

## Diseño de la trama urbana y cobertura de las redes de transporte público

J.C. García Palomares<sup>1</sup>, J. Gutiérrez Puebla<sup>1</sup>, J. Ribeiro<sup>2</sup>, T. Sá Marques<sup>2</sup>

<sup>1</sup> tGIS, Grupo de investigación "Transportes, Infraestructuras y Territorio". Departamento de Geografía Humana, Universidad Complutense de Madrid. C/Profesor Aranguren, s/n. 28.040 Madrid.

<sup>2</sup> Departamento de Geografía, Universidade do Porto.

jcgarcia@ucm.es, javiergutierrez@ghis.ucm.es

**RESUMEN:** Una de las claves en su uso del transporte público es la accesibilidad de la población a las paradas o estaciones. Los planificadores del transporte han buscado siempre localizaciones de paradas y estaciones en espacios con un volumen importante de población residente y/o empleo en su entorno inmediato. En los últimos años, se conjugan también políticas urbanísticas para generar nuevos desarrollos urbanos orientados al uso del transporte público. Se busca potenciar las llamadas 3D: densidad, diversidad de usos y diseño urbano. En esta comunicación el objetivo es analizar cómo influye el diseño de la trama urbana en la cobertura de las redes de transporte público (cantidad de población y el empleo en el entorno próximo de las estaciones). La metodología se apoya en el uso de Sistemas de Información Geográfica, sobre los que se han diseñado varios tipos de viarios, y para los que miden las superficies cubiertas y las distancias recorridas a estaciones localizadas en el centro de cada uno de ellos. Posteriormente, se hace un ejercicio de simulación donde se ha tomado el Metro de la ciudad de Madrid, y se han superpuesto sobre todas las estaciones de la red cada uno de los viarios tipo. Así, es posible calcular la población y el empleo cubiertos para cada uno de los escenarios tipo y compararla con la cobertura y la calidad de acceso a las estaciones a través del viario real de la ciudad. Al mantenerse fija las distribuciones de población y empleo, las diferencias se explican exclusivamente por el diseño de la trama urbana. Los resultados muestran como viarios orientados las estaciones incrementan notablemente la población y el empleo cubiertos.

**Palabras-clave:** diseño urbano, cobertura, transporte público, SIG.

### 1. INTRODUCCIÓN

Unas de las claves en el uso del transporte público es la proximidad, la accesibilidad de la población a las paradas o estaciones. La mayor parte de los usuarios del transporte público acceden andando, de manera que cuanto más población viva y trabaje cerca de las estaciones, mayor será su uso (Murray et al, 1998). Por eso, los planificadores del transporte han puesto siempre atención en la localización de las estaciones, buscando espacios con un volumen importante de población residente, empleo o distintas actividades en su entorno más inmediato (Wu and Murray, 2005). A partir de análisis de cobertura que contabilizan la población y el empleo en radios de distancia próximos se ha tratado de estimar demandas potenciales, tanto para las estaciones ya existentes como para las nuevas propuestas.

En las últimas décadas, las políticas que conjugan transporte y planificación urbana están también poniendo un especial acento en combinar actuaciones sobre el entorno construido, que aumenten la población y empleo en los espacios próximos, y a la vez favorezcan el acceso a las estaciones. Desde que Cervero and Kockelman (1997) propusieran sus famosas 3D (densidad, diversidad y diseño), las principales líneas de trabajo van encaminadas al incremento de las densidades de vivienda y empleo, la búsqueda de mayor diversidad y mezcla en los usos del suelo y el diseño de un viario que acorte las distancias y facilite y atraiga la movilidad peatonal.

Cuando la mirada se pone sobre el diseño de la trama urbana, las actuaciones buscan generar viarios amigables al desplazamiento peatonal y a otros medios no motorizados como la bicicleta. Se trata de crear entornos donde las calles estén dirigidas a las estaciones, las manzanas no sean muy grandes e impliquen excesivos rodeos, haya una alta conectividad entre los segmentos de calles, existan amplias aceras, carriles

bici, etc.. Todo debe estar encaminado a favorecer el acceso peatonal o en bicicleta hasta las estaciones o paradas de transporte público (Cervero and Kockelman, 1997; Litman, 2005).

El objetivo de esta comunicación es medir el papel que tiene el diseño de la trama urbana en la cobertura de las redes de transporte, aislando el resto de elementos, como la densidad o la diversidad de usos del suelo. Hasta ahora, el papel del diseño de la trama urbana se ha incluido en modelos de regresión que tratan de explicar la demanda del transporte público, normalmente representada a través de la densidad de red viaria (ver por ejemplo, Gutiérrez et al, 2011). Sin embargo, la densidad de red viaria está relacionada en parte con la propia densidad de población y empleo, lo que puede diluir su efecto. Pero, sobre todo, la densidad del viario no refleja la posible orientación de las calles a las estaciones. La orientación del viario a las estaciones incrementa las áreas de cobertura y facilitar el acceso directo de la población a las mismas. Viarios con la misma densidad de red, pueden tener efectos distintos sobre la cobertura de la red, según se orienten o no las distintas calles hacia la estación.

La principal aportación de esta comunicación es la metodología usada. Se ha optado por diseñar una serie de viarios tipo, que tratan de reflejar los modelos de trama urbana más característicos de los espacios metropolitanos actuales. En un Sistema de Información Geográfica (SIG) se han comparado inicialmente las superficies cubiertas por cada uno de esos viarios tipo y las distancias recorridas para una serie de puntos distribuidos de forma homogénea sobre los mismos. Más tarde, hemos tomado una ciudad y una red de transporte reales (el Metro de la ciudad de Madrid), y se han superpuesto cada uno de los viarios tipo sobre todas las estaciones de la red. Así, es posible calcular la población y el empleo cubiertos para cada uno de los escenarios tipo y comparar los mismos con la cobertura y la calidad de acceso a las estaciones a través del viario real de la ciudad. Al mantenerse fija las distribuciones de la población y el empleo, las diferencias se explican exclusivamente por el papel del diseño de la trama urbana. Pocos trabajos usan tipos de viarios para analizar su influencia en el uso del transporte público y en ninguno se analizan las diferencias en los niveles de cobertura entre distintos tipos de viario.

## 2. CASO DE ESTUDIO Y DATOS

La propuesta metodológica se aplica en el municipio de la ciudad de Madrid y al acceso a la red de Metro. El municipio de Madrid se caracteriza por ser un espacio de una gran diversidad de usos de suelo y alta densidad de población y empleo. En él viven alrededor de 3,26 millones de habitantes y se localizan 1,29 millones de puestos de trabajo.

La red de Metro de Madrid tiene 13 líneas y 300 estaciones distribuidas a lo largo de unos 293 kilómetros. Esta red de Metro sirve principalmente el término municipal de Madrid, pero en los últimos años se ha extendido a otros grandes núcleos del área metropolitana: Alcorcón, Móstoles, Leganés, Fuenlabrada, Getafe, Rivas-Vaciamadrid y Arganda del Rey. Sin embargo, en este trabajo se consideran sólo las líneas y estaciones que están dentro del municipio de Madrid. En total se trabaja con 199 estaciones, pertenecientes a 12 de las líneas de la red y en alrededor de 135 kilómetros.

Las siguientes capas en formato *shape* se utilizaron para alimentar el análisis en el SIG:

Estaciones de la red de Metro de Madrid: Contiene información sobre las características de la estación (por ejemplo, el número de líneas que pasan por la estación).

Callejero digital: Se utiliza para delimitar las zonas de influencia de las estaciones a través de la red viaria en la situación actual.

Portales (del Cartociudad- Instituto Geográfico Nacional, 2010). La población y el número de puestos de trabajo están se han repartidos a nivel de portales y representados en una capa de puntos.

El tratamiento de la información se ha realizado en el software ArcGIS 10 y utilizando especialmente su módulo de redes (*Network Analyst*).

## 3. METODOLOGÍA

Para conocer la influencia del diseño de la trama urbana en la cobertura de las estaciones se han diseñado cuatro redes viarias ficticias, que tratan de representar cuatro modelos característicos en las ciudades actuales. Sobre ellos se evalúan las superficies cubiertas y las distancias a recorrer para alcanzar la estación. Más tarde, se compara la situación real en la población y el empleo cubiertos en la ciudad de Madrid a través del viario existente en el entorno de cada una de las estaciones de Metro, con unas situaciones hipotéticas, en las que en el entorno de las estaciones existiera el mismo tipo de viario. Los

viarios tipo se han diseñado sobre una estación situada en el centro de cada uno de ellos, y posteriormente se han replicado y "desplazado" sobre las 198 estaciones restantes. Todo este proceso se ha realizado en el SIG, usando las herramientas de edición de capas.

### 3.1. Diseño de los tipos de viario

La figura 1 muestra los cuatro tipos de viarios analizados, que presentan las siguientes características:

- a) Red viaria irregular de alta densidad. Simula el viario de los cascos históricos tradicionales de las ciudades europeas. Se trata de viarios irregulares, con alta densidad y manzanas de tamaño pequeño. En este caso, se ha tomado el centro de la ciudad de Roma (Italia) como modelo.
- b) Red viaria irregular de baja densidad. Simula los modelos de las urbanizaciones de los suburbios de las grandes ciudades. Es el modelo de baja densidad asociado al fenómeno del sprawl anglosajón, con calles en "fondo de saco", redes laberínticas pensadas para el desplazamiento en coche.
- c) Red viaria ortogonal, característica de los ensanches y nuevos desarrollos de los distritos externos de las ciudades europeas, y de los viarios de nueva planta de ciudades latinoamericanas. En este caso se ha diseñado un viario con manzanas de 150m x 100m y 15.000 m<sup>2</sup> de área.
- d) Red viaria orientada a la estación. Simula los diseños de los modelos urbanos orientados al transporte público. Las calles tienen un modelo radial, con manzanas de tamaño pequeño, en especial en los espacios cercanos a la estación, y calles que se dirigen en línea recta a las estaciones y accesos al transporte público.

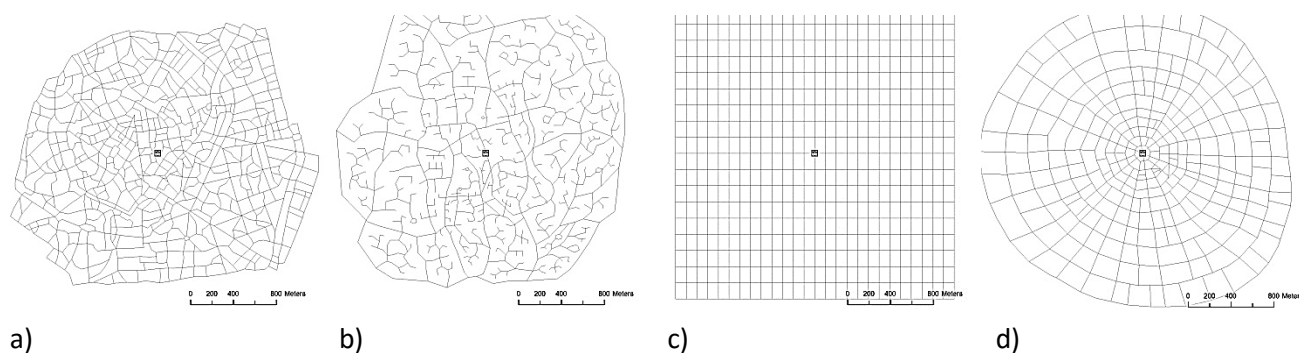


Figura 1. Viarios tipo.

### 3.2. Análisis de las áreas de cobertura y distancias recorridas

La primera comparación entre los diseños urbanos se hace sobre la superficie cubierta desde una única estación y en dos franjas de distancias de 400 y 800 metros. Para su cálculo se ha usado la herramienta de áreas de servicio (*service area*) del módulo de *Network Analyst* de ArcGIS 10. Las áreas de cobertura se comparan con un área de cobertura en línea recta (*buffer*).

Para el análisis de las distancias recorridas se han tomado ocho puntos de origen, distribuidos en las posiciones cardinales a la estación, nuevamente a 400 y 800 metros. En total se consideran 16 puntos de origen. Para cada uno de ellos se calcula la ruta más corta a la estación de metro en los cuatro viarios tipo (mediante la herramienta de *New route*). Con las distancias obtenidas para cada uno de los punto se ha calculado la media y la desviación estándar. Comparando estos valores con las distancias en línea recta se ha obtenido el índice de rodeo asociado a cada uno de los tipos de viarios.

### 3.3. Cálculo de la población y el empleo cubiertos

La metodología usada para el cálculo de la población y el empleo cubiertos es similar a la utilizada habitualmente en este tipo de análisis, donde se utiliza un indicador de oportunidades acumuladas que contabiliza la población y el empleo dentro de ciertos límites de distancia a las estaciones. Para el cálculo de las áreas de cobertura se usan distancias calculadas por la red viaria (Gutiérrez and García-Palomares, 2008).

Inicialmente se ha calculado la población y el empleo cubiertos por la red de Metro de la ciudad de Madrid en la situación actual. Se han calculado áreas de cobertura para las distancias de 400 y 800 metros, y posteriormente se superponen estas capas con las distribuciones de puntos de población y empleo. La

población y empleo cubiertos fueron analizados también a nivel de distrito y estación. Posteriormente, para cada una de las situaciones ficticias (donde todas las estaciones tienen en su alrededor el mismo tipo de viario) se ha usado la misma metodología, obteniendo así los totales de población y empleo cubiertos en cada una de las situaciones ficticia. Los valores de cada escenario ficticio han sido comparados con la situación actual.

### 3.4. Calidad de acceso e índice sintético de accesibilidad

El indicador de oportunidades acumuladas contabiliza la población y el empleo dentro de un límite de distancia a las estaciones. Es un indicador de todo o nada, que no considera las diferencias en la calidad de acceso dentro de esas distancias, ni la posibilidad de que se acceda a las estaciones desde distancias superiores al umbral considerado. Sin embargo, la calidad de acceso a las estaciones es máxima para la población y el empleo que está muy cerca de las estaciones, y menor a medida que aumenta la distancia. Para medir esa calidad de acceso, García-Palomares et al (2013) han propuesto un *Índice de Calidad de Acceso* (IC), que tiene en cuenta una función de *distance decay* en el uso de las estaciones y, una vez normalizada, es utilizada para ponderar el total de población y empleo en franjas de distancia obtenidas cada 100 metros a la estación y que llegan hasta los 1500 metros. Lo interesante de este indicador es que el propio comportamiento de la población se utiliza como proxy de la calidad de acceso. Sus valores oscilan entre 0 y 1, siendo 1 la máxima calidad (toda la población o el empleo se concentraría en la franja de 0 a 100 metros) y cero la mínima calidad (toda la población estaría fuera del área de cobertura). A partir del indicador de calidad de acceso proponen un *Índice Sintético de Accesibilidad* (ISA), que pondera la cantidad de población cubierta por su calidad de acceso. Los resultados expresan la cantidad de población en el área de servicio una vez que se ha descontado el efecto de la distancia. En esta comunicación usamos los indicadores de Calidad de Acceso y el Índice Sintético de Accesibilidad para medir el efecto de los diferentes tipos de viarios.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Diferencias en la superficie cubierta y en las distancias recorridas

El área de cobertura para una distancia de 400 metros en una estación situada sobre un viario orientado a ella es casi el doble que en una estación centrada sobre un viario de baja densidad. Las situadas en un viario irregular de alta densidad y un viario ortogonal tendrían áreas de cobertura intermedias, ligeramente mayores en el viario ortogonal. Aunque al aumentar las áreas de cobertura a 800 metros las diferencias en la superficie cubierta se reducen (con mayores distancias es posible superar los fondos de saco en el viario irregular de baja densidad), las diferencias siguen siendo elevadas. De manera que mientras un viario orientado a la estación alcanza casi un 80% de la superficie que cubierta en línea recta, con un viario irregular de baja densidad apenas se supera el 50% (Tabla 1).

**Tabla 1.** Tamaño de las áreas de cobertura.

TIPO DE VIARIO	400 METROS	VF/LR	800 METROS	VF/LR
Línea recta	50,26	1,00	201,06	1,00
Irregular de alta densidad	31,91	0,63	132,45	0,66
Irregular de baja densidad	21,34	0,42	106,94	0,53
Viario ortogonal	34,87	0,69	132,22	0,66
Viario orientado la estación	40,87	0,81	157,94	0,79

De manera similar, las distancias que habría que recorrer para alcanzar las estaciones desde los 8 puntos situados en los puntos cardinales de cada una de esas distancias, son notablemente inferiores sobre el viario orientado a la estación. El índice de rodeo medio en un viario orientado a la estación es de 1.23 a una distancia de 400 metros y de 1.27 en 800 metros. Mientras el viario irregular de baja densidad y el viario ortogonal muestran nuevamente una situación intermedia, con rodeos ligeramente inferiores a 1,6 en ambas distancias. Por el contrario, los rodeos son muy superiores en el viario irregular de baja densidad, con valores de hasta 2,3 en los primeros 400 metros. Al aumentar la distancia, las diferencias se acortan, y el rodeo medio en este viario irregular de baja densidad se reduce a 1.9. No obstante, siguen apareciendo algunos puntos donde el rodeo sigue siendo especialmente elevado, lo que introduce unas desviaciones estándar mucho más altas en este tipo de viarios (tabla 2).

**Tabla 2.** Distancias recorridas para alcanzar la estación.

TIPO DE VIARIO	400 METROS		DISTANCIA VIARIA / DIST. EUCLIDIANA	800 METROS		DISTANCIA VIARIA / DIST. EUCLIDIANA
	Media	Std Dev		Media	Std Dev	
Irregular de alta densidad	507,1	61,6	1,58	987,5	59,3	1,52
Irregular de baja densidad	612,2	164,5	2,36	1309,5	522,1	1,88
Viario ortogonal	494,9	91,8	1,44	967,0	179,0	1,52
Viario orientado la estación	485,3	74,2	1,23	909,5	40,9	1,27

#### 4.2. Diferencias en la cobertura de la red de Metro de Madrid

La red de metro de la ciudad de Madrid tiene 1.173.600 habitantes y 577.000 empleos en un área de cobertura de 400 metros. La población cubierta se incrementaría un 11.4% con un viario irregular de alta densidad en el entorno de todas las estaciones y hasta un 18.3% si el viario fuera ortogonal. Pero este incremento sería de hasta un 33.5% más en el caso de que todas las estaciones tuvieran un viario orientado a la estación en su entorno. El empleo cubierto también se incrementa con estos tipos de viarios, aunque en unos porcentajes algo menores (Tabla 3). Por el contrario, la presencia de un viario irregular de baja densidad reduciría tanto la población como el empleo cubiertos, en unas proporciones de hasta un 23.5% menos en el caso de la población y un 18.8% menos en el empleo (Tabla 3).

**Tabla 3:** Población y empleos cubiertos en un radio de 400 metros.

TIPO DE RED VIARIA	POBLACIÓN			EMPLEO		
	Total cubierta	DIFERENCIA CON LA RED ACTUAL		Total cubierto	DIFERENCIA CON LA RED ACTUAL	
		Total	%		Total	%
Red viaria actual	1.173.589			576.969		
Irregular de alta densidad	1.307.042	133.453	11,4	620.413	43.444	7,5
Irregular de baja densidad	897.794	-275.795	-23,5	468.738	-108.231	-18,8
Viario ortogonal	1.388.384	214.795	18,3	649.963	72.994	12,7
Viario orientado la estación	1.567.047	393.458	33,5	726.866	149.897	26,0

Si incrementamos el radio de cobertura hasta los 800 metros, las diferencias entre los tipos de viarios se reducen (Tabla 4). Por un lado, con este radio de distancia los porcentajes de población y empleo cubiertos son muy elevados en la situación actual (por encima del 77% en ambos casos), lo que reduce las diferencias. Por otro, mayores radios de distancias permiten superar los fondos de saco o las barreras que aparecen en los viarios menos densos, reduciendo igualmente las diferencias entre tipos de viario. En cualquier caso, nuevamente un viario orientado a la estación permitiría incrementar la población y el empleo cubiertos en porcentajes significativos, un 13% y 12,6% respectivamente, mientras los incrementos con las redes viarias irregular de alta densidad y ortogonal serían la mitad y no se producirían incrementos con la red viaria de baja densidad.

#### 4.3. Diferencias según ámbitos espaciales en la cobertura de la red de Metro de Madrid

Por razones de espacio, se muestran únicamente las diferencias en las poblaciones cubiertas entre la situación actual (real) y las situaciones ficticias para cada uno de los viarios tipo (figuras 2 y 3). En cualquier caso, las pautas en el caso del empleo son similares.

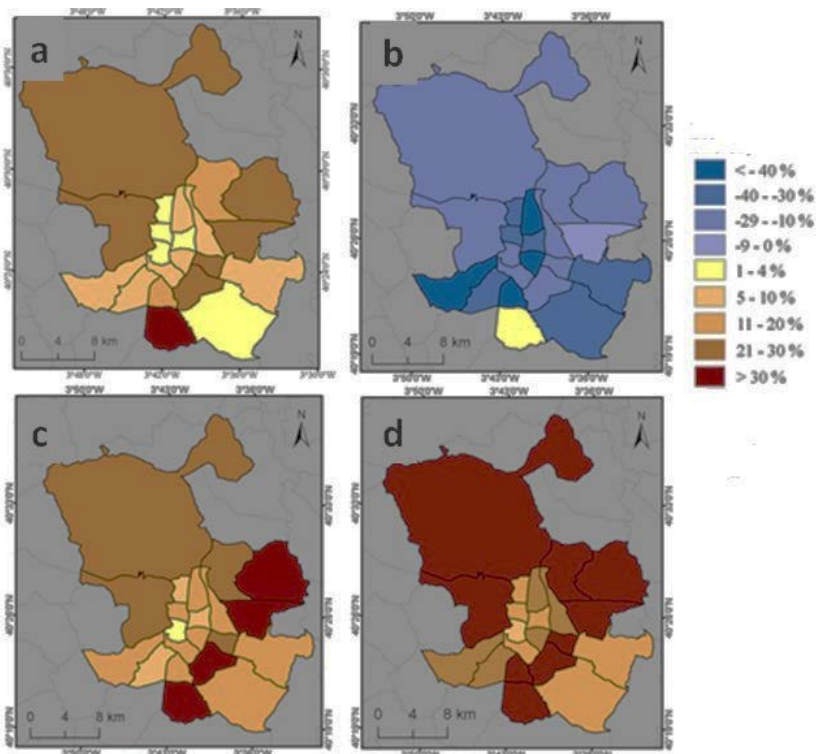
Con una franja de distancia de 400 metros (Figura 2), en los distritos centrales, con viarios densos, las diferencias entre la situación real y las ficticias son reducidas, especialmente con el viario irregular de alta densidad y el viario ortogonal (característicos de estas zonas). Un viario orientado a las estaciones produciría incrementos en las poblaciones cubiertas, del 5-10% en la mayoría de estos distritos. Por el contrario, cuando introducimos un viario irregular de baja densidad en estos espacios más densos de la ciudad central, se producen descensos de la población cubierta muy elevados, por encima del 40% en algunos distritos. En los distritos periféricos la situación es la inversa. Sus poblaciones cubiertas son menores, al tratarse de espacios

con viarios más irregulares, de menor densidad e, incluso, con barreras relacionadas con las propias infraestructuras ferroviarias o autopistas urbanas, que reducen sensiblemente sus áreas de cobertura. Así, se produce un incremento de la población cubierta de entre un 20 al 30% en el caso de los viarios irregular de alta densidad y ortogonal, y por encima del 30% en el viario orientado a la estación. La presencia de viarios orientados a las estaciones favorece a los espacios donde las poblaciones cubiertas son menores. Por el contrario, es en los espacios periféricos donde las pérdidas son menores con un viario irregular de baja densidad, entre un 10-30%.

**Tabla 4:** Población y empleos cubiertos en un radio de 800 metros.

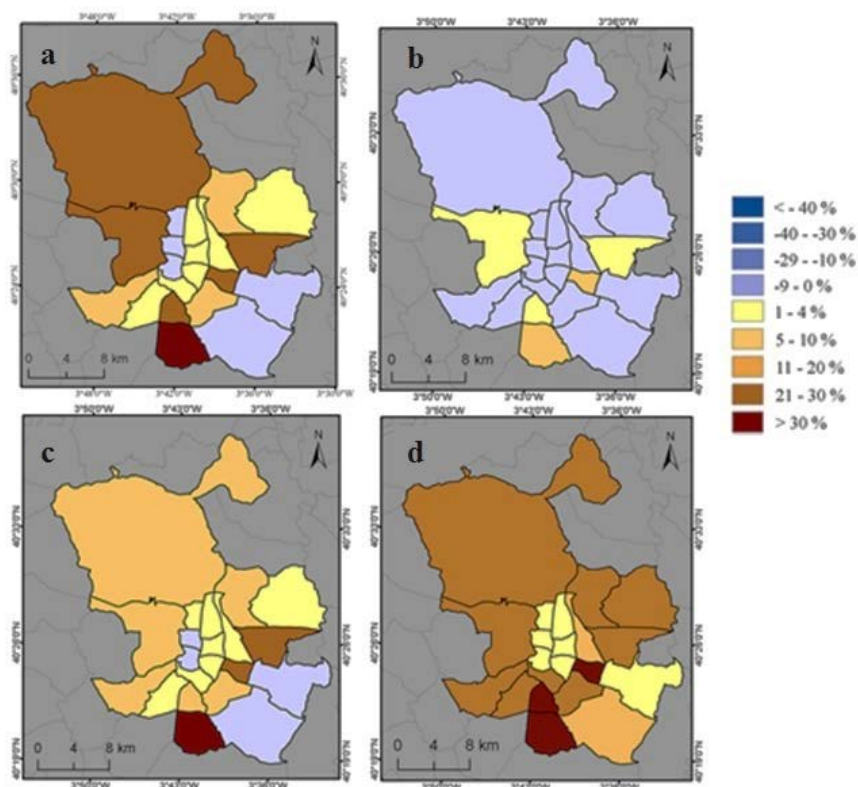
TIPO DE RED VIARIA	POBLACIÓN			EMPLEO		
	Total cubierta	DIFERENCIA CON LA RED ACTUAL		Total cubierto	DIFERENCIA CON LA RED ACTUAL	
		Total	%		Total	%
Red viaria actual	2.443.476			997.873		
Irregular de alta densidad	2.594.251	150.775	6,2	1.070.016	72.143	7,2
Irregular de baja densidad	2.433.547	-9.929	-0,4	1.025.592	27.719	2,8
Viaro ortogonal	2.574.992	131.516	5,4	1.062.941	65.068	6,5
Viaro orientado la estación	2.763.568	320.092	13,1	1.123.513	125.640	12,6

Si las áreas de cobertura se incrementan a 800 metros, las diferencias entre los tipos de viario y la situación real se reducen (Figura 3). Los valores de población cubierta en la situación real superan el 90% en muchos distritos, especialmente en los más centrales, de manera que los cambios al introducir otros viarios son pequeños. De hecho, en algunos espacios centrales, los viarios irregulares de alta densidad y el viario ortogonal presentan coberturas similares o ligeramente inferiores a las del viario actual. Mientras, aunque las pérdidas se reducen, la presencia de un viario irregular de baja densidad produciría pérdidas en la mayor parte de los distritos. A pesar de las menores diferencias, nuevamente un viario orientado a las estaciones produciría un incremento de la población cubierta, que en los distritos periféricos alcanzaría valores de entre un 10-20% más en la mayoría de los casos y superior al 30% en algunos de los distritos con peores situaciones en la situación actual.



**Figura 2:** Diferencias porcentuales en 400 metros la población cubierta entre la situación real y las situaciones con los viarios tipos (según distritos)





**Figura 3:** Diferencias porcentuales en 800 metros la población cubierta entre la situación real y las situaciones con los viarios tipos (según distritos)

#### 4.4. Diferencias en la calidad de acceso a la red de Metro de Madrid

El índice de calidad de acceso de la población de Madrid en la situación actual es de 0,68. Un viario orientado a las estaciones incrementaría ese valor hasta un 0,75. Los viarios irregular de alta densidad y ortogonal apenas producen un incremento del 0.01 en el indicador de calidad, a pesar de los incrementos en la población cubierta. Por el contrario, viario un viario irregular de baja densidad reduce significativamente la calidad de acceso, hasta un valor del 0,63 (Tabla 5). Estas diferencias se explican por la mayor población cubierta por el viario orientado a la estación en los radios de distancias menores, donde la calidad de acceso es mucho mayor.

La calidad de acceso desde los lugares de empleo es mayor que desde los espacios residenciales (Tabla 6), al concentrarse el empleo en el centro de la ciudad, donde cobertura de la red es mayor. Como consecuencia, las diferencias entre los tipos de viarios se reducen. No obstante, nuevamente entre un viario orientado a las estaciones y un viario irregular de baja densidad se mantienen. El primero mantiene valores de calidad de acceso elevados (0.77), mientras en un viario irregular de baja densidad la calidad es notablemente menor (0,66).

Las diferencias en la calidad de acceso se incrementan en el índice sintético de accesibilidad (población y el empleo cubiertos una vez que se ha descontado el efecto de la distancia), pues a las diferencias en la calidad se suman las existentes de partida en los propias población y empleo cubiertos (Tablas 5 y 6). De esta forma, un viario orientado a las estaciones tendría un índice sintético de accesibilidad de hasta 297.000 habitantes y 122.000 empleos más que en la situación actual, mientras que un viario el viario irregular de baja densidad supondría pérdidas de -223.000 habitantes y -73.000 empleos.

## 5. CONCLUSIONES

El objetivo de este artículo ha sido mostrar el efecto del diseño de la trama urbana en la cobertura de las estaciones, y en consecuencia en el uso final de las mismas. Para ello, hemos usado diferentes tipos de viarios y comparado sus áreas de cobertura y las distancias recorridas sobre los mismos. Tomando el ejemplo del Metro de Madrid, y la distribución de la población y el empleo, hemos obtenido las coberturas imaginando que en los entornos de las estaciones existieran esos viarios tipo. De esta forma aislamos el impacto de la densidad y la diversidad, y podemos conocer el impacto de la trama urbana.

**Tabla 5:** Índice de Calidad de Acceso e Índice Sintético de Accesibilidad de la población.

	<i>IRREGULAR DE ALTA DENSIDAD</i>	<i>IRREGULAR DE BAJA DENSIDAD</i>	<i>ORTOGONAL</i>	<i>ORIENTADO A LA ESTACIÓN</i>	<i>ACTUAL</i>
Índice de Calidad	0,69	0,63	0,69	0,75	0,68
Población cubierta	2.906.693	2.723.586	2.868.409	2.981.059	2.851.160
ISA	2.005.618	1.715.859	1.979.202	2.235.794	1.938.789

**Tabla 6:** Índice de Calidad de Acceso e Índice Sintético de Accesibilidad del empleo.

	<i>IRREGULAR DE ALTA DENSIDAD</i>	<i>IRREGULAR DE BAJA DENSIDAD</i>	<i>ORTOGONAL</i>	<i>ORIENTADO A LA ESTACIÓN</i>	<i>ACTUAL</i>
Índice de Calidad	0,72	0,66	0,72	0,77	0,71
Empleo cubierto	1.175.071	1.109.176	1.162.101	1.204.235	1.133.433
ISA	846.051	732.056	836.713	927.261	804.737

Los resultados muestran como viarios orientados a las estaciones consigue incrementar las áreas de cobertura de una estación en un 10 y un 15% sobre viarios irregulares de baja densidad o viarios ortogonales y en hasta un 40% sobre los viarios de baja densidad característicos de las áreas suburbanas. En consecuencia, las distancias que la población tiene que recorrer para acceder a las estaciones se incrementan. Aumenta especialmente el índice de rodeo. Si comparamos la distancia que hay que recorrer en cada uno de los tipos de viarios con la línea recta, el rodeo medio en un viario irregular de alta densidad o en un viario ortogonal es alrededor de 1.5, y se dispara por encima de 2 en viarios de irregulares de baja densidad. Por el contrario, en un viario orientado a las estaciones el índice de rodeo es inferior a 1.3. Las diferencias son mayores además en las áreas de cobertura más próximas a la estación (400 metros), mientras se reducen en para áreas de cobertura de 800 metros.

Estas diferencias son importantes. Un incremento de las superficie cubierta en las primeras franjas permite aumentar la población en las franjas donde el uso de las estaciones es mayor, incrementado en consecuencia su demanda (Zhao et al, 2003; García-Palomares et al, 2013). Pero además, la población tiende a seguir en sus desplazamientos recorridos en línea recta, tratando de minimizar el número de giros (Lamíquiz and López-Domínguez, 2015). Viarios orientados a la estación no solo reducen las distancias e incrementan la población cubierta, también facilitan recorridos en línea recta, más propensos al desplazamiento peatonal.

Tomando como ejemplo la ciudad de Madrid y el caso de la red de Metro en este trabajo se constata como, frente a la situación real, una situación hipotética donde todas las estaciones tuvieran un viario orientado a las mismas incrementaría la población cubierta en un radio de 400 metros en más del 33% y el empleo en un 26%. Viarios ortogonales o irregulares de baja densidad también incrementan la población y el empleo cubiertos, pero lo hacen en menor medida. Sin embargo, un viario irregular de baja densidad, reduce sustancialmente tanto la población (-23%) como el empleo cubierto (-19%). Nuevamente al incrementar la distancia las diferencias se reducen, pero con situaciones todavía mucho más favorables en los viarios orientados a las estaciones.

El efecto de los tipos de viario sobre las coberturas tiene dos elementos más a considerar. Por un lado, espacialmente, el incremento de la población y el empleo cubiertos con un viario orientado a la estación afecta en mayor medida a los espacios periféricos de la ciudad, los menos consolidados. En estas áreas los viarios son menos densos y presentan además más barreras a los desplazamientos peatonales (las propias infraestructuras ferroviarias, autopistas, etc.). Es en estos espacios periféricos donde la promoción de actuaciones que creen viarios orientados a las estaciones tendrían un mayor impacto. Por otro lado, al afectar con más fuerza a las franjas más próximas a las estaciones, la implementación de viarios orientados a las estaciones no solo incrementa la población y el empleo cubiertos, también (y en mayor medida) la calidad de acceso, aumentando en consecuencia su demanda potencial.

Estos resultados demuestran que la accesibilidad a las estaciones puede incrementarse tanto a través de la densidad como del propio diseño de la trama urbana. Ambos factores lo hacen de forma similar, al



aumentar la proximidad de la población y el empleo a las estaciones. La densidad concentra población y empleo en el entorno próximo, mientras que el diseño urbano permite aumentar las áreas de cobertura. Un diseño eficiente tiene el mismo efecto que las políticas de redensificación, pues consigue incrementar el total de población cubierta en franjas próximas a las estaciones o paradas de transporte público.

## **6. BIBLIOGRAFÍA**

- Cervero, R. y Kockelman, K. (1997): "Travel Demand and the 3Ds: Density, Diversity, and Design". *Transportation Research-Part D*, 2, 199-219.
- García-Palomares, J. C., Gutiérrez, J. y Cardozo, O. (2013): "Walking accessibility to public transport: an analysis based on microdata and GIS". *Environment and Planning-Part B*, 40, 1087-1102.
- Gutiérrez, J. y García-Palomares, J.C. (2008): "Distance measure impacts of public transport service areas". *Environment and Planning-Part B*, 35, 480-503
- Gutiérrez, J., Cardozo, O. y García-Palomares, J.C. (2011): "Transit ridership forecasting at station level: an approach based on distance-decay weighted regression". *Journal of Transport Geography*. 19, 1081-1092.
- Lamíquiz, P. J. y López-Domínguez, J. (2015): "Effects of built environment on walking at the neighbourhood scale. A new role for street networks by modelling their configurational accessibility?". *Transportation Research-Part A*, 74, 148-163.
- Litman, T. (2005): Land use impacts on transport: How land use factors affect travel behaviour. <http://www.vtpi.org/landtravel.pdf>
- Murray, A.T., Davis, R. y Stimson, R.J. (1998). "Public transport access". *Transportation Research-Part D*, 3(5), 319-328.
- Wu, C.S. y Murray, A.T. (2005): "Optimizing public transit quality and system access: the multiple-route, maximal covering/shortest-path problem". *Environment and Planning-Part B*, 32(2), 163-178.
- Zhao, F., Chow, L. F., Li, M. T., Ubaka, I., y Gan, A. (2003): "Forecasting transit walk accessibility: regression model alternative to buffer method". *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1835(1), 34-41.