

CIUDAD Y TERRITORIO

ESTUDIOS TERRITORIALES

ISSN(P): 1133-4762; ISSN(E): 2659-3254

Vol. LVI, Nº 222, invierno 2024

Págs. 1263-1282

<https://doi.org/10.37230/CyTET.2024.222.9>

CC BY-NC-ND



Retos para la creación de un modelo de cálculo de un Índice de Accesibilidad al Transporte Público en la provincia de Barcelona

Jordi MARTIN-ORIO

Profesor asociado. Departamento de Geografía
Universidad Autónoma de Barcelona (UAB)

Resumen: A lo largo de las últimas décadas, numerosas ciudades y áreas metropolitanas convergen en el interés por gestionar de manera eficiente la planificación de la movilidad y del planeamiento urbanístico. La provincia de Barcelona, su área metropolitana, así como el continuo urbano de la ciudad de Barcelona no son un caso ajeno a esta tendencia y, de la mano de la Autoridad del Transporte Metropolitano de Barcelona, se ha gestado un proyecto para la generación de un Índice de Accesibilidad al Transporte Público Colectivo cuya metodología y resultados se muestran en este artículo, en el que se expone metodológicamente el modelo de cálculo que permite territorializar el suelo urbano residencial y de actividad económica en función de su proximidad cuantitativa y cualitativa al transporte público colectivo detectando así, esos territorios donde la convergencia entre planeamiento urbanístico y movilidad garantizan una excelente movilidad en contraposición a otros lugares donde el planeamiento urbanístico está condicionado por una nula o escasa oferta de transporte público colectivo.

Palabras clave: Índice de Accesibilidad al Transporte Público; Movilidad; Movilidad Sostenible; Planeamiento urbanístico; Sistemas de Información Geográfica; Transporte Público Colectivo; PTAL; Barcelona.

Recibido: 16.09.2023; Revisado: 22.07.2024

Correo electrónico: jordi.martin@uab.cat; N.º ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9993-8207>

El autor agradece los comentarios y sugerencias realizados por las personas evaluadoras anónimas, que han contribuido a mejorar y enriquecer el manuscrito original.

El autor agradece el soporte de toda el Área de Movilidad de la Autoridad del Transporte Metropolitano de Barcelona, en especial los aportes de su Director, Sr. Lluís Alegre y de su Jefe de Movilidad, Sr. Xavier Sanyer. Del mismo modo, el autor agradece los aportes del Sr. Frederic Lloveras y de la Sra. Nati Franco de la empresa Mcrit Multicriteria por las tareas de soporte desarrolladas en la construcción del Índice de Accesibilidad al Transporte Público.

Challenges for creating a Public Transport Accessibility Levels index in Barcelona's province

Abstract: Over these last few decades, numerous cities and metropolitan areas have converged in their interest in managing mobility and urban planning efficiently. Barcelona's province, its metropolitan area, as well as the urban continuum of the city of Barcelona are not unrelated to this trend. Barcelona's Metropolitan Transport Authority has created a Collective Passenger Transport Accessibility Index (Public Transport Accessibility Levels, PTAL) whose methodology and results are shown in this article. In this article, the methodology exposes the process that allows urban fabric and industrial fabric to be territorialized based on its quantitative and qualitative proximity to Collective Public Transport, thus detecting those areas where the convergence between urban and mobility planning guarantee excellent mobility as opposed to other areas where urban and mobility planning is conditioned by a null or scarce offer of Collective Public Transport.

Keywords: Public Transport Accessibility Levels; Mobility; Sustainable Mobility; Urban Planning; Geographic Information Systems; Collective Passenger Transport; PTAL; Barcelona.

1. Introducción

La cuestión de la accesibilidad es un tema central dentro de la Geografía. De hecho, la manera en cómo la sociedad utiliza y transforma el espacio está directamente relacionada en su capacidad de acceso al mismo. Así, todo ejercicio que ayude a poder cuantificar el grado de accesibilidad, en este caso, el condicionado al uso del transporte público colectivo, será una expresión más de la evidencia significativa de la relación entre Sociedad y Medio, tema central de todo análisis geográfico.

La Geografía de los Transportes, entendida como la disciplina que estudia la relación entre la geografía y los distintos sistemas de transporte ha sido una rama de la geografía ampliamente teorizada. Destacan las teorías del lugar central desarrolladas por CHRISTALLER (1966) en las que se postula que las actividades económicas tienden a agruparse alrededor de aquellos lugares centrales que ofrecen más y mejores bienes y servicios y que los sistemas de transporte se desarrollan para conectar dichas áreas centrales con sus respectivas áreas de influencia. También cabe mencionar las teorías de la difusión espacial desarrolladas por HÄGERSTRAND (1967) en torno a los avances tecnológicos y cómo los sistemas de transporte se propagan desde sus puntos de origen hacia otras áreas, influyendo en la conectividad y la accesibilidad tanto en el tiempo como en el espacio. Ya a finales del siglo pasado, HALL (2002 y 1988) trató extensamente la importancia de la accesibilidad en la configuración de las ciudades y áreas metropolitanas y el papel relevante de los sistemas de transporte en la planificación urbana. Más

recientemente, autores como LEVINSON (1998) o BATTY (2009) han analizado la configuración y la organización de las redes de transporte a partir del uso de herramientas SIG y de herramientas de modelización de transporte y cómo estas son de vital importancia en la toma de decisiones de localización, de desarrollo urbano y de planificación de las redes de transporte.

Uno de los retos más importantes a los que se enfrenta la sociedad actual es intentar reducir y atenuar las crecientes desigualdades sociales. La estratificación de la sociedad muestra graves consecuencias en la calidad de vida de las personas y, disciplinas como la planificación de la movilidad y el urbanismo no quedan exentas de esta problemática. Es por ello clave poder incidir en definir cómo viven, donde viven, como se mueven y que oportunidades tienen los habitantes de todo territorio en términos de accesibilidad a los sistemas de transporte público colectivo. El contexto territorial de este artículo se centra exclusivamente en la provincia de Barcelona, territorio en el que cohabitan más de 5,6 millones de habitantes a lo largo de 7726 kilómetros cuadrados y en el que tienen lugar más de 1000 millones de desplazamientos en transporte público por año.

En términos generales, Barcelona, su provincia y en general toda Catalunya disfrutan de unas extraordinarias potencialidades, pero, en las últimas décadas, a medida que el territorio se ha ido integrando y se ha hecho mucho más accesible, la urbanización se ha ido dispersando de modo exponencial y, muy a menudo, acompañada por asentamientos de baja densidad. Por todo ello, la ocupación del suelo ha ido fragmentando espacios naturales, hipotecando crecimientos

futuros y sobre todo ha ido incrementando los costes en la prestación de servicios como los asociados a la movilidad y el transporte. La mejor receta que puede ayudar a mitigar esta situación pasa por la compacidad, la complejidad y la cohesión. Autores como NEL·LO (2001 y 2003), FERRI (2019), GARCÍA (2019) o LAMÍQUIZ (2024) han tratado en profundidad el papel de la morfología urbana y las consecuencias de esta sobre el hábitat urbano en términos de desigualdad y de oportunidades de acceso al lugar de trabajo. La generación de tejidos urbanos relativamente densos donde predomine la mixticidad de usos y una buena redistribución social de la renta de sus habitantes es factor clave para una reducción de la vulnerabilidad de la población que habita nuestras ciudades. O, incluso más recientemente, autores como MEJÍA (2023) han evidenciado el papel determinante de la forma urbana en relación al consumo energético y a la segregación residencial.

Aplicando estos principios a los nuevos paradigmas de la movilidad del siglo XXI y siguiendo los criterios del planeamiento territorial es básico poder fijar los siguientes preceptos:

- Hacer de la movilidad un derecho y no una obligación.
- Facilitar el transporte público como la mejor alternativa a cualquier otro modo de desplazamiento.

Este trabajo pretende actualizar el proceso metodológico y su cobertura territorial a partir del estudio previo del 2013 sobre la accesibilidad en transporte público centrado solo en polígonos de actividad económica de la región metropolitana de Barcelona de SINGLA (2013). A nivel metodológico, la actualización del índice de accesibilidad incluye la incorporación de aspectos relevantes como la intermodalidad, el papel cada vez más relevante de la infraestructura ciclable, la velocidad comercial de las líneas de transporte público colectivo, así como la conectividad de dichas líneas con los principales núcleos de población. A nivel cartográfico, las bases cartográficas utilizadas han sido las siguientes: la cobertura del planeamiento urbanístico vigente, el conjunto de líneas y puntos de paradas del transporte público colectivo gestionado por la Autoridad del Transporte Metropolitano de Barcelona y la infraestructura viaria de ejes de calles a partir de la Base Topográfica a escala 1:25 000 del Instituto Cartográfico y Geológico de Catalunya.

Dos son los antecedentes que preceden y sustentan este trabajo: por un lado, las Directrices Nacionales de Movilidad de 2003 y, por otro, el estudio llevado a cabo en 2013 sobre la accesibilidad en transporte público colectivo a los polígonos de actividad económica de la región metropolitana de Barcelona.

En relación con el primero, las Directrices Nacionales de Movilidad constituyen el marco genérico para la aplicación de la Ley 9/2013, de 13 de junio de la movilidad. Dicha ley tiene como objetivo establecer los principios y los objetivos a los cuales ha de responder la gestión de la movilidad de las personas y las mercaderías dirigida a enfatizar la sostenibilidad y la seguridad de estos. Para ello, y tal como establece la ley, se establecen una serie de objetivos que sustentan la base de este estudio:

- Integración de las políticas de desarrollo urbanístico, económico y de movilidad a fin de reducir tanto como sea posible el número de desplazamientos habituales garantizando, en la medida de lo posible, el acceso a centros de trabajo, de residencia, así como a otros espacios de interés cultural, social, sanitario, educacional o lúdico con el mínimo impacto ambiental posible y del modo más seguro.
- Priorización de la movilidad en transporte público y colectivo, así como otros modos de transporte con el menor impacto ambiental posible: a pie, en bicicleta o en cualquier modo que no repercuta en el consumo de combustibles fósiles.
- Establecimiento de los mecanismos de coordinación destinados a aprovechar al máximo el transporte colectivo ya sea transporte público, transporte escolar o transporte de empresa.
- Fortalecimiento de sistemas de transporte a la demanda en zonas urbanas de baja densidad especialmente núcleos rurales y núcleos residenciales de edificaciones aisladas tales como urbanizaciones. En ambos casos la finalidad es garantizar la intercomunicación de estos espacios relativamente alejados con sus centros urbanos más cercanos.
- Fortalecimiento de sistemas de transporte a la demanda en polígonos industriales a fin de reducir progresivamente la dependencia del transporte privado en estos espacios.
- Reducción de la congestión en zonas urbanas densas a través de medidas que tiendan

a incentivar el uso del transporte público y a disuadir el uso del transporte privado.

- Mejoría en las velocidades comerciales de las líneas regulares de transporte público de pasajeros.

Y, en relación con el segundo, en 2013, la Asociación Pacto Industrial de la Región Metropolitana de Barcelona llevó a cabo el estudio de "Accesibilidad en Transporte Público Colectivo a los polígonos de actividad económica de la región metropolitana de Barcelona" coordinado por SINGLA (2013). El objetivo de ese estudio era aportar un conjunto de propuestas metodológicas que mejoraran la accesibilidad de manera global al conjunto de polígonos industriales de la región metropolitana de Barcelona, tanto en transporte público colectivo como en otros modos no mecanizados. Partiendo de la idea inicial en que en la región metropolitana de Barcelona se dispone de un total de 728 polígonos de actividad económica, ocupando una superficie total de casi 17 000 hectáreas y, por aquel entonces, en estos polígonos trabajaban alrededor de trescientas mil personas, se constató que un 80,6% de los trabajadores disfrutaban de una accesibilidad entre aceptable y muy buena en transporte público, mientras que, resultados en mano, un 6,9% de los trabajadores tenían una accesibilidad mejorable en transporte público y un 12,5% de los trabajadores tenían una accesibilidad deficiente o directamente no accesible en transporte público, siendo este último grupo el que requería políticas de mejoría en torno a la accesibilidad en transporte público. Para el cálculo del índice de accesibilidad se tuvo en consideración las paradas de autobús urbano, interurbano y metropolitano; las estaciones ferroviarias de la red de Cercanías y de Ferrocarriles de la Generalitat de Catalunya; la red de metro y la red de tranvía. En todos los casos los valores que se tuvieron en consideración fueron la proximidad a la parada/estación, la oferta de líneas de transporte que circulan por una parada/estación y el peso de la línea de transporte en función de su capacidad de enlazar con otras líneas y de su capacidad en ofrecer una mayor vertebración territorial entendida como la relación entre circular por áreas cuanto más densamente pobladas mejor y la intrínseca capacidad de atracción gravitacional de una parada/estación sobre el territorio y su potencialidad en generar accesibilidad al transporte público.

Para finalizar este capítulo de introducción, señalar aquí, algunos de los datos más relevantes sobre cómo es la movilidad actual dentro del ámbito de estudio a partir de los resultados de la Encuesta de Movilidad en día laborable de 2022¹:

- Los 4 853 758 habitantes de más de 16 años residentes en el ámbito del Sistema Integrado de Movilidad Metropolitana de Barcelona realizan un total de 19 212 260 desplazamientos en un día laborable. El cociente de desplazamientos por habitantes genera un valor de 4,0 desplazamientos por habitante y día laborable.
- El 50,7% de los desplazamientos se llevan a cabo mediante medios activos de movilidad (andando, en bicicleta o en otros vehículos de movilidad personal), el 15,1% en transporte público (autobús, metro, tranvía o ferrocarril) y el 34,2% en vehículos privados (coche, motocicleta, ciclomotor, camión o furgoneta).
- La distancia media de los desplazamientos totales dentro del ámbito del Sistema Integrado de Movilidad Metropolitana de Barcelona es de 4,6 km. Aun así, el 61% de los desplazamientos tienen un radio de cobertura inferior a los 2 km de distancia.

2. Hipótesis y objetivos

La hipótesis que plantea este artículo, más allá de describir y contextualizar una metodología de cálculo, constata que las mejoras en el transporte público colectivo en términos de accesibilidad se podrían traducir en un trasvase de usuarios que utilizan el transporte privado hacia el transporte público más allá del área central del continuo urbano de Barcelona donde la oferta de transporte público colectivo es notable. A partir de la creación de una metodología de trabajo que se describe más adelante y su aplicación territorial concreta, los objetivos principales de la investigación tratan de dar respuesta afirmativa a la hipótesis de investigación y poder detectar aquellos lugares en los que las mejoras en el transporte público colectivo deberían fijarse como prioritarias a fin de incrementar la cuota en el uso del transporte público colectivo,

¹ La Encuesta de Movilidad en Día Laborable (EMEF) es una estadística de periodicidad anual promovida por la Autoridad del Transporte Metropolitano (ATM), el Ayuntamiento de Barcelona, el Área Metropolitana de

Barcelona (AMB) y la Asociación de Municipios por la Movilidad y el Transporte Urbano (AMTU) desde el año 2003. Más información en: <https://www.omc.cat/es/w/encuesta-emef>

reducir el consumo de energía, minimizar las emisiones de gases de efecto invernadero, minimizar las emisiones de partículas NO_x y PM_{10} , minimizar el efecto de las infraestructuras de transporte tanto público como privado sobre la matriz territorial y su impacto sobre la matriz ecológica, minimizar el impacto acústico de las infraestructuras y sobre todo, reducir la siniestralidad asociada a la movilidad.

La conceptualización, el diseño y la creación de esta herramienta de análisis se gesta como un elemento esencial dentro de la diagnosis del Plan director de movilidad 2020-2025 del Sistema Integrado de Movilidad Metropolitana de Barcelona² (en adelante SIMMB), a fin de mejorar la eficiencia de los instrumentos de planificación de la movilidad en el entorno de la provincia de Barcelona cuyo objetivo esencial es la planificación de la movilidad de los próximos años de manera sostenible, saludable, eficiente, productiva, segura, fiable, inclusiva, equitativa, inteligente y digital.

Los objetivos principales de esta herramienta sobre la accesibilidad y la calidad del servicio de transporte público son, por un lado, conocer la situación actual en términos de accesibilidad y, por otro, determinar el grado de mejoras en la accesibilidad que se producirían en caso de aplicar todas las nuevas actuaciones en infraestructuras de transporte público previstas para el periodo 2021-2030 y recogidas en el Plan Director de Infraestructuras 2021-2030³. Este tiene como uno de sus objetivos principales favorecer aquellos territorios con peores resultados en términos de accesibilidad al transporte público de una manera integral, revisable, participativa, ambientalmente sostenible, con perspectiva de género y en consonancia con los actuales Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) que impulsa Naciones Unidas en continuidad a los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM). Las diferencias entre los resultados del escenario actual y los resultados del escenario propuesta han de permitir aplicar nuevas políticas en la

regulación del transporte público con el objetivo de mejorar los indicadores tanto a nivel global (ámbito SIMMB) como a nivel específico (ámbito municipal). Asimismo, cabe señalar que todos los resultados han sido calculados teniendo en cuenta la accesibilidad a las paradas de transporte público a pie, en bicicleta y en vehículo privado tanto para el escenario actual como para el escenario futuro que recoge la concreción de las nuevas infraestructuras incluidas en el Plan Director de Infraestructuras 2021-2030⁴.

3. Metodología

El sistema operacional parte de tres conceptos básicos que condicionaran metodológicamente cómo incide la accesibilidad en transporte público desde cualquier parte del territorio. Así, estos tres conceptos son: puntos de parada, líneas y rutas. Si bien parte de la información está almacenada en las líneas y en las rutas, van a ser los puntos de parada los que realmente interactúen con todo el resto de información necesaria de cara a calcular el índice. De manera detallada, la base de datos alfanumérica asociada a cada una de estas geometrías contiene la siguiente información (FIG. 1):

- **Paradas (o *stop points*):** toda la información se adquiere vía GTFS⁵ e incluye el siguiente conjunto de datos: identificador autonómico, número de parada, nombre de la parada, coordenada 'x' de la parada, coordenada 'y' de la parada, número de la línea que pasa por esa parada, así como las sucesivas líneas que puedan pasar por una misma parada y, finalmente, el número de expediciones totales diarias que pasan por dicha parada.
- **Líneas (o *lines*):** obtenidas vía GTFS, e incluye el siguiente conjunto de datos: identificador autonómico, código de la línea, sistema de transporte (teniendo en consideración los siguientes casos, 'B URB' para

² Plan director de movilidad del Sistema Integrado de Movilidad Metropolitana de Barcelona 2020-2025, aprobado en el acuerdo GOV/92/2020 de 14 de julio 2020 por el Gobierno de la Generalitat de Catalunya. Más información en <https://www.atm.cat/mobilitat/pla-director-d-infraestructures/documents-del-pdm/el-pdm-2020-2025>

³ Plan director de Infraestructuras 2021-2030, aprobado inicialmente por el Consejo de Administración de la Autoridad del Transporte Metropolitano de Barcelona a fecha 29 de julio de 2020 y sometido a información pública y institucional, de conformidad a la legislación vigente. Más información en <https://www.atm.cat/pdi-2021-2030>

⁴ Las principales nuevas infraestructuras que se contemplan son las siguientes: ampliaciones sobre la red de Metro (L1,

L2, L3, L4, L9 y L10), ampliaciones sobre la red de FGC (L6, L8 y nuevo túnel por Collserola), ampliaciones sobre la red de Tranvía (conexión de la Diagonal, T3, T4, nuevo tranvía UAB-Montcada), ampliaciones y mejoras sobre la red ferroviaria estatal de Cercanías RENFE.

⁵ GTFS o *General Transit Feed Specification* es un tipo específico de formato de datos con el que operan la mayoría de los operadores de transporte público y que puede ser consumido por una amplia variedad de aplicaciones de software entre ellas, ArcGIS® como software específico para la explotación de datos en un entorno de Sistema de Información Geográfica. Más información en <https://gtfs.org/>



FIG. 1 / Ejemplo conceptual de paradas, línea y rutas. Interacción sobre planeamiento urbanístico y callejero

Fuente: Elaboración propia

autobús urbano, 'B MET' para autobús metropolitano, 'B INT' para autobús interurbano, 'METRO' para Metro, 'ROD' para Rodalies RENFE, 'FGC' para Ferrocarriles de la Generalitat de Catalunya y 'TRAM' para la infraestructura tranviaria de Barcelona. Se excluyen de este estudio el resto de las líneas no convencionales (teleféricos, cremalleras y trenes turísticos), líneas de media y larga distancia, líneas de alta velocidad, así como toda infraestructura ferroviaria destinada al transporte de mercancías.

- Rutas (o *line routes*): también se obtiene vía GTFS, incluye el siguiente conjunto de datos: identificador autonumérico, código de línea, código de la ruta, dirección⁶ (si es de ida o de vuelta), sistema de transporte ('B URB'; 'B MET'; 'B INT'; 'METRO'; 'ROD'; 'FGC' y 'TRAM') y nombre la línea.

Además de paradas, líneas y rutas como vector esencial de la movilidad, la variable territorial que condicionará los resultados obtenidos se obtiene a partir del planeamiento urbanístico vigente y de los ejes de calles (FIG. 2).

- Planeamiento urbanístico: adquirido a partir del Mapa Urbanístico de Catalunya⁷ ofrece la capa vectorial que permite localizar y georeferenciar el territorio a partir de sus clasificaciones y cualificaciones de tal manera que una vez se obtenga el índice de atracción de una parada, este convergerá en modo de Índice de Accesibilidad al Transporte Público sobre el planeamiento urbanístico. De este modo, serán los polígonos que constituyen esta capa de información los que permiten visualizar los resultados en función de un rango de intervalos de mayor a menor accesibilidad para cada uno de los polígonos o recintos que tejen la matriz territorial del suelo urbano residencial, mixto, de equipamientos y de actividad para toda la provincia de Barcelona.

Tal y como se observa en la FIG. 2, observamos el estado actual del planeamiento urbanístico a partir de las calificaciones del suelo usando las claves de leyenda del Mapa Urbanístico de Catalunya. La imagen del centro muestra sólo los bloques que forman parte intrínseca del proyecto: el suelo urbano residencial (pudiéndose

⁶ Esta información se obtiene de VISUM© software específico para la macromodelación de transporte y el análisis de redes, desarrollada por la empresa PTV. Más información en <https://www.ptvgroup.com/es>

⁷ El Mapa Urbanístico de Catalunya (MUC) es una herramienta estratégica generada por la Generalitat de Catalunya para llevar a cabo las políticas de planificación y ordenación del territorio en un marco de transparencia. Gestado en el año 2010 y con actualizaciones periódicas, permite la consulta de la información urbanística vigente en tanto que

incorpora todos los expedientes de planeamiento general vigente para toda Catalunya de manera sintética, continua y homogénea que permite hacer una lectura continua de la ordenación urbanística del país resolviendo las diferencias de codificación, lenguaje y representación que muestran los planes urbanísticos municipales. Para la creación del Índice de Accesibilidad al Transporte Pública se ha utilizado la extracción de 1 de enero de 2019. Más información en: https://territori.gencat.cat/ca/06_territori_i_urbanisme/observatori_territori/mapa_urbanistic_de_catalunya/



FIG. 2 / Mapa Urbanístico de Catalunya y Índice de Accesibilidad al Transporte Público (IATP). (Ejemplo del municipio de Terrassa, Vallès Occidental)

Fuente: Elaboración propia a partir del Mapa Urbanístico de Catalunya (*Departament de Territori i Sostenibilitat*) y del IATP (Autoridad del Transporte Metropolitano)

diferenciar el núcleo antiguo, el urbano tradicional, la ordenación cerrada, la ordenación abierta, casas agrupadas y casas aisladas según códigos estandarizados del mismo Mapa Urbanístico de Catalunya), el suelo urbano de actividad (pudiéndose diferenciar el suelo de actividad económica industrial, de servicios y logístico), los suelos mixtos y los suelos cualificados como de equipamientos municipales. La imagen de la derecha muestra la misma información, pero una vez se ha calculado el Índice de Accesibilidad al Transporte Público mostrándose aquí el planeamiento urbanístico en función del grado de accesibilidad o atracción al uso del transporte público colectivo en todos sus modos (viario, en el caso de los autobuses tanto urbanos como interurbanos y ferroviario, incluyendo metros, tranvías y los distintos operadores de ferrocarril).

- Callejero (eje de calles): obtenido a partir de la Base Topográfica de Catalunya a escala 1:25 000 (BT-25M) permite disponer de la base de datos vectorial de los ejes de calles y de las infraestructuras viarias necesarias para poder modelar y automatizar el cálculo de las distancias entre todos los bloques del planeamiento urbanístico y el conjunto de paradas de transporte público en tanto que toda vía de comunicación está destinada a la circulación de vehículos automóviles o de personas. Véase con más detalle el papel del callejero en la FIG. 3.



FIG. 3 / Ejes viarios para la circulación a pie (callejero). (Ejemplo del municipio de Terrassa, Vallès Occidental)

Fuente: Elaboración propia a partir de la Base Topográfica BT-25M (*Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya*.)

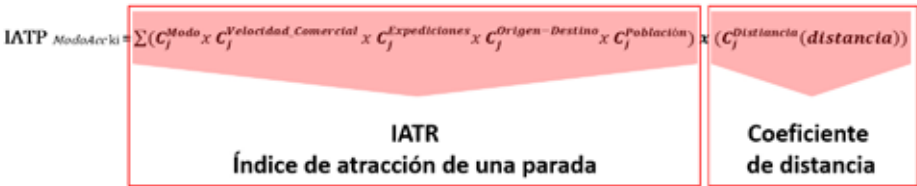
La expresión utilizada para el cálculo del Índice de Accesibilidad al Transporte Público es la

siguiente:

$$IATP_{ModoAccki} = \sum (C_j^{Modo} \times C_j^{Velocidad_Comercial} \times C_j^{Expediciones} \times C_j^{Origen-Destino} \times C_j^{Población}) \times (C_j^{Distancia}(distancia))$$

Dicha expresión podemos dividirla en dos partes, la primera parte de la fórmula que calcula el grado de atracción de una parada y, la

segunda parte de la fórmula que calcula la distancia entre parada y planeamiento territorial.



Para la creación del Índice de Accesibilidad al Transporte Público es necesario generar dos procesos previos: (A) el de cálculo de atracción de una parada y (B) el cálculo de las distancias de una parada a cada uno de los polígonos de planeamiento urbanístico (FIG. 4) para,

finalmente, (C) poder construir el Índice de Accesibilidad al Transporte Público.

A. Cálculo del índice de atracción de una parada

La expresión utilizada para el cálculo del índice de atracción de una parada es la siguiente:

$$\sum (C_j^{Modo} \times C_j^{Velocidad_Comercial} \times C_j^{Expediciones} \times C_j^{Origen-Destino} \times C_j^{Población})$$

Siendo:

- **Modo:** este parámetro se define en función del modo de transporte al que pertenece una línea. Se considera que una línea de tren, metro o tranvía aporta mayor accesibilidad que una línea de autobús. Los factores utilizados provienen de las notas de valoración de la Encuesta de Movilidad en Día Laborable (EMEF) del 2019.
- **Velocidad comercial:** el coeficiente a aplicar es el de la velocidad comercial de la línea. De este modo, la accesibilidad aumenta de manera proporcional con el aumento de la velocidad. Todas las líneas de transporte público colectivo disponen de un valor de velocidad comercial dentro del modelo de la ATM.
- **Expediciones:** el coeficiente de expediciones (la frecuencia) avalúa el nivel de servicio que ofrece una línea en función del número de expediciones. Así, cuanto mayor sea el número de expediciones, y por tanto de oferta, la accesibilidad de esa parte del territorio servido por esa línea será mayor.
- **Origen-destino:** el coeficiente de origen-destino pondera al alza aquellas líneas que conectan un municipio con sus destinos

principales. Incluye dos tipos distintos de conexiones, por un lado, aquellas líneas que se conectan con el continuo urbano central de Barcelona y, por otro lado, de cada municipio se detectan los flujos de movilidad principal entre el primer destino y el segundo destino a partir de la información obtenida de las matrices OD de primer destino y de segundo destino que se generan en el modelo de asignación del transporte público colectivo de la ATM. Aquellas líneas cuyo destino sea el continuo urbano central de Barcelona o el primer o segundo destino de movilidad principal tendrán un peso de 1,2 mientras que para el resto de las líneas el peso de este coeficiente será de 1,0.

- **Población:** el coeficiente de población servida es un factor que valora la importancia territorial de una línea en tanto que atraviesa territorios con más o menos densidad de población. Así, una línea que atraviesa zonas densamente pobladas genera mucha más accesibilidad que una línea que atraviesa zonas con baja densidad de población. Se define la población servida como la suma total de población a la cual sirve de forma directa una línea.

B. Cálculo del coeficiente de distancia

La expresión utilizada para el cálculo del coeficiente de distancia es la siguiente:

$$(C_j^{\text{Distancia}}(\text{distancia}))$$

Siendo:

- Distancia: este coeficiente permite determinar la distancia o tiempo a una parada de transporte público y se desagrega a su vez en tres subclases distintas: a pie, en bicicleta o en vehículo privado. Para las tres subclases, el coeficiente de la distancia es un factor decreciente de la accesibilidad en función de la distancia hasta una parada desde cualquier bloque de planeamiento urbanístico. A pie, la distancia máxima de acceso queda fijada en 1300 metros. En bicicleta, la distancia máxima de acceso queda fijada en 2500 metros. Y en vehículo privado, la distancia máxima de acceso queda fijada en 20 minutos y siempre que el destino final sea una parada que disponga de una zona específica para el estacionamiento de vehículos en aparcamientos de intercambio modal (*Park&Ride*, mayoritariamente en estaciones ferroviarias y algunas de autobús).

El proceso de cálculo de la distancia de una parada a cualquier punto del territorio es un proceso inherente al sistema y una vez realizado, solo se debería repetir en caso de cambios en la ubicación geométrica de una parada (bien por desplazamiento o bien por creación de una nueva). Para el proceso de cálculo se utiliza el concepto de *Service Area* o área de servicio de una parada a cualquier punto del territorio. Para poder llevar a cabo el cálculo del *Service Area* o área de servicio utilizamos la extensión *Network Analyst* de ArcGIS® que generará una matriz de distancias lineales teniendo como parámetros la longitud lineal de los ejes viarios entre el centroide de la parcela urbana y todos los puntos de parada a menos de 1300 metros para el modo pie, 2500 metros para el modo bicicleta y de 20 minutos en el modo vehículo privado en conexión con aparcamientos de intercambio modal. Las tres simulaciones (pie, bicicleta y automóvil) generaran tres bases de datos con la matriz acumulada de distancias de puntos de parada a bloques de planeamiento urbanístico en función de cada uno de los tres criterios.

La elección de estas distintas distancias (1300 metros a pie, 2500 metros en bicicleta y 20 minutos en vehículo privado) no es cuestión trivial y ha sido fijada a partir de distintos ensayos hasta obtener aquellos resultados que mejor se adaptan al modelo, así como también teniendo en consideración casos de éxito aportados por un par de trabajos científicos que hacen referencia a la planificación orientada al transporte —del término anglosajón *Transit Oriented Development* o TOD, de JACOBSON & FORSYTH (2008)— y al concepto de la media milla —del término anglosajón *Half-Mile Circle* de GUERRA & al. (2011)—. Para la determinación de los 1300 metros a pie se tuvo en consideración que todos los municipios estudiados deberían disponer de como mínimo de una parada de transporte público colectivo accesible. Dicho umbral se consiguió fijando la distancia mínima en 1300 metros. Para determinar los 2500 metros en bicicleta se tuvo en consideración las recomendaciones que fija el Manual para el diseño de vías ciclistas de Catalunya del Departament de Territori GENERALITAT DE CATALUNYA (2008) si bien, la elasticidad que ofrece la bicicleta permite distancias más largas si la infraestructura es segura y el clima agradable. En áreas urbanas densamente pobladas y con una infraestructura ciclable segregada del tráfico motorizado, las distancias pueden llegar a oscilar entre los 3000 y 4000 metros⁸. Por último, en el caso del vehículo privado, los 20 minutos que se han tomado en consideración, responden a la necesidad de incluir todas esas urbanizaciones de baja densidad que un mismo municipio tenga dentro de su término municipal y que, a su vez, dispongan de espacios habilitados en forma de aparcamientos de intercambio modal adyacente a una estación ferroviaria o a una estación de autobuses.

Cabe también señalar que los datos de las paradas contienen información sobre si estas son del escenario actual o del escenario futuro en función de la nueva oferta de transporte público colectivo que contempla el Plan Director de Infraestructuras 2021-2030. Este segundo escenario nos permitirá obtener el resultado que muestre aquellos territorios con mayor nivel de mejora en cuanto a la accesibilidad una vez realizadas todas las nuevas infraestructuras que contempla dicho Plan Director de Infraestructuras 2021-2030.

⁸ Según datos ofrecidos por el servicio de bicicleta compartida de Barcelona, el tiempo medio de viaje por usuario es de 13,5 minutos. Estimando una velocidad promedio entre 15 km/h y 20 km/h incluyendo la regulación semafórica, la

mayoría de los desplazamientos están en torno a los 3000 - 4000 metros. Más información en: <https://www.bicing.barcelona/es/datos-bicing>

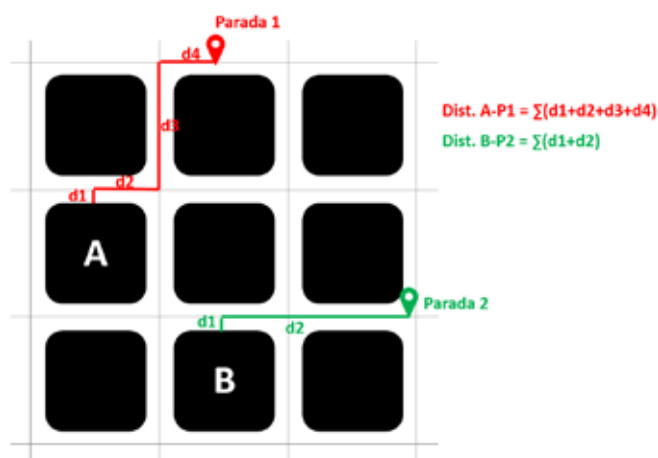


FIG. 4 / Ejemplo conceptual del cálculo de distancias

Fuente: Elaboración propia

La distancia del bloque 'A' a la parada '1' será la suma de la longitud de todos los tramos de color rojo. La distancia del bloque 'B' a la parada '2' será la suma de la longitud de todos los tramos de color verde. A fin de limitar la cantidad de distancias calculadas de bloques a paradas, se fijan tres escenarios distintos de cálculo de las distancias: a pie, en bicicleta y en vehículo privado. A pie, la suma de las distancias de bloque a parada no podrá superar los 1300 metros. A partir de esa distancia, cualquier parada deja de tener atracción hacia un bloque. La distancia del punto de inicio del bloque al eje de calle se fija a partir de un radio de 30 metros de máximo de tolerancia. Además, se fija un máximo de 3000 pares de origen/distancia con el fin de incluir el máximo de conectores a paradas. Aplicando la misma metodología, en el caso de la bicicleta, la distancia se fija en 2500 metros y, en el caso del vehículo privado, se determina un tiempo máximo de 20 minutos y, siempre y cuando, la parada destino disponga de una zona específica de aparcamiento de intercambio modal. Todos los cálculos toman como referencia de base el planeamiento urbanístico vigente a partir de la extracción de la capa de suelo urbano consolidado residencial del Mapa Urbanístico de Catalunya con clave sintética "residencial", "mixto", de "actividad económica" y de "equipamiento" en suelo urbano consolidado y en suelo urbano no consolidado. No forma parte de este estudio ni el suelo no urbanizable, ni el suelo urbanizable (delimitado y no delimitado) en tanto que se trata de espacios sin una dotación completa de infraestructuras para la movilidad. Obviamente, cabe señalar que zonas densamente urbanizadas y con una buena dotación de transporte público, formadas mayoritariamente por bloques

de suelo urbano residencial, mixto, de equipamientos o de actividad económica podrán disponer de más de una parada de transporte público mientras que zonas poco urbanizadas y, sobre todo, con una baja disponibilidad de paradas de transporte público tendrán un valor total de distancias mucho menor.

C. Cálculo del Índice de Accesibilidad al Transporte Público

Una vez obtenidos el índice de atracción de una parada y el coeficiente de distancia, quedará calcular el indicador del Índice de Accesibilidad al Transporte Público bien sea a pie, en bicicleta o en vehículo privado. Dicho cálculo se deberá actualizar sobre los registros del Mapa Urbanístico de Catalunya y poder llevar a cabo una representación cartográfica de los resultados a partir de rangos en modo de percentiles.

Del producto de los coeficientes de modo, velocidad comercial, expediciones, origen-destino y población se obtiene un Índice de Atractividad de una Parada (IATr). Cada una de las paradas que configuran el sistema de transporte público colectivo obtienen un valor de atracción. Dicho valor se multiplicará por el coeficiente de distancia que cumpla la regla topológica de estar a menos de 1300 metros de distancia entre la parada y el bloque de planeamiento urbanístico. Cada bloque de planeamiento urbanístico adicionará todos los valores del conjunto de paradas que queden a menos de 1300 metros. El mero hecho de mantener siempre el valor único de cada registro cartográfico de planeamiento urbanístico permite trasladar la atracción de una parada a la cartografía urbanística y bloque

a bloque poder mostrar los resultados de manera global, desde aquellos que tienen mayor oferta de transporte público colectivo a los que no tienen oferta de transporte público colectivo. Hay que señalar que este procedimiento se repetirá para los tres modos de movilidad analizados (pie, bicicleta y vehículo) así como para los dos escenarios contemplados (situación actual y situación futura que incluye la nueva oferta de transporte público colectivo que contempla el Plan Director de Infraestructuras 2021-2030). Esta metodología no solo cuantifica la relación de proximidad entre una parada y el suelo urbano residencial, de actividad, mixto y de equipamientos sino que además, pondera de manera específica la calidad del servicio que ofrece cada una de las paradas contempladas en el sistema a través de las variables que interactúan en la

definición del concepto de atractividad (el modo de transporte público que tiene esa parada, la velocidad comercial del servicio de esa línea, el número de expediciones de esa línea, su relación con el entorno y con la población servida).

La representación cartográfica de los valores obtenidos a partir de deciles permite detectar cómo se distribuye el nivel de accesibilidad sobre el plano del planeamiento urbanístico analizado en este estudio para toda la provincia de Barcelona en función de la accesibilidad al Transporte Público Colectivo. Ordenados los datos de mayor a menor, el primer decil, incluye todos los valores por debajo del 10% de los valores inferiores mientras que el decil diez, incluye todos los valores superiores al 90% de los valores máximos. Y, análogamente, para

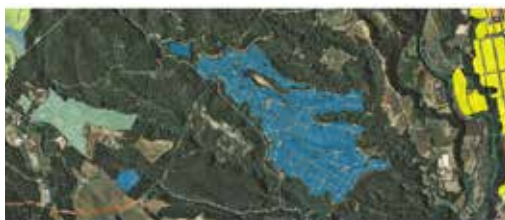


FIG. 5.A / Nivel 1

Fuente: Elaboración propia a partir de Índice de Accesibilidad al Transporte Público (IATP) Autoridad del Transporte Metropolitano (ATM)

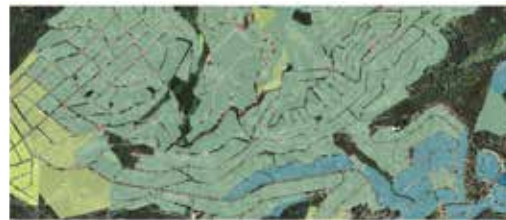


FIG. 5.B / Nivel 2, 3 y 4

Fuente: Elaboración propia a partir de Índice de Accesibilidad al Transporte Público (IATP) Autoridad del Transporte Metropolitano (ATM)



FIG. 5.C / Nivel 5 y 6

Fuente: Elaboración propia a partir de Índice de Accesibilidad al Transporte Público (IATP) Autoridad del Transporte Metropolitano (ATM)



FIG. 5.D / Nivel 7 y 8

Fuente: Elaboración propia a partir de Índice de Accesibilidad al Transporte Público (IATP) Autoridad del Transporte Metropolitano (ATM)



FIG. 5.E / Nivel 9

Fuente: Elaboración propia a partir de Índice de Accesibilidad al Transporte Público (IATP) Autoridad del Transporte Metropolitano (ATM)



FIG. 5.F / Nivel 10

Fuente: Elaboración propia a partir de Índice de Accesibilidad al Transporte Público (IATP) Autoridad del Transporte Metropolitano (ATM)

el resto de los deciles en tanto que dividen la muestra de datos en diez partes iguales.

Así, y a pesar de tratarse de un valor numérico, si trasladamos los resultados a un concepto más cualitativo, podemos definir la accesibilidad en torno a los siguientes términos:

Nivel 1: zonas sin accesibilidad al transporte público colectivo. No disponen de ninguna parada a menos de 1300 metros o aproximadamente 20 minutos andando. Generalmente se trata de tejidos residenciales de casas aisladas, equipamientos o polígonos de actividad económica ubicados fuera de los núcleos urbanos o en discontinuidad de estos (FIG. 5A).

Nivel 2, 3 y 4: zonas con una accesibilidad al transporte público colectivo entre muy deficiente (2), deficiente (3) o insuficiente (4). Son zonas dotadas de muy pocas líneas de transporte público (a menudo, solo una línea) y con un volumen relativamente bajo de expediciones diarias y con velocidades comerciales bajas o muy bajas. A pesar de ello, disponen de una parada de bus urbano a menos de 1300 metros. También corresponde de manera general a tejidos residenciales de casas aisladas, equipamientos o polígonos de actividad económica ubicados fuera de los núcleos urbanos o en discontinuidad de estos. La diferencia entre un nivel 2, 3 o 4 y que, por lo tanto, representa un incremento del grado de accesibilidad, se debe a la posibilidad de existir más de una línea de transporte público colectivo, pero con una oferta reducida y principalmente vinculada a un autobús urbano de baja frecuencia (FIG. 5B).

Nivel 5 y 6: zonas con una accesibilidad al transporte público colectivo entre mejorable (5) y aceptable (6). Son zonas dotadas de pocas líneas con una red básica de autobuses interurbanos a menos de 1300 metros o un máximo de 20 minutos a pie. También corresponden a tejidos residenciales de baja densidad, equipamientos o polígonos de actividad económica ubicados fuera de los núcleos urbanos o en discontinuidad de estos (FIG. 5C).

Nivel 7 y 8: zonas con una accesibilidad al transporte público colectivo entre buena (7) y muy buena (8). Corresponden a zonas urbanas (generalmente de densidad mediana) servidas como a mínimo por un modo ferroviario y dotadas también de una red urbana e interurbana de autobuses a menos de 1300 metros o un máximo de 20 minutos a pie (FIG. 5D).

Nivel 9: zonas con una accesibilidad al transporte público colectivo excelente. Se corresponden a zonas urbanas muy densas, servidas como

mínimo por un modo ferroviario (o más de uno), con frecuencias elevadas y una red densa de autobús urbano e interurbano a menos de 1300 metros o un máximo de 20 minutos a pie. Coinciden con las áreas centrales compactas de alta densidad de las ciudades medias del SIMMB que disponen de ferrocarril (FIG. 5E).

Nivel 10: zonas con una accesibilidad al transporte público colectivo excelente plus. Se corresponden a zonas urbanas muy densas, servidas como mínimo por dos tipos de transporte ferroviario (combinación de Metro, FGC, RENFE y/o Tranvía) con frecuencias muy elevadas (similares a las del Metro) y una red densa de autobús urbano, autobús metropolitano (autobuses AMB) e interurbano a menos de 1300 metros o un máximo de 20 minutos a pie. Prácticamente, coinciden con las zonas urbanas compactas de muy alta densidad concentradas en la comarca del Barcelonés (FIG. 5F).

4. Resultados

Veamos, a continuación, los resultados obtenidos una vez generado el Índice de Accesibilidad al Transporte Público para toda la provincia de Barcelona. Si bien en el capítulo de metodología se ha expuesto que el análisis se ha realizado en base a tres modos distintos de accesibilidad al transporte público colectivo (a pie, en bicicleta y en vehículo privado), en este capítulo de resultados solo se describirán los resultados obtenidos para el modo a pie en tanto que son los más representativos y los que mejor explican la capacidad de interacción entre los sistemas de transporte y el espacio geográfico analizado.

Así, y una vez obtenido el Índice de Accesibilidad al Transporte Público, y como puede apreciarse en la FIG. 6, de la agregación de población dentro de las distintas categorías del propio índice, obtenemos que a escala de la provincia de Barcelona el 24% de su población goza de una accesibilidad excelente-plus (nivel 10), un 26% de la población tiene una accesibilidad excelente (nivel 9), un 30% de la población entre buena y muy buena (nivel 7 y nivel 8), un 10% de su población entre mejorable y aceptable (nivel 5 y nivel 6), un 8% de la población entre muy deficiente, deficiente o insuficiente (nivel 4, nivel 3 y nivel 2) y un 2% de la población no tienen accesibilidad al transporte público (nivel 1). Si analizamos los resultados, podemos afirmar que el 86% de la población de la provincia de Barcelona tiene un grado de accesibilidad a pie al transporte público aceptable o superior (niveles de 6 a 10) mientras que el 14% restante

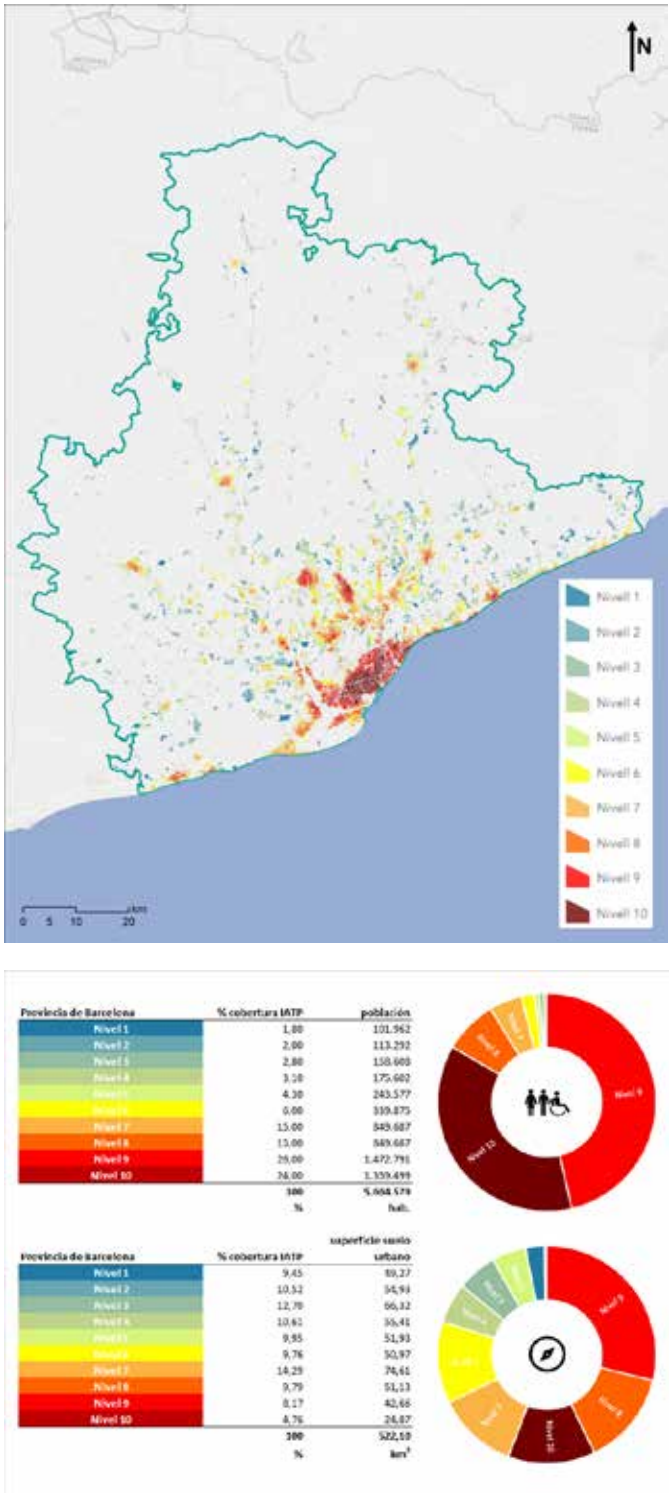


FIG. 6 / Mapa del Índice de Accesibilidad al Transporte Público y resultados de cobertura por población y superficie. Ámbito provincia de Barcelona.

Fuente: Elaboración propia a partir de Índice de Accesibilidad al Transporte Público (Autoridad del Transporte Metropolitano, ATM)

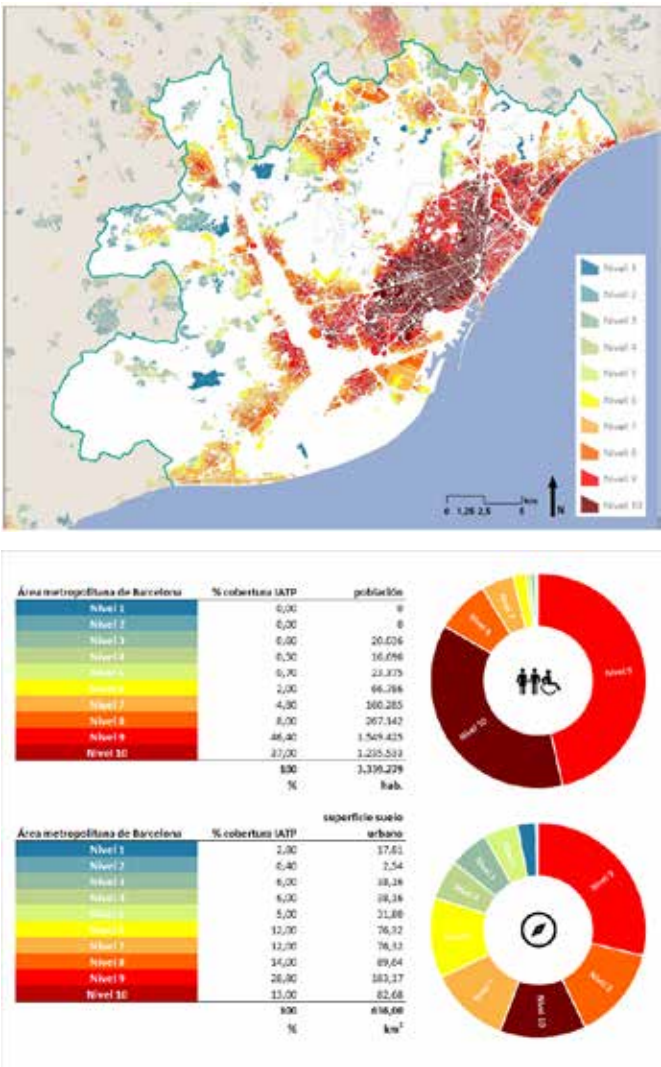


Fig. 7 / Mapa del Índice de Accesibilidad al Transporte Público y resultados de cobertura por poblacional y superficie. Ámbito área metropolitana de Barcelona.

Fuente: Elaboración propia a partir de Índice de Accesibilidad al Transporte Público (Autoridad del Transporte Metropolitano, ATM)

de la población de la provincia de Barcelona tienen un grado de accesibilidad a pie al transporte público malo o incluso sin accesibilidad al mismo (niveles de 5 a 1). Sin bien las diferencias entre territorios son notables. Utilizando la división comarcal, Barcelonés (100% de la población), Vallès Occidental (94% de la población), Baix Llobregat (92% de la población), Garraf (88% de la población) y Maresme (84% de la población) son las comarcas que presentan unos mejores resultados de accesibilidad a pie al transporte público colectivo (valores de 6 a 10). Por debajo de este conjunto de comarcas, Bages, Anoia y Vallès Oriental disponen de

unos valores aceptables o por encima de aceptable (valores de 6 a 10) para el 75% de su población. A una cierta distancia, las comarcas de Osona, Berguedà y Alt Penedès presentan unos porcentajes de accesibilidad a pie al transporte público aceptables para el 65% - 60% de la población, mientras que en la comarca del Moianés tan solo el 34% de la población reside en territorios con valores aceptables o por encima de aceptables de accesibilidad a pie al transporte público (valores de 6 a 10).

Desde el punto de vista de las capitales de comarca, más allá del entorno metropolitano,

donde los resultados son siempre por encima del umbral aceptable, ciudades como Granollers, Mataró o Vilanova i la Geltrú obtienen una buena cobertura de accesibilidad a pie en transporte público mientras que en Berga y en Moià, la mayoría de los tejidos urbanos no disponen de un umbral aceptable.

Los resultados obtenidos por superficie de suelo urbano según su grado de accesibilidad, más allá de la población que reside en estas áreas, muestran que aproximadamente los 10 niveles de accesibilidad se distribuyen homogéneamente en cuanto a cantidad de superficie de suelo para cada tipo de nivel de accesibilidad. Así, y en términos generales, de los 522,10 km² de

suelo urbano, cada nivel de accesibilidad (grado de accesibilidad de 1 a 10) representa aproximadamente un 10% de la superficie total de suelo urbano, excepto los niveles con índices de accesibilidad más elevados que coinciden con los centros urbanos más densos de todos los pueblos y ciudades de la provincia de Barcelona en las que menos superficie de suelo ofrece más accesibilidad en tanto que las densidades de población son mucho más elevadas.

Tal y como podemos observar en la FIG. 7, a medida que acotamos el ámbito territorial y nos centramos solo en el área metropolitana de Barcelona los resultados muestran unos valores de accesibilidad al transporte público excelentes.

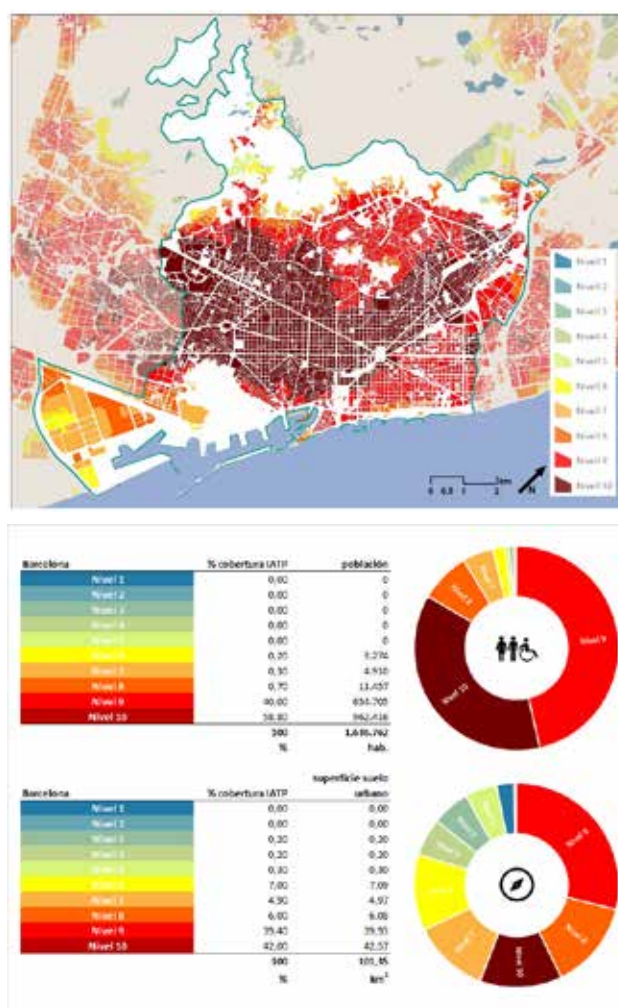


FIG. 8 / Mapa del Índice de Accesibilidad al Transporte Público y resultados de cobertura por poblacional y superficie. Ámbito ciudad de Barcelona.

Fuente: Elaboración propia a partir de Índice de Accesibilidad al Transporte Público (Autoridad del Transporte Metropolitano, ATM)

Dentro del área metropolitana de Barcelona casi el 84% de la población residente tiene un nivel de accesibilidad al transporte público excelente o excelente-plus (nivel 9 y nivel 10) y tan solo un 1,1% de la población del área metropolitana de Barcelona está por debajo del nivel aceptable de accesibilidad (nivel 4 o inferior). Por el contrario, un 15% de la población del área metropolitana de Barcelona tiene una accesibilidad entre buena y mejorable. Es en estos territorios y para estas franjas de población donde deben incidir más las políticas de planificación de los servicios de transporte público. Si analizamos los resultados desde la óptica de la superficie y sus distintos niveles de accesibilidad, la población que goza de una accesibilidad excelente o excelente-plus (nivel 9 y nivel 10) se distribuye en el 42% de los suelos analizados, los territorios con un nivel de accesibilidad por debajo del aceptable (nivel 4 o inferior) representan un 15% de la superficie, y otro 15% de la población del área metropolitana de Barcelona con una accesibilidad entre buena y mejorable reside en el 43% restante del suelo urbano.

Finalmente, dentro del continuo urbano de la ciudad de Barcelona, tal y como muestra la FIG. 8, toda la población de Barcelona tiene valores de accesibilidad entre excelente y excelente-plus (nivel 9 y nivel 10), representando el 99% de la población. El 1% restante se sitúa entre aceptable, buena y muy buena (niveles 6,7 y 8) y nadie queda por debajo del umbral de accesibilidad mejorable (nivel 5). La correspondencia con la superficie de suelo residencial ocupado es análoga y ese 99% de población con accesibilidad excelente y excelente-plus ocupa algo más del 81% de la superficie urbana de la ciudad de Barcelona. Ese 1% restante de la población de Barcelona se distribuye en un 18% de la superficie si bien algo menos del 1% de la superficie de Barcelona muestra niveles inferiores al umbral aceptable, tratándose de localizaciones destinadas a actividades económicas y logísticas de la Zona Franca; estas tienen un nivel de acceso al transporte público mejorable, y por ello se deberían aplicar las medidas correctoras a fin de garantizar la movilidad laboral en transporte público a los trabajadores que en ellos desarrollan su actividad.

Estos resultados han sido descritos a tres escalas distintas: región, área y ciudad. Más allá de los propios resultados, no cabe la menor duda que una de las lógicas que mejor ayuda a interpretarlos es el concepto de densidad de población. El acceso al transporte público colectivo es mucho mejor en zonas densamente pobladas debido sobre todo a las siguientes lógicas:

- a. **Demanda:** en áreas densamente pobladas, la concentración de personas que necesitan moverse es mucho mayor, ya sea para trabajar, estudiar o realizar otras actividades. Esta demanda justifica por sí sola una mejor dotación de infraestructura de Transporte Público Colectivo.
- b. **Rentabilidad:** la idea anterior se puede traducir en lógicas de rentabilidad ya que áreas densamente pobladas ofrecen una cantidad potencial de pasajeros por kilómetros de red superior a la media. Esta realidad permite a los operadores de transporte público colectivo operar de manera más eficiente ofreciendo servicios con mejores frecuencias y generando suficientes ingresos para cubrir los costes operativos.
- c. **Densidad:** en áreas densamente pobladas, la red de puntos de paradas está ubicada en espacios accesibles para sus residentes. El acceso al transporte público colectivo en áreas densamente pobladas reduce la necesidad por parte de sus residentes de depender del vehículo privado, lo que, a su vez, ayuda a disminuir la congestión de tráfico y las externalidades que éste ocasiona.
- d. **Centralidad:** allí donde el nivel de acceso al transporte público colectivo disponga de unos valores más elevados, en términos generales, la centralidad de ese espacio será mayor con todas las consecuencias que ello implica a nivel de variables de entorno (atracción equipamientos, servicios, oferta inmobiliaria, etc.)
- e. **Intermodalidad:** directamente relacionado con la centralidad, estos espacios serán propicios para poder combinar distintos modos de transporte generando así estaciones centrales de intercambio modal.

Por ello, todos los niveles con un grado de accesibilidad bueno (7), muy bueno (8), excelente (9) y excelente plus (10) son áreas densamente pobladas tanto de la ciudad de Barcelona como de su continuo urbano próximo, así como el resto de las ciudades maduras de la región metropolitana.

5. Discusión

El debate sobre la relación entre la morfología urbana de las ciudades contemporáneas y el papel que juega la red de transporte público colectivo ha sido un tema caudal en numerosas publicaciones y trabajos de investigación, véase los trabajos recientes de ADHVARYU (2019),

SAIF (2018), SHAH (2016), TRANSPORT FOR GREATER MANCHESTER (2016), TRANSPORT FOR LONDON (2015 y 2010), SINGLA (2013), ABLEY (2008), LITMAN (2008), WU (2003) o textos clásicos como KERRIGAN (1992), ARENTZE (1994), GEERTMAN (1995), LEE (1997) o MIRALLES (2000).

Este estudio presentado aquí sobre la creación de un Índice de Accesibilidad al Transporte Público Colectivo en la provincia de Barcelona adopta parte de los conceptos metodológicos que aplica *Transport for London* desde inicios de los años 90 en cuanto a su capacidad para cuantificar el grado de accesibilidad a su red de transporte público colectivo a partir de lo que denominan PTAL o *Public Transport Accessibility Levels*. En el caso de Londres, la evaluación de la accesibilidad se basa en el tiempo de acceso a pie a la red y la disponibilidad del servicio. Allí, si el tiempo de desplazamiento hasta una estación o parada es bajo, los resultados de accesibilidad son relativamente buenos ya que el peso de las expediciones (frecuencia) es inferior que para el caso de la provincia de Barcelona y lo que más pesa es la cantidad de puntos de acceso al sistema de transporte público colectivo. En Londres, el índice considera la oferta de servicio en términos de frecuencia de paso, calcula un tiempo de espera medio para cada unidad de estudio y un factor de seguridad para cada modo de transporte. A diferencia de Barcelona, en vez de utilizar como representación de los resultados el planeamiento urbanístico, en Londres se utiliza una malla regular de 100 m² con independencia de si debajo de cada celda de malla existen espacios urbanizados. Ambos estudios muestran bastantes puntos en común más allá de utilizar una metodología más o menos similar si bien, en el caso de Barcelona, el modelo contempla tres escenarios distintos (pie, bicicleta y vehículo) mientras que, en el caso de Londres, solo está centrado en el peatón.

De manera muy similar a como ha trabajado Londres la accesibilidad, el territorio integrado dentro del Área Metropolitana de Barcelona (AMB) ha llevado a cabo un ejercicio muy similar al de Londres aplicando y afinando la metodología de los PTAL siendo también un caso de éxito de extrema utilidad para la redacción del Plan Director Urbanístico del Área Metropolitana de Barcelona. A diferencia de los PTAL de la metrópolis de Londres donde el factor tiempo parte del concepto EDF o *Equivalent Doorstep Frequency* y que se podría interpretar como “puerta a puerta” o suma de todos los tiempos de desplazamiento desde el punto origen al punto destino, en el caso del área metropolitana de Barcelona, la formulación de su modelo

de cálculo se afina hasta el punto de incorporar los factores frecuencia de servicio, fiabilidad del servicio y conectividad de un servicio con otros servicios (interconectividad). Los resultados obtenidos permiten constatar como dentro del Área Metropolitana de Barcelona, la ciudad de Barcelona tiene unos elevadísimos valores de accesibilidad mientras que a medida que nos alejamos del continuo urbano de Barcelona, la accesibilidad desciende, pero pierde cierta continuidad en tanto que no permite corroborar los resultados más allá de los municipios de esa primera corona en relación a los municipios de la segunda corona (véase por ejemplo Vilanova i la Geltrú, Vilafranca del Penedès, Martorell, Terrassa, Sabadell, Granollers o Mataró en relación con los municipios del área metropolitana de Barcelona).

6. Conclusión

El nivel de accesibilidad al transporte público colectivo es un método de análisis cuantitativo que se utilizó por primera vez en 1992 en *Hammersmith y Fulham*, distritos del *Greater London* situados al oeste de *Kensington* y de *Chelsea*. Posteriormente, en 2004, y ya bajo la administración de *Transport for London* (TfL), la autoridad competente en materia de transporte público colectivo de la región metropolitana de Londres se evaluó el nivel de acceso de las distintas áreas geográficas que configurarían el ámbito competencial del transporte público colectivo y se adoptó este método como el método estándar para el cálculo al acceso al transporte público colectivo. Más allá de la región metropolitana de Londres, esta metodología ha sido replicada con éxito en la cercana Manchester. En 2016 en el *Greater Manchester* se llevó a cabo una réplica de la evaluación de la accesibilidad llevada a cabo en Londres, aquí, por parte del TRANSPORT FOR GREATER MANCHESTER (2016). Distintos territorios de India y de Australia han utilizado esta metodología más allá del contexto de ciudades europeas. En Ahmedabad (India, 2014) por ADHVARYU (2015), en Surat (India, 2021) por ADHVARYU (2019), y en Lucknow (India, 2021) por ADHVARYU (2021) se han llevado a cabo estudios muy similares a los realizados en Londres y Manchester. Igual que en el estado australiano de Nueva Gales del Sur por parte de TRANSPORT FOR NEW SOUTH WALES (2019). Todos ellos, al igual que el caso de Barcelona (SINGLA, 2013), han sido capaces de adaptar con éxito la versión inicial del *Public Transport Accessibility Level* del *Transport For London* a las necesidades específicas de su territorio.

De los datos y el análisis contenidos en este trabajo se derivan dos conclusiones. En primer lugar, a nivel metodológico, las distintas aproximaciones que se han llevado a cabo, desde las originales realizadas en Londres a finales del siglo XX y que sirvieron de modelos embrionarios para el cálculo de los PTAL, hasta las más recientes como son los cálculos de la accesibilidad en transporte público colectivo a los polígonos de actividad económica (2013) y este mismo trabajo que utiliza las herramientas cada vez más precisas que ofrecen los Sistemas de Información Geográfica así como los programas de simulación de la macromovilidad. De este modo, gracias a la obtención del índice de accesibilidad elaborado en este trabajo, podemos medir la conectividad relativa entre la red de transporte público y el planeamiento urbanístico y, de forma sencilla, poder dar respuesta a numerosas preguntas difíciles de responder sin la disponibilidad de datos fiables. Así, preguntas como ¿qué áreas territoriales se pueden beneficiar más ante una nueva mejora en la red de transporte público colectivo?, ¿qué umbral de población queda cubierta por la red de transporte público colectivo?, ¿qué sitios son los más adecuados o inadecuados para la implementación de un nuevo crecimiento urbanístico? o ¿qué papel adquiere la bicicleta y los aparcamientos de intercambio modal en la mejora de la conectividad en la red de transporte público colectivo? son un ejemplo de ello.

En segundo lugar, por lo que respecta a los resultados, el Índice de Accesibilidad al Transporte Público Colectivo presentado en estas líneas constituye un interesante y útil ejercicio para los responsables de la ordenación del territorio y de la planificación de la movilidad en tanto que deberían poder utilizar estos resultados como herramienta de control para la gestión de nuevos desarrollos urbanos y para la mejora de los existentes a partir del rol trascendental que debería poder adquirir el transporte público colectivo en los próximos años. Si hasta no hace muchos años, el urbanismo extensivo de baja densidad era un modelo recurrente de cara a planificar nuevos centros de actividad económica y de residencia, hoy en día no existe alternativa alguna para mitigar de manera progresiva el uso generalizado del vehículo privado que no sea a través del transporte público colectivo. Poder disponer de espacios de residencia y de actividad con una red eficiente de transporte público colectivo es una de las soluciones para poder reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y la dependencia de los combustibles

fósiles. No cabe duda de que la accidentalidad y la siniestralidad, la congestión de las infraestructuras viarias, el colapso energético tradicional de los combustibles fósiles, la contaminación (sea acústica, lumínica, atmosférica, acuática o terrestre como respuesta al cambio climático) son parte del problema directo de la movilidad personal en vehículo privado. Una nueva cultura de movilidad sostenible, con un reparto más equitativo del espacio público, con un cambio de hábitos apostando por la movilidad a pie, en bicicleta o en transporte público colectivo son absolutamente necesarios. Trabajos como este, permiten explorar nuevas vías para la mejora en la calidad de vida de nuestras ciudades y áreas metropolitanas.

7. Bibliografía

- ADHVARYU, B. & PATEL, M. (2015): *Is Public Transport in Ahmedabad Inclusive?* Economic and Political Weekly. 54,8 pp. 17-20.
- ADHVARYU, B. & CHOPDE, A. & DASHORA, L. (2019): *Mapping public transport accessibility levels (PTAL) in India and its applications: A case study of Surat.* Case Studies on Transport Policy. Elsevier.
- ADHVARYU, B. & KUMAR, S. (2021): *Public transport accessibility mapping and its urban planning policy applications: A case study of Lucknow, India.* Case Studies on Transport Policy. 9 (4) pp. 1503-1517.
- ABLEY, S. & WILLIAMS, R. (2008): *Public Transport Accessibility Levels.* IPENZ Transportation Group Conference. New Plymouth.
- ARENTZE, T.A. & BORGERS A.W.J & TIMMERMANS, H.J.P. (1994): Multistop-based measurements of accessibility in a GTS environment. *International Journal of Geographical Information Systems.* 8, 4, pp. 343-356.
- AMB (2018): *L'accessibilitat al Transport Públic. Metodologia pel càlcul de l'accessibilitat al transport públic a l'àrea metropolitana de Barcelona.* Servei de redacció del Pla Director (SRPD). Àrea Metropolitana de Barcelona.
- ATM (2020): *Pla Director de Mobilitat 2020-2025.* Àrea de Mobilitat. Autoritat del Transport Metropolità de Barcelona.
- ATM (2021): *Pla Director de Infraestructures (pdI) 2021-2030.* Àrea de Mobilitat. Autoritat del Transport Metropolità de Barcelona.
- ATM (2022): *Enquesta de Mobilitat en dia Feiner (EMEF).* Àrea de Mobilitat. Autoritat del Transport Metropolità de Barcelona.
- BATTY, M. (2009): *Cities as complex systems: scaling, interaction, networks, dynamics and urban morphologies.* Centre for Advanced Spatial Analysis, University College London. Springer. London.
- CHRISTALLER, W. (1966): *Central Places in Southern Germany.* Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.

- DOGC número 3913 de 27/06/2003: Ley 9/2003, de 13 de junio, de la movilidad.
- DPTOP (2015): *Criterios de Planeamiento Territorial*. Secretaria para la Planificación Territorial. Programa de Planeamiento Territorial. Barcelona.
- FERRI, M. (dirección) (2019): *La movilidad al trabajo: un reto pendiente*. Dirección General de Tráfico. Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía. Ministerio para la Transición Ecológica.
- GARCÍA, R. & TATARET, B. (2019): *La desigualtat a Catalunya i als àmbits de planificació territorial*. Informe Re-City. Plataforma Internacional per a la Sostenibilitat Social. Fundació Catalunya Europa.
- GEERTMAN, S.C.M. & RITSEMA VAN ECK, J.R. (1995): GIS and models of accessibility potential: an application in planning. *International Journal of Geographical Information Systems*. 9, 1, pp. 67-80.
- GENERALITAT DE CATALUNYA (2008): *Manual para el diseño de vías ciclistas de Catalunya*. (versión castellana). Departament de Política Territorial i Obres Públiques. Generalitat de Catalunya.
- GUERRA, E. & CERVERO, R. & TISCHER, D. (2011): *The Half-Mile Circle: does it best represent transit station catchments?* UC Berkeley. University of California Transportation Center. Berkeley.
- HÄGERSTRAND, T. (1967): *Innovation diffusion as a spatial process*. Chicago. University of Chicago Press.
- HALL P. (1988): *Cities of tomorrow: An Intellectual History of Urban Planning and Design in the Twentieth Century* Oxford. Blackwell Publishing.
- HALL P. (2002): *Urban and Regional Planning (Fourth edition)*. Routledge. Taylor & Francis Group. London and New York.
- INSTITUT D'ESTUDIS REGIONALS I METROPOLITANS DE BARCELONA (2007): Polígons d'activitat econòmica: tendències de localització i accessibilitat. *Revista Papers*. Número 45. <https://iermb.uab.cat/es/iermb/revistapapers/n-45-poligonos-de-actividad-economica-tendencias-de-localizacion-y-accessibilidad/>
- JACOBSON, J. & FORSYTH, A. (2008): Seven American TODs: Good Practices for Urban Desing in Transit-Oriented Development Projects. *Journal of Transport and Land Use*, 1, 2, pp. 51-88. University of Minnesota Center for Transportation Studies. World Society for Transport and Land Use.
- KERRIGAN, M. & BULL, D. (1992): *Measuring accessibility – A public transport accessibility index*. Environmental Issues. Proceedings of Seminar B Held at The PTRC European Transport. Highways and Planning 20th Summer Annual Meeting. UMIST. P354, pp. 245-256.
- LAMQUIZ-DAUDÉN, P. J. & BAQUERO-LARRIVA, M. T. & RAMIREZ-SAIZ, A. & CARPIO-PINEDO, J. (2024): Proximidad y herramientas de planificación en España: los casos de Barcelona, Castelló de la Plana, Pontevedra, Valladolid y Vitoria-Gasteiz. *Ciudad y Territorio Estudios Territoriales*, 56 (220). <https://doi.org/10.37230/CyTET.2024.220.17>
- LEE, M. & GOULIAS, K.G. (1997): *Accessibility indicators for transportation planning using GIS*. Transportation Research Board. Washington, D. C.
- LEVINSON, D. (1998): Accessibility and the journey to work. *Journal of Transport Geography*. 6, 1, pp. 11-21. Elsevier.
- LITMAN, T. (2008): *Evaluating Public Transit Benefits and Costs. Best Practices Guidebook*. Victoria Transport Policy Institute.
- NEL·LO, O. (2001): *Ciutat de ciutats. Reflexions sobre el procés d'urbanització a Catalunya*. Editorial Empúries. Barcelona.
- NEL·LO, O. (2003): *Aquí, no! Els conflictes territorials a Catalunya*. Editorial Empúries. Barcelona.
- MEJÍA, V. & LÓPEZ, J. & CHECA, J. (2023): ¿Hacia una transición energética justa?: consumo energético y segregación residencial en el área metropolitana de Barcelona. *Ciudad y Territorio Estudios Territoriales*, 55 (215), 77–96. <https://doi.org/10.37230/CyTET.2023.215.5>
- MIRALLES, C. & TULLA, A. (directors) (2000): *Mobilitat sostenible. Innovacions conceptuals i estat de la qüestió*. Elements de debat territorial. Diputació de Barcelona.
- SAIF, M. & ZEFREH, M. & TOROK, A. (2018): *Public transport accessibility: a literature review*. Periodica Polytechnica Transport Engineering.
- SHAH, J. & ADHVARYU, B. (2016): Public transport accessibility levels for Ahmedabad, India. *Journal Public Transport*. 19, 3, pp. 19-35.
- SINGLA, J. (coordinador) (2013): *Accessibilitat en Transport Públic Col·lectiu als polígons d'activitat econòmica de la RMB*. Pacte Industrial de la Regió Metropolitana de Barcelona. Barcelona.
- TRANSPORT FOR LONDON (2006): *Transport Assessment Best Practice. Guidance Document*. Transport for London. Mayor of London.
- TRANSPORT FOR LONDON (2010): *Measuring Public Transport Accessibility Levels - PTALs summary*. Transport for London. Mayor of London.
- TRANSPORT FOR LONDON (2015): *Assessing transport connectivity in London*. Transport for London. Mayor of London. <https://data.london.gov.uk/download/public-transport-accessibility-levels/86bbffe1-8af1-49ba-ac9b-b3eacaf68137/connectivity-assessment-guide.pdf>
- TRANSPORT FOR GREATER MANCHESTER (2016): *Greater Manchester Accessibility Levels (GMAL)*. Transport for Greater Manchester. <http://www.gmtu.gov.uk/gmbusroute/GMAL%20Calculation%20Guide.pdf> http://odata.tfgm.com/opendata/downloads/GMAL/GMAL_TFGMOpenData.zip [febrero 2024]
- TRANSPORT FOR NEW SOUTH WALES (2019): *Public Transport Accessibility Level in New South Wales*. Department of Earth and Environmental Sciences, Macquarie University. <https://opendata.transport.nsw.gov.au/dataset/ptal-public-transport-accessibility-level> [febrero 2024]
- WU, B.M. & HINE, J.P. (2003): A PTAL approach to measuring changes in bus service accessibility. *Transport Policy*. 10,4, pp. 307-320.

8. Listado de Acrónimos/Siglas

AMB	Área Metropolitana de Barcelona	GTFS	General Transit Feed Specification
ATM	Autoridad del Transporte Metropolitano	IATP	Índice de Accesibilidad al Transporte Público
EMEF	Encuesta de Movilidad en Día Laborable (<i>Enquesta de Mobilitat en dia Feiner</i>)	PTAL	Public Transport Accessibility Levels
		SIMMB	Sistema Integrado de Movilidad Metropolitana de Barcelona