

Rodríguez Díaz, V. (2010): Medición de la accesibilidad geográfica de la población a la red de hospitales de alta resolución de Andalucía mediante sistemas de información geográfica. En: Ojeda, J., Pita, M.F. y Vallejo, I. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica: La Información Geográfica al servicio de los ciudadanos*. Secretariado de Publicaciones de la Universidad de Sevilla. Sevilla. Pp. 549-564. ISBN: 978-84-472-1294-1

## MEDICIÓN DE LA ACCESIBILIDAD GEOGRÁFICA DE LA POBLACIÓN A LA RED DE HOSPITALES DE ALTA RESOLUCIÓN DE ANDALUCÍA MEDIANTE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Rodríguez Díaz, Virginia<sup>1</sup>

(1) Universidad Pablo de Olavide, Ctra. Utrera, Km. 1 41013, Sevilla, [vroddia@upo.es](mailto:vroddia@upo.es)

### RESUMEN

La administración sanitaria andaluza, como organismo competente en garantizar prestaciones sanitarias públicas accesibles al conjunto de la población, puso en marcha en el año 2004 un proceso de planificación de centros asistenciales basados en un nuevo concepto de hospital denominado "Hospital de Alta Resolución".

Entre los objetivos a alcanzar con la proyección de la red de Hospitales de Alta Resolución encontramos el acceso equitativo de la población a las prestaciones de asistencia especializada, por lo que la accesibilidad geográfica se convierte en un concepto clave tanto en el propio proceso de planificación sanitaria como en la cuantificación de la mejora en el acceso. Es por ello necesario el diseño de una metodología que permita la medición de la accesibilidad de la población a los nuevos centros proyectados.

En este contexto, la comunicación presenta una metodología de cálculo de la accesibilidad geográfica de la población a la red de Hospitales de Alta Resolución a través de aplicaciones de Sistemas de Información Geográfica (SIG), basadas en el análisis de redes que se ajustan a la resolución de problemas como el cálculo de la ruta más rápida entre dos puntos, determinar el área de servicio de un punto dado, definir rutas entre varios nodos para alcanzar un destino, etc.

Palabras: planificación sanitaria, accesibilidad geográfica, análisis de redes, aplicaciones SIG

### ABSTRACT

*The andalusian health administration, as competent body for ensuring accessible public health benefits to the whole population, undertook in 2004, a process of planing healthcare centres based on a new concept of hospital called "Hospital de Alta Resolución".*

*One of the aims to be reached with the project of the network of "Hospitales de Alta Resolución", is an equitable access of the population to specialized medical care services; so, geographical accessibility becomes a key concept, both in the own health planning process and in the quantification of improved access. Therefore, it is necessary to design a methodology that allows us the measurement of the accessibility to new centres.*

*In this context, this paper presents a methodology to estimate the geographical accessibility to the "Hospitales de Alta Resolución" network, through the implementation of Geographical Information Systems (GIS) based on network analysis in order to solve questions as the calculation of the shorter or faster route between 2 points, to determine the area of service at a given point, to define routes among several nodes to reach a destination, etc.*

*Keywords: health planning, geographical accessibility, network analysis, GIS aplicacions*

## MEDICIÓN DE LA ACCESIBILIDAD GEOGRÁFICA DE LA POBLACIÓN A LA RED DE HOSPITALES DE ALTA RESOLUCIÓN DE ANDALUCÍA MEDIANTE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

### INTRODUCCIÓN

Garantizar el acceso equitativo de la población a las prestaciones tanto de atención primaria como especializada en un sistema sanitario implica una distribución, a su vez equitativa, de los centros que prestan servicios entre la población. En el caso de los servicios sanitarios, dicha ordenación territorial debe regirse por la especialización que éstos presenten. En esta línea, Escalona y Díez (2003) afirman que la distribución espacial de los centros asistenciales dependerá de la relación entre el rango del servicio que ofrecen (en función de su complejidad y especialización) y su localización. Es decir, la ubicación de los centros asistenciales ha de realizarse acorde al principio de *eficiencia económico-espacial* o de *racionalidad económica* así como a la necesidad de dotar de *calidad* (basada en la experiencia) a la *asistencia sanitaria* (Redondo, 2005). A modo de ejemplo un servicio específico como la Cirugía Oral y Maxilofacial no puede garantizarse sin un mínimo de pacientes al año de forma que sólo se efectúa en los hospitales de referencia de nivel provincial.

Si nos detenemos en la evolución de la red de hospitales públicos en el marco del *Sistema Sanitario Público de Andalucía (SSPA)*, presenta dos hitos fundamentales en su redistribución territorial. De un lado la incorporación de los *hospitales comarcales*, que comienza en el año 1984 con la apertura del Hospital Riotinto, en la provincia de Huelva y finaliza en el 2004 con la incorporación del Hospital de Montilla en la provincia de Córdoba. De otro la planificación de la red de *Hospitales de Alta Resolución*, cuyo punto de partida es la formulación del *Libro Blanco de la Atención Especializada en Andalucía* (Consejería de Salud, 2004a).

Es precisamente en esta última fase de descentralización en la que surge un nuevo concepto de hospital denominado *Hospital de Alta Resolución*, basado en un modelo de organización y gestión centrado en aspectos como la cooperación asistencial entre atención especializada y primaria, la potenciación de la alta resolución mediante consultas de acto único, alternativas a la hospitalización tradicional (hospital de día, Cirugía Mayor Ambulatoria) y la implantación de nuevas tecnologías como es el caso de la telemedicina.

En cuanto a la capacidad asistencial, los nuevos hospitales presentan una cartera de servicios básica<sup>17</sup>, tomando como referencia el nivel de hospital comarcal. No obstante, en la definición de la movilidad del usuario hacia un Hospital de Alta Resolución, hay que tener en cuenta que el área de adscripción de la población de referencia se determinará mediante ordenación sanitaria, sin perjuicio de la pertenencia geográfica de cada municipio a sus actuales hospitales de referencia, a los que la población seguirá acudiendo en caso de patologías que requieren un mayor nivel de especialización. Ejemplo de ello es el caso del *Hospital Alta Resolución Sierra del Segura* que no cuenta con asistencia a partos, aunque se trata de una especialización propia de una cartera de servicios básica.

Por tanto los Hospitales de Alta Resolución presentan unas características asistenciales (cartera de servicios básica, hospitalización máxima de 72 horas, menor número de camas de hospitalización) y arquitectónicas (dimensiones más reducidas respecto a los hospitales de los grandes núcleos de población) que permiten nuevas tendencias en la ubicación de los hospitales constatadas desde dos perspectivas:

- La localización de hospitales en ámbitos rurales, con un carácter marcadamente montañoso que explican una accesibilidad reducida, la baja densidad poblacional y un alto índice de envejecimiento.
- La localización de nuevos hospitales en aquellas áreas en las que, a pesar de que existe una red de recursos más o menos densa, el ritmo de crecimiento demográfico supone un desequilibrio entre oferta y demanda. No se trata por tanto de una cuestión meramente de accesibilidad, pero sí permite fortalecer flujos supramunicipales en grandes aglomeraciones urbanas o redes de ciudades medias del litoral e interiores.

Es evidente la capacidad de adaptación los nuevos hospitales al ámbito territorial en el que se ubican, lo que facilita la consecución de uno de los objetivos claves de su planificación: la mejora en el acceso equitativo de la población a las prestaciones de asistencia especializada. De esta forma, la accesibilidad geográfica se convierte en un elemento fundamental tanto en el propio proceso de planificación y ordenación sanitaria como en la

---

<sup>17</sup> Entendida como el conjunto de técnicas, tecnologías o procedimientos (métodos, actividades y recursos basados en el conocimiento y la experimentación científica) mediante los que se hacen efectivas las prestaciones sanitarias.

cuantificación de dicha mejora, ya que facilita el análisis de la movilidad y los niveles de accesibilidad a los centros hospitalarios (Redondo, 2003).

Por otro lado, citando a Zoido (coord. 2001), la eficiencia de un servicio se refleja en el grado de satisfacción de la demanda que puede ser medida, entre otras variables o criterios, por el tiempo o recorrido necesario para acceder al servicio en cuestión.

En este punto, la comunicación presenta una metodología que permite la medición de la accesibilidad de la población a los nuevos centros proyectados. Es en este aspecto metodológico en el que se incorporan las potencialidades analíticas de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) como herramientas informáticas que permiten la medición de la accesibilidad geográfica mediante aplicaciones basadas en el análisis de redes.

Los resultados esperados permiten el diagnóstico de la accesibilidad hospitalaria para aquellos municipios que conforman las áreas de influencia de la red de Hospitales de Alta Resolución, así como los resultados agregados por área de influencia hospitalaria.

## ÁMBITO DE ESTUDIO

La zona de estudio coincide con los límites administrativos de la *Comunidad Autónoma Andaluza* siendo la distribución tanto de los *Hospitales de Alta Resolución* como de sus ámbitos de influencia la que se presenta en el mapa adjunto (Figura 1). Dicha red supone la incorporación de 25 nuevos hospitales, de los cuales 11 se encuentran ya en funcionamiento (Tabla 1).

**Tabla 1.** Red de Hospitales de Alta Resolución (Consejería de Salud, 2010).

Provincia	Hospital de Alta Resolución	Municipio de ubicación	N ° de municipios	Situación
Almería	El Toyo	Almería	218	En funcionamiento
	Roquetas	Roquetas de Mar	5	Proyectado
Cádiz	La Janda	Vejer de la Frontera	4	En obras
Córdoba	Palma del Río	Palma del Río	5	Proyectado
	Puente Genil	Puente Genil	1	En funcionamiento
	Valle del Guadiato	Peñarroya-Pueblonuevo	8	En funcionamiento
Granada	La Alpujarra de Granada	Órgiva	24	Proyectado
	Guadix	Guadix	34	En funcionamiento
	Loja	Loja	7	En obras
Huelva	Condado	Bollulos Par del Condado	9	Proyectado
	Costa Occidental	Lepe	7	En obras
	Sierra de Aracena	Aracena	29	En obras
Jaén	Alcalá la Real	Alcalá la Real	3	En obras
	Alcaudete	Alcaudete	1	En funcionamiento
	Cazorla	Cazorla	7	Proyectado
	Sierra del Segura	La Puerta del Segura	13	En funcionamiento
Málaga	Benalmádena	Benalmádena	1	En funcionamiento
	Estepona	Estepona	3	Proyectado
	Mijas	Mijas	2	Proyectado
	Valle del Guadalhorce	Cártama	13	Proyectado
Sevilla	Écija	Écija	4	En funcionamiento
	Lebrija	Lebrija	3	Proyectado
	Morón	Morón	4	En funcionamiento

<sup>18</sup> En este caso se incorpora junto al municipio de Níjar y Carboneras el Barrio de Retamar del municipio de Almería.

Provincia	Hospital de Alta Resolución	Municipio de ubicación	Nº de municipios	Situación
	Sierra Norte	Constantina	7	En funcionamiento
	Utrera	Utrera	3	En funcionamiento

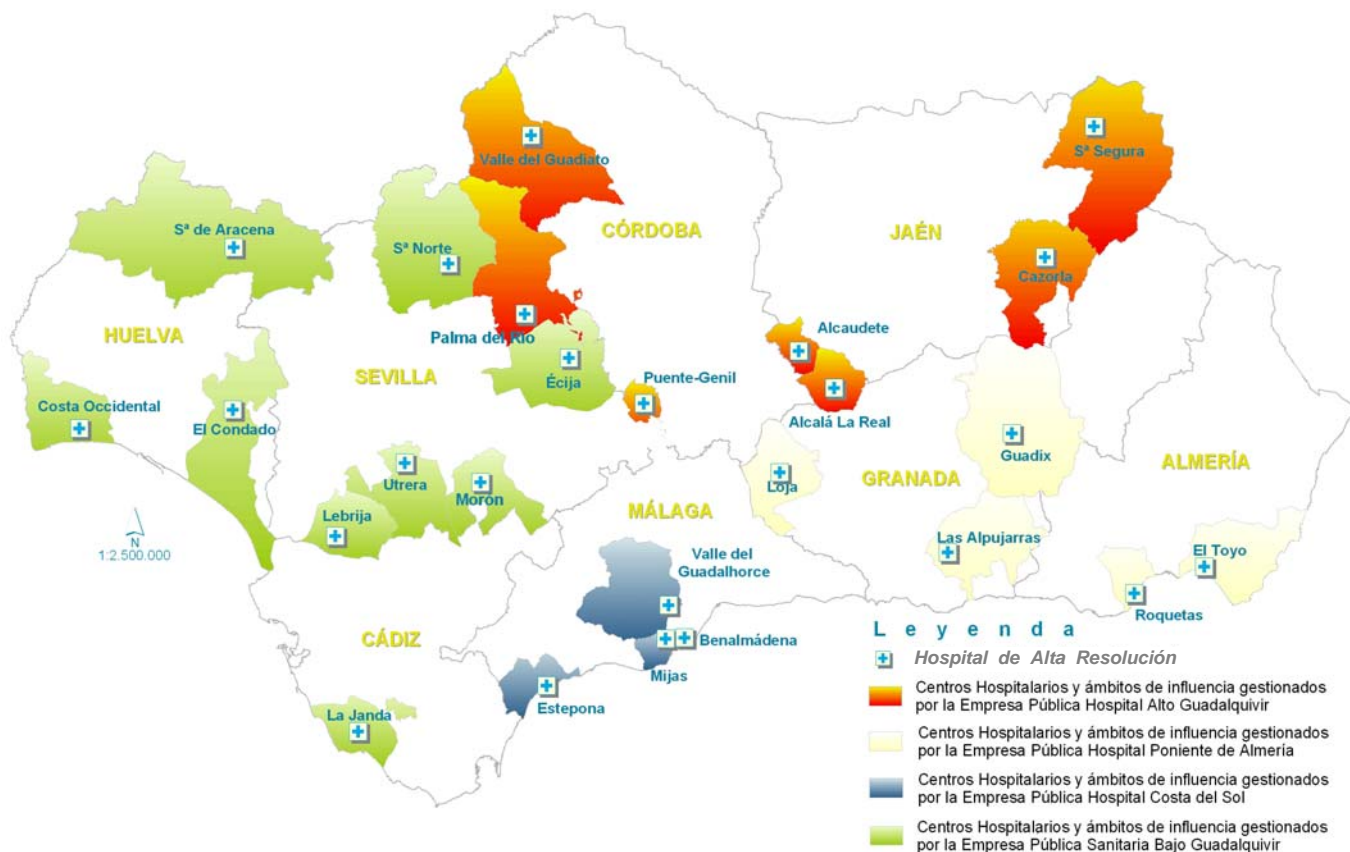


Figura 1. Mapa de localización y áreas de influencia de los Hospitales de Alta Resolución

Las áreas de influencia definidas deben ser entendidas como el conjunto de municipios que cuentan con un Hospital de Alta Resolución como hospital de referencia para un nivel básico de especialidades. No hay que olvidar que la ordenación territorial de la asistencia especializada es compleja ya que existe una jerarquía de hospitales en función la cartera de servicios que presenten. De esta forma, en los casos en los que el paciente, con una patología específica, no puede ser atendido en su hospital de referencia de menor especialización deberá ser atendido en el hospital de referencia del siguiente nivel asistencial.

Desde una perspectiva temporal, nos encontramos en pleno proceso de implantación de los Hospitales de Alta Resolución, siendo el 2012 el año de proyección para la incorporación de la totalidad de los nuevos hospitales. Es por ello que la medición de accesibilidad supone un ejercicio de previsión a corto plazo que facilita información valiosa tanto en la planificación de los centros proyectados como en la cuantificación de la mejora de acceso alcanzada mediante comparación con la situación actual.

## METODOLOGÍA

La aplicación de la metodología propuesta supone una primera reflexión sobre el concepto de *accesibilidad* en el marco de la asistencia sanitaria, ya que puede ser entendida desde varias perspectivas: la *financiera*, es decir qué parte de la población está cubierta y qué gama de servicios esta disponible a través de un sistema financiado por fondos públicos, la *informativa* o de acceso de la población a la información sobre servicios y profesionales, incluida su movilidad y la *física*, es decir el tiempo que tarda el usuario en recibir un servicio sanitario (Comisión de las Comunidades Europeas, 2003).

Nos situamos en el ámbito de la accesibilidad física entendida como medida del grado en que se modifican los efectos de la superación física entre distintos nodos de un territorio debido a la existencia de una red que los conecte. Los factores que determinan la accesibilidad se deben tanto a la estructuración de las redes de transportes, como a la distribución espacial de los nodos y las características del espacio considerado.

Bosque y Moreno (2004) presentan una clasificación de distintos usos y componentes del término accesibilidad que nos sirve de referente para contextualizar dicho concepto en el marco de la asistencia hospitalaria y que definen el modelo conceptual para su análisis así como su plasmación en un modelo matemático.

Optamos por un modelo de *espacio geográfico discreto*, los desplazamientos “sólo se pueden realizar a través de determinadas vías de transporte o comunicación caracterizadas por unos atributos concretos (velocidad, sentido, coste)”. A su vez se plantea la medición de la accesibilidad mediante *distancia a través de una red*, frente a una distancia euclidiana o una distancia Manhattan, siendo la *distancia* elegida la *temporal o relativa* entre dos puntos. Es evidente que la localización absoluta de las ciudades o las distancias euclidianas entre éstas no varía, al contrario la distancia temporal está ligada a las velocidades del desplazamiento de forma que al aumentar las velocidades “las distancias se reducen y el espacio se contrae” (Gutiérrez, 1998).

El desplazamiento se estima *por carretera y en vehículo privado* ya que, en Andalucía, se da un “elevado predominio de la carretera y los medios privados de transporte, frente al resto de los modos de transportes, especialmente en las zonas poco pobladas” (Consejería de Obras Públicas y Ordenación del Territorio, 2006).

Por otro lado nos basamos en una *accesibilidad potencial*, entendida como aquella que relaciona los indicadores de accesibilidad geográfica con la distancia que separa la localización de usuarios potenciales y las unidades de salud; frente a una *accesibilidad real o efectiva*, es decir aquella que se estima mediante datos de utilización o frecuentación de los servicios sanitarios por parte de la población.

Otra de las claves en la definición del modelo conceptual de accesibilidad son las características propias del tipo de servicio que se evalúa, identificado como *servicio deseable de localización fija* (modelo de prestación en consulta en la que es el usuario el que se desplaza al servicio) que responde a una *demanda elástica* ya que la asistencia sanitaria es universal.

Según la ordenación funcional se trata de una *prestación jerárquica* de los servicios sanitarios definida mediante el establecimiento de flujos entre usuario y centro asistencial. Así no se incluyen en los cálculos factores de atracción de los centros de destino tales como el tipo y el tamaño del hospital, la relación médico/enfermeras/camas, la presencia de farmacia, el equipamiento de la unidad o la percepción de la calidad del servicio por parte del ciudadano. Dichos factores serían necesarios en el caso de incorporar en el análisis la libre elección de médico y hospital como factor condicionante de la movilidad usuario-hospital.

Una vez descrito el concepto de accesibilidad se hace necesaria una *formulación matemática* como base para el cálculo y diseño de indicadores en la valoración del acceso a los nuevos hospitales. Para ello se toma la formulación genérica utilizada por Escalona y Díez (2003):

$$A_i = g(W_j) f(C_{ij})$$

Donde:  $A_i$  es la accesibilidad potencial agregada a un lugar  $i$ ;  $W_j$  es la actividad o servicio  $W$  que se ofrece en  $j$ ;  $C_{ij}$  es el coste general de llegar a  $j$  desde  $i$ ;  $g(W_j)$  es la función de actividad en  $j$ , puede hacer referencia a la naturaleza del servicio, el rango, la especialización, etc.; y  $f(C_{ij})$  es la función de impedancia, puede expresar componentes de tipo espacial (distancia, tiempo), condiciones de circulación, existencias de restricciones, tipos y modos de transportes, etc.

Al igual que las autoras, al situarnos en un sistema sanitario de tipo universal, no realizamos distinciones entre centros siendo los usuarios asignados a los mismos según criterios de ordenación funcional. Es por ello que aplicamos una *formulación de tipo coste de desplazamiento*:

$$A_i = g(W_j)f(C_{ij}), \text{ con } W_j = 1$$

De esta forma se indica que sólo hay un destino posible (función de actividad horizontal) y la impedancia depende exclusivamente del coste de desplazamiento (función lineal). Por último en cuanto a los resultados esperados, cuanto más bajo es el valor calculado o coste mayor es la accesibilidad (Escalona y Díez, 2003).

El modelo de cálculo de accesibilidad propuesto se basa en la cuantificación la accesibilidad geográfica hospitalaria mediante la identificación de la ruta óptima entre un nodo de origen (centroide de núcleo de población) y un nodo de destino (localización geográfica del centro hospitalario) a través de la red de carreteras de Andalucía. Se trata pues de medir la distancia en unidad de tiempo del desplazamiento entre un nodo de origen a uno de destino a través de una red de la forma más eficiente (más rápida), es decir por el camino de menor impedancia o resistencia al desplazamiento.

Desde el punto de vista técnico la medición de accesibilidad se realiza mediante Sistema de Información Geográfica vectorial, concretamente mediante análisis de redes de transporte basado en un "sistema interconectado de elementos lineales, que forman una estructura espacial por la que pueden pasar flujos de algún tipo: personas, mercancías, energía o información" (Bosque, 1997). Este tipo de redes se ajusta más a la resolución de problemas como el cálculo de rutas más corta o rápida entre dos puntos, determinar un área de servicios de un punto dado, definir rutas entre varias paradas para alcanzar un destino, etc. (Barrientos, 2007).

En cuanto a las fuentes de datos se distinguen según cuatro tipos básicos de las variables (Tabla 2):

- La demanda potencial se identifica con una localización geográfica concreta, que en nuestro caso son las cabeceras municipales de Andalucía (para la obtención datos de accesibilidad agregados) y los núcleos de población que no son cabeceras municipales pero cuentan con una población igual o superior a los 500 habitantes en el cálculo de la distribución espacial de la accesibilidad. Se caracteriza mediante elementos de tipo puntual (centroides) tomando como fuente de datos el objeto "su2\_100 núcleos de población" del conjunto de elementos "G04\_SIST\_URBANO" del Mapa Digital de Andalucía 1:100.000 (Instituto de Cartografía de Andalucía, 2005). En cuanto a la información alfanumérica se obtiene del Nomenclátor (Instituto Nacional de Estadística, 2009) y la revisión del Padrón Municipal de Habitantes a 1 de enero de 2008 (Instituto Nacional de Estadística, 2009).
- En cuanto a la localización de los nodos de destino se obtienen mediante geocodificación por dirección postal en los casos en los que el Hospital de Alta Resolución se encuentre en funcionamiento o en obras. Cuando se trata de un centro proyectado se toma como referencia el centroide del núcleo de población en el que se ubicará el hospital.
- La movilidad entre los municipios y los Hospitales de Alta Resolución a los que están adscritos se identifica mediante consulta de los Contratos Programa de las Empresas Públicas Hospitalarias y los Programas Funcionales de cada hospital. Una vez elaborada la información alfanumérica (matriz de 199 nodos de origen y 25 nodos de destino) se georreferencia a partir del objeto "da2\_100 Términos municipales" del conjunto de elementos "G12\_DIVISIÓN\_ADM" del Mapa Digital de Andalucía 1:100.000 (Instituto de Cartografía de Andalucía, 2005). De esta forma y mediante agregación municipal, se edita la información geográfica relativa a las áreas de influencia de los hospitales de la red.
- Por último, la información espacial relativa a la red de carretera se obtiene de la Consejería de Obras Públicas y Transportes y del Instituto de Cartografía de Andalucía sobre actualización 2006 del objeto "vc1\_1\_100 Red de Carreteras" del conjunto de elementos "G05\_VIARIO" del MDA 1:100.000 (ICA, 2005).

La información de carreteras requiere un proceso de transformación con el fin de generar una red topológica como información básica de entrada en el análisis de redes de transportes, en el que se especifican los atributos de circulación y comportamientos de la red para asegurar su conectividad. Se diseña una estructura básica de red conformada por dos tipos de elementos geométricos: Edges (entidades lineales o segmentos) entendidos como los enlaces sobre los cuales fluyen los recursos y los Junctions (entidades puntuales o uniones) que facilitan la navegación de un Edge a otro.

Al medir las distancias en factor tiempo, éste dependerá no solo de la longitud del desplazamiento sino también de la identificación de velocidades medias asociadas a la tipología del entramado vial existente. Estos factores determinarán el mayor o menor coste de tiempo en el desplazamiento y la elección de la ruta más adecuada entre dos nodos, que en nuestro caso es la más rápida. Los flujos en el interior de la red quedan definidos por impedancias

de coste, expresado el tiempo que se tarda en realizar un recorrido, sin tener en cuenta restricciones de tipo *Oneway*, *barreras* y *Curb\_approach*.

El atributo de coste se asigna mediante la combinación de la longitud de arco y el descriptor de velocidad media por tipo de vía para una cobertura autonómica (Tabla 2).

**Tabla 2.** Impedancia asociada a cada tipo de vía (Consejería de Obras Públicas y Transportes)

TIPO DE VÍA	VELOCIDAD Km/h
Autovía Complementaria Metropolitana	100
Autovía Red Básica Articulante	
Autovía Red Básica Estructurante	
Autovía Red Intercomarcal	
Autovía RIGE	
RIGE	80
Red Básica Estructurante	
Red Básica Articulante	70
Red Intercomarcal	
Complementaria Metropolitana	50
Red Complementaria	
Red Provincial	
Otros Organismos	

Una vez definidos los atributos de la red se calcula, para cada segmento de arco, el coste en minutos mediante la siguiente relación:

$$Drivetime = \frac{Shape\_LENGTH \times 60}{Vm}$$

Donde: *Drivetime* es el impedimento de la red, es decir el tiempo de ruta o minutos de viaje que se tarda en atravesar cada segmento de arco; *Shape\_LENGTH* es la longitud de cada segmento de arco expresada en kilómetros; y *Vm*: es la Velocidad media asociada el arco según tipo de vía expresada en Km/h.

Como sesgos a tener en cuenta en el método propuesto hay que indicar que se emplean rutas exactas, por lo que no se tienen en cuenta retrasos provocados por señales semáforos o señales de stop, como ocurriría en una red jerárquica. Además se trata de una conectividad básica, establecida entre los elementos de una misma fuente, es decir trabajamos con una *red unimodal*. Por último, para las cabeceras municipales en las que se ubican un hospital, la distancia-tiempo al mismo se establece como 0 minutos.

Estas características de partida de la red topológica vienen definidas por las necesidades de precisión de los resultados esperados que, como ya se ha descrito, se basan en una escala regional. Por otro lado, no existen fuentes de datos de carreteras o viales a escalas más reducidas con las características técnicas necesarias (posibilidad de incorporar otros factores de tiempo como el relieve, velocidades en intersecciones, condiciones especiales, etc.), ni la cobertura territorial adecuada (falta de viales en el interior de grandes núcleos urbanos) que permita una mayor complejidad en la generación de la red para el ámbito regional.

**Tabla 3.** Fuentes de datos del modelo de accesibilidad definido

Elemento	Capa de información	Fuentes	Procesamiento
Nodo de origen	Núcleos de población (puntual)	Mapa Digital de Andalucía 1:100.000	-

Nodo de destino	Hospitales de Alta Resolución (puntual)	Dirección de Planificación e Innovación Sanitaria, Consejería de Salud	Geocodificación
Red de conexión	Red de carreteras (lineal)	Mapa Digital de Andalucía 1:100.000	Red Topológica
Flujo asistencial	Áreas de influencia (poligonal)	Contrato Programa de las Empresas Públicas Hospitalarias y Programas Funcionales de los Hospitales de Alta Resolución	Agregación por municipios

El objetivo final es calcular la trayectoria de menor coste o dificultad entre los nodos de origen y los nodos de destino mediante los siguientes algoritmos implementados en el análisis de redes:

- *Cálculos de caminos mínimos o "best route"*, es decir la ruta más adecuada entre un nodo de origen y un nodo de destino. En este caso se opera tomando como nodo de origen la cabecera municipal y como de destino el Hospital de Alta Resolución de referencia, por lo que la movilidad usuario-hospital se establece por ordenación sanitaria. Los resultados nos permiten realizar un diagnóstico de la accesibilidad mediante la *crona municipal*.

Los datos de cronas municipales se agregan para obtener la accesibilidad promedio o *crona media* por ámbito hospitalario considerando la población de los municipios en los que se inserta cada nodo como factor de ponderación según la expresión:

$$CrM = \frac{\sum_{j=1}^n Cr_{ij} \times Pb_i}{\sum_{j=1}^n Pb_i}$$

Donde: *CrM* es la crona media del ámbito de influencia de un hospital; *Cr<sub>ij</sub>* es la distancia en minutos de desplazamiento en vehículo privado desde el origen (i) al destino (j); y *Pb<sub>i</sub>* es la población municipal del origen (i).

- *Cálculo de la Matriz Origen-Destino, "OD Cost Matrix"*. Se amplía el nivel de desagregación territorial incorporando como nodos de origen, además de las cabeceras municipales, las entidades poblacionales que cuentan con al menos 500 habitantes. De esta forma se obtiene una distribución espacial de la accesibilidad geográfica más detallada en los ámbitos de influencia definidos por la ordenación sanitaria. Se trata de un diagnóstico de la accesibilidad según *isocronas o líneas de igual accesibilidad*, que permiten detectar las diferencias de acceso en el ámbito de influencia de cada hospital. Una vez obtenida la matriz distancia en minutos se interpolan los valores mediante método de ponderación inversa a la distancia (IDW).

La *valoración de accesibilidad geográfica* se realiza mediante la identificación de estándares que toman como nivel base el criterio de accesibilidad marcado en la planificación sectorial. Es decir, tomando como tiempo de acceso límite los 30 minutos al hospital de referencia (Consejería de Salud, 2004b). De esta forma se consideran intervalos o categorías de accesibilidad según los siguientes criterios (Escalona y Díez, 2003):

- Crona municipal menor o igual a 15 minutos: accesibilidad óptima.
- Crona municipal entre 15 y 30 minutos: accesibilidad favorable.
- Crona municipal entre 30 y 45 minutos: accesibilidad desfavorable.
- Crona municipal mayor de 45 minutos: accesibilidad muy desfavorable.

**Tabla 4.** Indicadores de la accesibilidad geográfica aplicados

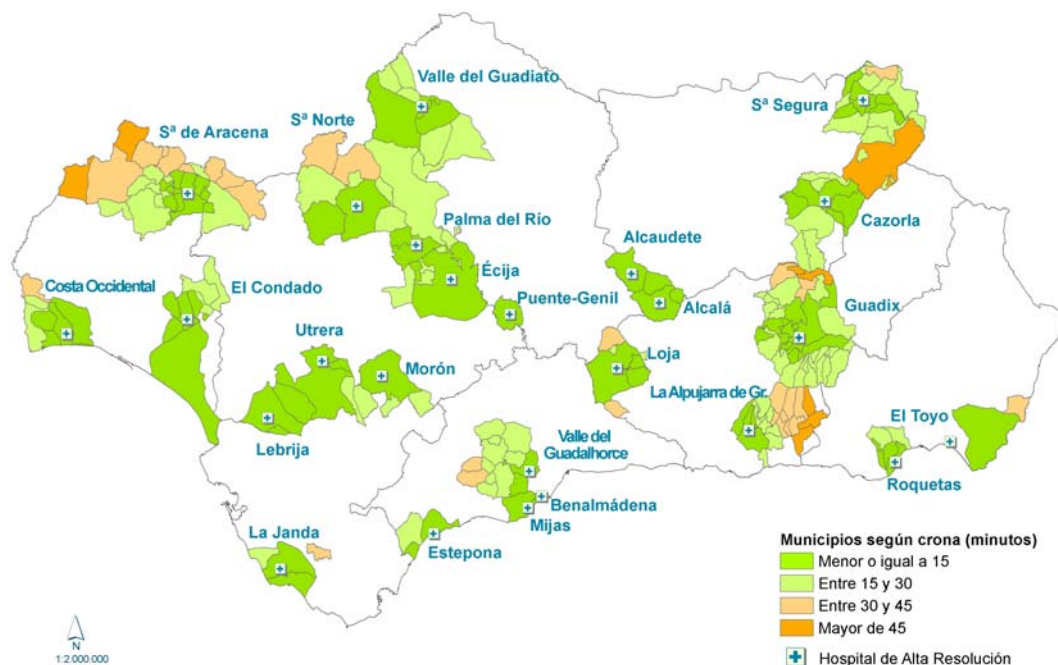
Tipo de indicador	Nodos origen/destino	Definición	Método cálculo
Crona municipal	Cabecera municipal/Hospital de Alta Resolución de referencia	Tiempo de desplazamiento entre un nodo de origen y un nodo de destino	Best route



		a través de la red de carreteras siguiendo la ruta más rápida	
Crona media	Cabeceras municipales (del área de influencia por criterios de ordenación sanitaria)/hospital de referencia	Promedio de los tiempos de acceso que separan los nodos de origen con respecto a los nodos de destino considerando la población factor de ponderación	Fórmula de ponderación
Isocronas	Núcleo de población (cabeceras municipales y otros núcleos igual o mayor de 500 habitantes)/ Hospitales de Alta Resolución de referencia	Distribución espacial de la accesibilidad geográfica	OD Cost Matrix/ Interpolación IDW

## RESULTADOS

La crona municipal nos permite identificar valores máximos y medios de accesibilidad (se excluyen los mínimos ya que se sitúan en los 0 minutos para los municipios en los que se ubican un hospital), así como estimar distintos niveles de acceso al Hospital de Alta Resolución de referencia de cada cabecera municipal. En éstos casos la accesibilidad calculada desde el centroide de la cabecera municipal al hospital se hace extensible a la población total del término municipal.



**Figura 2.** Distribución de la accesibilidad según Crona municipal

La accesibilidad máxima se sitúa en los 54 minutos que separan la cabecera municipal de Santiago-Pontones del Hospital de Alta Resolución Sierra del Segura (ubicado en la Puerta del Segura) y la cabecera de Valor del

Hospital de Alta Resolución La Alpujarra de Granada (ubicado en Órgiva). El rango de valores es por tanto elevado. En cuanto a la media de las cronas municipales se sitúa en los 19 minutos.

La clasificación de los resultados según intervalos de accesibilidad (Tabla 4), tomando como referencia una población total adscrita a los Hospitales de Alta Resolución de 1.378.517 habitantes (el 16% de la población Andaluza), la accesibilidad municipal nos indica que el 77,64 % de los mismos presentan una *accesibilidad óptima* a sus hospitales de referencia (80 municipios de los 199 adscritos).

**Tabla 4.** Niveles de acceso municipal a la Red de Hospitales de Alta Resolución

Crona en minutos	Nº Municipios	Habitantes 2008	%
Menor o Igual a 15	80	1.023.669	77,64
Entre 15 y 30	83	232.702	17,65
Entre 30 y 45	28	49.804	3,78
Mayor de 45	8	12.342	0,94
Total	199	1.318.517	100,00

El segundo intervalo de acceso, correspondiente a una accesibilidad favorable, supone el 17,65 % de los habitantes (83 municipios). Si atendemos al nivel de acceso marcado por la administración sanitaria como objetivo a alcanzar en la planificación de los Hospitales de Alta Resolución, es decir igual o menor a los 30 minutos (Consejería de Salud, 2004), el 95% de las habitantes adscritos a los centros proyectados se encuentran en esta situación.

En el nivel de acceso opuesto, es decir relativo a una accesibilidad muy desfavorable, se encuentra tan solo el 0,94 % de los habitantes. Se trata de los municipios de Alicún de Ortega, Dehesas de Guadix cuyo hospital de referencia es el de Guadix; Murtas, Ugígar y Válor adscritos al Hospital de Alta Resolución La Alpujarra de Granada; Encinasola y Rosal de la Frontera adscritos al hospital ubicado en Aracena; y Santiago-Pontones que forma parte del área de influencia del Hospital de Alta Resolución Sierra de Segura. En estos casos una red viaria mal estructurada influenciada por la orografía y la situación de los núcleos de población respecto a ésta, supone que, a pesar de la incorporación de un nuevo hospital, la accesibilidad siga identificándose como desfavorable.

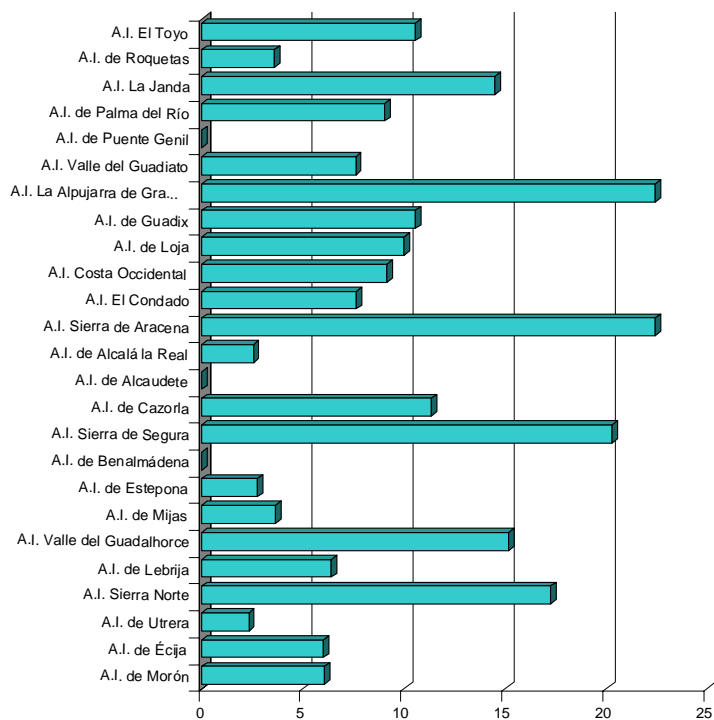
Por último 28 municipios, el 3,78 % de la población adscrita a la red de hospitales proyectada, se asocian con una accesibilidad desfavorable, es decir entre los 30 y 40 minutos a su hospital de referencia.

La accesibilidad agregada según área de influencia o *crona media* calculada (Figura 3) nos indica que el valor máximo se sitúa en los 22,45 minutos del Hospital de Alta Resolución La Alpujarra de Granada, siendo el valor medio 8,85 minutos. Los valores mínimos corresponden a los hospitales con áreas de influencia de un único municipio (por lo tanto crona municipal 0): Hospital de Alta Resolución de Puente Genil, Alcaudete y Benalmádena.

Los valores máximos se corresponden con los Hospitales de La Alpujarra de Granada, Sierra de Aracena y Sierra del Segura que superan una crona media de 20 minutos, seguidos por los hospitales de Sierra Norte y Valle del Guadalhorce.

Por último, destaca la crona media del Hospital de Alta Resolución El Toyo cifrada en 10,54 minutos. Esta circunstancia se debe a los valores de cronas de los municipios adscritos a su ámbito de influencia: Níjar con 24,34 minutos y Carboneras con 34,64 minutos. Lo mismo sucede con el Hospital de Alta Resolución La Janda, con un crona media de 14,48 minutos debido a la crona de 31,47 minutos del municipio Benalup-Casas Viejas.

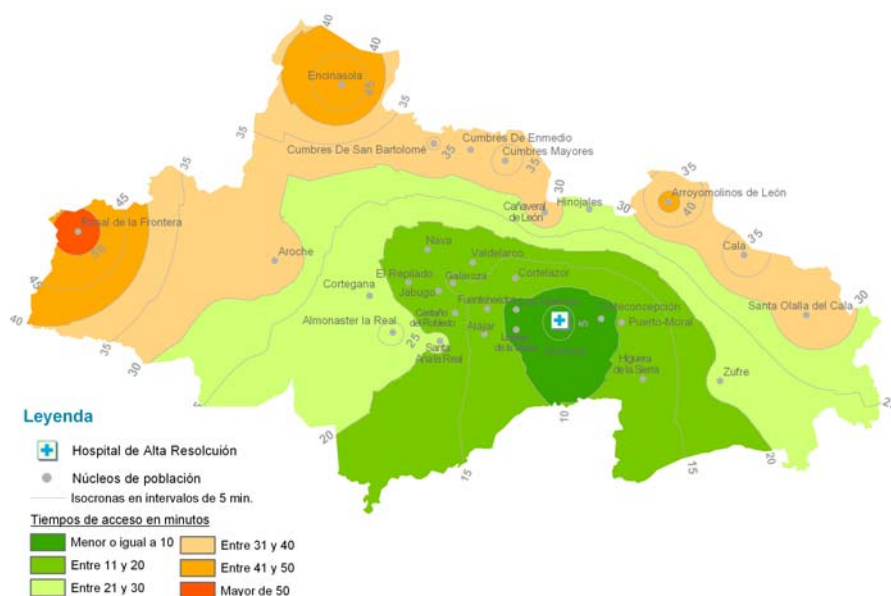
En el caso del hospital de Cazorla sorprende una crona media relativamente baja, 11,37 minutos, para tratarse de una zona de montaña. Esta crona media es el resultado de cronas municipales por debajo de los 22 minutos, a excepción de los municipios de Villarrodrigo y Santiago-Pontones, con cronas de 34,29 y 54,13 respectivamente, pero una población municipal que no supera los 4.000 habitantes.



**Figura 3.** Crona media por área de influencia de los Hospitales de Alta Resolución

Por último el trazado de isocronas nos permite identificar las diferencias de accesibilidad en los ámbitos de influencia de los Hospitales de Alta Resolución y por los tanto analizar la distribución espacial de la accesibilidad a los mismos.

Como ejemplo de los análisis realizados se toma el caso del Hospital de Alta Resolución Sierra de Aracena (Figura 4).



**Figura 4.** Mapa de isocronas del área de influencia del Hospital de Alta Resolución Sierra de Arcena

Si se analizan los datos de cronas de los núcleos de población (obviando el núcleo de población de Arcena que presenta crona 0 por ser núcleo de ubicación del hospital) el valor mínimo se sitúa en el núcleo Los Marinas con una crona de 7,65 minutos al hospital. En el extremo opuesto se encuentra el núcleo de Rosal de la Frontera, con crona 51,40 minutos, siendo por tanto el rango de diferencias muy elevado.

La clasificación de la población según niveles de acceso se presenta en la Tabla 4, siendo la población de partida total del área 34.856 habitantes. Hay que recordar que la demanda se identifica con las cabeceras municipales y los núcleos con población igual o superior a los 500 habitantes según Nomenclátor (Enero 2009). El 34,46 % de los habitantes adscritos al hospital cuenta con una accesibilidad muy favorable al mismo, siendo el 26,44 % los que cuentan con una accesibilidad favorable. Por lo tanto el 60,9 % de los habitantes cuentan con un hospital a menos de 30 minutos de su lugar de residencia.

El intervalo de accesibilidad desfavorable que supone un 30% de la población del área (núcleos de Aroche, Arroyomolinos de León, Cala, Cumbres de Enmedio, Cumbres de San Bartolomé, Cumbres Mayores, Hinojales y Santa Olalla del Cala). El intervalo de accesibilidad muy desfavorable supone un 9,81 % de la población correspondiente a la población de Encinasola y Rosal de la Frontera.

En el ámbito estudiado los intervalos de accesibilidad desfavorables y muy desfavorable destacan respecto al a situación global (Tabla 4), circunstancia que se debe a las características orográficas y por lo tanto de la estructura viaria de la zona.

**Tabla 4.** Niveles de acceso de los núcleos de población al Hospital de Alta Resolución Sierra de Arcena

Crona en minutos	Nº Núcleos	Habitantes 2008	%
Menor o Igual a 15	10	12.013	34,46
Entre 15 y 30	10	9.215	26,44
Entre 30 y 45	8	10.209	29,29
Mayor de 45	2	3.419	9,81
Total	30	34.856	100,00

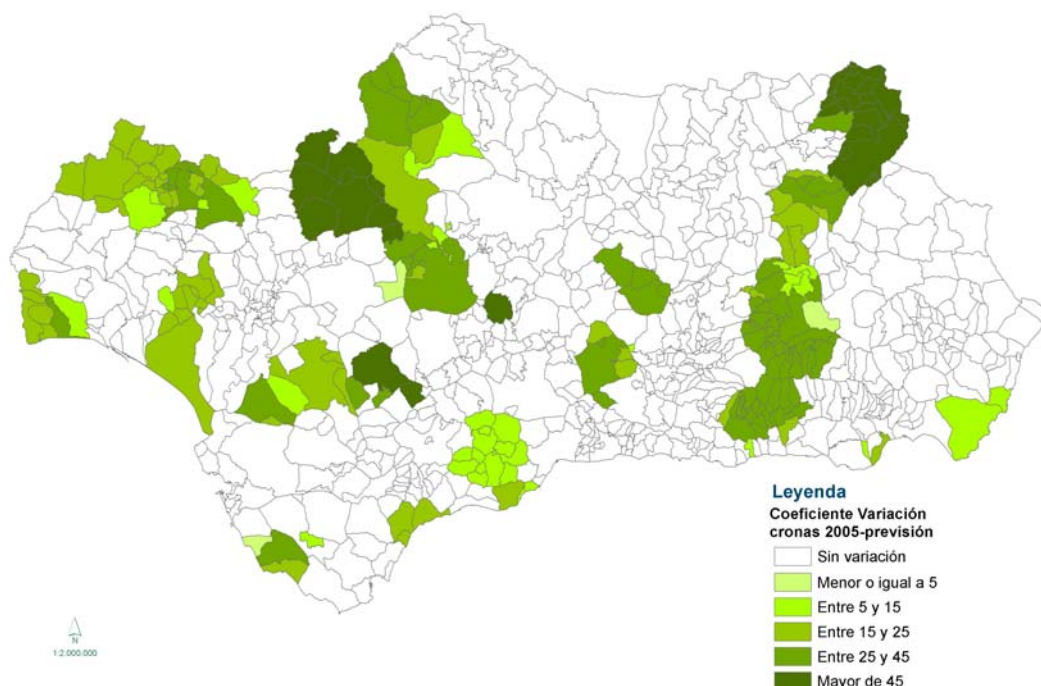
## DISCUSIÓN

La discusión se centra en las posibilidades analíticas de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en el marco de la planificación de equipamientos y servicios públicos. Si nos centramos en las herramientas concretas de análisis de redes como método para la medición de la accesibilidad geográfica, su aplicación permite disponer de información efectiva en los procesos de toma de decisiones relativos a la planificación sanitaria, así como en su posterior evaluación.

Es por ello que creemos que investigaciones como la desarrollada demuestran la validez de indicadores de accesibilidad geográfica en la descripción de los procesos de descentralización de recursos, especialmente en cuanto a la mejora en la equidad del acceso a las prestaciones sanitarias. En esta línea, enlazando el principio de equidad en el acceso con el de reducción de desigualdades y cohesión territorial, autores como Zoido (coord. 2001), Zoido y Caravaca (coords., 2003), Caravaca et al. (2009) utilizan la accesibilidad hospitalaria como indicador de disponibilidad de servicios colectivos y, por lo tanto, de bienestar social.

Si bien, la investigación presentada, se centra en el nivel de la asistencia especializada, las posibilidades de aplicación en la atención primaria son aún mayores. Pero también hay que señalar un aumento de las necesidades de precisión de los resultados, por lo que el modelo conceptual de accesibilidad aplicable es mucho más complejo y existen serias limitaciones, principalmente en aspectos relativos a la precisión geométrica y técnica de la información geográfica disponible.

No obstante, los cálculos realizados sirven de base para determinar las consecuencias de la proyección de nuevos hospitales, especialmente si se ponen en relación con un diagnóstico previo a la incorporación de los Hospitales de Alta Resolución en el SSPA. Sirva de ejemplo de dicha afirmación la identificación del coeficiente de variación entre los cronas de los municipios adscritos a las áreas de influencia de los centros hospitalarios proyectados a sus antiguos hospitales de referencia y los resultados presentados (Figura 5), o la elaboración de mapas de isocronas para el ámbito autonómico tomando como origen los núcleos de población y como destino la red completa de hospitales públicos es dos escenarios temporales: con anterioridad y posterioridad a la incorporación de los Hospitales de Alta Resolución (Figura 6 y 7).



**Figura 5.** Coeficiente de variación de las cronas municipales a los hospitales de referencia en un escenario de partida (año 2005) y con la incorporación de los Hospitales de Alta Resolución (previsión)

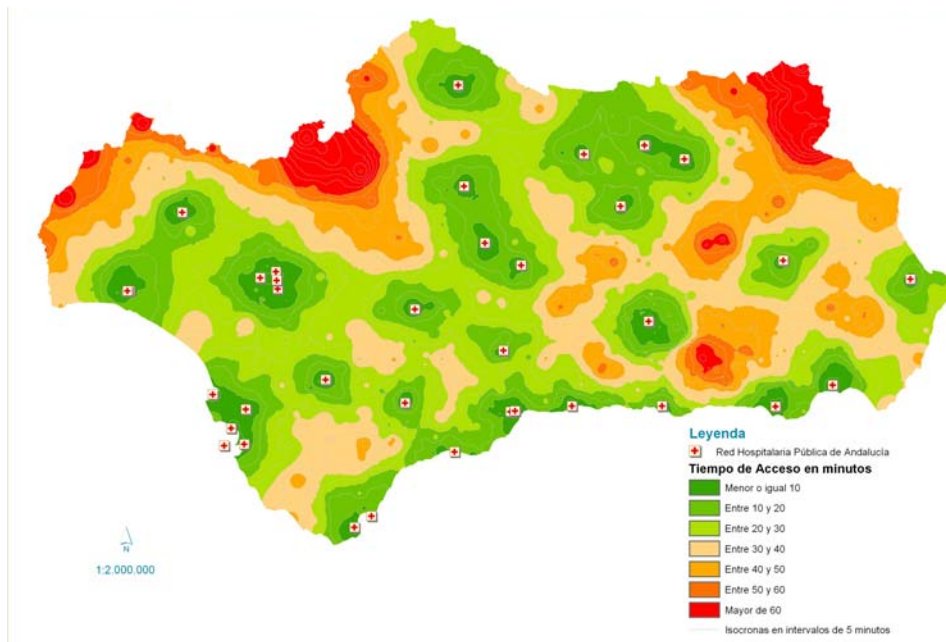


Figura 6. Isocronas a la asistencia especializada. Año 2005

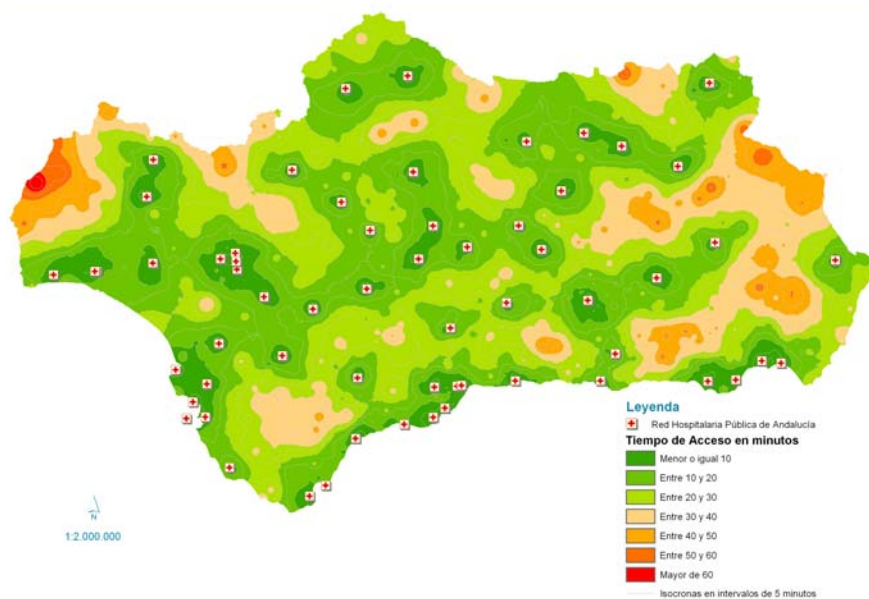


Figura 7. Coeficiente de variación de las cronas municipales a los hospitales de referencia en un escenario de partida (año 2005) y con la incorporación de los Hospitales de Alta Resolución (previsión)

## CONCLUSIONES

La metodología propuesta nos permite prever la mejora en el acceso a la asistencia especializada y por lo tanto supone un método de evaluación de la planificación de los Hospitales de Alta Resolución.

En base a los resultados obtenidos podemos afirmar que la población adscrita a los centros proyectados presenta una accesibilidad favorable a los mismos (aproximadamente un 77,5 % de los habitantes). Si atendemos al propio objetivo de la planificación abordada, es decir una accesibilidad hospitalaria igual o inferior a los 30 minutos, el 95% de las habitantes adscritos a los centros proyectados se encuentran en esta situación. Por otro lado, a pesar de reducido número de habitantes que se encuentra en una situación de accesibilidad desfavorable (no alcanzan el



1% del total), existe un elevado rango entre valores extremos, con un máximo en los 54 minutos, siendo los valores medios de cronas municipales de 19 minutos.

En el caso de los valores promedios están claramente influenciados por el ámbito geográfico en el que se inserta el hospital, siendo la estructura de la red viaria, afectada por la orografía y la localización de los núcleos de población respecto a ésta los factores determinantes de los niveles de accesibilidad. No obstante, existen algunos casos que llaman la atención como la crona media del Hospital de Alta Resolución de la Janda, excesivamente elevada debido a la crona municipal del municipio Benalup-Casas Viejas.

Por último las diferencias de accesibilidad en el marco de las áreas de influencia de los Hospitales de Alta Resolución matizan los promedios calculados. Es por ello que disponer de mapas de isocronas para cada ámbito de análisis puede facilitar la evaluación pormenorizada de la accesibilidad como criterio de planificación e identificar aquellos núcleos de población que deben centrar futuras actuaciones de mejora en el acceso a los centros proyectados.

## AGRADECIMIENTOS

La comunicación contiene algunos de los resultados obtenidos en el Proyecto de Investigación “Evaluación de la mejora de la accesibilidad de la población andaluza a la red de hospitales públicos mediante Sistemas de Información Geográfica” realizado en el marco del Programa de Doctorado “Estrategias de Ordenación del Territorio” de la Universidad Pablo de Olavide, diciembre de 2009. La oportunidad de investigar en el proceso de desarrollo de la Red de Hospitales de Alta Resolución y sus implicaciones territoriales ha sido posible gracias a la colaboración de la Dirección General de Planificación e Innovación Sanitaria de la Consejería de Salud de la Junta de Andalucía.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Barrientos Martínez, M.A. (2007): *Network Analyst. El Análisis de Redes desde ArcGis 9.2*. <http://www.scribd.com/doc/7358364/Network-Analyst-El-Analisis-de-Redes-Desde-ArcGIS-9>

Bosque Sendra, J. (1997): *Sistemas de Información Geográfica*. Ediciones Rialp, Madrid, pp.

Bosque Sendra, J. y Moreno Jiménez, A. (2004): *Sistemas de Información Geográfica y localización de instalaciones y equipamientos*. Ra-Ma, Madrid, pp. 353.

Caravaca Barroso, I. et al (2009): *Dinamismo, innovación y desarrollo en ciudades pequeñas y medias de Andalucía*. Consejo Económico y Social de Andalucía, Junta de Andalucía, Sevilla, pp. 392.

Comisión de las Comunidades Europeas (2003): *Libro Verde sobre los Servicios de Interés General*. Comisión de las Comunidades Europeas, Bruselas.

Consejería de Obras Públicas y Transportes (2006): *Plan de Ordenación del Territorio de Andalucía. Decreto 206/2006 de 28 de noviembre*. Consejería de Obras Públicas y Transportes, Junta de Andalucía, Sevilla, pp. 206.

Consejería de Salud (1996): *Transformación de la Red Hospitalaria. Andalucía 1982-1995*. Consejería de Salud, Junta de Andalucía, Sevilla, pp. 155.

Consejería de Salud (2004a): *Libro Blanco de la Atención Especializada en Andalucía*. Consejería de Salud, Junta de Andalucía, Sevilla, pp. 172 [inédito].

Consejería de Salud (2004b): *Libro Blanco de la Atención Especializada en Andalucía*. Desarrollo de los Centros Hospitalarios de Alta Resolución. Consejería de Salud, Junta de Andalucía, Sevilla, pp. 52 [inédito].

Consejería de Salud y Consumo (1984): *Situación y futuro de la Red Hospitalaria de Andalucía*. Consejería de Salud y Consumo, Junta de Andalucía, Sevilla, pp. 175.

Gutiérrez Puebla, J. (1998): *Redes, espacio y tiempo. Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, nº 18, pp. 65-86.

Gutiérrez Puebla, J. (2003): *Infraestructuras, redes y dinámicas de transporte*, en LÓPEZ LARA, E. (coord.), *Servicios y Transportes de desarrollo territorial de España*. Universidad de Sevilla, Sevilla, pp. 317-336.

Escalona Orcao, A.I. y Díez Cornago, C. (2003): Accesibilidad geográfica de la población rural a los servicios básicos de salud: estudio en la provincia de Teruel. *Revista de Estudios sobre Despoblación y Desarrollo Rural*, nº 3, pp. 111-149.

Redondo, J.C. (2003): Estudio de accesibilidad y cobertura de la red de asistencia sanitaria de la Comunidad de Madrid. *Geosanidad*, nº 10, pp.1-8.

Redondo, J.C. (2005): Estudio de accesibilidad y cobertura de la red de transporte público y asistencia sanitaria de la Comunidad de Madrid. II. Accesibilidad a los centros de atención especializada. *Geosanidad*, nº 15, pp.1-8.

Zoido Naranjo, F. (coord.) (2001): *Informe de Desarrollo Territorial de Andalucía*. Universidad de Sevilla. Sevilla.

Zoido Naranjo, F. y Caravaca Barroso, I. (coords.) (2005): *Segundo Informe de Desarrollo Territorial de Andalucía*. Universidad de Sevilla, Sevilla.