



PROTOCOLO TÉCNICO
OBJETIVO 2

**CÁLCULO DE ACCESIBILIDAD
A CENTROS SANITARIOS**

GEOCOVID.UNIZAR.ES



EQUIPO INVESTIGADOR Y DE TRABAJO

Investigadores principales

María Zúñiga Antón

Severino Escolano Utrilla (Investigador Principal desde septiembre de 2021 a marzo de 2022)

Equipo investigador

Ángel Pueyo Campos

José Antonio Salvador Oliván

Juan José Calvo Miranda

Nuria Esther Pascual Bellido

Raúl Postigo Vidal

Jorge Navarro López

Carlos López Escolano

José María Llorente González

Marcos Zuñil Martín

María José Amorín Calzada

Equipo de trabajo

Patricia Galán Malo

María Luz Hernández Navarro

Raquel Sánchez Recio

Jorge Jover Galtier

Samuel Esteban Rodríguez

María Sebastián López

Fernando López Martín

Marta Pastor Sanz

Elena Nuin Cons

Carmen Bentué Martínez

Maria Jesús Fernández Ruiz

Ricardo Badía Lázaro

M^a Isabel Rabanaque Hernández

Juan Antonio Parrilla Huertas

Alberto Serrano Andrés

Rafael Martínez Cebolla

Ignacio Quilez Aznar

Lucía López



Este documento ha sido financiado por el Proyecto I+D+i concedido por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades, titulado "La propagación espaciotemporal de la COVID-19 (Sars-CoV-2) en España y su relación multiescala con los patrones de movilidad cotidiana y vulnerabilidad sociodemográfica" (Ref. PID2020-115904RB-I00) y recoge los principales resultados del mismo.

Mayo 2025

PROTOCOLO TÉCNICO

OBJETIVO 2

CÁLCULO DE ACCESIBILIDAD A CENTROS SANITARIOS

ÍNDICE

1. Introducción y objetivos	04
2. Metodología	05
3. Conclusiones	15
4. Índice de tablas y figuras	16

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

El presente informe metodológico se enmarca en el desarrollo del Objetivo 2 del proyecto de investigación “La propagación espaciotemporal de la COVID-19 (SARS-CoV-2) en España y su relación multiescala con los patrones de movilidad cotidiana y vulnerabilidad sociodemográfica (PID2020-115904RB-I00)”, financiado por la Agencia Estatal de Investigación en la convocatoria 2020. Este objetivo plantea como propósi-

to la elaboración de mapas de accesibilidad a centros sanitarios desde las capitales de los términos municipales de España y su representación por municipios y Zonas Básicas de Salud (ZBS). En línea con el compromiso de transferencia metodológica del proyecto, este documento recoge el proceso seguido para la construcción del mapa, con el fin de facilitar su replicabilidad en otros contextos regionales y temporales.



2. METODOLOGÍA

Para la elaboración del mapa de accesibilidad a distintos centros sanitarios, se ha empleado una metodología basada fundamentalmente en el análisis de redes, centrada específicamente en el cálculo de áreas de servicio origen-destino también conocido como isócronas. La presente investigación describe detalladamente el procedimiento metodológico seguido, utilizando para ello la extensión Network Analyst del software SIG ArcMap. No obstante, cabe señalar que dicha metodología es replicable mediante otros entornos SIG que dispongan de herramientas equivalentes de análisis de redes.



2.1 Fuentes de información y datos de origen.

Para llevar a cabo el análisis de áreas de servicio, es necesario contar con al menos tres tipos de capas: una capa que represente los orígenes (en este caso, las capitales de los términos municipales), otra que contenga los destinos, que son los distintos centros de atención sanitaria, y, por último, una capa que represente la red de comunicaciones.

Con la excepción de la capa de puntos que representan los distintos tipos de centros de atención sanitaria (proporcionada por el Instituto Geográfico Nacional gracias a una colaboración para el Atlas Nacional) la selección de información se ha basado en fuentes oficiales, públicas y abiertas, con el objetivo de garantizar la replicabilidad y la transparencia metodológica.

Tabla 1. Fuentes de información geográfica.

INFORMACIÓN	FUENTE DE INFORMACIÓN
Base de términos municipales de España	Instituto Geográfico Nacional
Nomenclátor Geográfico de Municipios y Entidades de Población	
Red de Carreteras IGR-RT	

Tabla 2. Información proporcionada por el Instituto Geográfico Nacional en el ámbito del Atlas Nacional.

INFORMACIÓN	CODIFICACIÓN
Centros de Atención primaria	CAP_12901
Consultorios Locales	Territorio nacional
Suma de los dos anteriores (CAP + CL)	CL_13088
Hospitales Generales	CAP_CL
Hospitales de salud mental y tratamiento de toxicomanías	H_General
Hospitales especializados	H_d_SM_y_t
Hospitales de media y larga estancia	H_e
Otros Centros con internamiento	H_d_myl_e

2.2 Tratamiento de la información Origen - Destino.

La información puntual relativa a los puntos de origen se genera a partir del Nomenclátor Geográfico de Municipios y Entidades de Población filtrándolo por capitales y pasando sus coordenadas a una entidad puntual.

De los 8.220 términos municipales existentes, 8.131 disponen de capital, lo que implica que hay 89 municipios sin capital que corresponden principalmente a mancomunidades, facerías u otras entidades singulares. Por ello, la capa puntual que representa los municipios se considera como la versión definitiva para el análisis.

Por otra parte, la información inicial que identifica los distintos centros sanitarios, proporcionada por el IGN, se presenta en formato Excel. En dicho archivo se incluyen, en distintos campos, el nombre del municipio, el número de centros sanitarios por tipo y el código del municipio, que permite realizar la unión (join) con la capa puntual previamente extraída del Nomenclátor.

2.3 Tratamiento de la red de comunicación.

La red de comunicación seleccionada para el análisis consiste en la red viaria IGR-RT obtenida del IGN con su actualización más reciente realizada en mayo de 2024.

La capa de vías de transporte contiene información relevante como la clase de vía, el sentido de la circulación y el tipo de tramo. Estos atributos permiten realizar un cribado efectivo de la información para asegurar que solo se utilicen los elementos pertinentes en la construcción de la red final.

Antes de proceder a la creación de la red de transporte, es imprescindible depurar esta capa, ya que incluye tramos que no aportan valor al análisis, como caminos sin conexión funcional o elementos auxiliares. Para ello, se sigue como referencia el documento "Modelo físico de la información geográfica de referencia de redes de transporte (IGR-RT)" IGN.

FILTRO POR EL CAMPO CLASE:

Tabla 3. Gestión del campo Clase.

SE MANTIENEN		SE ELIMINAN	
CÓDIGO	CLASE	CÓDIGO	CLASE
1.001	Autopista	1.004	Carril bici
1.002	Autovía	3.001	Camino
1.003	Carretera convencional	3.002	Senda
1.005	Carretera multicarril		
2.000	Urbano		

FILTRO POR EL CAMPO ESTADO FÍSICO:

Tabla 4. Gestión del campo Estado físico.

SE MANTIENEN		SE ELIMINAN	
CÓDIGO	CLASE	CÓDIGO	CLASE
1	En uso	2	En construcción
		3	Fuera de servicio

FILTRO POR EL CAMPO TIPO DE VEHÍCULO

Tabla 5. Gestión del campo Tipo de vehículo.

SE MANTIENEN		SE ELIMINAN	
CÓDIGO	CLASE	CÓDIGO	CLASE
001	Solo vehículo	110	Peatón+bici
111	Peatón+bici+vehículo	010	Solo bici
Si se desconoce el tipo de vehículo se rellenará con -997		100	Solo peatón

A continuación, se añaden a la capa diversos campos para la construcción de una red de transporte realista, ya que permiten modelar el comportamiento del tráfico de forma más ajustada a las condiciones reales de circulación. Entre los atributos incorporados se encuentran:

VELOCIDAD: VALOR ESTIMADO DE CIRCULACIÓN PARA CADA TRAMO

En la siguiente figura se muestran los límites de velocidad en función del tipo de vías y vehículos.

Figura 1. Orden de vías y velocidad asignada.

LÍMITES DE VELOCIDAD EN VÍAS INTERURBANAS			
		AUTOPISTA / AUTOVÍA	CONVENCIONAL
Turismo Motocicleta Autocaravana de MMA <= 3.500Kg Pick-up	  		
Autobús Vehículo derivado del turismo Vehículo mixto adaptable	  		
Camión / Tractocamión Furgón / Furgoneta Autocaravana de MMA > 3.500Kg Vehículo articulado Automóvil con remolque Resto de vehículos	   		
Bicicleta Ciclomotor	 	 *	

* Solo bicicletas por autovía, salvo prohibición expresa
Más información y excepciones en el RD 1514/2018 o artículo 48 RGC.

La siguiente tabla detalla las velocidades asignadas a cada clase de vía, no solo en función del tipo general (autopista, carretera, vía urbana, etc.), sino también considerando el tipo específico de tramo. Esta diferenciación es fundamental, ya que dentro de una misma clase de vía pueden existir variaciones significativas en la velocidad de circulación.

Tabla 6. Gestión del campo Velocidad.

CLASE	TIPOS DE TRAMO	VELOCIDAD (KM/H)
1.001-1.0002 > Autopista / Autovía	Nudo	40
	Rotonda	40
	Troncal	120
	Vía de servicio	80
1.003 > Carretera convencional	Nudo	40
	Rotonda	40
	Troncal	90
	Vía de servicio	80
1.005 > Carreteras multicarril	Nudo	40
	Rotonda	40
	Troncal	90
	Vía de servicio	80
2.000 > Urbano	Nudo	40
	Rotonda	40
	Troncal	40
	Vía de servicio	40

LONGITUD / LENGHT

Se calcula la longitud de cada uno de los tramos que componen la red, expresada en metros. Durante este proceso de cálculo geométrico, se detectan errores en algunos elementos, atribuibles a problemas topológicos en la capa. Para solventarlo, se procede a corregir la geometría de la red y se repite el cálculo de longitud. No obstante, persisten ciertos elementos defectuosos y dado que estos representan un porcentaje muy reducido del total (inferior al 0,1 %), se opta por eliminarlos.

ONEWAY

Este atributo se utiliza para definir la dirección de circulación permitida en cada tramo de la red. Para su codificación se emplean tres valores posibles:



Esta codificación permite modelar con precisión el comportamiento direccional del tráfico en la red. De esta forma, los valores que se asignan a nuestra red son los siguientes:

Tabla 7. Gestión del campo Oneway.

SENTIDO		ONEWAY
Único	1	FT
Doble	2	BI
Reversible	3	FT
Valor no válido (31 elementos)	-997	FT

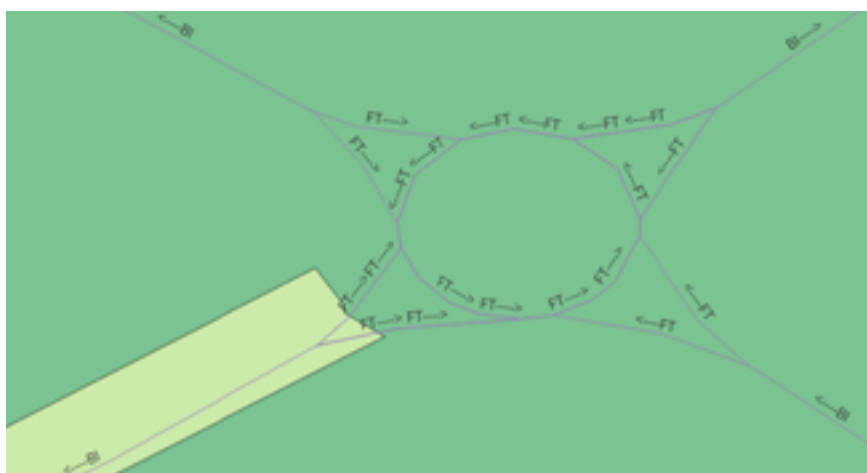
En el caso de los carriles reversibles se opta por calificarlos finalmente como aquellos de sentido único (FT) puesto que se definen como carril existente en la vía que ha sido habilitado por la DGT en el sentido contrario al habitual. Aumenta la capacidad y agilidad de circulación para los vehículos que se encuentran en una dirección concreta de forma provisional.

En base a la experiencia observada en el procesamiento de análisis de redes con estos datos, se ha identificado un patrón recurrente que afecta directamente los resultados del análisis de áreas de servicio. Específicamente, los tramos que confor-

man las rotondas presentan problemas de direccionamiento: si bien es posible acceder a la rotonda, la salida de la misma se ve obstaculizada por una valoración incorrecta del sentido de circulación, lo que genera una interrupción del análisis.

Tal como se ilustra en la siguiente figura, los tramos que componen la rotonda están asignados con la dirección FT (From-To) en lugar de BI (Bidireccional), lo cual imposibilita la correcta salida una vez que el vehículo ha ingresado. Esto ocasiona un corte en la red, afectando negativamente la continuidad del análisis y generando inconsistencias significativas en los resultados.

Figura 2. Muestra de error en la valoración de los tramos de rotondas.



Por tanto, y para garantizar un flujo continuo y preciso dentro de la red vial, se asigna la dirección Oneway = BI a todos los tramos que componen una rotonda. Esta decisión permite tanto el ingreso como la salida desde cualquier conexión válida, asegurando así la integridad del análisis.

HIERARCHY

La implementación de una jerarquía en el análisis de red permite optimizar el rendimiento del cálculo, al restringir la búsqueda de rutas principalmente a los niveles superiores de la red vial (por ejemplo, autopistas y carreteras principales).

Los valores que se asignan a la red son los siguientes:

Tabla 8. Gestión del campo Hierarchy.

CLASE		HIERARCHY
Autopista / Autovía	1.001 y 1.002	1
Carretera convencional	1003	2
Carreteras multicarril	1005	3
Urbano	2000	4

TF_MINUTES Y FT_MINUTES

Los campos FT_Minutes y TF_Minutes representan el tiempo estimado, en minutos, necesario para recorrer cada tramo de la red en uno u otro sentido. Para su cálculo, se utiliza una fórmula que considera el valor de velocidad previamente asignado a cada segmento (en km/h):

$$[METERS] * 60 / ([VELOCIDAD] * 1000)$$

2.4 Gestión de almacenamiento de la base de datos.

Tal y como ya se ha explicado, este análisis se realiza para el conjunto del territorio de España. Sin embargo, debido a las limitaciones técnicas asociadas al tamaño y peso de la red vial editada, se opta por dividir el territorio en varias zonas de trabajo. Esta estrategia permite realizar los análisis de manera más eficiente.

La división se lleva a cabo agrupando las provincias en cuatro zonas principales dentro de la península, más dos zonas específicas para los archipiélagos Balear y Canario. Para garantizar un análisis de accesibilidad lógico y realista, se ha mantenido un solape entre provincias limítrofes. Este solape es esencial ya que, en muchas ocasiones, los núcleos de población pueden tener más cerca un servicio sanitario ubicado en otra provincia o incluso en otra Comunidad Autónoma. De este modo, el solape geográfico permite tener en cuenta estas situaciones transfronterizas.

Tabla 9. Clasificación de las zonas de análisis.

ZONA	PROVINCIAS INCLUIDAS
Norte	A Coruña, Lugo, Ourense, Pontevedra, Asturias, Cantabria, Bizkaia, Gipuzkoa, Álava, La Rioja, Navarra, Burgos, León, Palencia, Soria.
Oeste y Suroeste	Huelva, Sevilla, Cádiz, Córdoba, Málaga, Badajoz, Cáceres, Salamanca, Zamora, Ávila, Valladolid, Segovia, Toledo, Ceuta y Melilla.
Este y Centro	Madrid, Guadalajara, Cuenca, Ciudad Real, Albacete, Teruel, Zaragoza, Huesca, Tarragona, Lleida, Castellón, Valencia, Alicante, Murcia, Granada, Jaén.
Archipiélagos	Islas Baleares e Islas Canarias.



2.5 Análisis de áreas de servicio.

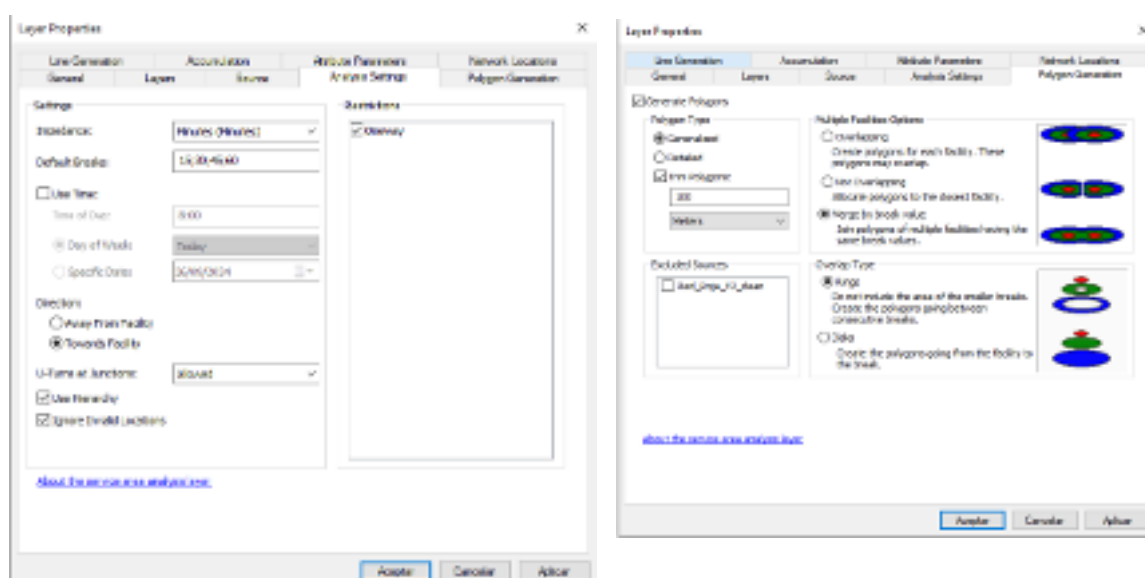
Una vez se cuenta con todas las capas que formarán parte de la entrada del análisis, incluidas en una misma Geodatabase, se incorpora además el Network Dataset, configurando sus parámetros de acuerdo con la tabla correspondiente.

Tabla 10. Parámetros del Network Dataset.

NOMBRE	USAGE	UNITS	DATA TYPE
Meters	Cost	Meters	Double
Minutes	Cost	Minutes	Double
Oneway	Restriction	Unknown	Boolean
Hierarcehy	Hierarchy	Unknown	Integer

Para completar la preparación del análisis, se cargan en Facilities las localizaciones sobre las que se desea calcular las áreas de servicio. A continuación, en las propiedades del Service Area, se seleccionan los intervalos de tiempo que se desean analizar (15, 30, 45 y 60 minutos), así como la forma de representación visual: "Merge by break value". Esta opción permite fusionar las áreas resultantes según su valor de corte, facilitando una interpretación más clara y homogénea de los resultados obtenidos. Además, se recomienda verificar que las unidades de análisis, restricciones y jerarquías estén correctamente definidas tal y como aparece en la siguiente figura.

Figura 3. Configuración del análisis.





Este proceso se replica para cada tipo de centro sanitario y para cada zona geográfica del estudio. Posteriormente, se unifican las áreas de servicio generadas en cada zona por tipo de centro sanitario, con el objetivo de obtener una única capa nacional de áreas de servicio para cada tipo de centro (por ejemplo, hospitales generales, centros de salud, etc.). Esta capa permitirá analizar la cobertura territorial de los servicios sanitarios en todo el ámbito nacional.

Para facilitar la interpretación de los resultados y su comparación con los límites administrativos y sanitarios existentes, se asignan los valores de las áreas de servicio a entidades administrativas concretas, como los términos municipales y las Zonas Básicas de Salud (ZBS).

En primer lugar, se realiza una operación de Spatial Join entre las áreas de servicio y

la capa de puntos del Nomenclátor, lo cual permite vincular cada área con un municipio. A continuación, se lleva a cabo una unión (Join) con la capa poligonal de términos municipales, utilizando el identificador correspondiente, para representar visualmente las áreas de cobertura en el ámbito municipal.

De forma similar, para las Zonas Básicas de Salud, se realiza un Join espacial entre los centroides de las ZBS y las áreas de servicio. Luego, se aplica una unión con la capa poligonal de ZBS a través del código identificador, lo que permite asociar cada zona con su correspondiente rango de cobertura. El resultado final es un conjunto de mapas completos tanto a nivel municipal como a nivel de ZBS, facilitando el análisis espacial y la toma de decisiones en planificación sanitaria.



3. CONCLUSIONES

Uno de los aspectos más relevantes a tener en cuenta en este análisis es que se ha llevado a cabo utilizando una red de transporte sujeta a modificaciones constantes. Durante el propio proceso de modelización, se detectaron tramos de vías urbanas que no reflejaban la realidad actual, lo que puede afectar la precisión local de los resultados. Sin embargo, dado que se trata de un análisis a gran escala territorial, no resulta operativo ni eficiente editar manualmente la red vial para corregir estas discrepancias puntuales. Como alternativa viable, se plantea el uso de la red viaria proporcionada por OpenStreetMap (OSM), que ofrece una actualización más frecuente y colaborativa, y cuya estructura de atributos puede ser adaptada para ase-

mejarse a la categorización vial definida por el IGN.

Por otra parte, el mapa de accesibilidad a centros de atención primaria, elaborado a partir de las áreas de servicio agregadas por ZBS, está condicionado por las constantes actualizaciones de los mapas sanitarios de las Comunidades Autónomas. La delimitación y organización interna de estas zonas puede cambiar con el tiempo, afectando la validez de los resultados a medio plazo. De hecho, según la información publicada por el Ministerio de Sanidad a través del Sistema de Información de Atención Primaria (SIAP), la estructura organizativa de la atención primaria ha experimentado modificaciones significativas entre 2022 y 2024.

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

TABLAS

Tabla 1. Fuentes de información geográfica.	5
Tabla 2. Información proporcionada por el Instituto Geográfico Nacional en el ámbito del Atlas Nacional	6
Tabla 3. Gestión del campo Clase	7
Tabla 4. Gestión del campo Estado físico	7
Tabla 5. Gestión del campo Tipo de vehículo	7
Tabla 6. Gestión del campo Velocidad	9
Tabla 7. Gestión del campo Oneway	10
Tabla 8. Gestión del campo Hierarchy	11
Tabla 9. Clasificación de las zonas de análisis	12
Tabla 10. Parámetros del <i>Network Dataset</i>	13

ILUSTRACIONES

Figura 1. Orden de vías y velocidad asignada	8
Figura 2. Muestra de error en la valoración de los tramos de rotondas	11
Figura 3. Configuración del análisis	13



PROTOCOLO TÉCNICO
OBJETIVO 2

**CÁLCULO DE ACCESIBILIDAD
A CENTROS SANITARIOS**