

IMPACTO DE LA AMPLIACIÓN DEL METRO DE MADRID (1995-1999) SOBRE LA COBERTURA Y LA CONECTIVIDAD DE LA RED

Javier GUTIÉRREZ PUEBLA

Profesor titular de Geografía Humana

Facultad de Geografía e Historia de la Universidad Complutense de Madrid

Calle del Profesor Aranguren, s/n. Madrid-28040 (España)

Tel.: 34 91 394 59 491 Fax: 34 91 394 59 60 e-mail: ghum01@emducms1.sis.ucm.es

Carlos CRISTÓBAL PINTO y Domingo MARTÍN DUQUE

Área de Estudios y Planificación

Consorcio Regional de Transportes de Madrid

Plaza Descubridor Diego de Ordás 3. Madrid-28003 (España)

Tel.: 34 91 580 45 32 Fax: 34 91 580 46 34 e-mail: estudios@ctm-comadrid.com

Resumen.- El Plan de Ampliación del Metro de Madrid en el período 1995-1999 ha supuesto un importante cambio en la estructura de la red. Con la prolongación de las líneas 1, 4, 7 y 9, la construcción de las nuevas líneas 8 y 11, y la conexión de las antiguas líneas 10 y 8 para constituir la nueva 10 de carácter diametral no sólo ha aumentado significativamente el número de estaciones, sino que también ha mejorado de forma notable la conectividad de la red. En este trabajo se evalúa el beneficio derivado de la ejecución del plan, tanto desde el punto de vista de la accesibilidad a la red (cobertura) como de la accesibilidad a través de la red (conectividad).

El análisis de cobertura se realiza a partir del cálculo de la población residente en distintas franjas de distancia en torno a las estaciones (de 0 a 300 metros, de 300 a 600 y más de 600 metros), para el municipio de Madrid, a partir de los datos del padrón de 1996 desagregados a nivel de sección censal, comparando la situación previa al plan de ampliación con la resultante de la ejecución del mismo.

El análisis de conectividad se lleva a cabo calculando el tiempo de viaje entre estaciones para los dos escenarios considerados (antes y después del plan). Los tiempos obtenidos se sintetizan en un indicador de accesibilidad que muestra los cambios producidos tanto para el conjunto de la red como para cada una de sus estaciones. El análisis se extiende a lo largo de tres períodos de tiempo, correspondientes a diferentes ampliaciones en la red de Metro: 1991-1995, 1995-1999 y 1999-2003.

1. INTRODUCCIÓN

En la historia del metro de Madrid, el Plan de Ampliación de 1995-1999, ha supuesto una expansión de la red sin precedentes, con la ejecución de las siguientes prolongaciones en las

líneas: 1 (Miguel Hernández – Congosto), 4 (Esperanza - Parque de Santa María), 7 (Avenida de América - Pitis) y 9 (Pavones - Arganda del Rey, saliendo fuera del municipio de Madrid); construcción de las nuevas líneas 8 (Mar de Cristal – Barajas, con estaciones en Campo de las Naciones y Aeropuerto) y 11 (Plaza Elíptica – Pan Bendito); conexión de las antiguas líneas 10 y 8 para constituir la nueva 10 de carácter diametral (Fuencarral – Aluche); y, finalmente, nuevas estaciones en líneas existentes, como Canal (línea 2) y Eugenia de Montijo (línea 5) y la conexión con Cercanías en la estación de Pirámides.

En total se han construidos 56,31 km de nueva red de Metro, siendo 38 km en subterráneo. El número de nuevas estaciones de Metro ha sido de 38 nuevas estaciones-línea, de las cuales 34 son en el municipio de Madrid, correspondiente a 28 nuevas estaciones-nominales, ya que 3 son de correspondencia con estaciones existentes y otras 3 son de correspondencia con nuevas estaciones. Además, se han construido 4 nuevas correspondencias con la red de Cercanías, en una de las cuales también se ha construido la estación de Cercanías.

La construcción de 28 nuevas estaciones-nominales ha tenido una incidencia muy importante sobre la cobertura de la población servida. Pero, además, los cambios de la red, en cuanto su vertebración e integración, también afectan a la conectividad de las estaciones existentes. De lo que se trata en este trabajo es de medir la magnitud de tales cambios tanto en la accesibilidad a la red (grado de cobertura) como en la accesibilidad a través de la red (grado de conectividad).

El análisis de accesibilidad a la red se realiza a partir del cálculo de la cantidad de población residente en distintas distancias en torno a las estaciones (de 0 a 300 metros, de 300 a 600 y más de 600 metros), a partir de los datos del padrón de 1996 desagregados a nivel de sección censal, comparando la situación previa al plan de ampliación con la resultante de la ejecución del mismo. La significación de estos radios se recoge en el cuadro 1.

Cuadro 1: Relación entre radio, tiempo y accesibilidad

Radios en torno a las estaciones (m)	Tiempo de acceso (min)	Valoración accesibilidad
0 – 300	0 – 5	Elevada
300 – 600	5 – 10	Media
> 600	> 10	Baja

El análisis de accesibilidad a través de la red se lleva a cabo calculando caminos mínimos entre estaciones para los dos escenarios considerados (antes y después del Plan). A efectos comparativos se realiza un análisis similar para los períodos 1991-1995 (inmediatamente anterior) y 1999-2003 (el futuro próximo).

2. COBERTURA DE LA RED DE METRO

2.1 Datos de partida y metodología de análisis

i) *Capas de información*

En un análisis como el que aquí se aborda es necesario considerar tres elementos: las estaciones de metro (puntos de oferta), la distribución de la población (demanda potencial) y la distancia que separa a la demanda potencial de los puntos de oferta. La herramienta más adecuada para este tipo de análisis es un Sistema de Información Geográfica (SIG), en el que los datos, estructurados en capas temáticas, pueden ser combinados para derivar nueva información, siendo posible también realizar cálculos de distancias, ya que los datos están georreferenciados.

De acuerdo con lo anterior, el análisis se ha realizado en un SIG (ARC/INFO y ARC/VIEW), a partir de las siguientes capas de información:

- *Oferta.*- En dos capas de puntos se refleja la localización de cada una de las estaciones de la red de metro en los años 1995 y 1999, respectivamente. La capa de 1995 cuenta con 126 estaciones y la de 1999 con 154 (28 estaciones más). Estas dos capas se han obtenido a partir de ficheros digitales que contienen las coordenadas de las estaciones, en proyección UTM.
- *Demanda.*- En una capa de polígonos se representa el seccionado censal, también en proyección UTM, con los datos de distribución espacial de la población del padrón de 1996. Dado que la población no se distribuye uniformemente en el interior de cada sección censal, se ha utilizado una capa de usos del suelo para asignar la población de cada sección censal a las superficies ocupadas por suelo residencial.
- *Distancias.*- Dos capas derivadas para cada situación temporal permiten realizar el análisis de distancias y áreas de influencia. En una primera capa la distancia que separa a la población de las estaciones de metro se expresa por medio de sendos círculos concéntricos (*buffers*) de 300 y 600 metros. En una segunda capa se presentan los polígonos de Thiessen en torno a cada estación para asignar la población a una u otra estación en áreas donde los *buffers* se superponen.
- *Capas de referencia.*- Se ha contado también con las capas que contienen la delimitación oficial de los barrios y distritos del municipio de Madrid, con el fin de ofrecer los resultados finales por barrios y por distritos.

ii) *Metodología de análisis*

Para llevar a cabo el análisis de población servida por las estaciones según radios de cobertura en las dos situaciones temporales consideradas, se han seguido los siguientes pasos:

Ajuste de la distribución de la población

Las secciones censales cubren todo el territorio del municipio de Madrid sin dejar vacíos. Pero en el interior de cada sección censal, especialmente en la periferia, pueden existir áreas de mayor o menor extensión en las que no hay población (parques, polígonos industriales, vertederos, bosques, cultivos, pastos, matorral, superficies de agua, etc.). Es necesario, por lo tanto, tener en cuenta la distribución de los usos del suelo para conseguir una distribución más afinada de la población. Superponiendo el mapa de usos del suelo al seccionado censal se ha conseguido afinar la distribución de la población en cada sección censal, ajustándola sobre las áreas de uso del suelo residencial, en detrimento de los usos industriales y de los espacios no edificadas. (Estudios que está realizando en este momento el Consorcio de Transportes, tratan de delimitar los diferentes usos de suelo por medio de un microseccionado censal, que permitirá definir con mayor detalle al alcanzado en este estudio).

Áreas de influencia de las estaciones

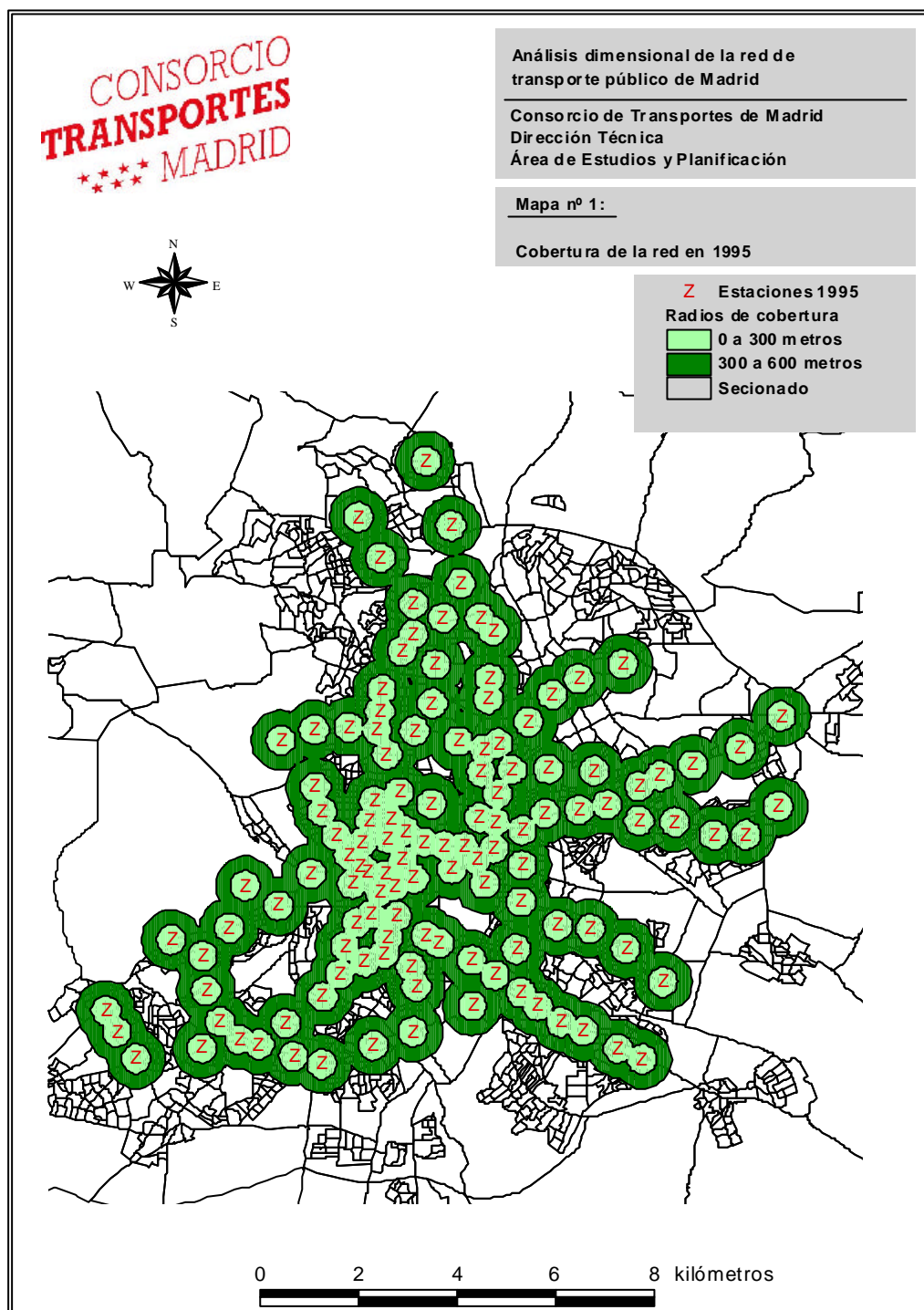
Para delimitar las áreas de influencia se han generado polígonos de Thiessen a partir de las capas de puntos que representan la localización de las estaciones, tanto en 1995 como en 1999. Los límites de los polígonos corresponden a líneas de equidistancia entre estaciones, es decir, a los límites de sus áreas de influencia potenciales.

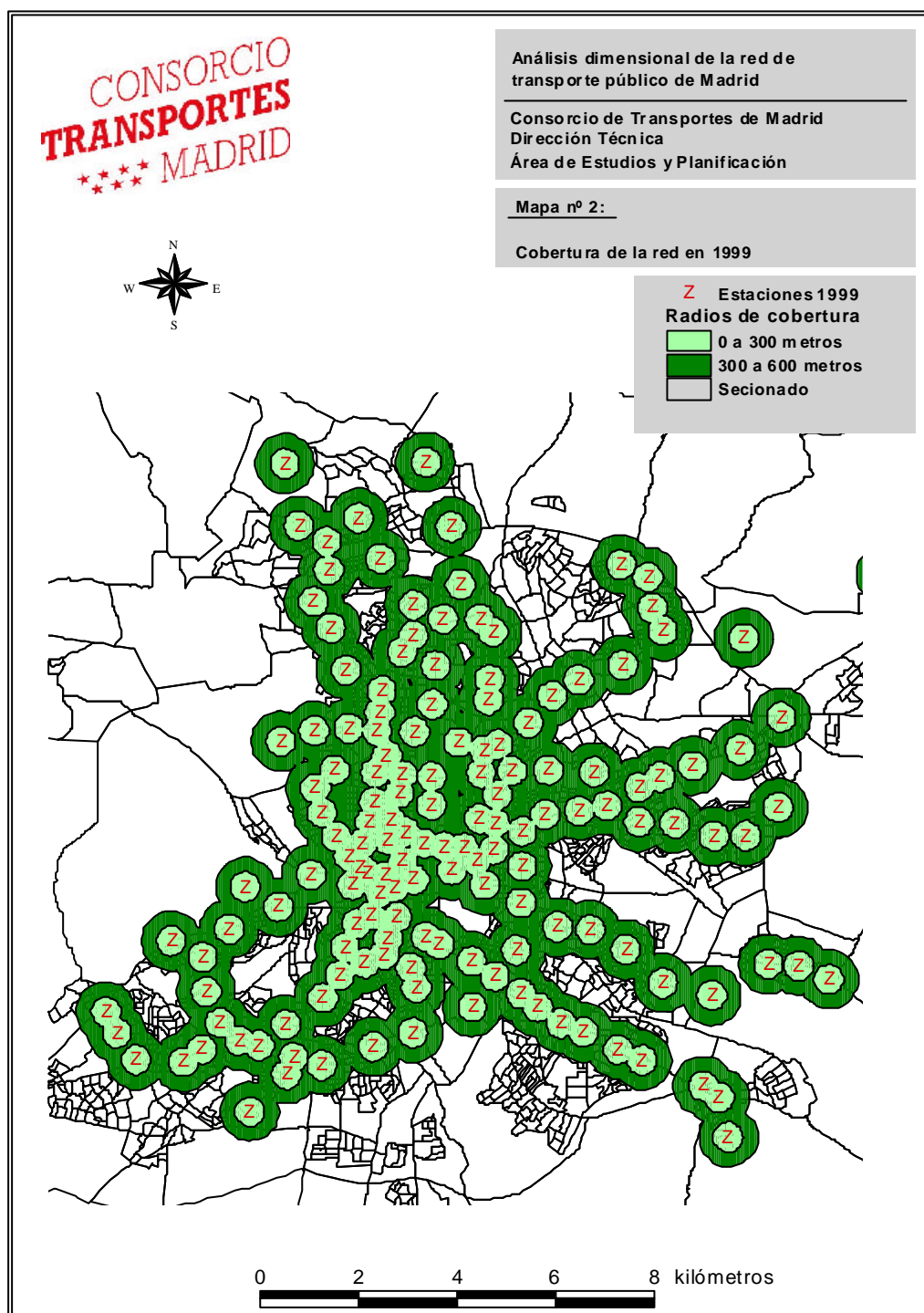
Esta primera delimitación de áreas de influencia es bastante realista en el centro de la ciudad, donde existe una elevada densidad de estaciones de metro, pero no en la periferia, ya que allí donde no existe competencia entre estaciones, un polígono de Thiessen puede extenderse a lo largo de kilómetros hasta el límite externo del área de estudio, es decir, mucho más allá de lo que se puede considerar como el entorno próximo de las estaciones, que es el que se tiene en cuenta para analizar la cantidad de población servida (accesibilidad peatonal a las estaciones).

Franjas de cobertura en las áreas de influencia de las estaciones

Las franjas de cobertura de 0 a 300 y de 300 a 600 metros, generadas también a partir de las capas de puntos que representan la localización de las estaciones en los dos horizontes considerados, ofrecen una visión más realista desde el punto de vista de las distancias, al delimitar las áreas con niveles de accesibilidad alta y media a las estaciones (mapas 1 y 2).

Sin embargo, las franjas delimitadas en función de estos radios se superponen, especialmente en los espacios más céntricos de la ciudad, donde existe una menor distancia entre estaciones. Esto se obtiene superponiendo en el SIG las dos capas anteriores (polígonos de Thiessen y radios de cobertura), de lo que resulta una nueva capa que recoge tanto las franjas correspondientes a los radios de cobertura especificados como los límites entre las zonas de influencia de las estaciones.





Población residente en las áreas de influencia según radios de cobertura

El cálculo de la población residente en cada uno de los radios de cobertura, estación por estación, se obtiene superponiendo las capas anteriores con el seccionado censal ajustado. Si una sección censal está completamente comprendida dentro de un cierto radio con respecto a una estación de metro, toda la población de la sección es asignada a ese radio y esa estación. Pero cuando una sección queda partida por el límite entre las áreas de influencia de dos estaciones, su población se reparte entre las dos áreas de influencia de forma proporcional a la superficie de la sección que queda dentro de cada una de las dos áreas de influencia. Lo mismo ocurre cuando una sección queda partida por el límite entre dos franjas de cobertura.

De esta forma, y habida cuenta de que la distribución de la población dentro de las secciones ya se había afinado a partir de la capa de usos del suelo, se obtiene una representación ajustada de la población residente en cada uno de los radios de cobertura, estación por estación. Basta con seleccionar las secciones o fragmentos de sección censal que quedan dentro de cada una de las franjas y cada una de las áreas de influencia de las estaciones, estación por estación, y sumar su población. Lógicamente los datos a nivel de red se obtienen por agregación de los datos de las distintas estaciones.

Población residente según radios de cobertura por barrios y distritos

En cuanto a la diferenciación por barrios y distritos, es necesario realizar una superposición de la capa anterior con la de barrios y la de distritos, respectivamente, y asignar la población de los polígonos resultantes al barrio o distrito en que se encuentran incluidos, operando de forma análoga a lo expresado anteriormente cuando un polígono queda fragmentado entre dos barrios o distritos. De esta forma se puede obtener finalmente la cantidad de población residente en cada uno de los radios de cobertura tanto por barrios como por distritos.

2.2 Resultados

i) Cobertura a nivel de Municipio de Madrid

Como resultado de la Ampliación de la red de metro 1995-1999 se produce un importante aumento de la población residente en la proximidad de las estaciones de la red. La cantidad población accesible a la red de metro en 1995, residente en el radio de 0 a 600 m, era de 1.696.049 habitantes, 59,2% del total de la población del municipio, después de finalizar el Plan de Ampliación la población accesible aumentó a 1.986.024 habitantes, el 69,3% en 1999, lo que significa un aumento de unos 289.975 habitantes -10,1%- que mejoran rotundamente su accesibilidad, (cuadro 2).

La situación de 1999 muestra que un 33,8% de la población se encuentra dentro de la franja de 0 a 300 metros, un 35,5% dentro de la de 300 a 600 metros y el 30,7% restante habita a una distancia superior a los 600 metros con respecto a las estaciones. Casi, se puede decir

que un tercio de la población de Madrid es muy accesible a la red de metro, es decir que tienen una estación a menos de 5 min de su casa. Un poco más de un tercio es accesible a pie al metro, ya que vive entre 5 y 10 min. Finalmente, algo menos de un tercio de la población de Madrid es poco accesible a pie al metro, tienen una estación a más de 10 min de su casa.

Cuadro 2: Población residente según radios de cobertura en torno a las estaciones antes y después de la ampliación de la red: total del municipio de Madrid

Radios de cobertura	Población (Padrón 1996)			
	Absoluta		Relativa (%)	
	Red 1995	Red 1999	Red 1995	Red 1999
0-300 m	799.749	969.060	27,9	33,8
300-600 m	896.300	1.016.964	31,3	35,5
>600 m	1.170.801	880.826	40,8	30,7
Total	2.866.850	2.866.850	100,0	100,0

En 1995 los porcentajes correspondientes a esas tres franjas eran de un 27,9%, un 31,3% y un 40,8%, respectivamente. Si en estos tres ámbitos espaciales se tenía en 1995 que la población a más de 600 metros era la de mayor peso, 40,8%, correspondiente a más de un millón de personas, en la red de 1999 se tiene que el ámbito de mayor peso es el de 300 a 600 metros, con el 35,5% de la población, también por encima del millón de personas.

El aumento de población residente en la franja de mayor accesibilidad, es decir, de 0-300 metros (169.000 habitantes), es mayor que el que se produce en la franja de 300-600 (120.000 habitantes) (cuadro 3), lo que indica que las mejoras no sólo son cuantitativas (más población con acceso a la red de metro), sino también cualitativas (el grupo de población con mejor acceso a la red de metro es el que más crece).

De los 169.000 habitantes que se incorporan a la franja de mayor accesibilidad (0-300 metros), 137.000 se encontraban más allá de los 600 metros en 1995 y los 32.000 restantes proceden de la segunda franja (300-600 metros). Lógicamente el primer caso se da sobre todo en los distritos periféricos, que no tenían metro, mientras que el segundo caso es más frecuente en la almendra central, donde las áreas de influencia de las estaciones nuevas pueden solaparse con las de las estaciones anteriormente existentes.

Cuadro 3: Cambios en la población residente según radios de cobertura en torno a las estaciones antes y después de la ampliación de la red: total del municipio de Madrid

Radios de cobertura	Diferencias 1999-1995	
	Absolutas	Relativas (%)
0-300 m	169.315	21,2
300-600 m	120.332	13,4
>600 m	-289.647	-24,7

Por otro lado, es importante resaltar que el aumento en el número de estaciones entre 1995 y

1999 (un 22,2%) es muy parecido al aumento de población con acceso a la red registrado entre ambas fechas (17,0%) y casi idéntico al de aquellos que residen en la primera franja (21,2%). Esto se ha conseguido a pesar de que en 1995 la red ya estaba muy desarrollada, con lo que las zonas que concentraban más demanda ya estaban dentro del radio de cobertura de las estaciones (en redes poco desarrolladas cualquier aumento en el número de estaciones tiende a producir un incremento importante en el número de población con acceso a la red, ya que todavía se pueden encontrar áreas con mucha demanda sin cubrir por la red). Ello demuestra que las nuevas estaciones se localizan adecuadamente en relación a la población residente, lo que es un elemento clave cuando se evalúa su rentabilidad económica y social.

ii) Cobertura a nivel de distritos

El análisis de la población servida según radios de cobertura muestra diferencias importantes entre unos distritos y otros. A efectos comparativos, se presentan en este apartado los cuadros que muestran el porcentaje de población en cada distrito según radios de cobertura, tanto en 1995 como en 1999 (cuadros 4 y 5).

La situación de la red en 1995 muestra espacios no cubiertos de una cierta extensión. Hay tres distritos completos (Vicálvaro, Villa de Vallecas y Villaverde) que no están servidos por esta red y un cuarto (Barajas) que tiene más de un 99% de población fuera de la franja de los 600 metros. Otros distritos que tienen una parte importante de su población fuera de esa franja son Hortaleza (87,5%), Moncloa-Aravaca (68,3%), Usera (63,4%), Fuencarral-El Pardo (62,3%) y Puente de Vallecas (54,6%). Todos ellos son distritos periféricos (situados fuera de la almendra central) y varios de ellos con bajo nivel socio-económico.

Los distritos mejor servidos son lógicamente los que ocupan localizaciones más céntricas, ya que allí la red de metro es mucho más densa. Destacan particularmente los distritos de Centro (80,5% de su población en la franja de 0 a 300 metros), Salamanca (61,1%), Retiro (49,7%), Chamberí (47,0%) y Chamartín (44,0%). Fuera de la Almendra Central, los distritos con mayor cobertura de su población y, por tanto, con menor población no accesible, a más de 600 m, eran San Blas (22,8%), Moratalaz (22,8%) y Ciudad Lineal (32,1%)

Cuadro 4: Porcentaje de población de cada distrito según radios de cobertura con respecto a las estaciones de la red de metro en 1995

DISTRITOS	PORCENTAJE DE POBLACIÓN SEGÚN RADIOS DE COBERTURA: RED 1995			
	0-300 m	300-600 m	>600 m	TOTAL
1 Centro	80,5	18,5	1,0	100,0
2 Arganzuela	37,0	45,4	17,7	100,0
3 Retiro	49,7	46,5	3,8	100,0
4 Salamanca	61,1	37,2	1,7	100,0
5 Chamartín	44,0	48,9	7,1	100,0

6 Tetuán	37,1	48,6	14,3	100,0
7 Chamberí	47,0	44,5	8,5	100,0
8 Fuencarral-El Pardo	13,3	24,4	62,3	100,0
9 Moncloa-Aravaca	17,3	14,5	68,3	100,0
10 Latina	21,7	32,9	45,4	100,0
11 Carabanchel	26,2	30,4	43,4	100,0
12 Usera	10,1	26,5	63,4	100,0
13 Puente de Vallecas	18,3	27,1	54,6	100,0
14 Moratalaz	30,1	47,1	22,8	100,0
15 Ciudad Lineal	29,5	38,3	32,1	100,0
16 Hortaleza	3,2	9,3	87,5	100,0
17 Villaverde	0,0	0,0	100,0	100,0
18 Villa de Vallecas	0,0	0,0	100,0	100,0
19 Vicálvaro	0,0	0,0	100,0	100,0
20 San Blas	21,5	55,8	22,7	100,0
21 Barajas	0,0	0,5	99,5	100,0
TOTAL MUNICIPIO MADRID	27,9	31,3	40,8	100,0

Los datos de 1999 muestran claramente los beneficios del plan de ampliación. Los distritos que más mejoran son en general los que peor accesibilidad tenían en 1995. En 1999 sólo un distrito (Villaverde) queda fuera de la cobertura de la red y sólo dos distritos (Barajas, 73,0% y Usera, 63,4%) tienen más de un 60% de su población fuera del radio de los 600 metros.

Cuadro 5: Porcentaje de población de cada distrito según radios de cobertura con respecto a las estaciones de la red de metro en 1999

DISTRITOS	PORCENTAJE DE POBLACIÓN SEGÚN RADIOS DE COBERTURA: RED 1999			
	0-300 m	300-600 m	>600 m	TOTAL
1 Centro	80,5	18,5	1,0	100,0
2 Arganzuela	37,0	45,4	17,7	100,0
3 Retiro	49,7	46,5	3,8	100,0
4 Salamanca	61,4	37,0	1,6	100,0
5 Chamartín	44,2	48,9	6,8	100,0
6 Tetuán	40,4	53,2	6,5	100,0
7 Chamberí	66,3	33,7	0,0	100,0
8 Fuencarral-El Pardo	30,6	37,9	31,5	100,0
9 Moncloa-Aravaca	33,6	32,6	33,8	100,0
10 Latina	22,7	34,1	43,2	100,0
11 Carabanchel	33,4	36,1	30,5	100,0
12 Usera	10,1	26,5	63,4	100,0
13 Puente de Vallecas	18,3	27,1	54,6	100,0
14 Moratalaz	30,1	47,4	22,5	100,0

15 Ciudad Lineal	29,5	38,3	32,1	100,0
16 Hortaleza	26,6	32,3	41,2	100,0
17 Villaverde	0,0	0,0	100,0	100,0
18 Villa de Vallecas	29,7	21,6	48,7	100,0
19 Vicálvaro	32,9	42,9	24,3	100,0
20 San Blas	21,5	55,8	22,7	100,0
21 Barajas	7,7	19,3	73,0	100,0
TOTAL MUNICIPIO MADRID	33,8	35,5	30,7	100,0

Si se atiende al porcentaje de población residente en la franja de 0 a 600 metros (cuadro 6), se observa con claridad cuáles son los distritos que más se benefician de la ampliación de la red. Los cambios más importantes son los registrados en Vicálvaro (que mejora 75,7 puntos porcentuales), Villa de Vallecas (51,3%), Hortaleza (46,4%), Moncloa-Aravaca (34,5%) Fuencarral-El Pardo (30,8%) y Barajas (26,5%). La población de los distritos de Arganzuela, Centro, Ciudad Lineal, Puente de Vallecas, Retiro, San Blas, Usera y Villaverde no se ve afectada por las nuevas estaciones.

Cuadro 6: Población de los distritos en el radio de cobertura de 0 a 600 metros (en %)

DISTRITOS	1999	1995	DIFERENCIA
1 Centro	98,96	98,96	0,00
2 Arganzuela	82,34	82,34	0,00
3 Retiro	96,17	96,17	0,00
4 Salamanca	98,45	98,34	0,11
5 Chamartín	100,00	92,90	7,10
6 Tetuán	93,51	85,71	7,80
7 Chamberí	99,80	91,51	8,29
8 Fuencarral-El Pardo	68,49	37,72	30,77
9 Moncloa-Aravaca	66,21	31,73	34,48
10 Latina	56,82	54,62	2,20
11 Carabanchel	69,47	56,62	12,85
12 Usera	36,58	36,58	0,00
13 Puente de Vallecas	45,35	45,35	0,00
14 Moratalaz	77,54	77,21	0,33
15 Ciudad Lineal	67,86	67,86	0,00
16 Hortaleza	58,84	12,45	46,39
17 Villaverde	0,00	0,00	0,00
18 Villa de Vallecas	51,33	0,00	51,33
19 Vicálvaro	75,73	0,00	75,73
20 San Blas	77,26	77,26	0,00
21 Barajas	26,93	0,46	26,47
TOTAL MUNICIPIO MADRID	69,28	59,16	10,12

La magnitud de los cambios también puede apreciarse en el cuadro 7, donde se expresa la

distribución del número de distritos según el porcentaje de población cubierta en el radio de 600 metros. El intervalo más favorable no experimenta cambios (los siete distritos centrales son los que superan el 80% de población cubierta tanto en 1995 como en 1999), pero los cambios son muy considerables en los demás escalones, indicando que la ampliación de la red ha producido un aumento de la equidad entre los distritos.

El citado aumento de la equidad puede verificarse también aplicando el coeficiente de variación a los datos de población cubierta en el radio de 600 metros (cuadro 8). Como es sabido, el coeficiente de variación es una medida de dispersión que consiste simplemente en expresar la desviación típica como un porcentaje de la media. Por lo tanto, un coeficiente de variación elevado indica una fuerte disparidad entre los distritos. La evolución de este coeficiente desde 59.8 en 1995 hasta 36.9 en 1999 indica claramente que la ampliación produce una mayor equidad en el acceso de la población madrileña a la red de metro.

Cuadro 7: Número de distritos según el porcentaje de población cubierta en el radio de 600 metros: 1995 y 1999

POBLACIÓN EN EL RADIO DE COBERTURA DE 600 m (%)	Número de distritos	
	1995	1999
0-20	5	1
20-40	3	2
40-60	3	4
60-80	3	7
80-100	7	7
TOTAL	21	21

Cuadro 8: Coeficiente de variación entre distritos:
población residente en radio 600 metros

Años	Coeficiente de variación
1995	59,8
1999	36,9
Diferencia 99-95	-22,9

iii) Cobertura a nivel de barrios

El análisis por barrios muestra mayores diferencias que el análisis por distritos, ya que en este caso los datos están más desagregados espacialmente. El número de barrios que tiene la totalidad de su población en la franja de los 600 metros es de 23. Se trata de los barrios de Adelfas, Almagro, Arapiles, Atocha, Castillejos, Ciudad Jardín, Cortes, Embajadores, Gaztambide, Goya, Horcajo, Ibiza, Justicia, Lista, Pacífico, Quintana, Recoletos, Ríos Rosas, Sol, Trafalgar, Universidad, Vallehermoso y Vinateros. Otros 16 barrios tienen casi la totalidad de su población (más del 95%) dentro de dicha franja de 600 metros.

En el extremo opuesto, los barrios cuya población queda totalmente fuera de la franja de los 600 metros, con una localización claramente periférica, desciende desde 30 en 1995 hasta sólo 19 en 1999. Los barrios que permanecen en esta desfavorable situación son Aravaca, Atalaya, Butarque, Costillares, Cuatro Vientos, El Goloso, El Pardo, El Plantío, Entrevías, Fuentelarreina, Los Ángeles, Los Rosales, Orcasitas, Orcasur, San Andrés, San Cristóbal, San Fermín y Valdemarín.

Los mayores beneficios resultantes de la ampliación de la red se producen en barrios que partían de una situación de muy baja accesibilidad. Los mayores aumentos de población en la franja comprendida entre los 0 y los 600 metros se registran en los barrios de Valdezarza, Casco Histórico de Barajas, Casco Histórico de Vicálvaro, Casco Histórico de Vallecas y Ambroz, todos ellos con mejoras de más de ochenta puntos porcentuales. Son barrios que han pasado de no tener metro a tener a la mayor parte de su población servida por dicha red.

Otra forma de comprobar los beneficios territoriales y sociales de la ampliación de la red es analizar el número de barrios según intervalos de población cubierta en la franja de los 600 metros (cuadro 9). Se produce un significativo descenso en el número de barrios peor servidos y un apreciable incremento en el número de barrios con mejor accesibilidad. Entre ambas fechas el número de barrios con menos de un 40% de población cubierta cae desde 46 hasta 38, mientras que el número de los que tienen más de un 60% de su población cubierta aumenta desde 69 hasta 81.

Cuadro 9: Número de barrios según el porcentaje de población cubierta en el radio de 600 metros: 1995 y 1999

POBLACIÓN EN EL RADIO DE COBERTURA DE 600 m (%)	Número de barrios	
	1995	1999
0-20	37	29
20-40	9	7
40-60	13	11
60-80	16	18
80-100	53	63
TOTAL	128	128

Si se calcula el coeficiente de variación entre barrios sobre el porcentaje de población cubierta en la franja de los 600 metros (cuadro 10), se obtienen lógicamente valores más altos que los que resultaron para el análisis por distritos, ya que en aquel caso el mayor nivel de agregación espacial enmascaraba los contrastes territoriales. Se observa también una disminución en el coeficiente de variación por efecto de la ampliación, desde 67,8 en 1995 hasta 55,4 en 1999, lo que significa que las disparidades entre barrios han disminuido en 12,4 puntos, una disminución más baja que la que se obtuvo para los distritos y que habría que atribuir nuevamente al distinto nivel de desagregación espacial de los datos.

Cuadro 10: Coeficiente de variación entre barrios: población residente en el radio de 600 metros

Años	Coeficiente de variación
1995	67,8
1999	55,4
Diferencia 99-95	-12,4

iv) Cobertura a nivel de estaciones

La cantidad de población en el área de influencia de cada estación es muy variable: en la franja de 0 a 600 metros 28 estaciones se sitúan por encima de los 20.000 habitantes, mientras que 26 no llegan a los 5.000 habitantes. Superan los 25.000 habitantes en su área de influencia las estaciones de Artilleros, Barrio del Pilar, Delicias y Usera. Por encima de los 20.000 se sitúan entre otras las de Ascao, El Carmen, Menéndez y Pelayo, Pueblo Nuevo, Argüelles, Conde de Casal, Simancas, Alto Arenal, Barrio de la Concepción, Lucero, Miguel Hernández, Estrecho y Vinateros, situadas todas ellas en barrios con altas densidades de población. De entre las nuevas estaciones también superan los 20.000 habitantes en su área de influencia las de Peñagrande, Islas Filipinas, Francos Rodríguez, Canillas y Parque de Santa María.

Las estaciones con poca población en su área de influencia responden a circunstancias muy distintas. Estaciones como Sol, Sevilla, Callao, Colón o Serrano tienen áreas de influencia muy pequeñas (por encontrarse en zonas con alta densidad de estaciones) y entornos muy terciarizados; Ciudad Universitaria da servicio al campus de las Universidades Complutense y Politécnica; Atocha Renfe y Pitis facilitan el intercambio modal ferrocarril-metro; Campo de las Naciones da servicio al recinto ferial y Aeropuerto permite la conexión con Madrid tanto a los pasajeros como a los empleados de la gran terminal aeroportuaria. Por su parte, Valdebernardo se ubica en un barrio que en 1996 contaba con poca población, pero donde estaba previsto un importante desarrollo urbanístico.

Además de conocer la cantidad de población residente en el área de influencia de cada estación es importante analizar si esa población se localiza o no en las proximidades de la estación. Eso se puede calcular a partir del porcentaje de población residente en la primera franja (de 0 a 300 metros) con respecto a la suma de las dos franjas (de 0 a 600 metros). El valor obtenido es 33,8% frente a 69,3%, lo que significa que la cantidad de población es casi igual en ambas franjas, a pesar que la relación de superficie entre ambas franjas es de 1 a 3, si no tuviesen solapes con las franjas de estaciones próximas.

En numerosas estaciones del centro, que se encuentran muy poco espaciadas se presentan interferencias en sus áreas de influencia. Chueca, Santo Domingo, Príncipe de Vergara, Bilbao, Sol, Tirso de Molina y Noviciado tienen más del 90% de la población de su área de influencia en la primera franja; por encima de 80% se sitúan también Tribunal, Antón Martín, Iglesia, Retiro, Lavapiés, Callao, Lista, Gran Vía, Goya, San Bernardo y Cruz del Rayo.

Los porcentajes más bajos en la primera franja suelen darse en estaciones que no están primordialmente orientadas a dar servicio a la población residente, como Aeropuerto, Atocha Renfe y Campo de las Naciones, o que se encuentran en zonas todavía no consolidadas para las que está previsto un importante desarrollo urbanístico, como es el caso de Valdebernardo.

3. EVOLUCIÓN DE LA CONECTIVIDAD DE LA RED

En esta segunda parte de la ponencia se aborda el análisis de la evolución de la accesibilidad a través de la red de metro, dado que además de un importante aumento en el grado de cobertura de la red, el Plan de Ampliación 1995-1999 también ha supuesto una notable mejora de la conectividad de las estaciones existentes. Con la ampliación de la red se reduce el número de transbordos entre estaciones y la longitud en tiempo de los itinerarios al aparecer alternativas más ventajosas.

En este caso el análisis se realiza no sólo sobre el período correspondiente al referido Plan de Ampliación, sino que además, a efectos comparativos, se tiene en cuenta el impacto en la conectividad causado por las actuaciones del período 1991-1995 (cierre de la línea circular y prolongación de la línea 1 hasta Miguel Hernández) y las previstas para el período 1999-2003 (prolongación de la línea del aeropuerto desde Mar de Cristal hasta Nuevos Ministerios y enlace de la red de metro con la línea de MetroSur).

El análisis se realiza comparando siempre el tiempo medio empleado desde cada estación hasta las 10 estaciones que concentran más demanda en el año 2000 y cuya conectividad por tanto tiene una mayor importancia estratégica en el conjunto de la red. Estas 10 estaciones son las de Moncloa, Sol, Plaza de Castilla, Atocha-Renfe, Avenida de América, Príncipe Pío, Nuevos Ministerios, Argüelles, Méndez Álvaro y Embajadores-Acacias. Para poder efectuar las comparaciones entre fechas distintas sólo se consideran como estaciones de origen las existentes en la situación anterior. No se contemplan, por tanto, los efectos de las nuevas estaciones (en la red intermodal de transporte público), sino que el análisis se restringe al impacto de los nuevos tramos en estaciones previamente existentes.

3.1 Evolución de la accesibilidad en el período 1991-1995

Durante este período se lleva a cabo el cierre de la línea 6 (circular) entre las estaciones de Ciudad Universitaria y Laguna. El nuevo tramo incluye varias estaciones nuevas (Puerta del Ángel, Alto de Extremadura y Lucero) y otras previamente existentes (Ciudad Universitaria, Moncloa, Argüelles, Príncipe Pío y Laguna). Es en éstas últimas donde se producen mejoras en la conectividad (directas e indirectas), que van a repercutir en la mejora de los tiempos de acceso a las 10 estaciones de mayor demanda. La prolongación de la línea 1 hasta Miguel Hernández no aporta ninguna mejora en la conectividad de las estaciones existentes, ya que se trata de una actuación que sólo supone la construcción de estaciones nuevas (pero no la existencia de nuevas posibilidades de transbordo en las estaciones previamente existentes).

El cierre de la línea 6 produce una mejora media de 0,8 minutos para el conjunto de las 119 estaciones existentes en la red en 1991 (un 2,2%), pero lógicamente las diferencias entre estaciones son muy grandes: algunas de ellas no experimentan ningún cambio, mientras que otras presentan mejoras muy notables, cuadro 11. Éstas son especialmente acusadas en las estaciones próximas a los antiguos extremos de la línea 6 (Ciudad Universitaria, Metropolitano y Guzmán el Bueno, en el norte, y Laguna y Carpetana, en el sur, todas ellas con ahorros de tiempo superiores a los 6 minutos, que en términos relativos suponen más de un 15%) y en las estaciones intermedias del nuevo tramo (Príncipe Pío, Moncloa y Argüelles).

Por otro lado, en general se observa que lógicamente las estaciones de la línea 6 en las que no es posible el trasbordo obtuvieron mayores beneficios que las que sí tenían esa posibilidad. Así, por ejemplo, Opañel, Plaza Elíptica y Usera experimentaron mejoras superiores (de entre 4,2 y 2,5 minutos) a la de Oporto (1,2 minutos), aunque está última se encuentra más cerca del nuevo tramo. Fuera de la línea 6 los cambios también son significativos en las antiguas líneas radiales 8 (Fuencarral-Avenida de América) y 10 (Aluche-Alonso Martínez), que incrementan notablemente su conectividad.

Cuadro 11: Promedio de los tiempos de acceso a las 10 estaciones con más demanda en 1991 y 1995 (estaciones con un ahorro de tiempo igual o superior a 2 minutos)

Estación	1991 (min)	1995 (min)	1991-95 (min)	1991-95 %
Ciudad Universitaria	39,2	29,8	9,4	24,0
Laguna	44,8	36,8	8,0	17,9
Metropolitano	37,7	30,4	7,3	19,4
Carpetana	41,7	35,1	6,6	15,8
Guzmán el Bueno	37,2	31,1	6,1	16,4
Príncipe Pío	30,0	25,2	4,8	16,0
Opañel	37,9	33,7	4,2	11,1
Nuevos Ministerios	30,3	26,6	3,7	12,2
Plaza Elíptica	37,6	34,2	3,4	9,0
Moncloa	25,9	22,6	3,3	12,7
República Argentina	31,4	28,4	3,0	9,6
Santiago Bernabéu	42,0	39,4	2,6	6,2
Usera	37,4	34,9	2,5	6,7
Lago	32,6	30,1	2,5	7,7
Batán	36,1	34,1	2,0	5,5
RED (119 estaciones)	32,8	32,0	0,8	2,2

3.2 Evolución de la accesibilidad en el período 1995-1999

A lo largo del período 1995-1999, en el que la red de metro de Madrid ha crecido de forma espectacular, el tiempo medio de acceso a las 10 estaciones seleccionadas desciende en 0,9 minutos (2,4%) para el conjunto de la red, una cifra similar a la del período anterior, cuadro 12. Es evidente que ello se debe a que, aunque en el período anterior fueron muchos menos los kilómetros de red construidos, se incluyó una operación (cierre de la línea 6) cuya función primordial era precisamente conectora: la línea 6 se consolidó como el gran distribuidor dentro de la red de metro.

La prolongación de las líneas 1 (Miguel Hernández-Congosto), 4 (Esperanza-Parque de Santa María), 9 (Pavones-Arganda) y la construcción de las nuevas líneas 8 (Mar de Cristal-Barajas) y 11 (Plaza Elíptica-Pan Bendito) han servido para acercar la red a muchos miles de madrileños, como se demostró en el apartado dedicado al análisis de la cobertura de la red, pero no han aportado nada desde el punto de vista de la mejora de la conectividad de las estaciones existentes. Los cambios más importantes desde el punto de vista de la conectividad han venido dados por la conversión de las antiguas líneas radiales (7, 8 y 10) en diametrales (prolongación de la 7 hasta Pitis y conexión de la 8 y la 10 para formar la nueva 10 desde Fuencarral hasta Aluche).

Cuadro 12: Promedio de los tiempos de acceso a las 10 estaciones con más demanda en 1995 y 1999 (estaciones con un ahorro de tiempo igual o superior a 2 minutos)

Estación	1995	1999	1995-99	1995-99%
Santiago Bernabéu	39,4	30,6	8,8	22,3
Cuzco	38,9	31,5	7,4	19,0
Chamartín	42,4	36,6	5,8	13,7
Begoña	43,5	38,1	5,4	12,4
Fuencarral	44,3	39,6	4,7	10,6
Aluche	40,6	37,7	2,9	7,1
Empalme	38,6	35,7	2,9	7,5
Campamento	38,3	35,4	2,9	7,6
Batán	34,1	31,2	2,9	8,5
Lago	30,1	27,2	2,9	9,6
Cartagena	37,6	34,9	2,7	7,2
Parque de las Avenidas	36,6	34,0	2,6	7,1
Barrio de la Concepción	41,3	38,9	2,4	5,8
Príncipe Pío	25,2	23,1	2,1	8,3
Canal	30,4	28,3	2,1	6,9
Nuevos Ministerios	26,6	24,6	2,0	7,5
Las Musas	52,0	50,0	2,0	3,8
San Blas	48,5	46,5	2,0	4,1
Simancas	46,6	44,6	2,0	4,3
García Noblejas	44,6	42,6	2,0	4,5

<i>RED (125 estaciones)</i>	32,2	31,4	0,9	2,4
-----------------------------	------	------	-----	-----

De hecho se producen ahorros de tiempo muy significativos en las estaciones de la antigua línea 8 desde Santiago Bernabéu hasta Fuencarral (más de 5 minutos en todas ellas excepto Plaza de Castilla), en el tramo de la antigua 10 comprendido entre Aluche y Lago (2,9 minutos de mejora) y en el de la 7 comprendido entre Cartagena y Las Musas (más de 1,9 minutos en todas las estaciones excepto en Avenida de América). A esto hay que añadir que los nuevos tramos de las líneas 7 y 10 atraviesan antiguas estaciones que también experimentan ahorros de tiempo considerables, como Canal, en la línea 7 (2,1 minutos), y Alonso Martínez, en la 10 (1,4 minutos).

Los beneficios de las actuaciones acometidas en la línea 10 también se extienden indirectamente a otras líneas: en el norte, al tramo de la 9 comprendido entre Herrera Oria y Pío XII (por la posibilidad de transbordo a la 10 en Plaza de Castilla); en el sur, al tramo de la 6 comprendido entre Carpetana y Puerta del Angel (transbordo en Príncipe Pío).

Por otro lado, como consecuencia de lo anterior, las diferencias entre los tiempos medios de las estaciones se reducen entre 1995 y 1999, al descender el coeficiente de variación de 21,1 a 20,4. Es decir, se produce un aumento de la equidad (mayor igualdad entre estaciones).

3.3 Evolución de la accesibilidad en el período 1999-2003

En este último período se incluyen dos actuaciones en el ámbito del Municipio de Madrid: la prolongación de la línea del aeropuerto entre Mar de Cristal y Nuevos Ministerios y la prolongación de la 10 para conectar con MetroSur. Ambas actuaciones son eminentemente conectoras. Sin embargo tienen efectos contrarios sobre la conectividad de las estaciones existentes en 1999, cuadro 13.

La primera de las actuaciones citadas afecta positivamente a la conectividad de las estaciones existentes en 1999. Su efecto es muy importante para algunas estaciones. Barajas, Aeropuerto y Campo de las Naciones obtienen un gran ahorro de tiempo, en torno a los 18 minutos (con respecto a las 10 estaciones seleccionadas), gracias a que se establece una conexión directa con Nuevos Ministerios evitando el trasbordo en Mar de Cristal, y ésta última gana casi 7 minutos. El tramo final de la línea 4 mejora considerablemente su conexión con el norte de la ciudad, con ahorros de tiempo importantes en San Lorenzo y Parque de Santa María (3 minutos) y más débiles en Canillas y Esperanza.

Por otro lado, la conexión del nuevo tramo de la línea 8 con la línea 9 en la estación de Colombia, supone un beneficio significativo para esta estación (2,6 minutos) y mucho más débil para algunas estaciones de la línea 9 próximas a Colombia, como Pío XII y Concha Espina. Nuevos Ministerios no obtiene ningún ahorro de tiempo en su conexión con las 10 estaciones de mayor demanda.

Cuadro 13: Promedio de los tiempos de acceso a las 10 estaciones con más demanda en 1995 y 1999 (estaciones con un ahorro de tiempo igual o superior a 2 minutos)

Estación	1999	2003	1999-03	1999-03%
Barajas	66,1	46,9	18,0	27,1
Aeropuerto	64,2	45,6	18,0	28,0
Campo de las Naciones	55,6	39,5	18,0	32,3
Mar de Cristal	44,1	37,4	6,7	15,2
Parque de Sta. María	58,3	55,2	3,1	5,3
San Lorenzo	45,8	42,8	3,0	6,6
Colombia	34,9	32,3	2,6	7,4
Canillas	41,8	39,6	2,2	5,3
RED (152 estaciones)	33,8	33,4	0,4	0,7

La otra actuación de este período permitirá establecer la conexión de MetroSur con la línea 10, pero también supone que la línea 5 llegue hasta la nueva estación de Puerta de Batán, afectando negativamente a la conectividad de varias de las estaciones preexistentes, que antes tenían una mejor comunicación a través de la 10: se trata de las estaciones de Campamento, Aluche y Empalme (con pérdidas de más de 3 minutos) y, en menor medida, de las de Eugenia de Montijo, Carabanchel y Vista Alegre (menos de 1 minuto).

El impacto general sobre la red, resultado de los efectos contrarios de ambas actuaciones, supone una mejora media de 0,4 minutos en los tiempos de acceso a las 10 estaciones con mayor demanda (un 0,7% en términos relativos).

4. CONCLUSIONES

La ampliación de la red de metro 1995-1999 produce un significativo aumento en la cantidad de población servida por la red. Si se comparan las dos situaciones temporales consideradas, resulta que en 1999 un 33,8% de la población se encuentra dentro de la primera franja (de 0 a 300 metros), un 35,5% dentro de la segunda (de 300 a 600 metros) y el 30,7% restante habita a una distancia superior a los 600 metros con respecto a las estaciones; en 1995 los porcentajes correspondientes a esas tres franjas eran de un 27,9%, un 31,3% y un 40,8%, respectivamente. La cantidad población residente en el radio de 0 a 600 metros pasa de un 59,2% del total de la población del municipio en 1995 a un 69,3% en 1999, lo que significa un aumento de unos 289.000 habitantes en términos absolutos.

El aumento de población residente en la franja de mayor accesibilidad, es decir, de 0-300 metros (169.000 habitantes), es mayor que el que se produce en la franja de 300-600 (120.000 habitantes), lo que indica que las mejoras no sólo son cuantitativas (más población con acceso a la red de metro), sino también cualitativas (el grupo de población con mejor acceso a la red de metro es el que más crece).

El análisis de la población servida según radios de cobertura muestra diferencias importantes entre distritos y entre barrios. La situación de la red en 1995 muestra la existencia de espacios no cubiertos cuya extensión se reduce en 1999. Los mayores beneficios resultantes de la ampliación de la red se producen lógicamente en barrios (Valdezarza, Casco Histórico de Barajas, Casco Histórico de Vicálvaro, Casco Histórico de Vallecas y Ambroz) y distritos (Vicálvaro y Villa de Vallecas) que en 1995 no estaban servidos por la red de metro.

El coeficiente de variación de la población cubierta en el radio de 600 metros presenta una evolución muy favorable, tanto a nivel de distritos (pasa de 59,8 en 1995 a 36,9 en 1999) como de barrios (67,8 en 1995 frente a 55,4 en 1999), lo que indica claramente que la ampliación produce una significativa reducción de las disparidades entre barrios y entre distritos o, lo que es lo mismo, aumenta la equidad en el acceso a la red de metro.

La cantidad de población en el área de influencia de cada estación es muy variable, desde los 34.000 habitantes de Artilleros hasta los 0 habitantes de Pitis. Las estaciones con poca población en su área de influencia responden a circunstancias muy distintas: algunas tienen áreas de influencia muy pequeñas (por encontrarse en zonas céntricas con alta densidad de estaciones) y entornos muy terciarizados; otras dan servicio a diversas áreas de actividad como la universidad, el recinto ferial y el aeropuerto; otras son estaciones de intercambio modal ferrocarril-metro; y en otras, por último, están previstos desarrollos urbanísticos importantes.

En cuanto a la conectividad de la red, las actuaciones acometidas con ocasión del plan de ampliación 1995-1999 han supuesto una mejora media de casi 1 minuto en el tiempo de acceso hasta las 10 estaciones que concentran más demanda (equivalente a un 2,4%), como consecuencia de la reducción del número de transbordos entre estaciones y de la aparición de itinerarios más ventajosos. Estos efectos derivan de la prolongación de la línea 7 y la conexión de las antiguas 8 y 10 para formar la nueva 10, con lo que se configuran dos líneas diametrales.

Los mayores beneficios en cuanto a conectividad se registran en las estaciones de la antigua línea 8 desde Santiago Bernabéu hasta Fuencarral, en el tramo de la 10 comprendido entre Aluche y Lago y en el de la 7 comprendido entre Cartagena y Las Musas. También experimentan cambios importantes antiguas estaciones atravesadas por los nuevos tramos de la 7 y la 10. Por otro lado, resaltar que las actuaciones en la línea 10 también repercuten indirectamente en las líneas 9 (entre Herrera Oria y Pío XII) y 6 (entre Carpetana y Puerta del Ángel).

En resumen, la ampliación de metro 1995-1999 ha tenido repercusiones importantes tanto en la cobertura como en la conectividad de la red. Desde el punto de vista de la cobertura, ha producido no sólo un importante aumento de la eficiencia de la red, entendida en términos de población servida, sino también un aumento de la equidad entre distritos y barrios (disminuyen las desigualdades entre distritos y barrios en cuanto a los porcentajes de población servida). Y desde el punto de vista de la conectividad, la ampliación de la red ha significado asimismo un

aumento de la eficiencia de la red (ahorro de tiempo para el conjunto de la red) y de la equidad (reducción de las diferencias de tiempos medios entre estaciones).

BIBLIOGRAFÍA

Cristóbal Pinto, C. y García Pastor, Antonio (1994): “Coverage of rail transport networks (metro and commuter railways) in the city of Madrid, using a Geographic Information System”. University of Warwick, *PTRC European Transport Forum, Proceedings of Seminar N*, pp.61-69.

Escobar, F.J. (1994): “Aplicación del análisis de redes a la localización de centros de salud en Alcalá de Henares”. Madrid, *III Congreso de AESIG*, I-4, pp.1-15.

Escobar, F.J. (1996): *Los Sistemas de Información Geográfica en la localización de servicios sociales: centros de salud y clubes de jubilados en Alcalá de Henares*. Alcalá de Henares, Universidad de Alcalá (Tesis Doctoral).

Ruiz, E. y Serra, J. (1994): “Aplicaciones básicas de un SIG para estudios territoriales en el área metropolitana de Barcelona: población, economía y territorio”. Madrid, *III Congreso de AESIG*, V-2, pp.1-8.

