

# ESTUDIO SOBRE LA ACCESIBILIDAD DE LOS CENTROS SANITARIOS PÚBLICOS DE CATALUÑA

*Ester Prat<sup>1</sup>, Joan Sánchez<sup>1</sup>, Lluís Pesquer<sup>1</sup>, Miquel Olivet<sup>2</sup>, Joan Aloy<sup>2</sup>, Josep Fusté<sup>2</sup> y Xavier Pons<sup>3,1</sup>*

(1) Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales (CREAF), Edificio C, Universidad Autónoma de Barcelona 08193 Bellaterra (Barcelona) - e.prat@creaf.uab.cat

(2) Departamento de Salud, Generalidad de Cataluña, Travesera de las Cortes, 131-159 (Edificio Olimpia) 08028 Barcelona - [catsalut@catsalut.net](mailto:catsalut@catsalut.net)

(3) Departamento de Geografía, Edificio B, Universidad Autónoma de Barcelona 08193 Bellaterra (Barcelona) - xavier.pons@uab.cat

## RESUMEN

*Este estudio presenta un análisis de la accesibilidad de los centros sanitarios públicos de Cataluña mediante la utilización de herramientas de cálculo de rutas óptimas, integradas en un SIG. Estas herramientas son útiles para el tratamiento de este tipo de información, aunque su aplicación práctica no siempre resulta sencilla, especialmente debido a la diversidad de informaciones de base existentes y a sus distintas adecuaciones a los propósitos de cada estudio según su completitud, topología, etc. En este trabajo se abordan los procedimientos seguidos para el cálculo de distancias y tiempos de acceso a través de una red de carreteras desde los núcleos de población a los servicios sanitarios. Algunos de los obstáculos salvados han sido el tratamiento correcto de las conexiones o superposiciones de viales a diferentes niveles, la digitalización de tramos inexistentes en la red original para la conexión de todos los núcleos y la asignación algorítmica de los atributos de los núcleos y los centros a nodos de la red, necesaria para el cálculo de las rutas óptimas. Los resultados ponen de manifiesto el interesante potencial de la metodología utilizada en la planificación territorial de los servicios sanitarios y los principales puntos a mejorar en términos de accesibilidad de la población a los recursos sanitarios.*

*Palabras Clave: Accesibilidad, Sanidad Pública, Rutas óptimas, SIG*

## ABSTRACT

*This work presents an analysis of the accessibility of public health centers in Catalonia through the use of optimum routes calculation tools, included in a GIS. These tools are useful for the management of this type of information, although their practical application is not always easy, especially due to the variety of existing informations and their different adaptation to the purposes of every study depending on their integrity, topology, etc. In this work the procedures followed in the calculation of distances and times of access through a road net from the villages to the health services are described. Some of the difficulties that have been overcome are the transformation of the village areas to point entities, the digitalization of non-existent stretches in the original road net to connect all the villages, the correct processing of the different level connections and superpositions of roads and the algorithmic allocation of the villages and health centers attributes to the net nodes, necessary in the calculation of the optimum routes. The results show the interesting potential of the used methodology in the geographical planning of the health services and the main weak points in terms of population's accessibility to health resources.*

*Key Words: Accessibility, Public Health System, Optimum routes, GIS*

## INTRODUCCIÓN

La asistencia sanitaria pública catalana se organiza en un conjunto de centros sanitarios repartidos por el territorio, los cuales ofrecen diferentes servicios en función de las localizaciones del centro y de la población servida, así como de las necesidades de dicha población. Esta organización, su análisis y planificación son recogidos en el Mapa sanitario, sociosanitario y de salud pública de Cataluña, presentado en mayo de 2008 por el Departamento de Salud de la Generalitat de Cataluña (Departament de Salut, 2008).

En el marco de la elaboración del Anteproyecto del Mapa sanitario, en pleno análisis de la situación actual y planificación futura de la infraestructura sanitaria catalana, se planteó la necesidad de desarrollar análisis territoriales objetivos de la adecuación de los servicios sanitarios a la distribución de la población en el territorio. Al margen, pues, de la herramienta de planificación y evaluación que supone el Mapa, se llevó a cabo este estudio de la accesibilidad de los centros sanitarios públicos de Cataluña como experiencia en el uso de técnicas objetivas para el análisis y la cuantificación de dicha adecuación.

La accesibilidad de un servicio puede definirse como el grado con el que éste puede ser usado, visitado o accedido por sus usuarios, pudiendo ser medida en función de cualquier tipo de coste que implique el uso, visita o acceso a los mismos (Salado et al., 2006; Bosque y Moreno, 2004; Thill y Kim, 2005; Varela, 2004; Ajenjo y Alberich, 2003; Rietveld y Woudenberg, 2003). En este sentido, existen numerosos trabajos que han desarrollado escenarios similares al planteado en este estudio, utilizando medidas de accesibilidad a servicios o a lugares de interés (Ohta et al., 2007; Messina et al., 2006; Varela et al., 2006; Kalogirou y Mostratos, 2004; Redondo, 2003; Comissió de Mobilitat del Pacte Industrial, 2003; Escalona y Díez, 2002; Gutiérrez y García, 2002; Brabyn y Skelly, 2001). El cálculo de la accesibilidad de los centros sanitarios proporciona una medida cuantitativa de la proximidad de los servicios a los usuarios, de modo que puede argumentarse y justificarse objetivamente la cobertura sanitaria de la población.

En este estudio la accesibilidad ha sido evaluada mediante la mínima distancia a recorrer para los usuarios desde su lugar de residencia hasta el servicio sanitario más cercano, y el tiempo invertido en ese recorrido, teniendo en cuenta el transporte privado por carretera. Los cálculos se han llevado a cabo mediante el Sistema de Información Geográfica MiraMon (Pons, 2000; Santos y Cocero, 2006) y utilizando datos sobre las ubicaciones de los núcleos de población y los centros sanitarios de Cataluña, así como un grafo con las vías de comunicación existentes y sus velocidades de recorrido asociadas.

## ÁMBITO DE ESTUDIO

El territorio catalán se divide en siete Regiones Sanitarias, que cuentan con una cierta dotación de recursos sanitarios de atención primaria y de atención especializada para atender las necesidades de la población. Cada región se ordena, a su vez, en Gobiernos Territoriales de Salud (GTS), donde se desarrollan y coordinan las actividades de promoción de la salud, prevención de la enfermedad, salud pública y asistencia sociosanitaria en el nivel de atención primaria y de las especialidades médicas. Los Gobiernos están constituidos por la agrupación de Áreas Básicas de Salud (ABS). El Área Básica de Salud es la unidad territorial elemental a través de la cual se organizan los servicios de atención primaria de salud. Son unas unidades territoriales formadas por barrios o distritos en las áreas urbanas, o por uno o más municipios en el ámbito rural. Todas estas delimitaciones son determinadas en función de factores geográficos, socioeconómicos, demográficos, laborales, epidemiológicos, culturales, climáticos, de vías de comunicación homogéneas, así como de instalaciones sanitarias existentes, teniendo en cuenta la ordenación territorial de Cataluña y en función de la accesibilidad de la población a los servicios y de la eficiencia en la organización de los recursos sanitarios.

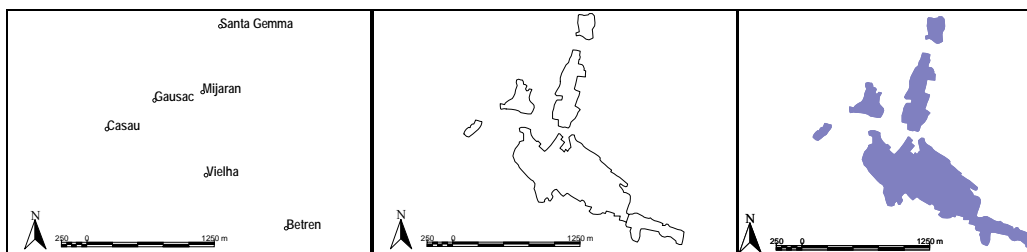
La distribución de la población en Cataluña sigue una estructura claramente heterogénea, concentrándose principalmente en grandes áreas urbanas. Según datos de 2006, 3 de las 41 comarcas (Barcelonès, Vallès Occidental y Baix Llobregat) concentraban más del 50% del total de la población y casi el 65% se encontraba repartida en sólo 5 comarcas (IDESCAT, 2006). Por lo que refiere a las vías de comunicación, la provincia de Barcelona dispone del doble de vías que el resto de provincias, sobre todo de vías de doble calzada y de autopistas libres y autovías (Departament de Política Territorial i Obres Públiques, 2005), reflejando también la mayor concentración de población en la Región Metropolitana de Barcelona. Esta distribución afecta a los procesos de planificación de servicios, que deben concentrarse también en las áreas más pobladas, pero sin descuidar y asegurando la dotación de las áreas menos habitadas.

En este sentido, el presente estudio resulta de interés por cuanto analiza en mayor medida los trayectos interurbanos, es decir, los desplazamientos entre núcleos de población, que son también los de mayor interés en la planificación sanitaria, dado que implican núcleos que no disponen de un servicio propio y que, por tanto, dependen de manera más crítica de la distancia o el tiempo en el que sus habitantes alcanzan el servicio. Los tra-

yectos dentro de un mismo núcleo requerirían de completos callejeros de las poblaciones, información de la cual no se disponía, a la vez que de menor interés estratégico para la planificación. Asimismo, los trayectos efectuados utilizando transporte público no se han contemplado por no disponer de información suficiente y por considerar que el tratamiento de las rutas resultaría distinto, reservándose, pues, para análisis posteriores.

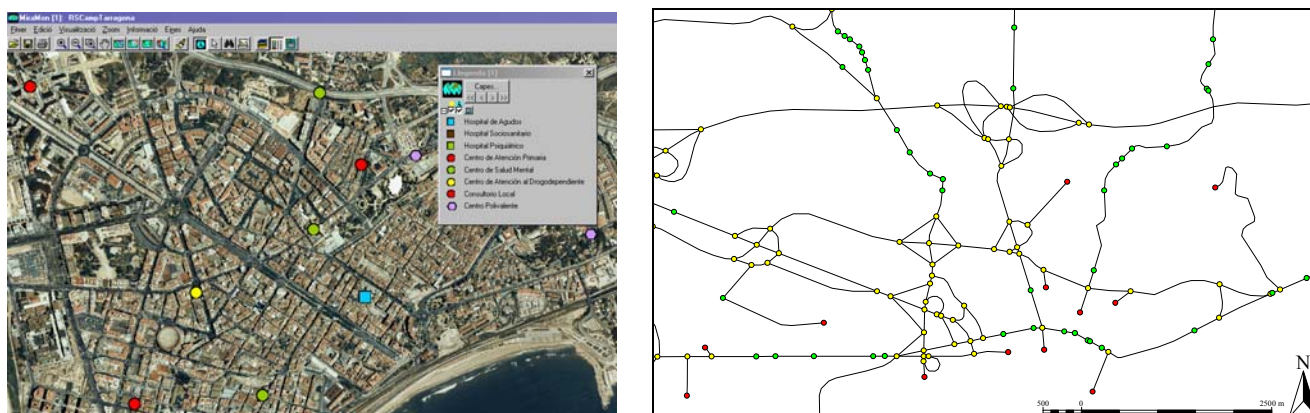
## MATERIAL

Se exponen a continuación las características de los datos de partida, con el objetivo de describir y concretar el ámbito de estudio. En primer lugar, la capa gráfica correspondiente a los núcleos de población de Cataluña procedía del Departamento de Gobernación y Administraciones Públicas de la Generalitat de Catalunya, y estaba disponible en 3 tipos de entidades: puntos, líneas y polígonos (Figura 1). Cada uno de los ficheros estaba asociado a una tabla de atributos de los núcleos, entre los cuales se encontraba la población censada en el año 2005, dividida por sexos. El total de núcleos de población era de 3199, de los cuales 60 contaban con población igual a 0. Estos núcleos fueron descartados de la base utilizada en el estudio; la mayoría eran polígonos industriales o núcleos deshabitados, para los cuales no se consideró relevante investigar la proximidad a los centros sanitarios. Así pues, los núcleos de población tenidos en cuenta en el estudio han sido los 3139 correspondientes a los núcleos con población registrada en la base de datos del Departamento de Gobernación en el año 2005.



**Figura 1.** Ejemplo de los ficheros de núcleos de población proporcionados por el Departamento de Gobernación y Administraciones Públicas. A la izquierda fichero de puntos, en el centro fichero de arcos y a la derecha fichero de polígonos.

Las ubicaciones de los centros sanitarios se obtuvieron del mismo Departamento de Salud, el cual contaba con una base cartográfica de puntos asociada a una extensa base de datos descriptiva de las características de cada centro sanitario y de los servicios ofrecidos por cada uno. Los datos correspondían también al año 2005. El total de centros sanitarios era de 1546, de tipologías y servicios diversos, como se aprecia en la Figura 2.



**Figura 2.** A la izquierda, muestra de la capa de localización de centros sanitarios, simbolizados mediante formas y colores diferentes sobre una ortofotografía 1:5000 (ICC). A la derecha, muestra del grafo de carreteras con sus correspondientes arcos y nodos. Los nodos en verde indican cambios en los atributos de la vía.

Para calcular los desplazamientos entre núcleos y centros se utilizó un grafo de carreteras (O'Sullivan y Unwin, 2003; Laurini y Thompson, 1992) proporcionado por el Departamento de Política Territorial y Obras Públicas (DPTOP) de la Generalitat de Cataluña. El grafo consistía en un fichero de arcos que representaba el trazado de las vías de comunicación de Cataluña. Según especificaciones del mismo Departamento, correspondía a un grafo 2D, elaborado a partir de cartografía 1:50000 en la Región Metropolitana de Barcelona y 1:250000 para el resto de Cataluña. Los atributos asociados a los arcos eran, entre otros, la nomenclatura de la vía, la velocidad de recorrido libre, la clasificación funcional de la carretera y la IMD (intensidad media diaria) de tráfico (ver Figura 2).

Las velocidades de recorrido libre estaban calculadas a partir de cartografía 1:5000 del año 2003 para las carreteras de las redes básica y comarcal, mientras que para la red local y pistas generalmente eran establecidas en función del tipo de vía. Las características concretas para cada tipo de carretera eran las siguientes:

- Red básica: calculada según flujo libre y limitada superiormente a 120 km/h
- Red comarcal: establecida de forma genérica a 60 km/h, aunque se calculó la velocidad de flujo libre para algunas
- Red local: establecida de forma genérica a 50 km/h
- Pistas y vías no catalogadas: establecida de forma genérica a 19 km/h

Cabe remarcar que las velocidades utilizadas no corresponden a velocidades reales de circulación, en el sentido de que no son velocidades medidas *in situ* en el terreno, sino que son modelizadas en función de los trazados y tipologías de las vías. Esta particularidad y el hecho de que correspondan al año 2003 hace que los resultados obtenidos sean menos optimistas a los esperados en condiciones reales en la actualidad.

## METODOLOGÍA

Como ya se ha comentado, debido a las especificaciones de los distintos servicios disponibles en cada centro sanitario en la base de datos de centros, han podido llevarse a cabo análisis específicos teniendo en cuenta sólo los centros de un solo tipo o con un tipo determinado de servicio. A la vez, y por disponer también de las divisiones administrativas sanitarias en que se divide el territorio catalán, propias de la Administración sanitaria catalana y proporcionadas por el propio Departamento de Salud, han podido efectuarse análisis territoriales dentro de cada división sanitaria, prescindiendo de los demás núcleos y centros existentes. Además, se han llevado a cabo análisis únicamente teniendo en cuenta los centros y no los núcleos, estudios de interés para conocer la proximidad y dependencia de los servicios entre sí. Los diferentes niveles de análisis y las grandes tipologías de servicios incluidas en cada uno se especifican en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Resumen de los distintos niveles de análisis efectuados y de las tipologías de servicios incluidas en cada uno.

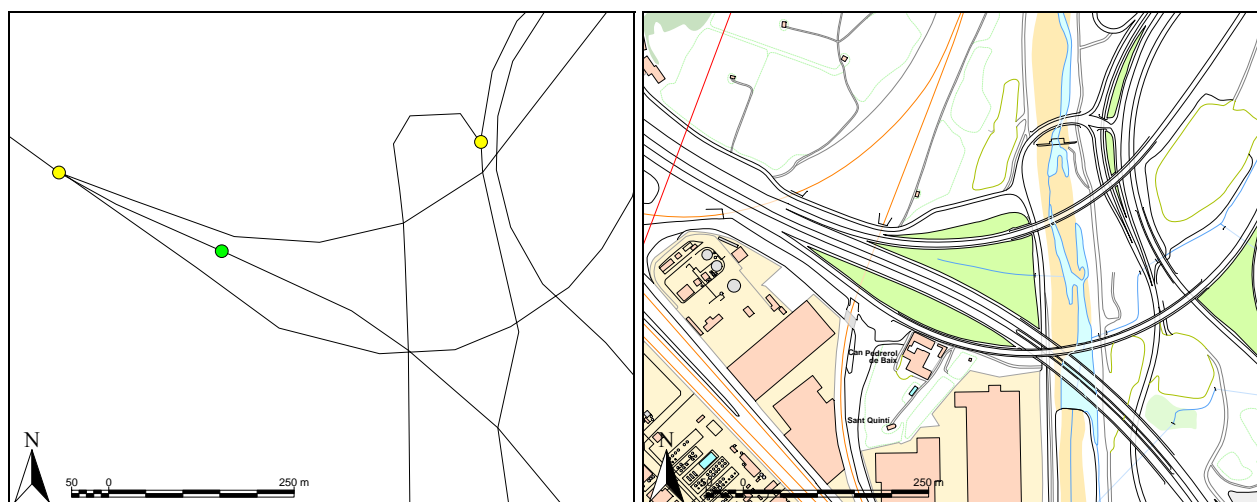
Nivel	General	Gobiernos Territoriales de Salud	Áreas Básicas de Salud	Centros de Atención Primaria	Consultorios locales
<b>Servicios analizados</b>					
Red de atención primaria (2 tipos de centros)	✓		✓		✓ (sólo a Centros de Atención Primaria)
Red hospitalaria de utilización pública (1 tipo de centro)	✓	✓		✓	
Salud mental y adicciones (7 tipos de centros)	✓	✓		✓	
Sociosanitario (3 tipos de centros)	✓	✓		✓	

El total de casos estudiados fue de 38 diferentes en relación a los núcleos origen y los centros de destino. En una primera aproximación, el análisis general ofrece datos sobre la proximidad de las diferentes tipologías de servicios a todos los núcleos de población de Cataluña, sin tener en cuenta ninguna división territorial sanitaria. En una segunda aproximación, se ha estudiado la accesibilidad de los centros dentro de las propias divisiones administrativas sanitarias, concretamente dentro de las Áreas Básicas y los Gobiernos Territoriales de Salud. En una tercera aproximación que sólo implicaba los centros sanitarios, las distancias calculadas indican las proximidades de los consultorios locales a los centros de atención primaria, y de éstos al resto de servicios.

### Importación de los datos

En primer lugar, y en el caso de las capas de núcleos de población y del grafo de carreteras, hubo que transformar los datos de partida, originalmente en formatos shapefile de ESRI (Environmental Systems Research Institute, 1998), a formatos compatibles con el *software* a utilizar en el trabajo, el SIG MiraMon. Este procedimiento no fue necesario para el caso de la capa de centros sanitarios, que el Departamento de Salud había elaborado en el formato propio de MiraMon (.pnt). Mediante la herramienta de importación de ficheros vectoriales de MiraMon se transformaron las capas de núcleos y el grafo de carreteras a ficheros de puntos (.pnt) y de arcos (.arc) respectivamente.

En este último caso hubo que descartar el proceso de estructuración topológica que ofrece el programa, para no perder las superposiciones de carreteras a distintos niveles. La estructuración topológica de arcos (Bonham-Carter, 1994; Franch, 1995) exige la existencia de un nodo en la intersección entre dos arcos para mantener la coherencia topológica, pero esto implica que los arcos se encuentran todos en un mismo plano y, por tanto, a la misma altura, con lo cual no permite representar superposiciones de viales a distintos niveles debidos, por ejemplo, a la existencia de puentes. Estos casos son abundantes en una red de carreteras y deben mantenerse sin estructurar, para evitar generar conexiones no reales entre vías de comunicación (Figura 3).



**Figura 3.** En la figura de la izquierda puede observarse cómo algunos arcos que cruzan con otros forman intersecciones estableciéndose conexiones entre las dos vías (existencia de nodos) y, en cambio, en otros casos no existe intersección (ausencia de nodos), lo que significa que las carreteras se cruzan a distinto nivel y, por tanto, no hay posibilidad de conexión entre ellas en ese punto, como puede apreciarse en la figura de la derecha, correspondiente a una captura del Mapa Topográfico 1:5000 de la zona (ICC), con el trazado de las vías de comunicación y sus correspondientes puentes.

### Descripción del módulo Rutes

El módulo Rutes, diseñado a partir de este estudio e incorporado posteriormente al SIG MiraMon, ha sido la herramienta utilizada para el cálculo de las rutas óptimas. Su función consiste en determinar las rutas que

minimizan el desplazamiento para ir de un conjunto de localizaciones origen (ej.: núcleos de población) a un conjunto de posibles localizaciones destino (ej.: centros sanitarios), ya sea en términos de distancia, tiempo, o bien a partir de cualquier otra variable (impedancia) que represente el coste del desplazamiento.

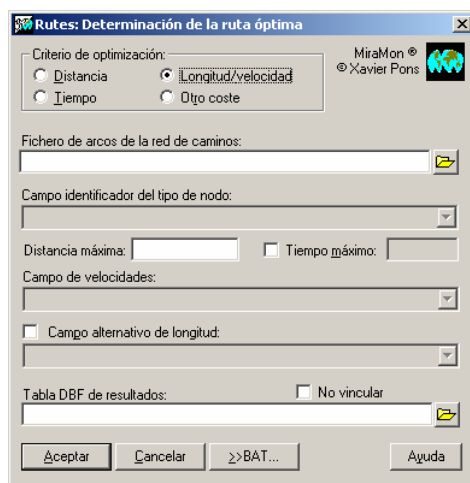
Las localizaciones origen y las posibles localizaciones destino deben estar conectadas a la red que define el conjunto de las posibles rutas (ej.: red de carreteras). Eso significa que deben corresponder a nodos de la red (puntos en los cruces o en los cambios de atributos a lo largo de la red de carreteras), ya que las rutas se calculan partiendo de un nodo origen de la red y van recorriendo arcos acumulando costes hasta encontrar un nodo destino. Por este motivo, los nodos deben llevar información sobre su función (origen o destino) en las rutas, la cual debe establecerse en un campo de la base de datos de los nodos, que el usuario debe crear y rellenar. Los valores aceptados para este campo son:

- "O", para los nodos origen.
- "D", para los nodos destino .
- "A", en ambos casos, o sea, para los nodos origen y destino a la vez.
- "", en blanco para los nodos que no sean origen ni destino.

Por su lado, los arcos que definen la red (carreteras, en este caso) determinan las conexiones directas entre nodos, y en su base de datos deben existir campos que definan los costes asociados a cada conexión (ej.: longitud para calcular la distancia y velocidad de circulación para calcular el tiempo).

El fichero resultado es una tabla que permite establecer una relación entre cada nodo origen y un nodo destino que optimiza su recorrido, con los costes de la ruta óptima encontrada entre ellos (siempre que exista al menos una sucesión de arcos que conecte el nodo origen y el nodo destino, y su coste acumulado sea inferior al coste máximo especificado). De esta manera, un mismo nodo destino puede ser el final de uno o más caminos óptimos, o bien no serlo de ninguno.

La interfaz de la aplicación es la mostrada en la Figura 4.



**Figura 4.** Interfaz de la aplicación Rutes, del *software* MiraMon.

Como puede observarse, en el proceso puede especificarse una distancia máxima y un tiempo máximo, con la finalidad de limitar las rutas dentro de unos valores deseados.

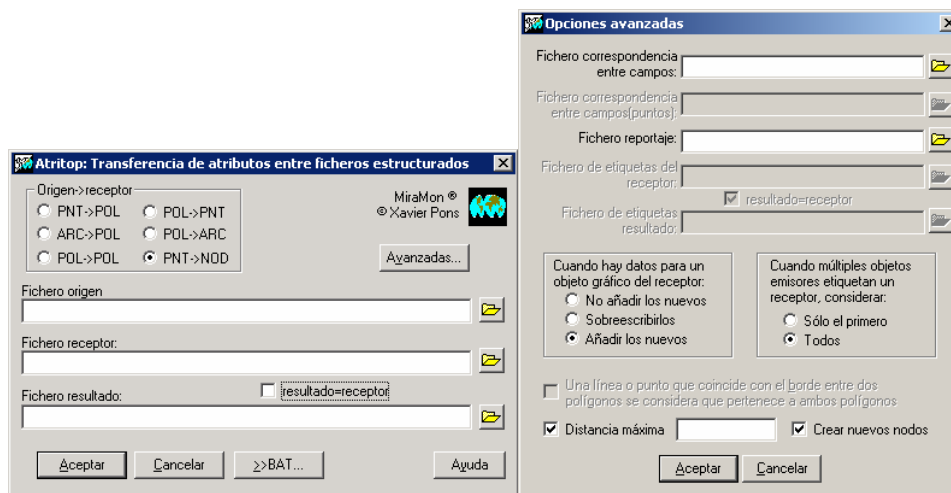
### Preparación de la capa de nodos

Para empezar con los análisis de las rutas, debió adecuarse la información inicialmente disponible en capas de puntos (tanto los núcleos habitados como los centros sanitarios) para que ésta figurara en la capa de nodos de la red viaria a introducir en los cálculos y así poder especificar las funciones de los nodos. Con este fin, había

que llevar a cabo dos pasos: seleccionar el nodo más cercano a cada punto como representante de esa entidad y etiquetarlo en un campo nuevo con su función en los cálculos.

Este segundo paso había que realizarlo para cada caso analizado (es decir, el valor del campo indicativo de la función del nodo debía ser diferente según el análisis: análisis general con todos los núcleos y todos los centros sanitarios, análisis sólo con los núcleos y centros de una división administrativa concreta, distancias entre consultorios locales y Centros de Atención Primaria, etc.). Por este motivo, se automatizaron los procesos mediante programación BATCH (Microsoft Corporation, 2008; Dearwent et al., 2001). Para la asignación de las características de los puntos a los nodos más cercanos, se desarrolló una nueva opción en el módulo AtriTop del mismo SIG MiraMon.

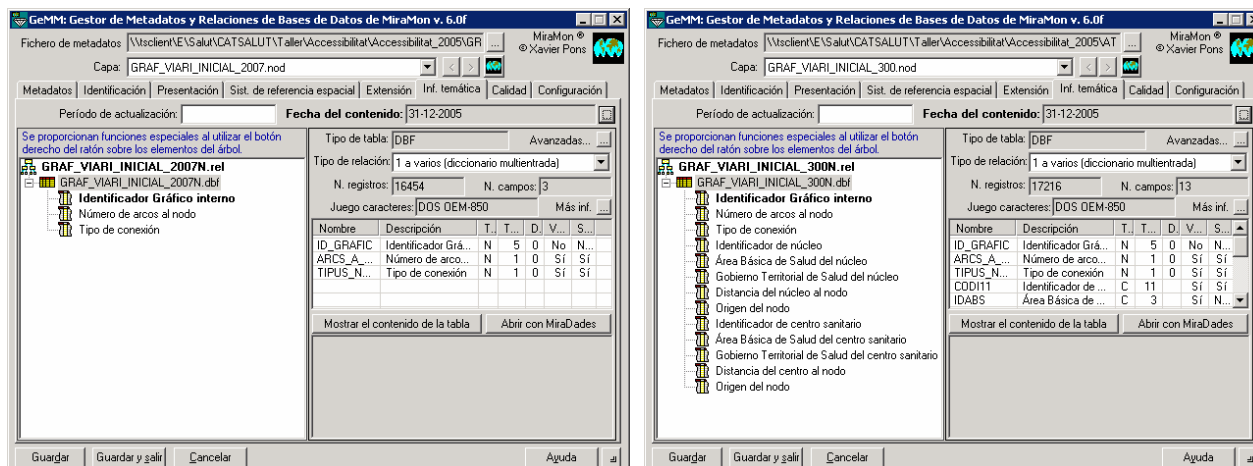
El módulo AtriTop permite la transferencia de atributos desde una base gráfica a otra a través de una relación geométrica entre ellas. Puede transferir atributos desde una base de puntos o de arcos a una base de polígonos que los contenga o, viceversa, transferir a los puntos o a los arcos los atributos del polígono en el cual están, etc. En la nueva opción desarrollada, es posible transferir atributos desde una base de puntos a una base de nodos, dentro de una distancia especificada (ver Figura 5).



**Figura 5.** Vista de la opción PNT → NOD del módulo AtriTop. En las opciones Avanzadas puede especificarse una distancia máxima y la opción de crear nuevos nodos.

La aplicación detecta, alrededor de cada punto, el nodo más cercano (en este caso de la red de carreteras) y le asigna los atributos temáticos del núcleo o centro representado por aquel punto. Permite definir, además, una distancia máxima entre los puntos y los nodos, a partir de la cual ya no se asignan los atributos a los nodos siguientes por considerarlos demasiado alejados. Esta opción resulta útil para acotar la dispersión, aunque deja sin transferir los atributos de los puntos afectados. Para mitigar en parte este efecto, existe la opción Crear nuevos nodos, que permite transformar en nodo un vértice de un arco si éste se encuentra dentro de la distancia máxima y no existe un nodo, o bien partir un arco por el lugar más cercano e insertar un nodo de nueva creación, en caso de no existir ni un nodo ni un vértice, siempre dentro de la distancia especificada.

Utilizando la opción PNT → NOD del módulo AtriTop, se transfirieron primeramente los atributos de los núcleos de población al fichero de nodos y posteriormente, sobre el resultado de esta primera transferencia, se añadieron los atributos de los centros sanitarios. El objetivo era disponer de la capa de nodos con la información correspondiente a los núcleos de población y a los centros sanitarios en su tabla asociada, de manera que con una consulta fuera posible saber si un nodo representaba a un núcleo de población, a un centro sanitario, a ambas cosas a la vez, o bien a ninguna de las dos. En la Figura 6 se muestra la tabla original de nodos y la resultante de las aplicaciones de AtriTop, con los campos añadidos correspondientes a la información de núcleos y centros.



**Figura 6.** A la izquierda, tabla original de la capa de nodos con sus campos geométricos, y a la derecha resultado de la transferencia de atributos, con los campos añadidos correspondientes a los núcleos y los centros. Se añadieron los identificadores de núcleo y centro, así como su pertinencia a Áreas Básicas y Gobiernos Territoriales, para los análisis dentro de estas divisiones administrativas. Automáticamente se guardan la distancia del punto original al nodo y el origen del nodo etiquetado (existente, creado a partir de un vértice o añadido).

Se creyó importante utilizar la distancia máxima para no permitir una dispersión demasiado grande de las ubicaciones originales, que podría deformar los resultados, ya que en algunos casos unos metros más o menos podían derivar en diferencias importantes de distancia y tiempo. La decisión sobre la distancia máxima a aplicar fue tomada después de realizar pruebas con varias distancias (desde 50 hasta 1000 metros) y analizar la cantidad de núcleos y centros que quedaban fuera del alcance de un nodo en el radio especificado y el grado de desplazamiento de los atributos asignados dentro del radio (después de utilizar la función Crear nuevos nodos). Era necesario obtener un compromiso entre el mínimo número de atributos no transferidos y el mínimo desplazamiento de éstos para ubicarse en un nodo.

Después de las diferentes pruebas, la distancia límite de 300 metros fue la escogida por cumplir el compromiso de no alejar mucho los atributos de sus ubicaciones originales (en el peor de los casos 0.3 km x 19 km/h  $\approx$  57 segundos) y dejar de transferir un número razonable de atributos que, a consecuencia, deberían ser transferidos manualmente. Después de aplicar la transferencia de los atributos de los núcleos de población a los nodos con la distancia máxima de 300 metros y la opción de Crear nuevos nodos, 593 núcleos quedaron sin nodo asignado, lo que denotó que el grafo de carreteras era pobre en su conectividad a pequeños núcleos.

Para conseguir tener estos núcleos a una distancia de menos de 300 metros de un nodo sin modificar sus ubicaciones originales, la única solución era digitalizar los tramos de carretera necesarios, que en la mayoría de los casos eran de corto recorrido, para acercar la red viaria a la localización de los núcleos. Esta medida modificaba la red proporcionada por el Departamento de Política Territorial y Obras Públicas, pero se creyó más oportuna que utilizar ubicaciones de núcleos y centros con unos errores de localización superiores a 300 metros. El procedimiento seguido para la digitalización de los nuevos tramos se describe a continuación.

La solución adoptada fue añadir al grafo viario original de carreteras los tramos necesarios para acabar conectando todos estos núcleos (o centros, dado que el mismo proceso fue seguido para los centros sanitarios) a la red viaria con una distancia inferior a 300 metros entre puntos y nodos. Los datos correspondientes al grafo original permanecieron intactos, añadiéndose tan sólo los tramos necesarios, diferenciados de los originales por un campo distintivo en la tabla asociada del fichero de arcos.

Para determinar la velocidad de circulación asociada a cada nuevo tramo digitalizado, se estudió primero la distribución estadística de las velocidades existentes en el grafo original por tipo de vía (Tabla 2).

**Tabla 2.** Distribución estadística por tipo de vía de los valores del campo de velocidad en el grafo viario de carreteras proporcionado por el Departamento de Política Territorial y Obras Públicas.

Autopista	Moda: 120.0000	Vía Preferente 1 calzada	Moda: 90.0000
	Media: 112.3066		Media: 99.2490
Carretera 2 calzadas	Moda: 95.0000	Vía Preferente 2 calzadas	Moda: 120.0000
	Media: 94.5455		Media: 103.0783
Carretera	Moda: 50.0000	Carretera (en ciudad)	Moda: 15.0000
	Media: 45.0520		Media: 23.9002

Para definir las categorías de viales que se iban digitalizando, se utilizó el Mapa Topográfico vectorial 1:50000 del Instituto Cartográfico de Cataluña, que distingue autopistas, vías convencionales, vías preferentes y vías no catalogadas en la capa de Infraestructuras de comunicación, así como viales urbanos en la capa PoblamentLin. La capa Infraestructuras de comunicación también detalla la existencia de uno o dos carriles en el vial. Estas categorías eran similares a las diferenciadas en el grafo viario a utilizar en el estudio, por lo que fue fácil establecer una relación entre tipos de vía y asignar, por tanto, las velocidades (Tabla 3).

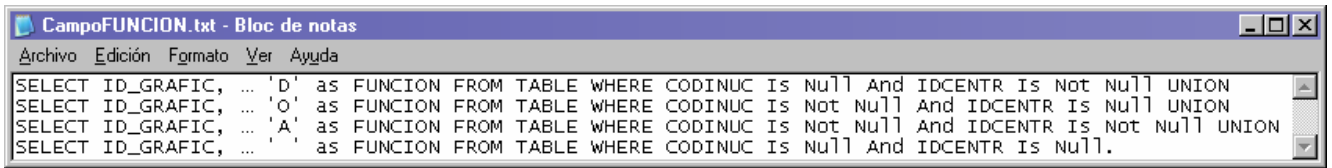
**Tabla 3.** Correspondencia entre los tipos de vía del Mapa Topográfico 1:50000 y las categorías del grafo de carreteras del DPTOP y velocidades asociadas.

Categoría Mapa Topográfico	Categoría Grafo Viario	Velocidad asignada
Autopistas	Autopista	110
Vías Preferentes 1 calzada	Vía Preferente 1 calzada	100
Vías Preferentes 2 calzadas	Vía Preferente 2 calzadas	100
Vías Convencionales 1 calzada	Carretera	45
Vías Convencionales 2 calzadas	Carretera 2 calzadas	95
Vías Urbanas	Carretera (en ciudad)	25
Caminos	-	20

Por lo que refiere a la parte gráfica, se utilizó el mapa de carreteras secundarias del Departamento de Medio Ambiente y Vivienda para copiar los recorridos, ya que con los viales del Mapa Topográfico 1:50000 la escala era mucho más detallada y, por tanto, más difícil de digitalizar, a la vez que no era necesaria su precisión, teniendo en cuenta la escala del grafo viario original (1:50000 en la Región Metropolitana y 1:250000 en el resto de Cataluña). La red de carreteras secundarias de Medio Ambiente no lleva ninguna información de tipo de vía, por eso fue necesario extraer esta información del Mapa Topográfico.

Una vez digitalizados los tramos necesarios para conectar los 593 núcleos que no habían podido ser traspasados a los nodos con un distancia límite de 300 metros, volvió a realizarse la transferencia, con la nueva red ampliada de carreteras, consiguiéndose esta vez traspasar los atributos de los 3139 núcleos de población. A continuación se procedió a realizar el mismo procedimiento con los centros sanitarios. Sobre la capa de nodos de la nueva red de carreteras ya etiquetada con los atributos de los núcleos, se aplicó la transferencia para los atributos de centros y con una distancia igualmente de 300 metros. En este caso, el número de centros no transferidos fue de 81. Igualmente, se modificó el grafo viario con los mismos criterios anteriores, para conseguir asignar los atributos de los 1546 centros sanitarios al volver a efectuar la transferencia.

Una vez los nodos etiquetados con las características de los puntos representados, era necesario crear y llenar el campo descriptivo de la función de los mismos en los análisis de rutas, según estas características y en función del tipo de análisis a efectuar. Para ello sólo hacía falta realizar las consultas pertinentes a los campos transferidos y establecer la función de los nodos como origen (O), destino (D), ambos (A) o ninguna ( ) según la información contenida en los campos identificadores de núcleo y de centro sanitario. El proceso se automatizó para todos los casos distintos, mediante consultas en lenguaje SQL (Structured Query Language; Groff y Weinberg, 1998). Una muestra del tipo de consultas efectuadas se ofrece en la Figura 7.



```
SELECT ID_GRAFIC, ... 'D' as FUNCION FROM TABLE WHERE CODINUC Is Null And IDCENTR Is Not Null UNION
SELECT ID_GRAFIC, ... 'O' as FUNCION FROM TABLE WHERE CODINUC Is Not Null And IDCENTR Is Null UNION
SELECT ID_GRAFIC, ... 'A' as FUNCION FROM TABLE WHERE CODINUC Is Not Null And IDCENTR Is Not Null UNION
SELECT ID_GRAFIC, ... ' ' as FUNCION FROM TABLE WHERE CODINUC Is Null And IDCENTR Is Null.
```

**Figura 7.** Ejemplo de consulta SQL efectuada para construir el campo FUNCION necesario para especificar las funciones de los nodos en el cálculo de rutas.

Por otro lado, después de la transferencia de atributos, un mismo nodo podía estar representando dos tipos de servicios sanitarios distintos ubicados en el mismo edificio o bien dentro de la misma población a menos de 300 metros. En estos casos, el nodo figuraba en la tabla dos o más veces, con una de las informaciones cada vez. Estos duplicados se revisaron para eliminar los multiregistros y adaptar el campo FUNCION para que indicara la función única del nodo en cada análisis concreto, según la tipología de centros en estudio. Este proceso se efectuó también mediante sentencias SQL, todavía más complejas, para asignar a cada nodo una sola función O, D o A, teniendo en cuenta los diferentes registros del mismo nodo para cada caso a analizar.

### **Cálculo de las rutas**

Después de todos los procesos preparatorios de los datos de entrada para el cálculo de las rutas óptimas, se procedió a realizar los análisis mediante el módulo Rutes de MiraMon. De manera automatizada mediante procedimientos BATCH para cada análisis, se especificó el fichero de arcos con la red de carreteras, se indicó el campo FUNCION de los nodos y el campo con las velocidades y se establecieron las tablas de salida. La distancia máxima y el tiempo máximo solicitados para limitar los cálculos se establecieron en 40000000 km y 31536000 minutos, para asegurar que para cada origen se encontraba un destino, ya que el objetivo era cuantificar estas distancias y tiempos, independientemente de su valor.

Finalmente, las tablas resultado de este proceso fueron enlazadas con las capas originales para estudiar las relaciones entre orígenes y destinos de manera gráfica y real, prescindiendo de los nodos, así como para obtener información más elaborada, como mapas y tablas estadísticas, que se muestran en el apartado de Resultados.

## **RESULTADOS**

El primer nivel de resultados corresponde a las estadísticas de las distancias y tiempos obtenidos para cada tipo de análisis efectuado. A partir de estos datos, se generaron tablas y gráficos más elaborados y comparativos, así como mapas de los resultados. Dentro de este apartado se ofrece sólo una muestra de los resultados desarrollados, ya que el volumen generado es demasiado grande para incluirlo en un artículo de las características y objetivos de éste y debido a que algunos de ellos son únicamente de un interés muy específico en la gestión de los recursos sanitarios. La tipología de resultados generados depende del nivel territorial de análisis.

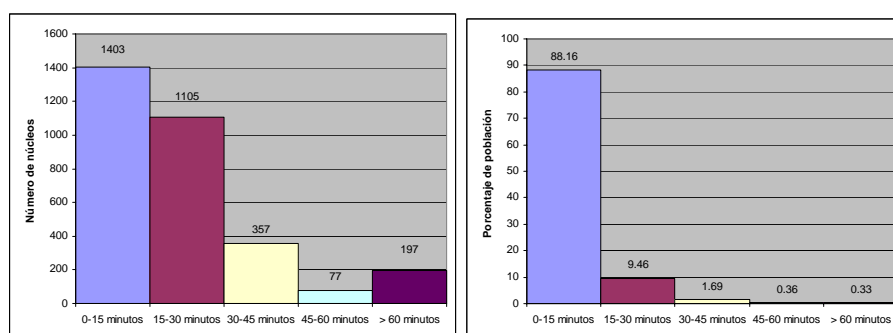
### **Análisis de accesibilidad global**

Para el caso del análisis de todos los núcleos de población con todos los centros y servicios sanitarios a la vez, se desarrollaron tablas estadísticas, así como gráficos y mapas de intervalos. A continuación se ofrece una tabla interesante con las distancias y tiempos medios de recorrido generales en Cataluña para el acceso a cada tipología de servicio sanitario:

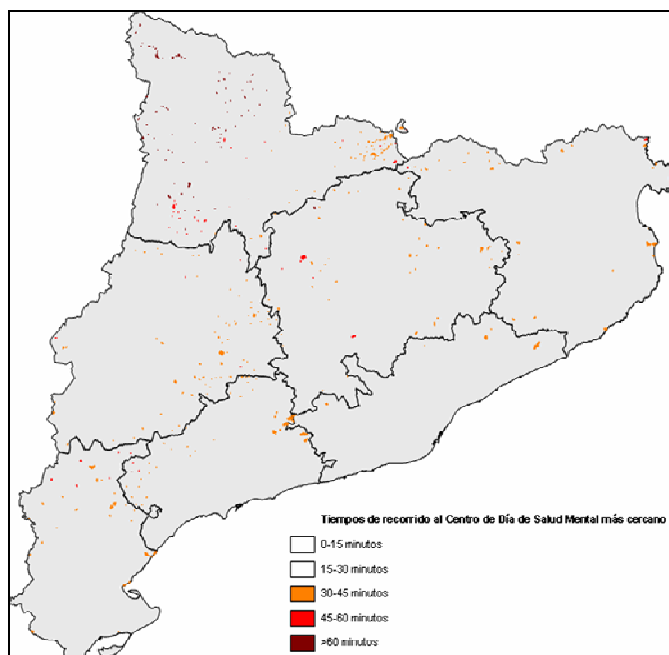
**Tabla 4.** Distancias y tiempos medios y medios ponderados por habitante en el nivel de análisis general para cada tipología de servicios.

	Distancia media (km)	Distancia media ponderada por habitante (km)	Tiempo Medio (minutos)	Tiempo medio ponderado por habitante (minutos)
<b>Centros de Atención Primaria</b>	7.20	1.00	9.32	1.18
<b>Centros de Atención Primaria y Consultorios locales</b>	2.42	0.20	3.85	0.42
<b>Hospitalización de Agudos</b>	17.37	5.26	18.64	5.41
<b>Centros de Salud Mental de Adultos</b>	15.30	3.76	17.06	4.22
<b>Centros de Salud Mental Infantil y Juvenil</b>	15.81	4.21	17.56	4.99
<b>Centros de Día de Salud Mental</b>	21.68	4.91	23.26	5.37
<b>Hospitales de Día de Salud Mental</b>	33.49	9.08	32.58	8.98
<b>Centros de Atención al Drogodependiente</b>	17.11	4.98	18.70	5.34
<b>Centros de Internamiento de Agudos de Salud Mental</b>	38.90	12.15	36.02	10.80
<b>Centros de Media y Larga Estancia de Salud Mental</b>	39.86	16.73	35.57	14.27
<b>Hospitales de Día Sociosanitarios</b>	20.34	5.13	21.97	5.32
<b>Centros Hospitalarios Sociosanitarios de Media Estancia y Convalecencia</b>	17.52	5.00	19.15	5.32
<b>Centros de Hospitalización Sociosanitarios de Larga Estancia</b>	16.91	4.67	18.52	4.93

A continuación se ofrece una reproducción de los gráficos generados con estadísticas de número de núcleos y población para cada servicio sanitario analizado a nivel de toda Cataluña, así como un ejemplo de mapa de distribución de los núcleos según los intervalos de tiempo de recorrido. Ambos resultados se han elaborado también para distancias.

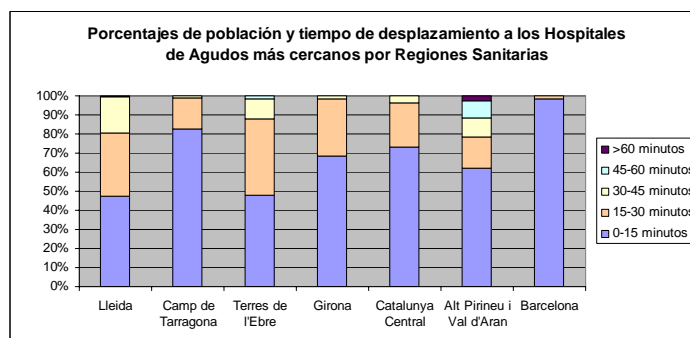


**Figura 8.** Reproducción de gráficos estadísticos para el caso general de Cataluña. Distribución del número de núcleos y el total de población en intervalos de tiempo mínimo a los Centros de Día de Salud Mental.



**Figura 9.** Mapa elaborado para el caso general de Cataluña. Distribución de los núcleos de población en función de los intervalos de tiempo mínimo a los Centros de Día de Salud Mental

A partir de estos resultados, también se analizó la situación en cada Región Sanitaria, la división administrativa sanitaria de más extensión, resumiéndose mediante tablas estadísticas y gráficos como el que se muestra a continuación:



**Figura 10.** Gráfico resumen de la situación en las distintas Regiones Sanitarias. Porcentajes de población por intervalos de tiempo para el caso de los Hospitales de Agudos.

### Análisis de accesibilidad específica de los Gobiernos Territoriales y la Áreas Básicas de Salud

Para cada tipo de servicio sanitario se dispone de tablas con las estadísticas de núcleos y población por intervalos de tiempo y distancia dentro de las divisiones territoriales sanitarias correspondientes a los Gobiernos Territoriales de Salud y las Áreas Básicas de Salud. La tabla siguiente detalla los datos de distancia media y tiempo medio para un Gobierno Territorial concreto.

**Tabla 5.** Distancias medias y tiempos medios a los distintos servicios sanitarios para el Gobierno Territorial Baix Camp.

<b>GOBIERNO TERRITORIAL BAIX CAMP</b>	<b>Distancia media (km)</b>	<b>Tiempo medio (minutos)</b>
<b>Hospitalización de Agudos</b>	14,53	13.28
<b>Centros de Salud Mental de Adultos</b>	15,00	13.38
<b>Centros de Salud Mental Infantil y Juvenil</b>	15,00	13.38
<b>Centros de Día de Salud Mental</b>	15,10	13.00
<b>Hospitales de Día de Salud Mental</b>	15,10	13.00
<b>Centros de Atención al Drogodependiente</b>	14,59	12.84
<b>Centros de Internamiento de Agudos de Salud Mental</b>	15,10	13.06
<b>Centros de Media y Larga Estancia de Salud Mental</b>	14,89	12.08
<b>Hospitales de Día Sociosanitarios</b>	14,29	11.65
<b>Centros Hospitalarios Sociosanitarios de Media Estancia y Convalecencia</b>	14,51	13.05
<b>Centros de Hospitalización Sociosanitarios de Larga Estancia</b>	14,45	11.84

En estos casos en que se disponía de datos para el interior de la propia división sanitaria, así como para el caso del análisis sin restricciones territoriales, se efectuaron comparaciones de las distancias y tiempos obtenidos para ambas situaciones, que permiten detectar las zonas con servicios más próximos en una división distinta a la suya, y estudiar, por tanto, la adecuación de los límites de las divisiones.

## CONCLUSIONES

La estimación de la accesibilidad de los servicios públicos como medida de su adecuación a la distribución de la población a cubrir es posible mediante el uso de los Sistemas de Información Geográfica, y resulta útil en la planificación de dichos servicios. Proporciona un análisis cuantificado de su distribución territorial, que puede relacionarse con las características de la población atendida y facilitar la detección de puntos débiles en la oferta de servicios y detectar cambios demográficos y territoriales ocurridos o acciones necesarias.

Como conclusiones principales del estudio pueden destacarse las siguientes:

- en general la gran mayoría de núcleos y de población dispone de la mayoría de servicios sanitarios en distancias y tiempos aceptables e incluso muy aceptables.
- este efecto es consecuencia del hecho que la mayor parte de la población de Cataluña reside en los principales núcleos urbanos de grandes dimensiones, que son los que principalmente acogen los servicios sanitarios.
- por lo que refiere a las Regiones Sanitarias o a los Gobiernos Territoriales, existen diferencias destacadas entre algunas zonas, sobre todo para el caso de algunos servicios (Salud Mental, por ejemplo).
- estas diferencias se dan habitualmente siempre entre las mismas zonas, que resultan ser las de acceso más difícil (montañas) y también las menos pobladas.

Para realizar un estudio completo, sería útil disponer de información de todos los medios de desplazamiento de los usuarios, incluyendo el transporte público y los desplazamientos a pie, que proporcionarían resultados más aproximados a la realidad. Mediante el acceso a información sobre líneas y frecuencias de paso de los distintos transportes públicos intraurbanos e interurbanos y el uso de callejeros completos y a escala detallada, podría llevarse a cabo un análisis más completo de la situación desde el punto de vista de todos los usuarios, con medios de acceso distintos a los servicios sanitarios públicos. También podría tenerse en cuenta la disponibilidad de transporte adaptado para personas con disminución de movilidad.

Asimismo, y para el caso del transporte privado por carretera, sería de utilidad, en un análisis futuro, obtener un grafo viario de mayor actualidad y con velocidades de circulación medidas en las propias carreteras, como mejor aproximación a los desplazamientos reales de los usuarios. Con esta información y el uso de los Sistemas de Información Geográfica pueden desarrollarse análisis interesantes y útiles en el campo de la planificación de servicios públicos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ajenjo Cosp, M. y Alberich González, J. (2003): La utilització de la variable població en els indicadors d'accessibilitat. Avantatges i inconvenients. *Papers de Demografia*, 227.

Bonham-Carter, G.F. (1994). *Geographic Information Systems for Geoscientists: modelling with GIS*. Pergamon, New York, 398 p.

Bosque Sendra, J. y Moreno Jiménez, A. (coordinadores) (2004) *Sistemas de información geográfica y localización de instalaciones y equipamientos*. RA-MA, Madrid, 347 pp.

Burrough, P.A. y McDonnell, R.A. (1998) *Principles of Geographic Information Systems*. Oxford University Press, Oxford.

Brabyn, L. y Skelly, C. (2001). Geographical Access to Services, Health (GASH): modelling population access to New Zealand public hospitals. *SIRC 2001. The 13th Annual Colloquium of the Spatial Information Research Centre*. University of Otago, Dunedin, New Zealand.

Comissió de Mobilitat del Pacte Industrial y MCRIT. (2003). *Transport públic i treball. Disponibilitat de transport públic col·lectiu interurbà als polígons industrials de la Regió Metropolitana de Barcelona*. Beta Editorial, Barcelona, 95 p.

Dearwent, S.M. et al. (2001) Locational uncertainty in georeferencing public health datasets. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*, 11: 329-334.

Departament de Política Territorial i Obres Públiques (2005) *Estadístiques de síntesi. Xarxa viària per tipus de via* [en línea]. Generalitat de Catalunya, Barcelona: <http://www10.gencat.net/ptop/AppJava/cat/estadistica/sintesi/sistema/carreteres/xarcat/index.jsp> [Consulta: 06.06.2008]

Departament de Salut. Generalitat de Catalunya (2008). *Els serveis per a la salut: mirant cap al futur. Mapa sanitari, sociosanitari i de salut pública* [en línea]. Generalitat de Catalunya, Barcelona, 825 p. <http://www.gencat.net/salut/depsan/units/sanitat/html/ca/dir488/index.html> [Consulta: 06.06.2008]

Escalona Orcao, A.I. y Díez Cornago, C. (2002). *Accesibilidad geográfica de la población rural a los servicios básicos de salud: estudio en la provincia de Teruel*. Universidad de Zaragoza, Zaragoza, 23 p.

Environmental Systems Research Institute (1998). *ESRI Shapefile Technical Description*. ESRI, USA, 34p.

Franch Gutiérrez, X. (1995). *Estructuras de dades. Especificació, disseny i implementació*. Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, 419 p.

Groff, J.R. y Weinberg, P.N. (1998). *Guía Lan Times de SQL*. Osborne McGraw-Hill, Madrid, 631 p.

Gutiérrez Puebla, J. y García Palomares, J.C (2002): Accesibilidad peatonal a la red sanitaria de asistencia primaria en Madrid, *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, vol. extraordinario, pp. 269-280.

Idescat (2006) *Banc d'estadístiques de municipis i comarques. Indicadors demogràfics* [en línea]. Generalitat de Catalunya, Barcelona: <http://www.idescat.net/> [Consulta: 06.06.2008]

Kalogirou, S. y Mostratos, N. (2004). Geographical Acces to Health: modelling population access to Greek public hospitals. *7th Panhellenic Geographical Conference of the Hellenic Geographical Society. Physical Geography and the Environment-Sustainable Development and Planning*. HGS, Mytilene, Greece.

Laurini, R. y Thompson, D. (1992). *Fundamentals of Spatial Information Systems*. Academic Press, London, 680 p.

Messina, J.P. et al. (2006). Evaluating Michigan's community hospital access: spatial methods for decision support. *International Journal of Health Geographics*, 5:42, 18 p.

Microsoft Corporation (2008) *Using BATCH files* [en línea]. <http://technet.microsoft.com/en-us/library/bb490869.aspx> [Consulta: 06.06.2008]

Mitas, L. y Mitsova, H. (1999) Spatial Interpolation. En: Longley, P., Goodchild, M.F., Maguire, D.J. y Rhind, D.W. (Eds.) , *Geographical Information Systems: Principles, Techniques, Management and Applications*. Wiley, pp. 481-492.

Ohta, K. et al. (2007). Analysis of the geographical accessibility of neurosurgical emergency hospitals in Sapporo city using GIS and AHP. *International Journal of Geographical Information Science*, 21 (6): 687-698

O'Sullivan, D. y Unwin, D. (2003). *Geographic Information Analysis*. John Wiley & Sons, Hoboken (New Jersey), 436 p.

Pons, X. (2000). *MiraMon*. Sistema de Información Geográfica y software de Teledetección. Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals, CREAF, Bellaterra. <http://www.creaf.uab.cat/MiraMon> [Consulta: 06.06.2008]

Redondo, J.C. (2003). Estudio de accesibilidad y cobertura de la red de asistencia sanitaria de la Comunidad de Madrid. *GeoSanidad* (Consejería de Sanidad. Comunidad de Madrid), 10: 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* (Consejería de Sanidad. Comunidad de Madrid), 15: 1-8

Rietveld, P. y Woudenberg, S.van (2003). The utility of travelling when destinations are heterogeneous. How much better is the next destination as one travels further?. *Journal of Geographical Systems*, 5: 207-222

Salado García, M.J. et al. (2006) Movilidad sostenible y SIG. Propuesta de evaluación del transporte público en Alcalá de Henares. *El acceso a la información espacial y las nuevas tecnologías geográficas. Actas del XII Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica*. Editorial Universidad de Granada, Granada, pp. 1777-1794.

Santos Preciado, J.M. y Cocero Matesanz, D. *Los SIG raster en el campo medioambiental y territorial. Ejercicios prácticos con IDRISI y MiraMon*. Universidad Nacional de Educación a Distancia, Madrid, 430 p.

Thill, J.C. y Kim, M. (2005). Trip making, induced travel demand, and accessibility. *Journal of Geographical Systems*, 7: 229-248

Varela García, F.A. (2004). Experiencias sobre los cálculos de accesibilidad mediante SIG. En: Conesa García, C., Álvarez Rogel, Y. y Granell Pérez, C. *El empleo de los SIG y la teledetección en planificación territorial*. Universidad de Murcia, Murcia, 2004.

Varela García, F. A. et al. (2006) Aplicación de los SIG y servidores de mapas en el análisis de la accesibilidad territorial en áreas metropolitanas. Experiencia en los campus de la Universidad de A Coruña. *El acceso a la información espacial y las nuevas tecnologías geográficas. Actas del XII Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica*. Editorial Universidad de Granada, Granada, pp. 1821-1831.