Villarejo de Salván - 14945	19.386
Centro de Salud Buitrago de Lozoya - 7000	19.374
Centro de Salud Buitrago de Lozoya - 7003	19.329

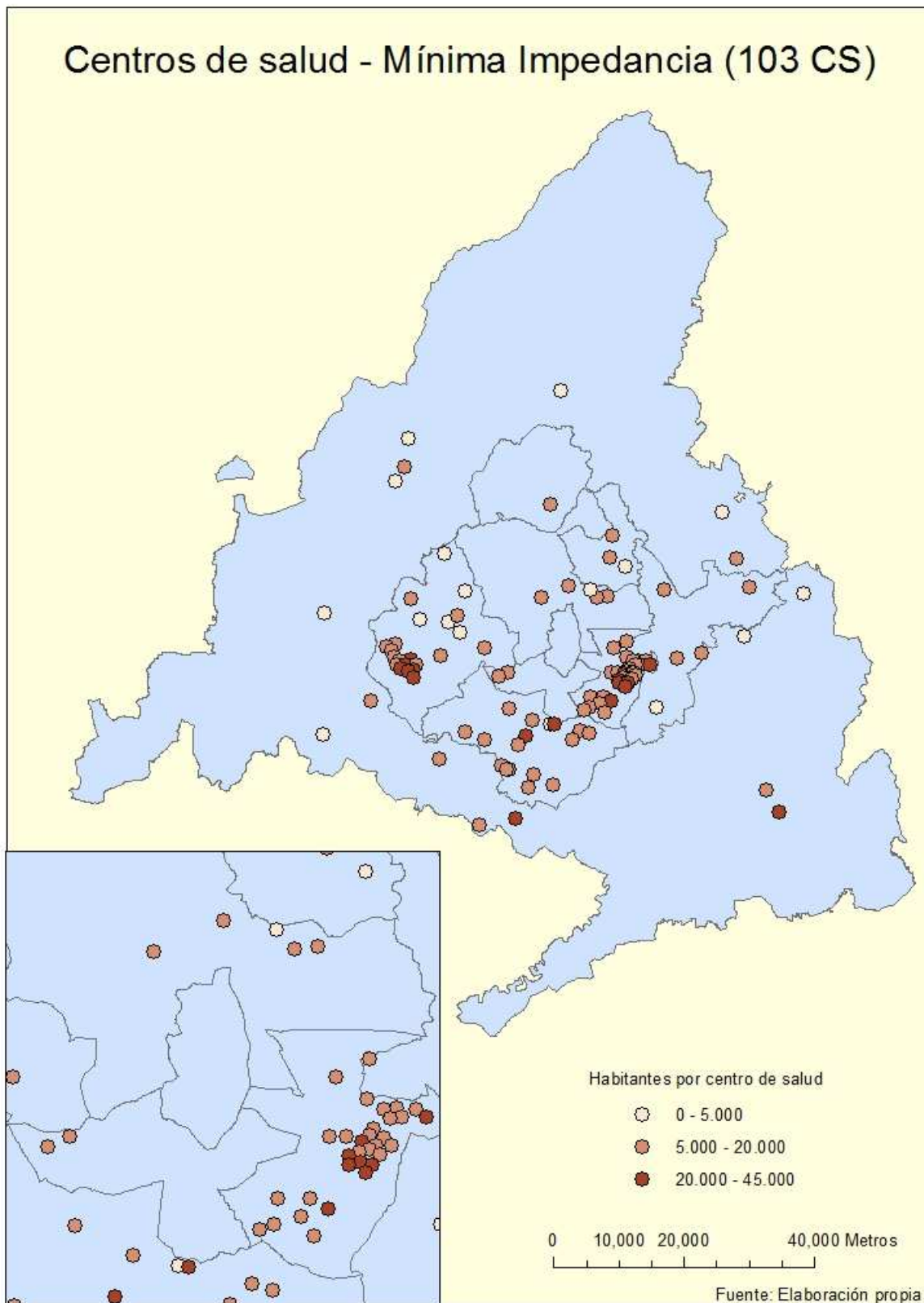
Tabla 18. Distancias máximas MI 2025.

En la tabla 17 vemos que los centros de salud de nueva construcción no presentan apenas sobrecarga, sólo los 3 primeros centros son los únicos que superan los 30.000 habitantes. Sin embargo, el resultado de este proceso son 103 centros de salud nuevos, 22 más de los necesarios según la media en 2.009, y, además, 350.000 habitantes fueron absorbidos por centros de salud existentes.

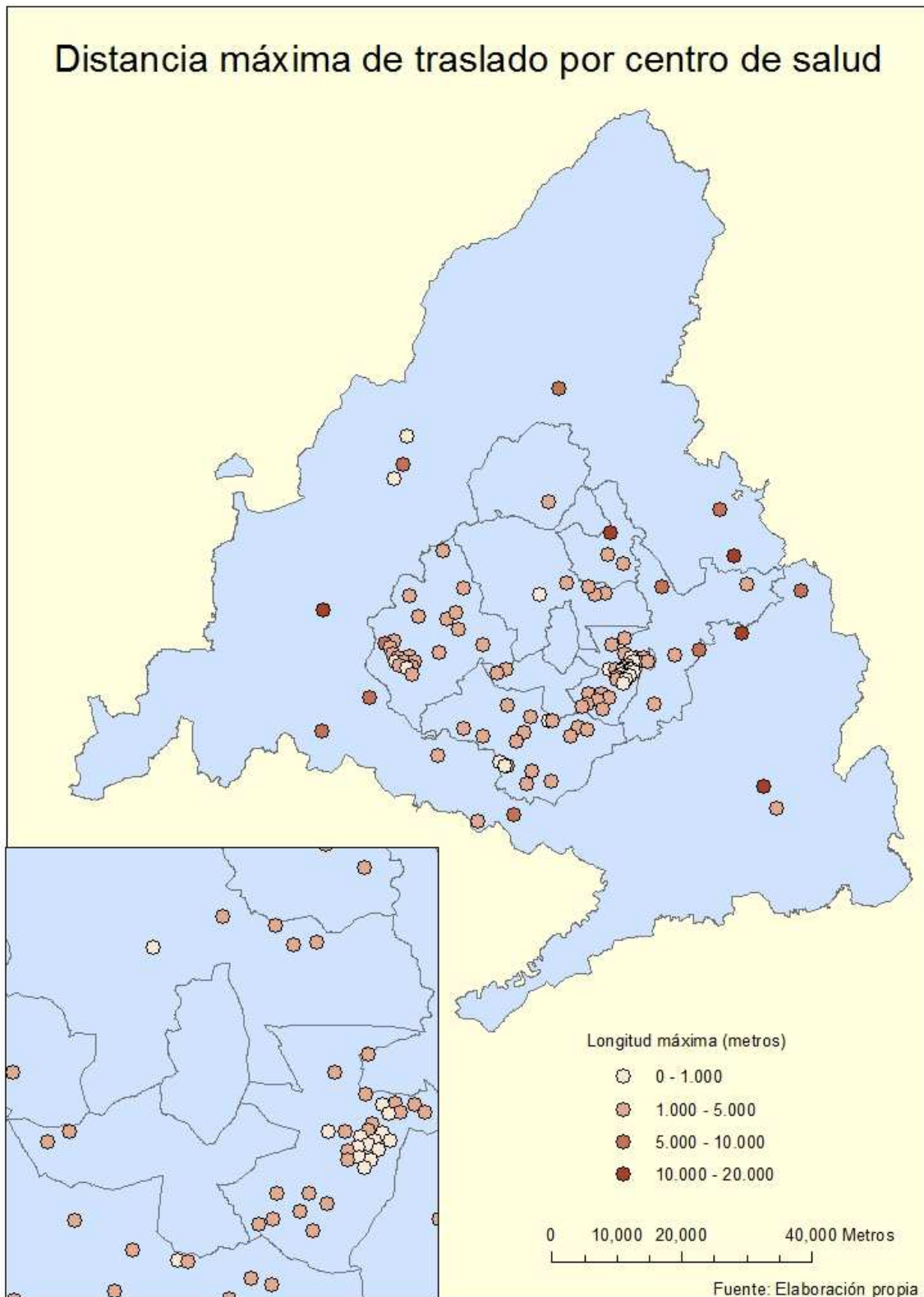
En la tabla 18 vemos una disminución importante en la distancia máxima que un habitante asume para desplazarse a su centro de salud, ya que esta disminución es de 8.000 metros. Mientras que la media pasa a ser de apenas 950 metros contra los 1.200 metros que obtenemos en el año 2.009.

La cobertura media de los centros de salud obtenidos en este proceso es de 14.000 habitantes por centro de salud.

En el siguiente mapa se representan los diferentes centros de salud obtenidos en el proceso así como la demanda absorbida por cada uno de ellos.



En el siguiente mapa se representa la distancia máxima que ha de recorrer un habitante para desplazarse al centro de salud más cercano.



Por último, realizaremos un análisis sobre la distribución de los centros de salud y la población asignada para el año 2.025, contando en este caso con la totalidad de la población para dicho año y no sólo los nuevos desarrollos. Para ello contamos con 370 centros de salud y una población aproximada de 8.200.000 habitantes.

Resultado de este análisis es la siguiente tabla donde se muestran los centros de salud con una mayor y menor demanda.

Nombre	Demanda
Centro de Salud Daroca	74.042
Centro de Salud Dr. Castroviejo	61.997
Centro de Salud Francia	61.978
Centro de Salud Torito	56.795
Centro de Salud Guayaba	50.359
Centro de Salud Los Yebenes	48.806
Centro de Salud Sierra de Guadarrama	48.066
Centro de Salud Gandhi	46.903
Centro de Salud Algete	46.128
...	...
Centro de Salud Robledo de Chavela	5.210
10331	5.204
391	5.201
Centro de Salud Santa Hortensia	5.158
10856	4.532
Centro de Salud El Pardo	3.744
Centro de Salud Rascafría	3.407
5748	2.961
Centro de Salud Mejorada del Campo	2.938
818	2.389

Tabla 19. Cobertura centro de salud, población total. MI 2025.

Al igual que en los modelos anteriores vemos que existen centros muy recargados con una asignación de 74.000 habitantes, centros de salud en los que en el año 2.009 contaban con una alta demanda, incrementándose ésta, aunque sea en poca cantidad, para agravar aún más su situación.

En la siguiente tabla se muestran las distancias máximas que ha de recorrer un habitante de la Comunidad de Madrid para trasladarse al centro de salud más cercano a él.

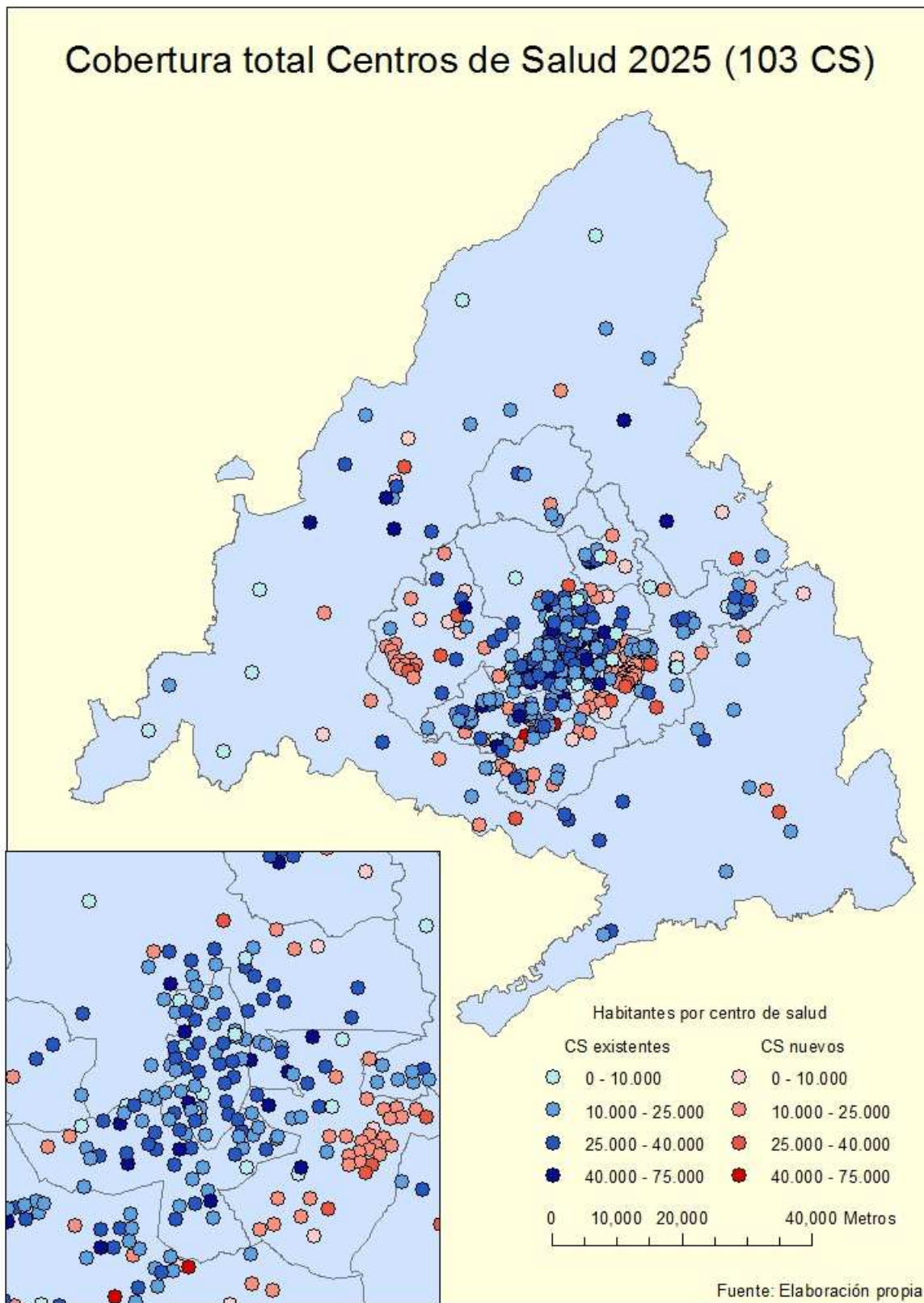
Línea	Metros
Centro de Salud Buitrago de Lozoya - 22446	31.477
Centro de Salud Buitrago de Lozoya - 22455	31.422
Centro de Salud Buitrago de Lozoya - 22445	31.388
Centro de Salud Buitrago de Lozoya - 22429	31.200
Centro de Salud Buitrago de Lozoya - 22233	25.582
Centro de Salud Villarejo de Salvanús - 64019	24.711
Centro de Salud Torrelaguna - 22980	23.680
Centro de Salud Torrelaguna - 22995	23.680
Centro de Salud Torrelaguna - 22985	23.646
Centro de Salud Torrelaguna - 22994	23.587
Centro de Salud Torrelaguna - 22993	23.517
Centro de Salud Villarejo de Salvanús - 63834	23.079
Centro de Salud Villarejo de Salvanús - 63857	23.061
Centro de Salud Villarejo de Salvanús - 63888	22.929
Centro de Salud Torres de la Alameda - 54425	22.685
11219 - 51854	22.638
Centro de Salud Campo Real - 56647	21.735
Centro de Salud Campo Real - 57016	21.672
Centro de Salud Campo Real - 56561	21.618
Centro de Salud Campo Real - 56562	21.616

Tabla 20. Distancias máximas, población total. MI 2025.

Como en los modelos anteriores la tabla 20 presenta unas distancias recorridas por los habitantes similares a las del año 2.009 esto se debe principalmente a que estas distancias se dan en las mismas circunstancias que en 2.009, es decir, se produce en los mismos centros de salud y con los mismos desarrollos. Las diferentes variaciones en ellas se justifican por la modificación de la red de carreteras, beneficiándose la demanda descendiendo el recorrido que han de asumir para trasladarse al centro de salud más cercano.

Pero, obtenemos unos resultados para la distancia media de 1.025 metros, lo que significa una reducción de más de 250 metros en comparación con el año 2.009 (1.200 metros).

A continuación se muestra el resultado de ejecutar la herramienta mínima impedancia con los 267 centros de salud actuales más los 103 centros de salud resultante de este análisis. Teniendo en cuenta no sólo los nuevos desarrollos para 2.025, sino también los ya existentes en 2.009. En él vemos la ubicación de los diferentes centros de salud y así como sus capacidades.



4.3 Comparación de resultados obtenidos

Una vez obtenidos los resultados de las diferentes metodologías para la localización de los centros de salud se procede a la comparación de éstas. A partir de criterios como la cobertura de cada centro de salud y la distancia que han de recorrer los habitantes para trasladarse a él, podemos identificar cuál es el modelo más eficiente, el más equitativo y el que mantiene un equilibrio más adecuado a las circunstancias.

A continuación se muestra una tabla a modo resumen de las características principales obtenidas en los diferentes modelos de localización para los nuevos desarrollos.

	2.009	Minimizar Instalaciones	Minimizar Impedancia (81 CS)	Minimizar Impedancia (103 CS)
Distancia Máxima de Traslado (metros)	31.679	23.680	23.680	23.680
Distancia Media de Traslado (metros)	1.219	1.094	1.025	947
Coefficiente de variación de la distancia de traslado (%)	105,56	115,65	118,65	124,07
Cobertura Máxima (habitantes)	69.049	46.450	40.642	40.642
Cobertura Media (habitantes)	23.896	13.110	16.890	13.887
Cobertura Mínima (habitantes)	2.958	2.630	1.856	1.856
Coefficiente de variación de la cobertura (%)	48,68	66,44	58,81	59,11

Tabla 21. Comparación de modelos en nuevos desarrollos.

Viendo los resultados de la tabla anterior podemos decir que el modelo que mejores resultados presenta es la minimización de la impedancia, ya que en él se observa un descenso considerable de la distancia media de traslado. Además, se logra disminuir la cobertura máxima, evitando así sobrecargas en las capacidades de los centros de salud.

Si tenemos en cuenta los dos modelos de minimización de la impedancia (81 y 103 centros de salud), observamos leves variaciones en los resultados. La distancia media de traslado apenas varía 70 metros y la cobertura media unos 3.000 habitantes. Teniendo en cuenta el considerable incremento de centros de salud entre ambos modelos, podemos decir que el modelo con un número menor de centros de salud es más eficiente.

Pero para poder realizar una comparativa real de la red sanitaria en el año 2.009 con la obtenida para el año 2.025 es necesario tener en cuenta, además de los nuevos desarrollos, la totalidad de la población. Para ello se presentan los resultados de la siguiente tabla con subdivisiones por zonas geográficas. Se incluyen además, los coeficientes de variación, para poder realizar una comparativa más reales de los resultados.

		Distancia Máxima de Traslado (metros)	Distancia Media de Traslado (metros)	CV de la distancia de traslado (%)	Cobertura Máxima (hab.)	Cobertura Media (hab.)	Cobertura Mínima (hab.)	CV de la cobertura (%)
2.009	Municipio de Madrid	16.459	698	174,39	69.049	25.129	3.211	45,58
	Corona metropolit.	25.188	1.228	114,28	62.296	23.545	2.958	50,73
	No metropolitano	31.679	3.826	74,72	42.444	20.666	3.082	55,09
	Comunidad Madrid	31.679	1.219	105,66	69.049	23.896	2.958	48,68
Minimizar Instalaciones	Municipio de Madrid	12.062	672	144,38	74.042	23.689	3.744	50,74
	Corona metropolit.	15.848	995	112,82	62.120	20.499	2.961	53,43
	No metropolitano	31.477	3.213	77,29	48.065	21.576	3.407	58,40
	Comunidad Madrid	31.477	1.096	111,11	74.042	22.288	2.961	53,05
Minimizar Impedancia (81 CS)	Municipio de Madrid	12.010	682	142,43	74.042	25.324	3.744	44,12
	Corona metropolit.	13.025	938	103,83	61.978	22.286	2.388	47,06
	No metropolitano	31.477	2.986	78,71	48.065	21.178	3.407	59,52
	Comunidad Madrid	31.477	1.057	111,74	74.042	23.483	2.388	47,66
Minimizar Impedancia (103 CS)	Municipio de Madrid	12.010	657	146,60	74.042	23.660	3.744	47,78
	Corona metropolit.	13.025	889	104,68	61.978	21.116	2.388	47,38
	No metropolitano	31.477	2.916	80,25	48.065	19.929	3.407	62,92
	Comunidad Madrid	31.477	1.025	114,09	74.042	22.288	2.388	49,32

Tabla 22. Comparación de modelos con la población total y desagregada en zonas.

Como es lógico estos datos para la Comunidad de Madrid son similares a los datos del año 2.009, las principales diferencias radican en la distancia media de traslado y la cobertura media. En la primera, notamos un descenso considerable de casi de 200 metros (mínima impedancia). En cambio, en la cobertura media notamos un descenso de 1.600 habitantes por centro de salud (modelos de 103 centros de salud).

Mayores diferencias se aprecian en las diferentes subdivisiones geográficas, principalmente en la corona de la Ciudad de Madrid, donde se reduce principalmente la cobertura media de las instalaciones con un descenso de hasta 3.000 habitantes (minimizar instalaciones). Por otro lado se aprecia una importante bajada de la impedancia media en todas las zonas y métodos, por ejemplo en la corona de Madrid ésta llega a ser de 350 metros, y en las zonas no metropolitanas 900 metros (mínima impedancia).

A continuación se muestran unas gráficas donde se intenta explicar el significado de la eficiencia y equidad y como responde cada modelo a cada una de ellas, representando en ellas las diferentes coberturas en azul (eje vertical izquierda) y distancias máximas recorridas por los habitantes en verde (eje vertical derecha). Se representan los datos de las coberturas

ordenados de menor a mayor. En cambio, para los datos de longitudes máximas se ajusta una línea de tendencia polinómica de orden 3 la cual se representa en rojo.

En primer lugar se muestra la gráfica obtenida a partir de los resultados del modelo de minimización de las instalaciones. La tendencia general es que a medida que aumente la demanda baja la distancia máxima de traslado. Pero en este caso la tendencia es muy suave, esto se debe a que este modelo localiza los centros de salud mínimos que harán falta para dar cobertura a toda la demanda teniendo en cuenta la impedancia máxima que puede asumir la demanda (cut off). Es por esto que la distancia máxima siempre estará por debajo de este cut off. De todo esto se puede deducir que este es un modelo equitativo, ya que las impedancias son similares para toda la demanda.

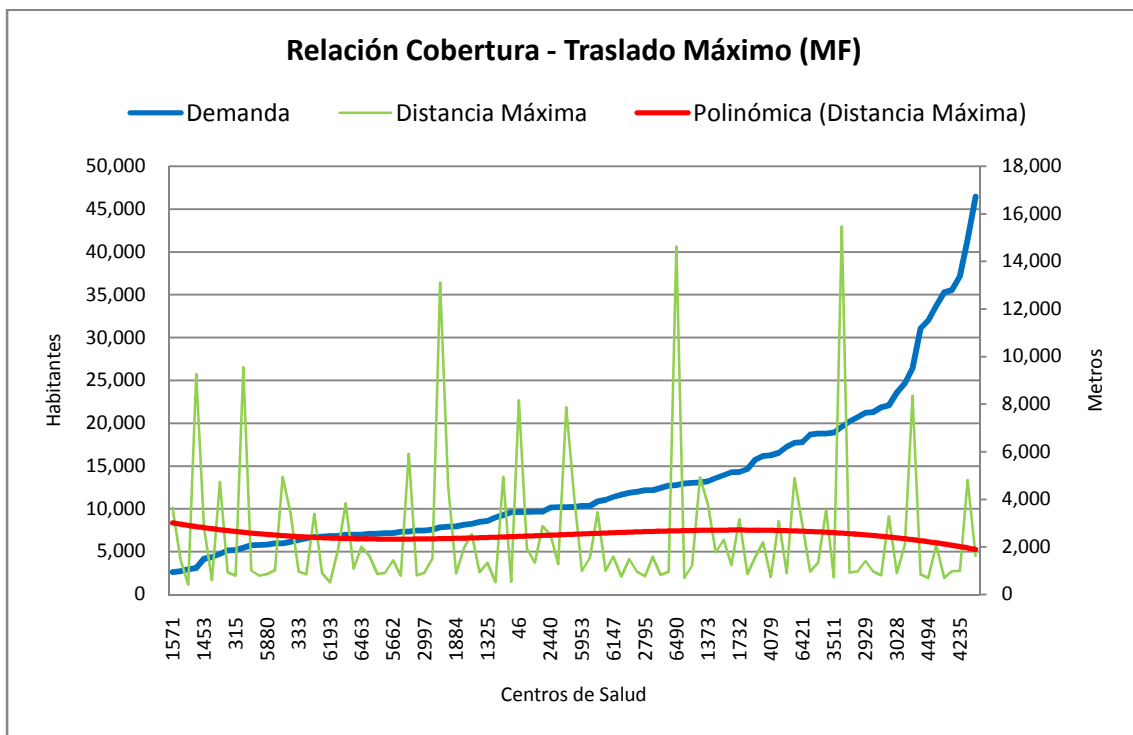


Imagen 8. Relación Cobertura – Traslado Máximo (MF).

Por último, se representa las dos gráficas correspondientes a los modelos de mínima impedancia, tanto el modelo ejecutado para 81 como para 103 centros de salud, ya que no presentan diferencias significativas entre sí. La tendencia general de las gráficas es que a medida que aumenta la cobertura del centro de salud, disminuye la impedancia para su demanda. Esta vez, la tendencia se expresa con una pendiente pronunciada.

Esto se debe a que éste modelo ubica los centros de salud de modo que se minimice la suma de todos los costes ponderados entre los puntos de demanda y los centros de salud de la solución. Ello hace que en zonas con una gran densidad de población un centro de salud

absorba demasiada demanda sobrecargándose y haciendo que las distancias recorridas por la población sean mínimas. Es por todo esto que los modelos de mínima impedancia son modelos eficientes y se intenta que sean a su vez equitativos ejecutándose en varias fases.

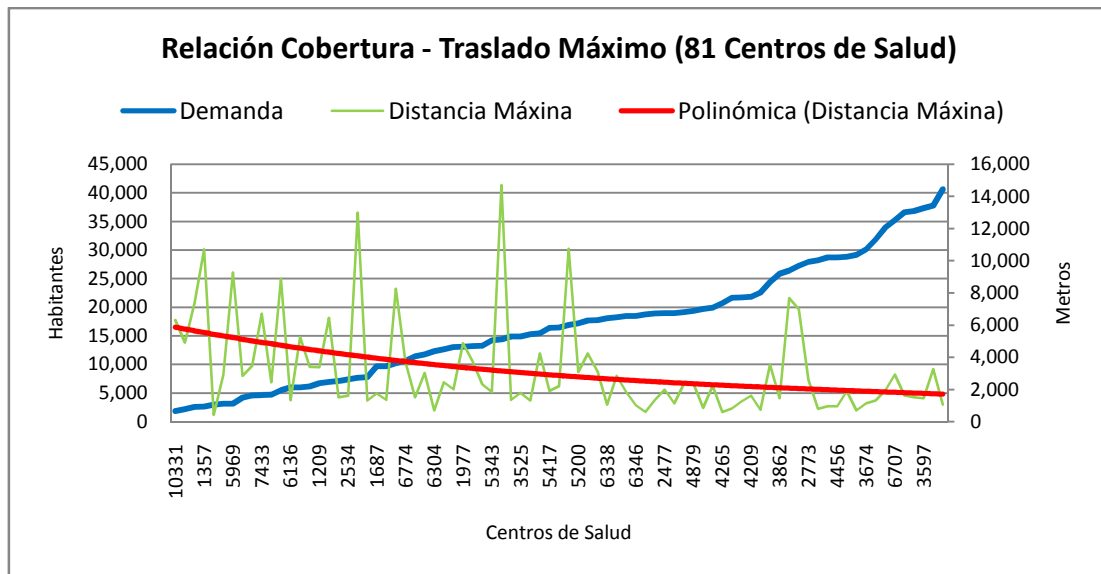


Imagen 9. Relación Cobertura – Traslado Máximo (81 Centros de salud).

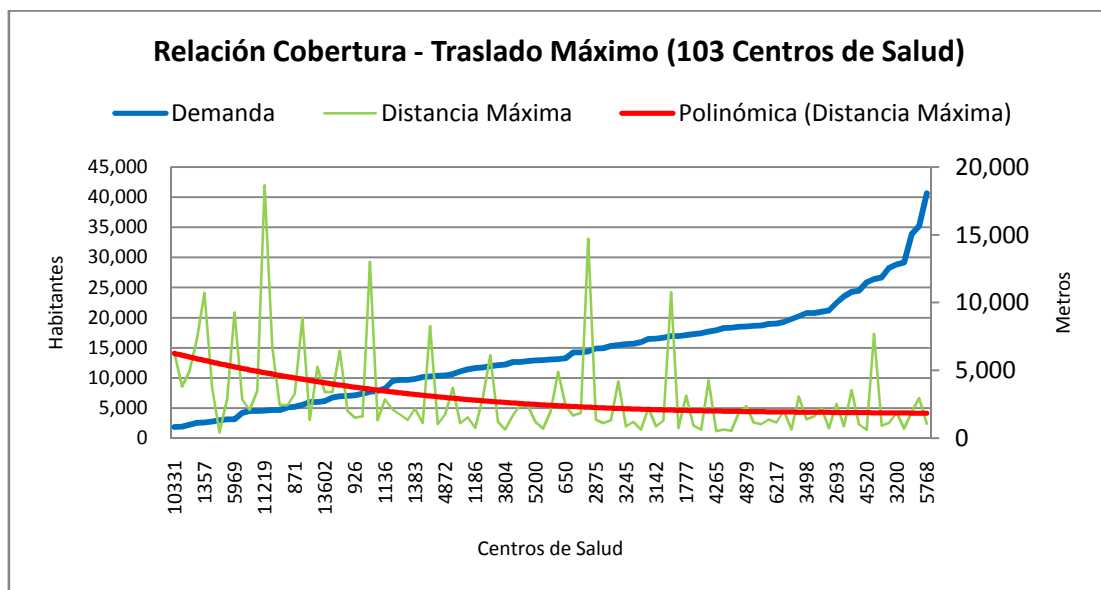


Imagen 10. Relación Cobertura – Traslado Máximo (103 Centros de salud).

El estudio se corresponde con la Comunidad de Madrid y en ella existe una gran diversificación en los usos de suelo. Es por esto que es de difícil estudio el comportamiento entre eficiencia y equidad en la región, ya que la población rural asume una mayor distancia de traslado y unos centros de salud con menor cobertura que la población rural.

La situación idónea es que todos los centros de salud se encuentren dentro de unas tolerancias que puedan ser asumidas por la demanda.

5. CONCLUSIONES

El principal objetivo del presente estudio es la localización óptima de los centros de salud que serán necesarios para dar servicio a la población en el año 2.025 en la Comunidad de Madrid.

Este objetivo se ha logrado a través de dos modelos ejecutados con herramientas distintas de location-allocation (minimizar impedancia y minimizar instalaciones). Siendo la minimización de la impedancia el modelo que presenta unos resultados más eficientes, reduciendo fundamentalmente la distancia media de traslado hacia los centros de salud. Y siendo la minimización de las instalaciones el modelo que presenta unos resultados más equitativos, con una distancia media de traslado a las instalaciones mayores pero con menores desigualdades entre la demanda.

Se ha tratado equiparar ambos conceptos (eficiencia y equidad) ejecutando los diferentes modelos en varias fases, evitando así sobrecargas en las capacidades de los centros y excesivas distancias en los desplazamientos. Se ha logrado minimizar las diferencias entre la eficiencia y la equidad, obteniendo distintos resultados. De todo esto y, una vez revisado los resultados finales, podemos destacar que del modelo mínima impedancia se obtienen unos mejores resultados.

La situación de la red sanitaria en el año 2.009 no se puede calificar como óptima, ya que en los resultados para el año 2.025 podemos observar un notable descenso de las impedancias manteniendo los centros de salud existentes y manteniendo las mismas características, principalmente en la cobertura.

Por otro lado, el trabajo se puede mejorar empleando toda la población para la localización de centros de salud y no sólo los nuevos desarrollos, mejorando así la red sanitaria para toda la comunidad autónoma o realizando un estudio más exhaustivo de cómo afectaría la localización de centros de salud a la demanda en zonas geográficas de menor superficie.

Al mismo tiempo, es interesante repetir el estudio teniendo en cuenta ahora como impedancia el tiempo de viaje, ya que en un principio en las zonas rurales la demanda se desplazará en automóvil. Pero sería aún más interesante hacerlo teniendo en cuenta ambos tipos de impedancia (de distancia y de tiempo). Aprovechando la ejecución de los modelos en distintas fases, se podría localizar los centros de salud en los medios urbanos teniendo en cuenta como impedancia la distancia, ya que en principio ésta se desplazará andando.

Mientras que en las zonas rurales se podría aprovechar para emplear el tiempo de viaje como impedancia, ya que en dichas zonas el desplazamiento se realiza de forma motorizada.

Para completar el trabajo habría que realizar un estudio individual de los diferentes centros de salud obtenidos en el proceso, y así poder analizar exhaustivamente el comportamiento y el impacto que se producirían en sus áreas de influencia. Y para llevarlo a cabo es necesario tanto un plan económico como un plan de actuación.

A su vez este trabajo sirve de apoyo para la localización de otros tipos de equipamientos públicos, tales como hospitales, comisarias, centros de atención al ciudadano, etc.

6. REFERENCIAS

- Bosque Sendra, J. y Moreno Jiménez, A., 2012. Sistemas de Información Geográfica y Localización Óptima de Instalaciones y Equipamiento. 2da ed. Madrid: Ra-Ma Editorial.
- Bracken, I., & Martin, D. (1989). The generation of spatial population distributions from census centroid data. *Environment and Planning A*, 21(4), 537-543.
- Buzai, G.D. 2011. Modelos de localización-asignación aplicados a servicios públicos urbanos: análisis espacial de Centros de Atención Primaria de Salud (caps) en la ciudad de Luján, Argentina. Cuadernos de Geografía - Revista Colombiana de Geografía. 20, pp. 111-123.
- Buzai, G.D. y Baxendale, C.A., 2008. Modelos de localización-asignación aplicados a servicios públicos urbanos: Análisis espacial de escuelas EGB en la ciudad de Luján. Revista Universitaria de Geografía. 17, pp. 233-254.
- Cocero Matesanz, D., García Lázaro, F. J. y Santos Preciado, J.M., 2006. Propuesta metodológica para la desagregación espacial de variables sociodemográficas con sistemas de información geográfica y teledetección. Cuadernos Geográficos. 39, pp 7-22.
- Cromley, E. K., y McLafferty, S. L., 2011. GIS and public health. Guilford Publication.
- Garrocho, C., 1993. Eficiencia, igualdad y equidad en la localización de los servicios de salud infantil del Estado de México. Estudios Demográficos y Urbanos, 601-640.
- Goerlich Gisbert, F.J. y Cantarino Martí, I., 2011. Cartografía y demografía: Una grid de población para la Comunitat Valenciana. Valencia: Fundación BBVA.
- Gutiérrez Puebla, J. y García Palomares, J.C., 2007. La ciudad dispersa: Cambios recientes en los espacios residenciales de la Comunidad de Madrid. Anales de Geografía de la Universidad Complutense. 17, pp. 45-67.
- McLafferty, S.L., 2003. GIS and health care. Annual Review of Public Health. 24, pp 25-42.
- Miller, H. J., & Shaw, S. L. (2001). *Geographic information systems for transportation: Principles and applications*. Oxford University Press on Demand.
- Phillips, R.L., Kinman, E.L., Schnitzer, P.G., Lindbloom, E.J. y Ewigman, B., 2000. Using Geographic Information Systems to Understand Health Care Access. Archives of Family Medicine. 9(10), pp. 971-978.
- Ramírez, M.L. 2005. Las tecnologías de la información geográfica aplicadas a la planificación territorial sanitaria. Serie Geográfica. 12 2004-2005, pp 57-82.
- Richards, T.B., Croner, C.M., Rushton, G., Brown, C.K. y Fowler, L., 1999. Geographic Information Systems and Public Health: Mapping the Future. Information Technology. 114, pp. 359-373.

- Santos Preciado, J.M., Azcárate Luxán, M. V., Cocero Matesanz, D. y Muguruza Cañas, C., 2013. Medida de la dispersión urbana, en un entorno SIG. Aplicación al estudio del desarrollo urbano de la Comunidad de Madrid (1990-2006). *GeoFocus*, nº 13-1, pp 48-75.
- Santos Preciado, J. M., Azcárate Luxán, M. V., Cocero Matesanz, D., García Lázaro, F. J. y Muguruza Cañas, C., 2011. Los procedimientos de desagregación espacial de la población y su aplicación al análisis del modelo de la ciudad dispersa. El caso de las aglomeraciones urbanas de Madrid y Granada. *GeoFocus*, nº 11, p. 91-117.
- Spiekermann, K., & Wegener, M. (2000). Freedom from the tyranny of zones: towards new GIS-based spatial models. *Fotheringham, AS and Wegener, M.(eds)*, 45-61.
- Tobler, W. R. (1979). Smooth pycnophylactic interpolation for geographical regions. *Journal of the American Statistical Association*. 74(367), 519-530.