

SIG y Accesibilidad: Efectos de las Nuevas Autopistas Orbitales de Madrid¹

Juan Carlos García Palomares

Introducción

Una de las aplicaciones que tradicionalmente se ha dado dentro de la Geografía a los Sistemas de Información Geográfica es el estudio de los impactos territoriales que tiene la construcción de nuevas infraestructuras de transporte. Para conocer estos impactos se ha utilizado normalmente la medida de la accesibilidad, entendida como la facilidad para alcanzar un punto o unos puntos, o en otros casos unas determinadas actividades. Estos indicadores de accesibilidad son en numerosas ocasiones, especialmente cuando las redes de transportes son complejas, dificultosos de calcular, pues se necesitan los datos de las numerosas separaciones entre las distintas relaciones que a través de esas redes de transporte se pueden realizar.

Los Sistemas de Información Geográfica nos van a facilitar dichos cálculos de accesibilidad, a la vez que permiten la realización de toda una serie de mapas a partir de los mismos, en los que se reflejen no sólo accesibilidades sino también cambios introducidos por las nuevas infraestructura. Este es el objetivo del presente trabajo: el cálculo de indicadores de accesibilidad, a partir de Sistemas de Información Geográfica, que nos permitan conocer cuál es la accesibilidad al empleo en Área Metropolitana de Madrid, en función de la construcción, en este caso, de las autopistas orbitales.

¹ Este trabajo se ha realizado en el marco del Proyecto de Investigación nº 06/118/1997, financiado por la Comunidad de Madrid y Coordinado por el Dr. J. Gutiérrez Puebla

1. Introducción: Sistemas de Información Geográfica aplicados al transporte.

Todos sabemos las muchas aplicaciones que, tanto en la ciencia geográfica como en otras muchas ciencias, se han dado a los Sistemas de Información Geográfica. En este congreso veremos algunas de estas aplicaciones, al estudio del medio ambiente o los recursos naturales, en estudios de impacto ambiental, en estudios de usos del suelo, en el desarrollo rural y territorial, en la planificación urbana, en los análisis de mercado, y, como no, también en los estudios de transporte.

Dentro de los estudios de transporte, los Sistemas de Información Geográfica han sido utilizados en las distintas fases de desarrollo de infraestructuras de transporte. Así, se han utilizado los SIG como una herramienta muy útil en el trazado de infraestructuras lineales, como carreteras, ferrocarriles, o en la actualidad, por ejemplo, es muy utilizado en el cableado de fibra óptica que se está realizando en nuestras ciudades. Se busca, en esta fase, una localización óptima de una nueva infraestructura a construir, de forma que se cumpla de la mejor forma posible con el objetivo por el que fue construida, que es facilitar la movilidad, pero se minimicen a la vez los impactos negativos que la nueva infraestructura pueda ocasionar. Por otro lado, los SIG han sido utilizados en la fase de explotación de las infraestructuras, en este sentido, en una de las aplicaciones más de moda en la actualidad: los sistemas de navegación para los automóviles, que están apareciendo con fuerza en los automóviles privados; pero que, sin embargo, donde hasta ahora han tenido mayor implantaciones en las empresas de transporte dedicadas a servicios de distribución. También se han aplicado SIG en las funciones de mantenimiento y conservación de las propias infraestructuras de transporte, mediante la realización de inventarios sobre las redes de transporte.

Por tanto, encontramos los SIG como herramientas de planificación de infraestructuras de transportes, y para poner un ejemplo podemos señalar el trabajo realizado a la hora de buscar el trazado óptimo de la orbital madrileña M-40 por Monzón, Martínez Falero y Espluga en 1990; hay SIG en la gestión y explotación de las infraestructuras y en las empresas de transporte, de forma que es una herramienta utilizada, por ejemplo, en el Centro de Control de la Dirección General de Tráfico; y, finalmente, los SIG son utilizados en funciones de mantenimiento y conservación, en este sentido, como ejemplo "curioso", podemos decir que el mantenimiento de las marquesinas de los autobuses urbanos de Madrid (la E.M.T.) se realiza mediante un SIG.

Pero sin duda, la aplicación que tiene un carácter más geográfico de los SIG en el estudio de los transporte es aquella que aborda el impacto territorial que tienen las infraestructuras de transporte, sobre todo la construcción de nuevas infraestructuras, (autopistas, ferrocarril de alta velocidad, o aeropuertos) que producen una contracción de las distancias, alterando las condiciones de accesibilidad y ofreciendo nuevas potencialidades al desarrollo regional.

En ésta última línea de investigación se han desarrollado numerosos trabajos, que pueden diferenciarse según escalas territoriales, de forma que tenemos trabajos a escala europea (Gutiérrez Puebla, J., et alia. 1996), a escala nacional (Gutiérrez Puebla, J. et alia, 1994), o estudios dentro de los espacios urbanos o metropolitanos (Gutiérrez Puebla, J. y Gómez Cerdá, G., 1999).

Es en este grupo de trabajos en el que se enmarca este que aquí presentamos, aplicado a unas infraestructuras concretas (las autopistas orbitales) que tienen un marco territorial específico: los espacios metropolitanos.

2. Cálculo de indicadores de accesibilidad apoyándonos en un SIG.

2.1. ¿Por qué medir la accesibilidad? ¿Cómo medirla?

Cuando trabajamos con accesibilidad, o pretendemos hacerlo, lo primero que debemos considerar es que existen numerosas definiciones del término, de forma que cómo indican Monzón y Orellana (1996) cada autor suele proponer una definición a su medida en función de los objetivos de su trabajo y de los índices definidos para su análisis. Aquí no pretendemos llegar a una nueva definición, pero sí tomar para nuestros análisis aquella que consideramos más adecuada. De tal forma se realizó, previo a todo análisis posterior, un exhaustivo estudio sobre la medida de la accesibilidad², partiendo de las diferentes definiciones que se han realizado y llegando, finalmente, a conocer cuáles son los indicadores propuestos, y cuáles las clasificaciones establecidas de los mismos.

En este estudio se considera como la definición más válida aquella que relaciona accesibilidad con la separación de un punto con las actividades. De forma que accesibilidad puede ser definida como *“la medida de las oportunidades disponibles por la población y las empresas para alcanzar lugares donde pueden realizar actividades que les son importantes”* (Linneker y Spence, 1992).

Aceptando este tipo de definiciones, a la hora de medir la accesibilidad, debemos partir de tres elementos, por una parte, cuál es el sistema de transportes sobre el que vamos a medir esa accesibilidad, por otra, cuál la medida de distancia considerada, pues podrá medirse en longitud, pero también en tiempo de viaje o coste del mismo. Finalmente debemos tener en cuenta cuál es la distribución de aquello que quiere ser alcanzado.

Pero, por qué el impacto territorial de una determinada infraestructura de transportes puede ser medida a través, o a partir, de la accesibilidad. Existe una importante relación entre los niveles de accesibilidad del territorio y la distribución de los usos en el mismo. Esta relación tiene que ver con unas necesidades de movilidad, tanto de la población como de las empresas, de forma que en función también de las posibilidades de movilidad, y de esas necesidades de alcanzar determinados espacios donde realizar actividades que les son importantes, o, en el caso de algunas empresas de ser alcanzadas, la accesibilidad se convierte en un elemento a considerar en nuestras pautas de localización.

De tal forma, cambios en la accesibilidad van a suponer cambios en la distribución y en la intensidad de los usos del suelo, y, por tanto, cambios también en el propio precio del suelo. Pero además, podemos relacionar accesibilidad con factores como la densidad residencial, o con variables de tipo social como la renta, el nivel de estudios,...

La accesibilidad se convierte así en un elemento fundamental a la hora de comprender las pautas del desarrollo urbano o metropolitano.

² Este trabajo ha sido enviado, en forma de artículo, a la revista *Estudios de Construcción, Transporte y Comunicaciones*, del Ministerio de Fomento.

2.2. Ventajas de utilizar el SIG en la medida de la accesibilidad.

Decíamos que para medir la accesibilidad debemos considerar tres elementos, por una parte el sistema de transportes, por otra, la variable de distancia a utilizar, y finalmente la distribución de aquello que quiere ser alcanzado.

En el SIG podemos cartografiar dicho sistema de transportes, pero a la vez, podemos incorporar a esa cartografía toda una serie de datos, en función de las características de este sistema de transportes seleccionado. Con estas características podremos elegir distintas variables de distancia. Así, simplemente con la georreferenciación de esa información cartografía el SIG va a medir, y a incorporar a nuestra tabla de datos, la variable longitud. Pero, además, si nosotros tenemos datos de velocidades, o de los costes económicos a los que podemos desplazarnos por ese sistema de transportes, podremos, a partir de los datos de longitud, utilizar otras variables de distancia como son el tiempo, o el coste de desplazamiento.

A la vez, podemos incorporar en nuestro SIG la información referida a la distribución de aquello que queremos alcanzar. Tenemos así, toda la información necesaria para el cálculo de la accesibilidad, cartografiada e informatizada en un mismo soporte.

Los indicadores más frecuentemente utilizados de accesibilidad son calculados para un punto a partir de todas las relaciones posibles desde ese punto con la localización de aquello que quiere ser alcanzado. Por ejemplo: el indicador de accesibilidad más utilizado es el llamado *potencial económico*, este se calcula, para cada punto (nodo), como el sumatorio de todos los cocientes obtenidos de dividir el peso de las oportunidades disponibles en cada uno de los puntos o centroides de destino por el coste de viaje (normalmente medido en tiempo) entre ese punto y el nodo origen. En el caso que presentamos aquí, y que veremos detalladamente más adelante, la accesibilidad se calculó en tres situaciones diferentes, en la primera situación se calculó para 784 nodos, en la segunda para 798 nodos y en la tercera para 809 nodos. A la vez, la distribución de las oportunidades disponibles, de aquello que se quiere alcanzar, y que en nuestro caso era el empleo, estaba referida a 69 centroides o nodos que incorporaban este tipo de datos y que representaban las divisiones administrativas consideradas. A lo que queremos llegar es que para el cálculo de la accesibilidad de un punto (nodo) había que tener en cuenta el tiempo de viaje desde ese nodo con los 69 centroides, para el cálculo de la accesibilidad de todos los nodos deberíamos considerar $54.096 (784 \cdot 69)$, $55.062 (798 \cdot 69)$ y $55.821 (809 \cdot 69)$ relaciones para cada una de esas tres situaciones. Si nosotros no disponemos de un sistema informático que nos permita conocer estas relaciones la medida de la accesibilidad se presenta como una misión difícil.

Conocer estas relaciones es un problema no sólo por el elevado número de las mismas, sino también por el elevado número de posibilidades en las rutas que tenemos para desplazarnos desde un nodo a uno de esos 69 centroides donde se concentran en este caso los empleos que queremos alcanzar. Estas rutas deben ser aquellas que minimicen el coste de viaje, pues, de forma lógica, el desplazamiento se realizará siguiendo la ruta de menor coste, o económico o en tiempo, de viaje.

El uso de Sistemas de Información Geográfica permite conocer no sólo cuales son esas rutas de mínimo coste de viaje en todas las relaciones que debemos considerar sino también cuál es el tiempo que vamos a emplear en cada una de las relaciones, con lo que sólo deberemos aplicar a los datos la formulación establecida en el indicador de accesibilidad elegido.

Por tanto, podemos conocer la accesibilidad de cada uno de los nodos de forma fácil, pero además el SIG permite la realización de toda una serie de mapas en los que se cartografía la distribución de la accesibilidad no sólo según los nodos sino en el resto del espacio. Estos mapas

pueden ser de dos tipos (en la Figura 3, podemos ver un ejemplo de ambos a partir de los mapas de accesibilidad en cada uno de los nodos):

- ✓ puede tratarse de mapas coropléticos referidos a las divisiones administrativas de la zona de trabajo, de forma que se da un valor de accesibilidad a cada una de esas zonas. Este valor puede ser el valor de accesibilidad en el centroide que representa a la zona, y que contiene los datos referidos a la misma, o puede ser una media de la accesibilidad de todos los nodos incluidos en esa zona.
- ✓ Por otro lado se pueden realizar mapas mediante la interpolación de los niveles de accesibilidad de todos los nodos de la red al resto del territorio analizado.

Por último, podemos realizar comparaciones entre estos mapas de accesibilidad, de forma que mediante la comparación de mapas de accesibilidad en los que se hayan considerado diferentes momentos en el desarrollo de ese sistema de transportes podremos ver cuales son tanto la magnitud de los cambios producidos, como la distribución espacial de los mismos. Además, podemos realizar comparaciones no sólo entre los propios mapas de accesibilidad, sino también entre estos y mapas que representen otros fenómenos espaciales de interés para nuestro estudio, decíamos, por ejemplo, que la accesibilidad se relacionaba con los usos del suelo o con los precios del mismo, mediante la comparación de estos mapas podremos ver como se produce dicha relación.

3. Un caso práctico: Cambios en la accesibilidad al empleo en el A. M. de Madrid con la construcción de autopistas orbitales.

3.1. Presentación y objetivos de trabajo.

El Área Metropolitana de Madrid (AMM) está sufriendo, especialmente a partir de la década de los noventa, una intensa reordenación territorial que tiene relación a su vez con un creciente proceso de descentralización de actividades desde los distritos del interior del municipio de Madrid, lo que conocemos como ciudad central o CBD, que en el caso de Madrid, se ha delimitado a partir de la orbital M-30, y se ha denominado, por su peculiar forma, como *“la almendra”*, a la periferia metropolitana.

Este proceso de descentralización de actividades está motivado por múltiples factores, que tienen que ver, por ejemplo, con la aparición de deseconomías en esos espacios centrales, con el desarrollo de las tecnologías de la información,... o, con la aparición de nuevas infraestructuras de transportes en estos espacios periféricos. Entre estas últimas la construcción de las autopistas orbitales esta creando toda una serie de nuevas posibilidades en la periferia.

La importancia que tienen estos cambios en el modelo territorial es que se están generando, entorno a los mismos, toda una serie de cambios en la movilidad que están en la base de problemas

ambientales. Así, los problemas son tales, que una de las preocupaciones de la Estrategia Territorial Europea (ETE) es el modelo de ciudad que estos procesos de descentralización generan, y que la propia ETE denomina como “*ciudad dispersa*”.

La descentralización, y la dispersión de actividades en la periferia de los espacios metropolitanos hacen más difícil la existencia de un servicio de transporte público de gran capacidad que atienda a las nuevas necesidades de movilidad generadas, esto, unido a toda una serie de cambios socio-económicos o socio-laborales, ha motivado la generalización del vehículo privado, con todos los problemas que ello supone.

Las soluciones pasan por una política territorial que potencie el acercamiento entre población y actividades. Para ello, es muy importante conocer los niveles de accesibilidad, tanto a las actividades como a la propia población. Sobre estos datos de accesibilidad debemos apoyar una planificación conjunta de las políticas de usos del suelo con los desarrollos de los transportes, de forma que el objetivo sea un desarrollo sostenible de la movilidad de los habitantes.

El objetivo del presente trabajo es conocer como cambia la accesibilidad del sistema de transporte privado por carretera con la construcción de esas nuevas autopistas orbitales. Para conocer estos cambios en la accesibilidad esta será calculada para el empleo, que ha sido desagregado en cuatro categorías, tratando que estas fueran importantes en la generación de viajes y que presentaran, además, unas pautas de localización espacial diferenciadas, desde unas distribuciones con unas fuertes concentraciones en la ciudad centra, otras que presentan un reparto más homogéneo en todo el área metropolitana. Así, los grupos seleccionados fueron: *a) en administraciones públicas,...; b) servicios especializados: banca,...; c) empleos comerciales,...; y d) empleos en industria,...*, obtenidas de los datos procedentes de la Encuesta Domiciliaria de Movilidad, realizada en 1996 por el Consorcio Regional de Transportes de la Comunidad de Madrid³.

3.2. Metodología general.

El ámbito de estudio es el área metropolitana de Madrid, delimitada a partir de la corona tarifaria B3 del Consorcio Regional de Transportes. En total la forman 49 municipios, sin embargo, como unidad de análisis espacial se ha tomado en el caso del municipio de Madrid los 21 distritos, de forma que el área de estudio esta dividida así en 69 zonas: los 48 municipios que forman la corona metropolitana más los 21 distritos del municipio de Madrid.

A la vez, hemos dicho que la accesibilidad es calculada para el sistema de transporte privado por carretera, de forma que se digitalizó la red de carreteras. Esta red fue digitalizada inicialmente con una única orbital (la M-30), sobre la que se añadió una segunda orbital (la M-40), y, finalmente, una última orbital (la M-50).

Igualmente, hemos señalado también como la accesibilidad va a ser calculada para diferentes tipos de empleo, los cuales han sido tomados para un momento temporal concreto —1996—, que vendría a representar la situación actual con dos orbitales. De tal forma lo que se pretende es ver cuál sería la accesibilidad al empleo en el momento actual, y cuál sería esa accesibilidad si con la

³ La denominación completa de cada uno de los grupos sería la siguiente:

- Administraciones públicas, defensa y sericios sociales obligatorios.
- Banca, intermediación financiera y seguros; Actividades inmobiliarias y alquiler; servicios prestados a las empresas
- Comercios, talleres y reparaciones; hostelería restaurantes y bares.
- Indutria, energía y agua.

distribución del empleo actual tuviéramos primero una red sin la orbital M-40, y segundo una red en la que estuviera ya terminada la orbital M-50.

A la hora de medir la accesibilidad, se han seleccionado dos indicadores que parten de la definición de la misma presentada en apartados anteriores: *el tiempo medio ponderado*, y *el potencial económico* (ver cuadro 1). Los dos consideran el papel de las infraestructuras y la distribución del empleo, la diferencia entre ambos estará en la importancia que le dan a los mismos, de forma que en el caso del tiempo medio ponderado el mayor peso lo tienen el servicio de las infraestructuras, mientras en el potencial económico pesa más la distribución del empleo.

Tiempo medio ponderado	
$A_i = \frac{\sum_j (T_{ij} \cdot M_j)}{M_t}$	<p>A_i es el tiempo medio ponderado por el nodo i.</p> <p>T_{ij} es el tiempo de viaje entre el nodo i y el nodo j.</p> <p>M_j son las oportunidades disponibles en el nodo de destino j.</p> <p>M_t son las oportunidades disponibles en todo el area de estudio.</p>
Potencial económico	
$P_i = \sum_j \frac{M_j}{C_{ij}^a}$	<p>P_i es el potencial económico o poblacional para el nodo i.</p> <p>M_j son las oportunidades disponibles en el nodo de destino j.</p> <p>C_{ij} es el coste de viajes entre el nodo i y el nodo j.</p> <p>a es una constante, en nuestro caso igual a 1.</p>

Cuadro 1: Indicadores de accesibilidad

3.3. Introducción de los datos y el cálculo de los indicadores.

Partiendo de los dos indicadores seleccionados serán necesarios para la obtención de los mismos dos tipos de datos: por una parte, datos que nos permitan conocer cuales son los tiempos de viaje entre los diferentes puntos del territorio, y, por otra, datos sobre la distribución del empleo en el mismo.

Como dijimos, la red de carreteras del área metropolitana de Madrid fue digitalizada según tres situaciones temporales, con lo que tenemos tres capas temáticas diferentes: 1. Carreteras con M-30; 2. Carreteras con M-40; 3. Carreteras con M-50. En estas tres capas se pueden diferenciar dos espacios, uno con un entramado viario complejo de carácter urbano, que se corresponde con el municipio de Madrid, y donde se han considerado los ejes fundamentales que recogen el mayor volumen de tráfico; y otro espacio periférico con una red viaria de menor densidad que se corresponde con el espacio metropolitano, y en el que se han digitalizado todas las carreteras existentes.

Estas capas son capas de líneas, formadas a su vez por arcos y nodos. Un nodo serían los puntos extremos de los arcos, que pueden quedar colgados o enlazar con otro arco.

La ventaja de utilizar SIG consiste en poder asociar a estos elementos cartográficos toda una serie de atributos reales con los que podamos trabajar. En nuestro caso estos datos representan las características de la red de carreteras, de forma que se ha asociado a los diferentes arcos los siguientes datos: *nombre de la calle o carretera; nodo de origen; nodo de destino; categoría; longitud del arco; velocidad; tiempo de viaje; coeficiente de infraestructura; impedancia*. A la vez, estos datos son dobles para cada arco de la red en función de la dirección en la que nos desplazemos (Ver figura 1), y serán diferentes en las tres situaciones temporales consideradas, no sólo por la aparición de nuevos arcos, sino también porque estos van a motivar cambios en los valores de velocidad en la red al descongestionar determinadas vías. En el caso de los nodos no se ha incluido ninguna información adicional a la que el SIG obtiene por defecto, y que hace referencia a los arcos que conectan en los mismos, salvo en aquellos nodos que representan los distintos distritos de Madrid y los municipios de la corona metropolitana, en los que se ha introducido la información referida a la distribución del empleo en los mismos (ver figura 1).

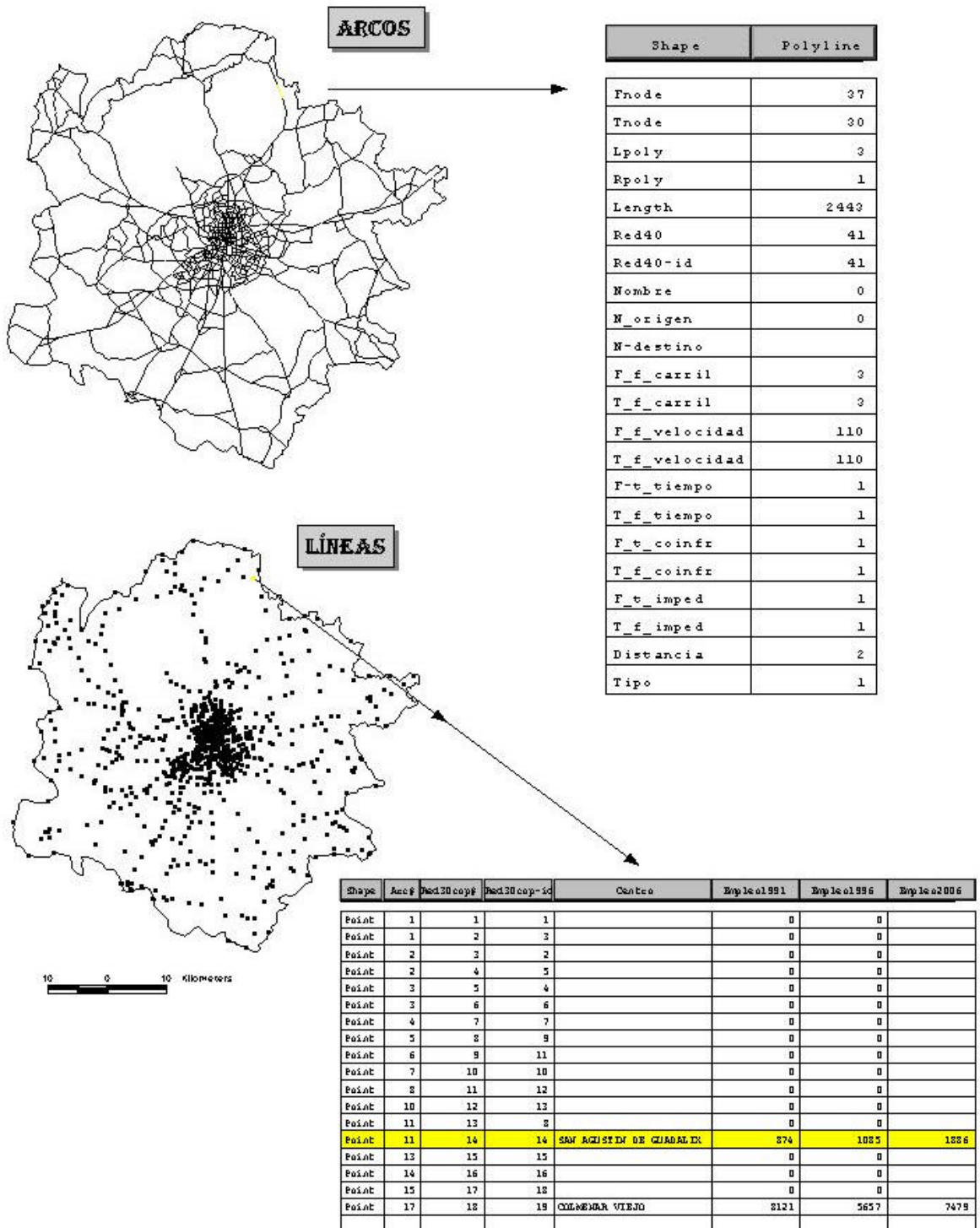
Además de estas capas lineales, se han utilizado otras dos capas, otra de líneas donde se ha representado el límite del área metropolitana, y otra de polígonos que representa los distritos del municipio de Madrid y los municipios de la corona metropolitana.

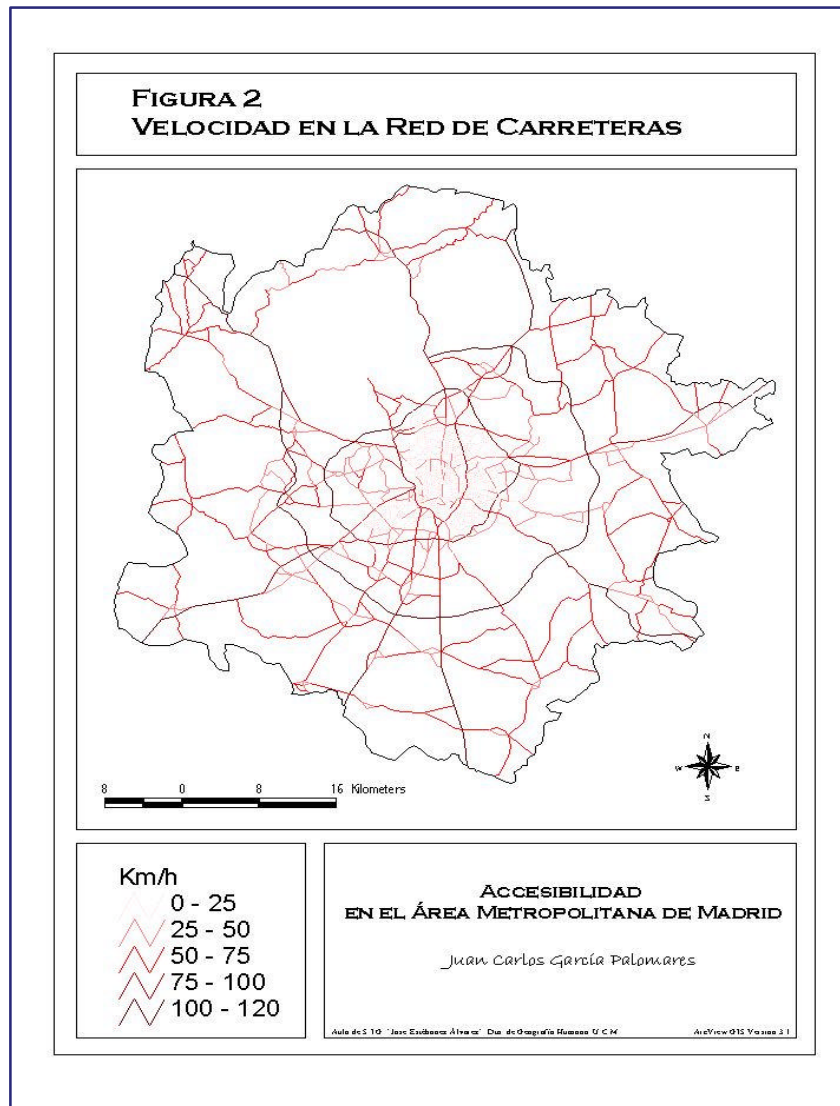
Toda esta información, cartográfica y base de datos asociada, en una única cobertura SIG, en PC ARC/INFO, va a permitirnos realizar los cálculos de los indicadores de accesibilidad antes señalados.

Con estos datos podemos realizar ya el cálculo de los indicadores de accesibilidad. Para ello, necesitamos primero conocer cuáles son las relaciones en un tiempo menor entre un nodo y los distintos centroides donde se localizan los empleos. Este dato, podemos obtenerlo en ARC/INFO gracias a la función **interaction**, que nos va a suministrar los tiempos de viaje entre cada nodo y los 69 centroides en los que tenemos los valores de distribución del empleo (ver Tabla 1). Con esta información podemos o bien en el propio sistema ARC/INFO, o bien en un procesador de datos (ya sea Excel, u otro) realizar los cálculos de los indicadores propuestos. Si utilizamos esta segunda opción únicamente deberemos, posteriormente añadir el resultado de la accesibilidad en la tabla de nodo.

Esta operación se realiza mediante un pegado de tablas (comando **join**), de la tabla que contiene los datos de los nodos y la tabla con los resultados de accesibilidad, unión que se realiza a través de un indicador común.

Figura 1: Capas de arcos y nodos que forman la red de carreteras con sus bases asociadas.





De nodo 170 (Majadahonda) a		
Nodo		
14	SAN AGUSTIN DE GUADALIX	26.030
18	COLMENAR VIEJO	24.963
31	COLLADO VILLALBA	13.658
40	HOYO DE MANZANARES	15.348
52	ALGETE	27.552
61	TORRELODONES	9.252
67	GALAPAGAR	15.724
71	COLMENAREJO	17.230
72	COBENA	31.365
85	DAGANZO	35.782
87	SAN SEBASTIAN DE LOS REYES	16.132
89	ALCOBENDAS	15.474
93	AJALVIR	33.264
120	PARACUELLOS DEL JARAMA	27.457
137	LAS ROZAS	5.000
139	VILLANUEVA DEL PARDILLO	8.285
151	ALCALA DE HENARES	34.023
152	FUENCARRAL-EL PARDO	13.963
170	MAJADAHONDA	5.000
203	BARAJAS	19.244
208	HORTALEZA	19.881

Tabla 1: Ejemplo de los resultados del interacción para un nodo.

3.4. Presentación e interpretación de los resultados.

La accesibilidad de un punto depende por una parte del servicio en infraestructuras de transporte que tiene el mismo, de la relación de ese servicio de las infraestructuras con la distribución de aquello que queremos alcanzar, y finalmente del grado de centralidad del mismo en el territorio donde se ubica.

En el ejemplo que aquí se presenta tenemos, en relación con el servicio de infraestructuras, tres situaciones, una en la que se presenta un sistema de carreteras con un marcado carácter radial (*situación M-30*), donde las principales vías comunican la corona metropolitana con la ciudad central. De este sistema radial se pasa a uno con un fuerte carácter radioconcéntrico, donde aparecen ya unas vías de gran capacidad (las autopistas orbitales) que no comunican la periferia con el centro sino que circundan la corona metropolitana (*situación M-50*); con una situación intermedia entre ambos modelos: *la situación M-40*.

		M-30	M-40	M-50	Dif.30-40	Dif30-40(%)	Dif.40-50	Dif40-50(%)
Tiempo Medio Ponderado al empleo total	Media	25'43	22'12	21'28	3'31	13'02	0'84	3'80
	Dev. Típ.	6'99	6'54	5'98	0'45	6'44	0'56	8'56
	Coef. Var.	27'49	29'60	28'14	-2'11	-7'68	1'46	4'93
Pot. económico al empleo total	Media	86745'82	97434'50	99983'60	10688'68	12'32	2549'10	2'62
	Dev. Típ.	29840'56	33800'03	32404'68	3959'47	13'27	-1395'34	-4'13
	Coef. Var.	34'40	34'69	32'41	0'29	0'84	-2'28	-6'57
T. M. P. al empleo industrial	Media	25'73	21'81	20'65	3'92	15'24	1'16	5'32
	Dev. Típ.	6'26	5'79	5'14	0'47	7'51	0'65	11'23
	Coef. Var.	24'32	26'55	24'89	-2'23	-9'17	1'66	6'25
Pot. económico al empleo industrial	Media	7356'86	8384'94	8721'62	1028'08	13'97	336'68	4'02
	Dev. Típ.	2054'04	2470'20	2353'97	416'17	20'26	-116'24	-4'71
	Coef. Var.	27'92	29'46	26'99	1'54	5'52	-2'47	-8'38
T. M. P. al empleo en comercio,...	Media	25'49	22'03	21'12	3'46	13'57	0'91	4'13
	Dev. Típ.	6'85	6'39	5'76	0'46	6'72	0'63	9'86
	Coef. Var.	26'90	29'02	27'29	-2'12	-7'88	1'73	5'96
Pot. económico al empleo en comercio,...	Media	17931'72	20224'27	20838'43	2292'55	12'78	614'16	3'04
	Dev. Típ.	5892'36	6758'95	6451'58	866'59	14'71	-307'37	-4'55
	Coef. Var.	32'86	33'42	30'96	0'56	1'70	-2'46	-7'36
T. M. P. al empleo en banca,...	Media	25'46	22'47	21'80	2'99	11'74	0'67	2'98
	Dev. Típ.	7'61	7'12	6'66	0'49	6'44	0'46	6'46
	Coef. Var.	29'92	31'71	30'55	-1'79	-5'98	1'16	3'66
Pot. económico al empleo en banca,...	Media	9710'31	10796'14	11010'87	1085'83	11'18	214'73	1'99
	Dev. Típ.	3861'79	4222'37	4091'64	360'58	9'34	-130'73	-3'10
	Coef. Var.	39'77	39'11	37'16	-0'66	-1'66	-1'95	-4'99
T. M. P. al empleo en administración,...	Media	25'16	22'30	21'65	2'86	11'37	0'65	2.91
	Dev. Típ.	7'42	7'00	6'53	0'42	5'66	0'47	671
	Coef. Var.	29'51	31'39	30'32	-1'88	-6'37	1'07	3'41
Pot. económico al empleo en administración,...	Media	10373'04	11502'96	11724'96	1129'92	10'89	222'00	1'93
	Dev. Típ.	4054'82	4442'44	4314'79	387'62	9'56	-127'66	-2'87
	Coef. Var.	39'09	38'62	36'80	-0'47	-1'20	-1'82	-4'71

Tabla nº2 Resultados globales de los tiempos medios ponderados (minutos), y los potenciales económicos

En el caso de la distribución del empleo, hemos dicho que este ha sido desagregado según tipos, que presentan una distribución espacial diferente, desde algunos tipos que tienen una fuerte concentración en el interior de la ciudad central, como el empleo en Administración, o los servicios especializados, mientras otros, presentan unas distribuciones más periféricas, es el caso del empleo en industria.

Para conocer tanto el efecto que tiene la distribución de los diferentes tipos de empleos como el efecto de la centralidad territorial los resultados se presentan en tablas resumidas según coronas, diferenciadas a partir de las propias autopistas orbitales. Así, se define como primera corona al interior de la M-30, que representaría lo que conocemos como ciudad central o CBD; una segunda corona entre las orbitales M-30 y M-40, de carácter urbano, formado por los distritos periféricos del municipio de Madrid; mientras que la corona metropolitana estaría subdividida a su vez en dos subcoronas: por una parte el espacio entre la M-40 y la M-50, y por otra el espacio exterior a la M-50.

Comenzando ya con los resultados, en la Tabla n 2 se presenta una síntesis global de las distribuciones de la accesibilidad, de forma que podemos ver la *media, la desviación típica y el coeficiente de variación* de esa accesibilidad en función de las tres situaciones propuestas, así como los cambios producidos en las mismas. El objeto de esta tabla es ver cuál es la adaptación del sistema de transportes a la distribución de los diferentes grupos de empleo. Esta adaptación se puede medir en términos de *“eficacia”*, es decir, aquel sistema en el que se produce una mejor accesibilidad en el territorio, lo que vendría representado por una mejor media de la accesibilidad total (en el caso de los tiempos el menor tiempo medio, y en el caso de los potenciales por el mayor potencial medio). Pero, a la vez, esta mejor situación podemos medirla en términos de *“equidad”*, correspondiéndose ahora la mejor situación con aquellas que presentan un coeficiente de variación menor de sus distribuciones, de forma que lo que representa es una distribución de la accesibilidad donde las diferencias entre los espacios que tienen las mejores accesibilidades y aquellos que tienen las peores accesibilidades son las menores.

Así, vemos como se producen dos situaciones diferenciadas en esta Tabla 2, motivadas por las diferentes distribuciones espaciales de los tipos de empleo. Vemos como aparecen empleos como *Administración,...*, o *Banca,...* que tienen una fuerte concentración en la ciudad central, lo que hace que en la situación con una única orbital presentan los mejores valores de eficacia del sistema y, sin embargo, una mala situación de equidad, pero que con tres orbitales, aunque siguen conservando la peor situación de equidad, presentan los peores valores de eficacia. Por otro lado nos encontramos con los empleos en *Industria,...*, que presentan la situación contraria, con una distribución espacial mucho más periférica, lo que determina una eficacia mala con una orbital, mientras que con tres orbitales presentan la mejor situación, mientras en ambos casos la equidad es la mejor.

Si nos fijamos en el papel que tienen las orbitales hay que decir que con la M-40 se produce un aumento notable de la accesibilidad en el área metropolitana, que no se corresponde sin embargo con un aumento de la equidad, sino al contrario, esta empeora. Una situación diferente se produce con la M-50, ya que no produce un aumento significativo en la accesibilidad, mientras si se produce un aumento de la equidad en la distribución de dicha accesibilidad.

Para conocer de forma más detallada como es la distribución de la accesibilidad en estos dos casos se presentan los valores de tiempos medios ponderados para las diferentes coronas establecidas (Tablas 3 y 4) así como los mapas que presentan los mismos (Figura 3).

Lo más significativo tanto de las tablas como de los mapas es como con una única orbital la mejor accesibilidad se da en ambos casos en el interior de la M-30 (primera corona), pero con una importante diferencia entre los tiempos que presenta dicha corona para la *Administración,...* con una accesibilidad alta, los tiempos mucho peores de esta corona en el caso de los empleos en *Industria,...* Sin embargo, con la aparición de las orbitales, mientras en el caso de los empleos en *Administración,...*, las mejores accesibilidades siguen estando en ese espacio central, en el empleo en *Industria,...* la mejor accesibilidad se localiza en las coronas segunda y tercera. Todo ello, se refleja además en unos cambios mucho mayores en el caso de la accesibilidad calculada sobre el empleo en *Industria,...*

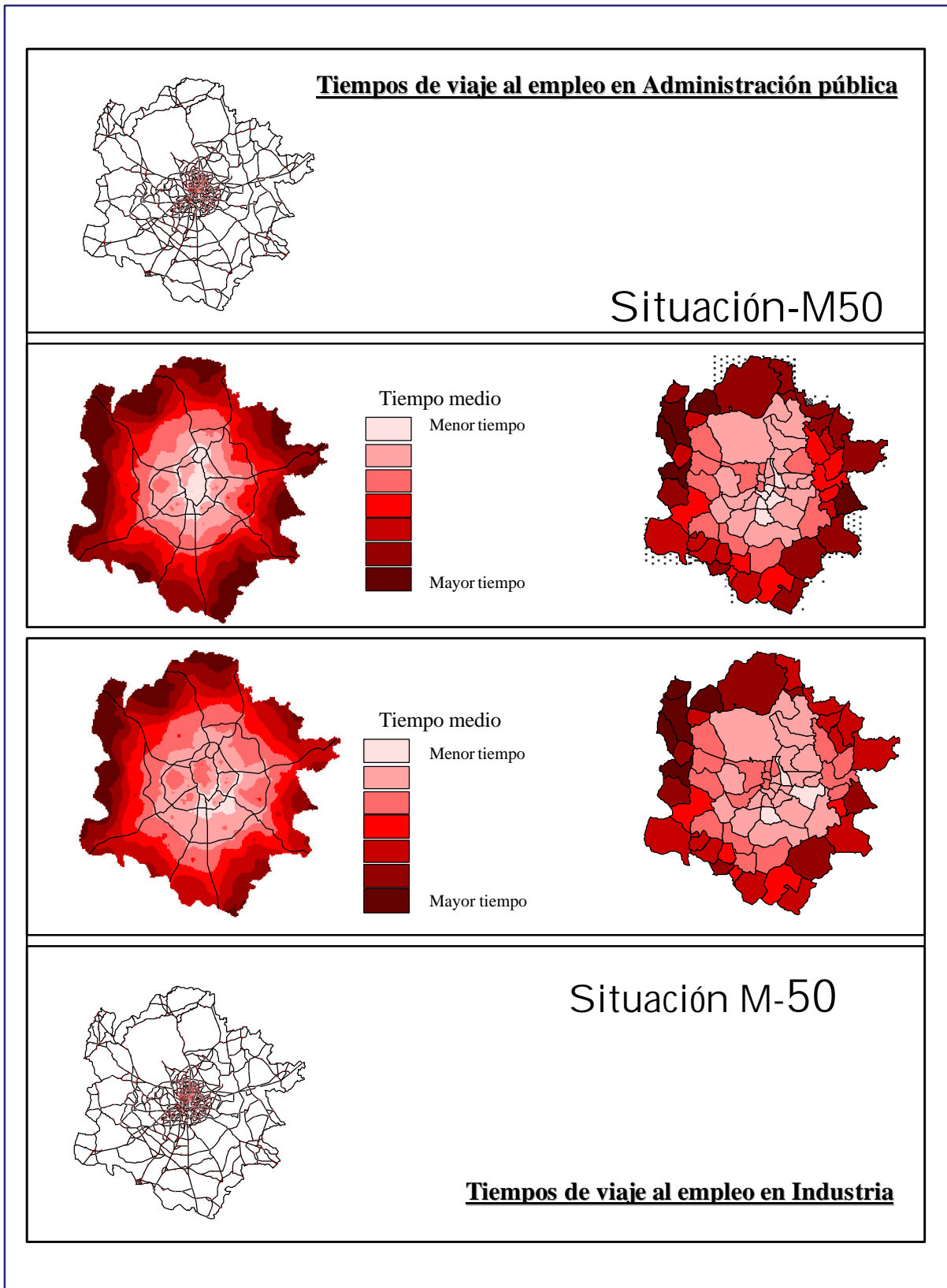


Figura 3. Dos distribuciones diferentes de accesibilidad

Coronas	M-30	M-40	M-50	Dif.30-40	Dif.30-40(%)	Dif.40-50	Dif.40-50(%)
Interior M-30	14'59	13'29	13'26	1'30	8'93	0'03	0'20
M30-M40	16'99	14'69	14'64	2'30	13'54	0'05	0'33
M40-M50	21'71	18'10	17'65	3'61	16'65	0'45	2'48
Exterior M-50	31'22	28'17	27'13	3'04	9'75	1'04	3'69
M50, I-III	31'20	28'05	26'28	3'15	10'11	1'76	6'29
M50, III- V	29'67	26'87	26'18	2'80	9'43	0'69	2'58
M50, V-VI	33'41	30'15	29'49	3'25	9'74	0'66	2'18

Tabla n°3 Tiempos medios ponderados al empleo en Administración pública... (minutos)

Coronas	M-30	M-40	M-50	Dif.30-40	Dif.30-40(%)	Dif.40-50	Dif.40-50(%)
Interior M-30	19'30	17'30	17'28	2'01	10'40	0'02	0'12
M30-M40	18'82	15'56	15'49	3'27	17'35	0'06	0'39
M40-M50	22'32	17'45	16'63	4'87	21'81	0'82	4'69
Exterior M-50	30'50	26'37	24'51	4'14	13'56	1'86	7'06
M50, I-III	29'78	25'70	23'11	4'08	13'71	2'59	10'08
M50, III- V	27'92	24'38	22'92	3'54	12'68	1'47	6'01
M50, V-VI	34'98	29'95	28'41	5'03	14'38	1'54	5'14

Tabla n°4 Tiempos medios ponderados al empleo en actividades industriales (minutos)

4. Consideraciones finales.

Los grandes espacios metropolitanos se encuentran inmersos en un importante proceso de reestructuración, donde la descentralización, y la dispersión de actividades desde las ciudades centrales están en la base de cambios en sus modelos territoriales.

Estos cambios influyen, a su vez, en los sistemas de transporte que sirven una movilidad cada vez mayor, de forma que la tendencia es el crecimiento cada vez mayor del uso del vehículo privado, con los problemas que este supone.

La solución pasa por una política territorial que integre transportes y usos del suelo, buscando tanto el acercamiento de actividades y población, como un modelo urbano donde la movilidad de los habitantes pueda ser servida a través de modos de transporte sostenibles, tanto económica como socialmente.

En este reto, la medida de la accesibilidad se antoja como una herramienta necesaria en dicha política, y la utilización de los Sistemas de Información Geográfica nos presentan numerosas facilidades tanto en su medida como en la realización de mapas que ayuden en la interpretación de los resultados, y, por tanto, en la toma de decisiones.

5. Bibliografía

- Gutiérrez Puebla, J., Monzón, A. y Piñero, J.M. (1994): Accesibilidad a los centros de actividad económica en España. *Revista de Obras Públicas* (Colegio de Ingenieros de Caminos), nº3331, pp.39-49.
- Gutiérrez Puebla, J., González Aguayo, R. y Gómez Cerdá, G. (1996): The European high-speed train network: predicted effects on accessibility patterns. *Journal of Transport Geography* (Pergamon Press), vol.4, nº4, pp.227-238.
- Gutiérrez Puebla, J. y Gómez Cerdá, G. (1999): The impact of orbital motorways on intra-metropolitan accessibility: the case of the Madrid M-40. *Journal of Transport Geography* (Pergamon Press), vol.7, pp 1-16.
- Linneker, B.J. y Spence, N.A.; 1992. Accessibility measures compared in an analysis of the impact of M25 London Orbital Motorway on Britain. *Environment and Planning A*, 24, pp. 1137-1154.
- Monzón, A., Martínez Falero, E. y Espluga, A.P. (1990). Método para el trazado automático de obras lineales. *Estudios Territoriales*, 32, pp. 191-215.
- Monzón, A. y Orellana, H.; (1996). La accesibilidad como instrumento de evaluación de las infraestructuras de transporte. Análisis de las actuaciones del P.D.I.. *Estudios de Transporte y Comunicaciones*, 73, pp. 35-52.

