

Maestría en Ingeniería Civil

Procedimiento de microzonificación de las Zonas de Análisis de Transito (ZAT) para planes de movilidad local.

Ing. Mauricio Alexander Gallego

Bogotá D.C, 14 de diciembre de 2020

Procedimiento de microzonificación de las Zonas de Análisis de Tránsito (ZAT) para planes de movilidad local

**Tesis para optar al título de magíster en Ingeniería Civil, con
énfasis en Tránsito y Transporte**

**Ing. PhD. Mónica Marcela Suárez Pradilla
Directora**

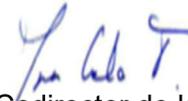
Bogotá D.C. 14 de diciembre de 2020

La tesis de maestría titulada: “Proceso de microzonificación de las Zonas de Análisis de Transito (ZAT) para planes de movilidad local”, presentada por Mauricio Alexander Gallego Perdomo, cumple con los requisitos establecidos para optar al título de Magíster en Ingeniería Civil con énfasis en Tránsito y Transporte



Directora de la tesis

Ing. PhD. Mónica Marcela Suárez Pradilla PhD



Codirector de la tesis

Ing. PhD. Jorge Cerda Troncoso

Jurado

Ing. M.Sc. Santiago Henao Pérez

Jurado

Ing. PhD. Carlos Felipe Urazán

Bogotá D.C. 14 de diciembre de 2020

Dedicatoria

A los tres pilares que dan importancia a cada etapa de mi vida, Viviana, Valentina y mi madre, por ser motivos de inspiración y razón fundamental para alcanzar mejores horizontes y por brindarme su apoyo incondicional en todo momento.

Agradecimientos:

Quiero agradecer a quienes participaron en este proceso y que me brindaron su apoyo y acompañamiento. A mi familia, a mis compañeros, a Transconsult empresa que me ofreció el espacio y tiempo para el desarrollo de las actividades, y a mis directores de tesis por el acompañamiento incondicional durante mi desarrollo de la tesis.

RESUMEN

Actualmente los estudios de planificación local de movilidad son parte de esquemas de zonificación macro de ciudad, por lo que, no evidencian las verdaderas necesidades de la población objetivo, en este sentido no existen procedimientos estandarizados que permitan la microzonificación de las zonas para que se ajusten a las condiciones y dinámicas propias del sector. A partir de lo anteriormente expuesto este trabajo ofrece un procedimiento para la elaboración de la microzonificación basada en información de estudios realizados a nivel de ciudad como lo son las encuestas de movilidad y enriquecidos con indicadores urbanos que integren los usos del suelo, criterios de desarrollo urbano como la compacidad, densificación y compactación de ciudad.

En primera instancia este análisis define las principales estrategias que enmarcan los planes de movilidad y los asocia a indicadores que permiten no solo su diagnóstico y evaluación, si no que sirven de parámetros para el proceso de microzonificación. Posteriormente se muestra como la información secundaria es el principal insumo para el proceso. Particularmente, se utilizaron datos de las encuestas de movilidad de hogares y de interceptación que conforman las matrices origen- destino utilizadas en el modelamiento de la ciudad, cartografía digital, aplicativos y herramientas computacionales como los programas tipo SIG que permiten el desarrollo de microzonificación propuesto en este trabajo.

El análisis realizado permite precisar los micro sectores de la ciudad que tienen dinámicas que generan necesidades específicas y que deben ser resueltas por los planes de movilidad local. En este sentido, se pueden optimizar los recursos para la ejecución de las actividades y el refinamiento de los análisis, al identificar de manera más precisa las condiciones de micromovilidad que se producen al interior de subzonas urbanas. Lo anterior también permite la delimitación de estudios complementarios, formulación de medidas eficaces y empoderamiento de la movilidad y sostenibilidad de las regiones.

La metodología propuesta busca integrar dentro del análisis inicial al grupo interdisciplinar que hará parte del diagnóstico y formulación de propuestas dentro del desarrollo de los objetivos propuestos en el enfoque del plan de movilidad local que se esté abordando.

Se utilizaron una serie de técnicas de análisis SIG para integrar los diferentes procesos y un grupo de indicadores de movilidad, socioeconómicos, urbanos y de transporte público

para delimitar las microzonas. También se utilizaron técnicas multicriterio para evaluar los resultados obtenidos.

Los resultados señalan que el proceso de microzonificación se puede generar a partir de información secundaria y de la participación de expertos que conozcan los procesos de planificación local. También, tiene una gran influencia el tipo de herramientas y aplicaciones que se utilicen. Particularmente para el caso de estudio se muestra que a nivel ZAT's no se detecta un grupo de zonas prioritarias para estacionamiento que si se hacen visibles utilizando la microzonificación.

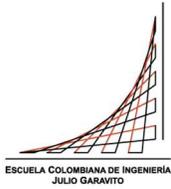
ABSTRACT

Currently, local mobility planning studies are part of macro city zoning schemes, so they do not show the real needs of the target population. In this sense, there are no standardized procedures that allow the microzoning of zones to adjust to the conditions and dynamics of the sector. Based on the above, this work offers a procedure for the elaboration of microzoning based on information from studies carried out at city level such as mobility surveys and enriched with urban indicators that integrate land uses, urban development criteria such as compactness, densification and compaction of the city.

In the first instance, this analysis defines the main strategies that frame the mobility plans and associates them to indicators that allow not only their diagnosis and evaluation, but also serve as parameters for the microzoning process. Later, it is shown how secondary information is the main input for the process. In particular, data from household mobility and interception surveys were used to make up the origin-destination matrices used in the modeling of the city, digital cartography, applications and computer tools such as GIS-type programs that allow the development of microzoning proposed in this work.

This analysis allows to specify the micro sectors of the city that have dynamics that generate more relevant needs to be solved by the local mobility plans. In this sense, the resources for the execution of the activities and the refinement of the analyses can be optimized by achieving a more precise approach to the conditions of micro-mobility that are produced within urban subzones, allowing the delimitation of complementary studies, the formulation of effective measures and the empowerment of the mobility and sustainability of the regions.

The proposed methodology seeks to integrate within the initial analysis the interdisciplinary group that will be part of the diagnosis and formulation of proposals within the development of the proposed objectives in the approach of the local mobility plan being addressed.



ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA
JULIO GARAVITO

ÍNDICE GENERAL

1.	INTRODUCCIÓN.....	14
1.1.	Objetivo general.....	15
1.2.	Objetivos específicos:.....	15
2.	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	16
3.	MARCO TEÓRICO	20
3.1.	Características de la zonificación	20
3.2.	Modelos de interacción.....	23
3.3.	Casos de estudios similares	24
4.	METODOLOGIA	29
4.1.	Modelos de transporte.....	32
4.1.1.	Sistema de redes	33
4.1.2.	Zonificación.....	34
4.1.3.	Construcción modelo base.....	35
4.1.3.1.	Matriz O-D (origen-destino).....	36
4.1.3.2.	Sistema de red escenario base.....	40
4.1.3.3.	Calibración escenario base.....	41
4.2.	Instrumentos de planificación local.....	42
4.3.	Indicadores.....	45
4.3.1.	Indicadores de movilidad.....	47
4.3.2.	Indicadores de transporte Público.....	49
4.3.3.	Indicadores de modelo urbano.....	50
5.	PROCEDIMIENTO DE MICROZONIFICACIÓN	52
5.1.	Caso de aplicación	53

5.2.	Estrategias plan de movilidad local.	54
5.3.	Bases de datos y archivos geográficos.	55
5.4.	Determinación de indicadores.....	56
5.5.	Matriz multicriterio	59
5.6.	Modelización.....	63
5.6.1.	Calificación de indicadores	63
5.6.2.	Matriz de calificación.....	72
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	76
7.	RECURSOS Y HERRAMIENTAS	78
8.	BIBLIOGRAFÍA.....	80

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. LIMITACIONES PARA LA DEFINICIÓN DE ZAT'S.....	22
TABLA 2. AGRUPACIÓN ESTRATEGIAS EN PLANES LOCALES.	44
TABLA 3. CLASIFICACIÓN DE INDICADORES A EVALUAR	47
TABLA 4. INDICADORES CASO DE ANÁLISIS.....	57
TABLA 5. DEFINICIÓN INDICADORES CASO DE ESTUDIO.	59
TABLA 6. ESCALA DE EVALUACIÓN METODOLOGÍA SAATY	61
TABLA 7. MATRIZ EVALUACIÓN SAATY.....	61
TABLA 8. PONDERACIÓN INDICADORES METODOLOGÍA SAATY	62
TABLA 9. CALIFICACIÓN INDICADOR USO DEL SUELO CASO DE ESTUDIO LOCALIDAD BARRIOS UNIDOS	63
TABLA 10. CALIFICACIÓN INDICADOR ATRACCIÓN VIAJES MODO PRIVADO	65
TABLA 11. CALIFICACIÓN INDICADOR PARTICIPACIÓN POR MODO DE TRANSPORTE (VEHÍCULO PRIVADO) .	65
TABLA 12. CALIFICACIÓN INDICADOR PARTICIPACIÓN POR MODO DE TRANSPORTE (VEHÍCULO PRIVADO) .	67
TABLA 13. CALIFICACIÓN INDICADOR CONSUMO DE ESPACIO (ALTURAS EDIFICACIÓN)	68
TABLA 14. CALIFICACIÓN INDICADOR DENSIDAD DE POBLACIÓN	69
TABLA 15. CALIFICACIÓN NÚMERO DE ETAPAS DE VIAJE	71
TABLA 16. CALIFICACIÓN PONDERADA MANZANAS ÁREA DE ESTUDIO.	72
TABLA 17. CLASES DE AGRUPACIÓN POR NIVEL DE PRIORIDAD	73

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DENSIDAD DE POBLACIÓN DE LA REGIÓN ILE-DE-FRANCE	26
FIGURA 2. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL ACCESIBILIDAD DE TRANSPORTE PÚBLICO EN LA REGIÓN DE ILE-DE-FRANCE	27
FIGURA 3. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE TRABAJO Y ESTUDIO DE LA DENSIDAD DE LA ILE-DE-FRANCE - FIGURA VIII	27
FIGURA 4. ANÁLISIS DE CONGLOMERADOS PARA LA REGIÓN	28
FIGURA 5. APLICACIÓN ALGORITMO DE NUEVA ZONIFICACIÓN DE LA REGIÓN DE PARÍS	29
FIGURA 6. ESQUEMA METODOLOGÍA DESARROLLO DE ESTUDIO	31
FIGURA 7. ESQUEMA MODELO CLÁSICO DE TRANSPORTE.	33
FIGURA 8. SISTEMA DE REDES MODELO	34
FIGURA 9. HERRAMIENTAS DE INFORMACIÓN PARA MODELOS DE TRANSPORTE.....	36
FIGURA 10. VIAJES ORIGEN DESTINO EN ÁREA DE ESTUDIO.....	37
FIGURA 11 RED DE TRANSPORTE PÚBLICO ASOCIADA A LA RED DE MODELACIÓN	41
FIGURA 12. ESQUEMA CONCEPTUAL ETAPAS PLAN LOCAL DE MOVILIDAD	43
FIGURA 13. ESQUEMA CONCEPTUAL INDICADORES	46
FIGURA 14. ESQUEMA CONCEPTUAL PROCEDIMIENTO MICROZONIFICACIÓN	53
FIGURA 15. ESQUEMA CONCEPTUAL PLAN DE ORDENAMIENTO DE PARQUEADEROS.	54
FIGURA 16. MATRIZ DE INDICADORES Y ESTRATEGIAS DE PLANES DE MOVILIDAD	58
FIGURA 17 DILIGENCIAMIENTO DE EVALUACIÓN MATRIZ DE PRIORIZACIÓN DE PROYECTOS.....	62
FIGURA 18 MAPA USOS DEL SUELO PARA CASO DE ESTUDIO LOCALIDAD BARRIOS UNIDOS	64
FIGURA 19 MAPA PARTICIPACIÓN VEHÍCULO PRIVADO EN CASO DE ESTUDIO LOCALIDAD BARRIOS UNIDOS	66
FIGURA 20 MAPA BANDAS DE COBERTURA TRANSPORTE PUBLICO CASO DE ESTUDIO LOCALIDAD BARRIOS UNIDOS	67
FIGURA 21 MAPA ALTURAS POR MANZANA CASO DE ESTUDIO LOCALIDAD BARRIOS UNIDOS	69
FIGURA 22 MAPA DENSIDAD DE POBLACIÓN CASO DE ESTUDIO LOCALIDAD BARRIOS UNIDOS.....	70
FIGURA 23 MAPA ETAPAS DE VIAJE CASO DE ESTUDIO LOCALIDAD BARRIOS UNIDOS.....	71
FIGURA 24 MAPA MATRIZ DE CALIFICACIÓN ÁREA DE ESTACIONAMIENTOS LOCALIDAD BARRIOS UNIDOS.	74
FIGURA 25 PROPUESTA LOCALIZACIÓN DE ESTACIONAMIENTOS PARA EL TRANSPORTE PÚBLICO INDIVIDUAL DEL PLAN DE ORDENAMIENTO DE ESTACIONAMIENTOS,	75
FIGURA 26 ZONIFICACIÓN COMPARATIVA DE ESTACIONAMIENTOS LOCALIDAD BARRIOS UNIDOS.	77

1. INTRODUCCIÓN

En las ciudades se hace imperante la exigencia de articular las diferentes políticas y objetivos de transporte a nivel global con las necesidades propias generadas en zonas específicas de carácter urbano. Es así como, la planificación de la movilidad urbana local debe ser definida dentro de un esquema inclusivo de actores locales y regionales para la definición de metas efectivas y coherentes con la realidad.

Un alto porcentaje de estos estudios tiene como punto de partida la evaluación de la situación actual en función de diferentes parámetros de análisis de tránsito para definir el comportamiento de un área de estudio e identificar específicamente la forma como se puede desagregar en sectores espaciales con características homogéneas denominadas ZAT's.

El desarrollo de desagregación espacial, o la definición de las ZAT's es muy importante para realizar estudios de planificación de transporte y así pronosticar la demanda de viajes utilizando los modelos de la demanda de transporte (Ortúzar y Willusen, 2001). Los anteriores pasos están encadenados en una secuencia, y las salidas de cada paso se convierten en entradas de la etapa siguiente. La zonificación es compatible con las fuentes censales y/o administrativas y en la mayoría de las ocasiones el criterio de decisión fundamental en la configuración de las áreas.

La mayor parte de la información utilizada como referencia se encuentra asociada a modelos macros de la ciudad, que consolidan zonas relativamente homogéneas, pero con una dinámica interior muy particular. Por tal motivo en procesos de estudios locales se hace necesario llevar estas zonas a microzonas; no existen procedimientos básicos apoyados en esquemas de indicadores de movilidad interna que garanticen el diagnóstico efectivo de la zona en particular, por el contrario, la definición de esas zonas se ejecuta sobre la base de la experiencia profesional del ejecutante particular del análisis. Además, se alternan parámetros de homogenización dentro de la zona y a conveniencia se utilizan factores de subdivisiones de la zona. Finalmente, se utiliza una base de usos del suelo de tipo agregado.

1.1. Objetivo general

Elaboración de un procedimiento metodológico para definir la microzonificación de zonas de análisis de transporte (ZATs) para planes de movilidad local mediante la utilización de las encuestas de movilidad y cartografía existente.

1.2. Objetivos específicos:

- Definir los criterios de partida para evaluar la movilidad zonal a través del análisis de la información secundaria existente y que se utiliza en los estudios de movilidad como: las encuestas origen destino (EOD) y encuestas de origen destino a hogares EODH.
- Definir que parámetros de los usos del suelo deben participar en los procesos de microzonificación ZATs.
- Mostrar la importancia de herramientas tecnológicas como API De Google (Velocidades red, mapa puntos), programas GIS, bases de datos, en la construcción de un proceso de microzonificación.
- Estructurar una metodología para la microzonificación zonal utilizando herramientas de sistemas de información geográfica SIG y la información secundaria de los estudios de movilidad.

Este informe está estructurado de la siguiente manera, en el capítulo dos se presenta la revisión de la literatura, en el capítulo tres contiene el marco teórico donde se define las características de la zonificación en el proceso de modelización, Modelos de interacción y casos de estudios similares a los desarrollados en el presente trabajo. En el capítulo cuatro se describe la metodología de desarrollo para la determinación del procedimiento de microzonificación. En el capítulo cinco se presenta el desarrollo del procedimiento y la aplicación en un caso práctico. El capítulo seis contiene las principales conclusiones y recomendaciones. Finalmente, en el capítulo 8 se encuentran las referencias utilizadas.

2. Revisión bibliográfica.

La planificación de la movilidad y del transporte está ampliamente articulada con el proceso de zonificación. No obstante definir el conjunto de zonas de análisis de transporte es un proceso que requiere amplios estudios y recursos. La zonificación es el punto de partida para generar un buen modelo de transporte independientemente del enfoque que se defina para este (Ortúzar y Willusen, 2004). A continuación, se presenta una serie de investigaciones que buscan identificar los enfoques y los métodos que se pueden aplicar para generar una buena distribución de zonas de transporte ZAT's.

El trabajo de (Baass, 1981) reconoce la importancia de la definición de las zonas de transporte para representar las propiedades espaciales de las zonas urbanas. El autor señala que los primeros diseños de las ZAT's se realizaban de forma empírica considerando la experiencia, el conocimiento local y el juicio. Los resultados obtenidos con el anterior enfoque no representaban el comportamiento espacial de manera coherente, por ello, propone utilizar un algoritmo de agrupación para la generación de sistemas zonales. La información de entrada tiene en cuenta la homogeneidad de la población dentro de cada zona agregada y la minimización de los desplazamientos intrazonales. Se introducen varias limitaciones para agregar las zonas y garantizar que se desarrollen buenos sistemas zonales que satisfagan los requisitos del proceso de planificación del transporte. Las limitaciones que se tuvieron en cuenta son: adyacencia, barreras naturales y artificiales, de forma, una limitación de igual población e igual número de zonas dentro de cada zona agregada, y una limitación de viajes totales. La metodología de agregación se aplicó a dos sistemas iniciales de zonificación de 42 y 522 zonas en la ciudad de Montreal. Los resultados muestran que el procedimiento es capaz de generar buenos sistemas de zonificación para fines de planificación del transporte.

El trabajo de (O'Neill, 1991) utiliza un proceso iterativo para analizar la demanda de viajes y los sistemas de información geográfica SIG para analizar datos socioeconómicos y de

uso de suelo para definir zonas óptimas de análisis del transporte. La importancia de este trabajo es que combina una serie de técnicas de modelización de la generación de viajes para definir la zona de transporte.

(Crevo, 1991) evaluó si las estimaciones de la demanda de viajes pueden mejorarse mediante la subdivisión de ciertas zonas de análisis del tráfico para el período de proyección del año futuro. A partir de su trabajo los procesos de planificación de transporte incluyen la actualización de las ZAT's en virtud, generalmente, de los procesos urbanos y territoriales. Además, planteó la importancia de determinar que zonas de análisis del tráfico deben subdividirse en el proceso de previsión de viajes futuros y comprobar si el aumento del número de zonas mejora las proyecciones resultantes. El enfoque de subáreas es suficiente para las necesidades de los proyectos, pero los ajustes y modificaciones no suelen ser retroalimentados en el proceso de modelización regional. Por lo tanto, el tiempo y los esfuerzo invertidos en la obtención de datos de proyectos no se aplican a la mejora de las previsiones de la demanda general de viajes a nivel de todo el estudio o a nivel regional. En esas condiciones, los esfuerzos de planificación del sistema y los análisis de corredores no reciben el beneficio de la información actualizada ni de las mejoras del sistema. Las conclusiones presentadas evalúan la mejora de las previsiones de viajes como resultado de la subdivisión de zonas en un modelo de demanda de viajes regional. Se hacen comparaciones arco a arco de las asignaciones de tráfico basadas en las zonas originales y las zonas modificadas. Se proporcionan dos secciones principales: a) la elaboración de técnicas para determinar las zonas candidatas a la subdivisión y b) una prueba de los resultados de la repercusión en las asignaciones de tráfico posteriores para los sistemas de zonas originales y modificadas.

(Altan & Ayözen, 2018) analizan los criterios de selección de las zonas de análisis de tráfico y los efectos de su tamaño y número en los resultados de la predicción de un modelo. Para ello, evaluaron el corredor de la línea de metro Kadıköy-Kartal de Estambul, compararon las previsiones de demanda y los viajes asignados versus las mediciones reales bajo diferentes tamaños de ZAT's. Observaron que disminuyendo el tamaño de la zona los resultados mejoraban, específicamente, la asignación de la red de transporte público para la línea de metro al aumentar el número zonas de análisis de 540 a 1.788, mostró que el R^2

proyectado contra el real aumento aproximadamente un 23%. Posteriormente, el estudio incluyó la densidad de población y la densidad de empleo como variables independientes para determinar la amplitud de la zona de estudio, que dividió en 1.788 ZAT's, al aplicar el modelo de regresión exponencial obtuvo un coeficiente R^2 de 0,62 que refleja un buen ajuste.

El trabajo de (Bao et al., 2015) revisó la posibilidad de restringir el tamaño del área de estudio en función de un modelo basado en las actividades, con el fin de considerar todo el territorio. El caso de estudio incluyó 327 municipios de Flandes (Bélgica), se evaluaron dos modos de transporte diferentes, transporte público y transporte privado. Se utilizó una metodología de microsimulación llamado FEATHERS, que esta calibrada para la Región de Flandes y está desarrollada para facilitar la aplicación de modelos basados en actividades para previsión de la demanda de transporte. El proceso de microsimulación está configurado por una serie de algoritmos que permiten incluir una serie de atributos del individuo (edad, sexo, etc.), del hogar (número de coches, etc.), y características de la zona geográfica (la densidad de población, el número de tiendas entre otras). Para cada individuo, con sus atributos específicos, el modelo simula si una actividad (por ejemplo, ir de compras, al trabajo, de ocio, etc.) se va a llevar a cabo o no. Posteriormente, la ubicación, el modo de transporte y la duración de la actividad se determinan teniendo en cuenta los atributos del individuo. En función de las franjas horarias, los patrones de actividad-viaje, etc., se obtiene la demanda de viajes que se asigna a la red de transporte. Actualmente, el marco de FEATHERS se ha implementado a nivel de región, de vecindario, de zona, de barrio, de provincia, y a nivel de todo Flandes. Los resultados definen unas zonas óptimas de transporte para la planificación.

(Chang et al., 2002) muestra los resultados de un estudio de simulación, que utiliza once estructuras de zonificación y dos niveles de detalle de la red, para, evaluar los efectos de los ZAT's, y el nivel de detalle de la red en la modelación de la demanda de tráfico en todo el estado de Idaho. Los resultados señalan que las ZAT's más pequeñas generan mayores proporciones de viajes interzonales. También, se observan relaciones más exactas entre el volumen de viajes y los conteos, y, menor porcentaje de error entre los volúmenes estimados y los conteos.

En segundo lugar, el efecto de la ubicación de los centroides de las ZAT's pequeñas no afecta los análisis. En tercer lugar, el nivel de detalle de la red afecta a los valores de los errores de dos maneras: las ZAT's más grandes producen valores de errores más bajos que las ZAT's más pequeñas con la red menos detallada, y la red detallada supera a la red menos detallada, independientemente del tamaño de las ZAT's.

(Martínez et al., 2011) en su trabajo para la región metropolitana de París, evalúan como mejorar el tamaño de las ZAT's considerando una serie de indicadores de movilidad y del medio ambiente. De este modo, la nueva zona está determinada no sólo por la generación y distribución de viajes, sino también limitada por otros indicadores. Para el caso particular de estudio se han seleccionado una combinación de los siguientes indicadores: emisiones, contaminación del aire, densidad, población, información de densidad de trabajo y de estudio y accesibilidad al transporte público. La integración de estos indicadores permite evaluar la movilidad dentro de la región e identificar a nivel muy preciso las principales zonas de actividad y de intercambio de tráfico. Esta integración se define en función del uso del suelo y de la localización de la actividad económica a un nivel de alta agregación. Además, con el fin de optimizar su uso en políticas de movilidad, este tipo de enfoque no sólo puede basarse en la unidad de rejilla celular, sino, puede utilizar una configuración de tipo jerárquico.

(Martínez et al., 2009) en este trabajo se desarrolla un enfoque integral de la definición de las zonas de análisis de transporte ZAT's y en él se presenta una nueva metodología y un nuevo algoritmo que incorpora diferentes programas informáticos y sistemas de información geográfica SIG. Los resultados obtenidos se comparan con los que se utilizan actualmente en el proceso de análisis de los transportes del Área Metropolitana de Lisboa. El algoritmo propuesto presenta una nueva metodología para el diseño de ZAT's basada en la geocodificación de los datos de demanda de viajes. El algoritmo tiene por objeto reducir al mínimo la pérdida de información al pasar de una representación continua del origen y el destino de cada viaje a sus representaciones discretas por zonas, y se centra en el equilibrio entre la precisión estadística, el error geográfico y el porcentaje de viajes intrazonales de la matriz OD resultante. Los resultados del estudio para el área metropolitana de Lisboa

sugieren una mejora significativa de las estimaciones de la matriz OD en comparación con las prácticas actuales de análisis del transporte basadas en las unidades administrativas.

El trabajo de (Martinez et al., 2007) evalúa las limitaciones asociadas a la discretización del espacio. Entre ellas, la modificabilidad de las unidades territoriales y los problemas de límites que están relacionados directa o indirectamente con la planificación del transporte a través del diseño de las ZAT's. El límite modificable y la escala se deben definir claramente debido a los efectos que estos factores ejercen sobre las propiedades estadísticas y matemáticas de los patrones espaciales. Los resultados obtenidos muestran que los datos espaciales no son independientes de la escala, y los efectos de la agregación están implícitos en la elección de los límites zonales. La delimitación de los límites zonales de las ZAT's tiene un impacto directo en la realidad y la exactitud de los resultados obtenidos al aplicar los modelos de previsión de transporte. En este documento, los efectos de los límites y la escala territorial en la definición de la ZAT's y los modelos de demanda de transporte se miden y analizan usando diferentes cuadrículas (en tamaño y en ubicación de origen). Este análisis se desarrolló utilizando una aplicación integrada en un software comercial de SIG, se aplicó al Área Metropolitana de Lisboa para probar su eficiencia y rendimiento. Los resultados revelan el conflicto entre las estadísticas y la precisión geográfica, y su relación con la pérdida de información en la asignación de tráfico en el paso de los modelos de planificación de transporte.

3. MARCO TEÓRICO

En este apartado se presenta una revisión del concepto de zonificación de transporte y los modelos de interacción que han sido utilizados ampliamente para agregar la información que permite definir las zonas de transporte.

3.1. Características de la zonificación

La definición de la zonificación de transporte es un proceso prioritario para representar las propiedades espaciales de las zonas urbanas y es necesario en todos los modelos de planificación de transporte.

El sistema de zonas tiene como objetivo agrupar lugares de trabajo, servicios, población, etc. para facilitar la modelación. Desde 1956 para hacer las proyecciones de viajes se ha utilizado modelos de demanda de transporte para la planificación a corto y largo plazo, estos modelos tienen una serie de etapas ordenadas y continuas que garantizan su efectividad (Ortuzar, 2012).

Para plantear un modelo de demanda se requieren las ZAT's que representan áreas a las cuales se asignan los viajes en un modelo de demanda de transporte y de las cuales es importante el tamaño y número. En la mayoría de los estudios de planificación de transporte, lo más importante es la recolección de datos, la estimación de los parámetros y la sofisticación de los modelos, pero, el tema de zonificación rara vez es atendido, normalmente se hace a partir de unidades administrativas superiores ya existentes.

Se divide el territorio en zonas con el propósito de modelización del transporte, para definir las matrices O / D, es un proceso de discretización del espacio. La zonificación tiene grandes ventajas para la simplicidad de los modelos y para la interpretación y comunicación de resultados. Pero es un proceso poco reconocido (y logrado) y está directamente relacionado con los errores que pueden presentar los modelos y las predicciones (Chang, Khatib et al., 2002)

La revisión teórica desarrollada a partir de este punto se toma de (Martínez et al., 2010) en cuyo trabajo se analiza ampliamente la teoría de las ZAT's. Un aporte importante de este trabajo es que muestra como la modificación de la información geográfica durante los procesos tiene un efecto en la pérdida de viajes intrazonales, debido a, que los arcos de menos jerarquía no reflejan el tráfico real. Además, la disminución del tamaño de la zona afecta la calidad de la información estadística ya que que las matrices O/D se estiman a través de procesos de muestreo.

El concepto ZAT's no ha sido claramente definido, y existen diferentes sistemas de zonificación para diferentes análisis. La falta de rigor sobre el concepto ZAT's llevó a una terminología no uniforme en la literatura científica, la mayoría de los autores utilizan el término zona de análisis de tráfico, pero, el dominio de esta terminología no está claramente

definido. Algunos autores utilizan el término zonas de análisis de transporte, por lo general asociados con el transporte y ordenación del territorio.

Las investigaciones realizadas han establecido algunas pautas y limitaciones a la definición de ZAT's. La Tabla 1 recoge las diferentes restricciones que se han analizado para este trabajo.

Tabla 1 Limitaciones para la definición de ZAT's

Restricciones	Referencias
Generación de viajes / atracción homogénea	(Baass, 1981; O'Neill, 1991; Ding, 1994; 1998; Ortúzar y Willusen, 2001; Chang, Khatib et al., 2002)
La contigüidad y la convexidad de zonas	(O'Neill, 1991; Ding, Choi et al, 1993; Ding, 1994; 1998)
Compacidad de las ZAT's	(Baass, 1981; O'Neill, 1991; Ding, Choi et al, 1993. Ding, 1994; Chang, Khatib et al, 2002)
Exclusividad (no hay islas) de las zonas	(O'Neill, 1991; Ding, Choi et al, 1993. Ding, 1994; 1998)
Equidad en términos de generación de viajes (pequeña desviación estándar a través de zonas).	(O'Neill, 1991; Ding, Choi et al, 1993; Ding, 1994; 1998)
Ajuste de los límites ZAT's a las fronteras políticas, administrativas, o estadísticas	(Baass, 1981; O'Neill, 1991; Ding, Choi et al, 1993; Ding, 1994; 1998; Ortúzar y Willusen, 2001; Chang, Khatib et al., 2002)
Respeto de los separadores físicos y/o geográficos	(O'Neill, 1991; Ding, Choi et al, 1993; Ding, 1994; 1998)

Preferencias de los tomadores de decisión.	(Ding, Choi et al, 1993; Ding, 1994; 1998; Ortúzar y Willusen, 2001)
Limites principales diferentes a carreteras	(Ortúzar y Willusen, 2001)
Elección del tamaño de la zona considerando el error por la agregación y la suposición de que todas las actividades en el centroide (precisión geográfica)	(Ortúzar y Willusen, 2001)
Minimización de los viajes intrazonales	(Baass, 1981; Crevo, 1991)
Maximización de la precisión estadística de la estimación de las celdas de la matriz OD	(Openshaw, 1977)

Fuente: Tomado (Martínez et al., 2010)

Es difícil aplicar todos los criterios en un solo proceso de diseño porque algunas reglas son excluyentes entre sí y responden a la utilización de un esquema de zonificación fija en el tiempo, y a diferentes escalas de estudio y propósitos.

3.2. Modelos de interacción.

Otra parte importante a la hora de definir las ZAT's son los procesos de modelación (Batty et al., 1973) en uno de sus primeros trabajos mostró la importancia del uso de modelos en la planificación urbana, y señaló los elementos importantes que se deben considerar. Por una parte, la estructura del modelo y, por otra, al diseño de este.

Las cuestiones relativas a la estructura de los modelos se han centrado en dos cuestiones principales: el problema de la desagregación de las variables del modelo en la búsqueda de una mejor descripción del mundo real, y el problema de la dinámica, que se refiere esencialmente a la incorporación de una dimensión temporal explícita en tales modelos.

Por el contrario, las cuestiones de diseño de modelos que entrañan problemas como la definición y medición de variables, la zonificación y la calibración espaciales han recibido mucha menos atención, y esas cuestiones han seguido siendo periféricas a la mayoría de los esfuerzos de construcción de modelos.

Particularmente, existe una familia de modelos denominada de interacción espacial que se utilizan para evaluar el comportamiento de las unidades agregadas y permiten utilizar datos que han sido agregados espacialmente más de una vez. A pesar del gran número de estudios teóricos y empíricos, todavía no es posible concluir si los resultados de la modelización de la interacción espacial tienen o no una significación conductual, o si reflejan o no la forma en que una región de estudio está dividida en zonas. Tampoco se sabe mucho acerca de la medida en que el rendimiento del modelo se ve afectado por la elección del sistema de zonificación. Por supuesto, se reconoce ampliamente que las pautas de las interacciones intrazonales e interzonales dependen de la selección de los límites zonales y sus tamaños relativos. Las investigaciones realizadas son principalmente descriptivas y se hace poco énfasis en la necesidad de definir una zonificación óptima para el análisis espacial del territorio (Openshaw, 1977).

Actualmente, la teoría de los modelos es muy amplia y puede ser usada en los procesos de zonificación. La microsimulación es una técnica emergente que se utiliza para investigar las opciones de planificación del transporte mediante la modelización de la simulación. Sus resultados tienen dos propósitos: presentar una imagen visual del tráfico previsto y dar respuestas cuantitativas para diferenciar los niveles de servicio que ofrecen las opciones de diseño de carreteras. Particularmente, contribuyen a definir ZAT's de alta aproximación utilizando un gran volumen de información de la escala espacial y del transporte (Sykes, 2007).

3.3. Casos de estudios similares

Como parte del análisis conceptual se analizó el caso de la aplicación integrada de la zonificación para la movilidad del caso de París región. (Miguel Martínez et al., 2010), como un caso exitoso de microzonificación utilizando indicadores dentro del proceso de

jerarquización de criterios.

En la mayoría de los estudios de planificación del transporte uno de los primeros pasos es la definición de un esquema de zonificación del área de estudio, esta división estará en función de la homogeneidad del espacio. No hay reglas definidas del desarrollo de este proceso que consolide resultados eficientes, la práctica predominante es la ejecución con base en la experiencia del planeador, tratando de mezclar un cierto grado de homogeneidad dentro de la zona y la conveniencia de la utilización de las fronteras administrativas como límites de la zona.

El caso de París región, comienza mediante la presentación y análisis de un conjunto de criterios que consolidan herramientas para la definición del esquema de zonificación integral, esta nueva zonificación parte de un algoritmo que construye una zonificación inicial basado en los puntos de generación y atracción de viajes georreferenciados, enriquecido por la valoración de criterios que afinan nueva zonificación en función de la interacción de estos. Este trabajo realizó una investigación y mejora del enfoque de zonificación con el fin de dar una mejor comprensión de los factores determinantes de la movilidad de la zona. De este modo, la nueva zonificación está determinada no sólo por la generación y distribución de viajes, sino por una serie de indicadores que se ajustan a los patrones de movilidad del sector y que garantizan un diagnóstico real al interior del área. En este caso, hemos seleccionado una combinación de los siguientes indicadores:

- Emisiones de contaminación.
- Densidad de población
- Densidad de actividades.
- Accesibilidad del transporte público.

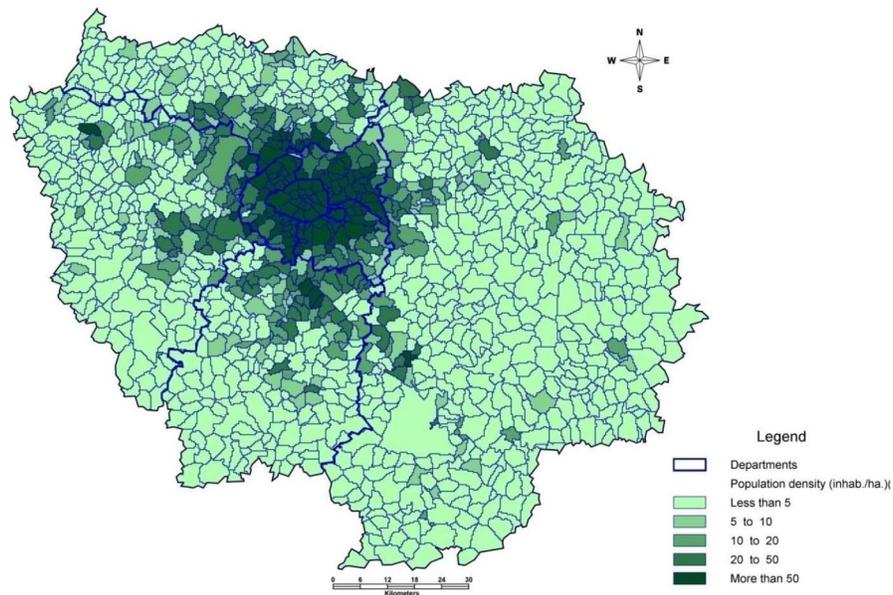
La integración de estos indicadores permitió definir la movilidad dentro de la región e identificar a nivel muy preciso las principales zonas de actividades y su interacción, donde la integración del uso del suelo debe garantizar la localización de actividades económicas a un nivel más detallado que caracterice mejor la interacción entre zonas, este tipo de análisis consolida una agrupación jerárquica de valoración.

Este tipo de análisis jerárquico permite una validación no solo de los límites administrativos y políticos, sino con una perspectiva más desagregada al nivel de desarrollo de la movilidad.

El desarrollo del estudio realizó una selección de un conjunto de indicadores disponibles a partir de datos de la encuesta de movilidad de Paris (EGT 2001), los indicadores seleccionados permitieron la consolidación de conglomerados que permiten el diagnóstico de los principales determinantes de la movilidad, utilizando los datos disponibles de usuarios, modos de transporte y usos del suelo dentro de planificación. A continuación se describen los indicadores utilizados por el estudio para el proceso de zonificación.

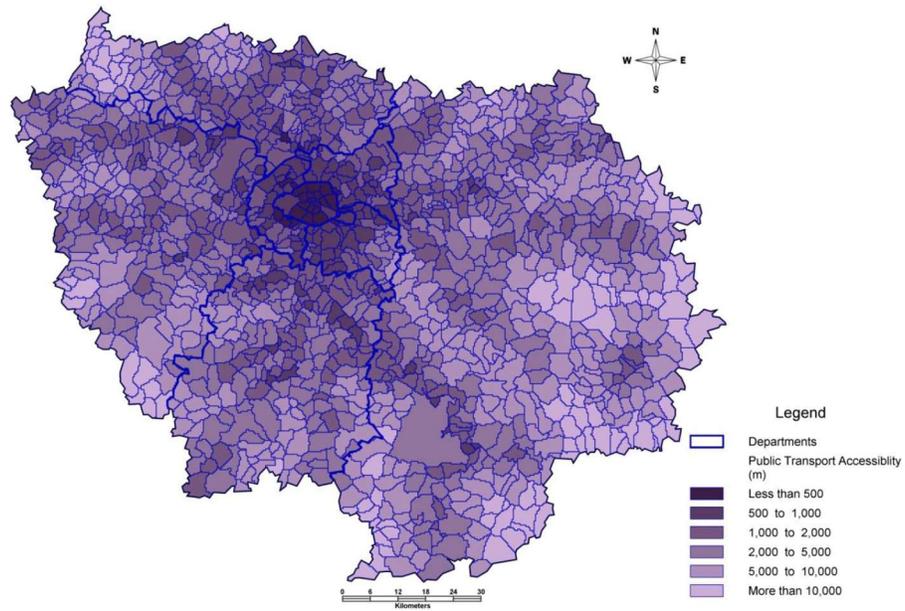
La densidad de población es uno de los factores clave para la evaluación de la movilidad debido a su alta correlación con la generación / atracción de viajes. La distribución espacial de la densidad de población se presenta en la Figura 1, donde se determinan zonas de mayor densidad dentro de la región y algunas aglomeraciones a lo largo de este eje. La accesibilidad del transporte público sumado a la densidad de población ponen en manifiesto necesidades insatisfechas de la población, la relevancia del indicador de uso del suelo es que permite articular los medios de transporte con las principales actividades en tiempo y espacio ver, Figura 2 y Figura 3, que presentan los análisis espaciales de la información procesada de los indicadores para la región.

Figura 1. Distribución espacial densidad de población de la región Ile-de-France



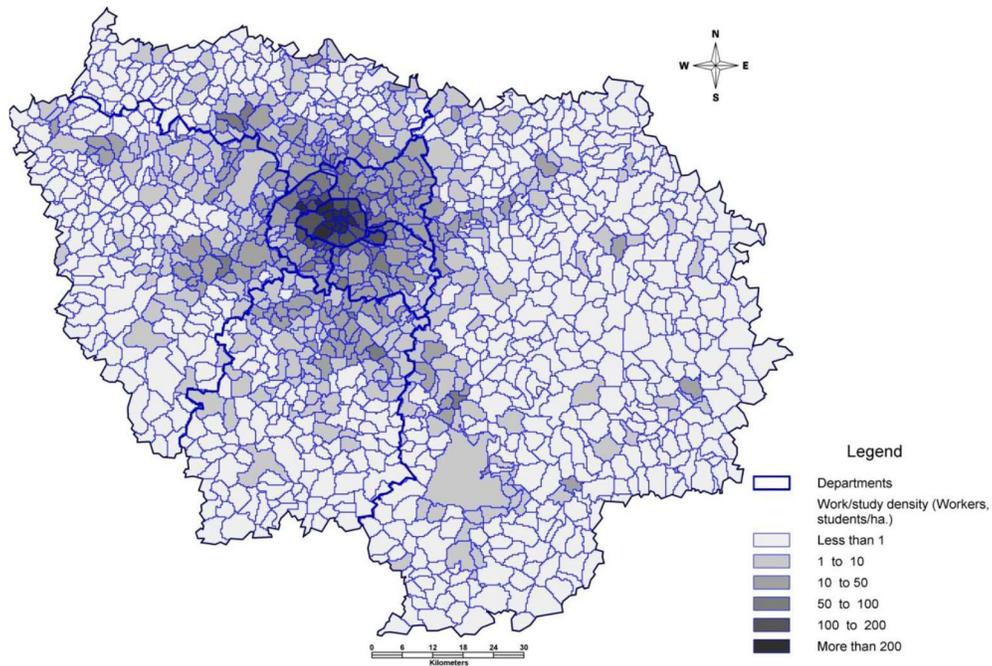
Fuente: (Martínez et al., 2010).

Figura 2. distribución espacial accesibilidad de transporte público en la región de Ile-de-France



Fuente: (Martínez et al., 2010).

Figura 3. Distribución espacial de trabajo y estudio de la densidad de la Ile-de-France - Figura VIII



Fuente: (Martínez et al., 2010).

La espacialización de este análisis se presenta en la Figura 4, con el uso de clúster de aglomerados de indicadores y usos del suelo de manera espacial. Se visualizan las principales centralidades, seguido de algunas aglomeraciones secundarias desarrolladas a lo largo del principal desarrollo. Este esquema de zonificación permitió la identificación de 8 tipos de zonas, que muestra las mismas tendencias en desarrollo.

Figura 4. Análisis de conglomerados para la región

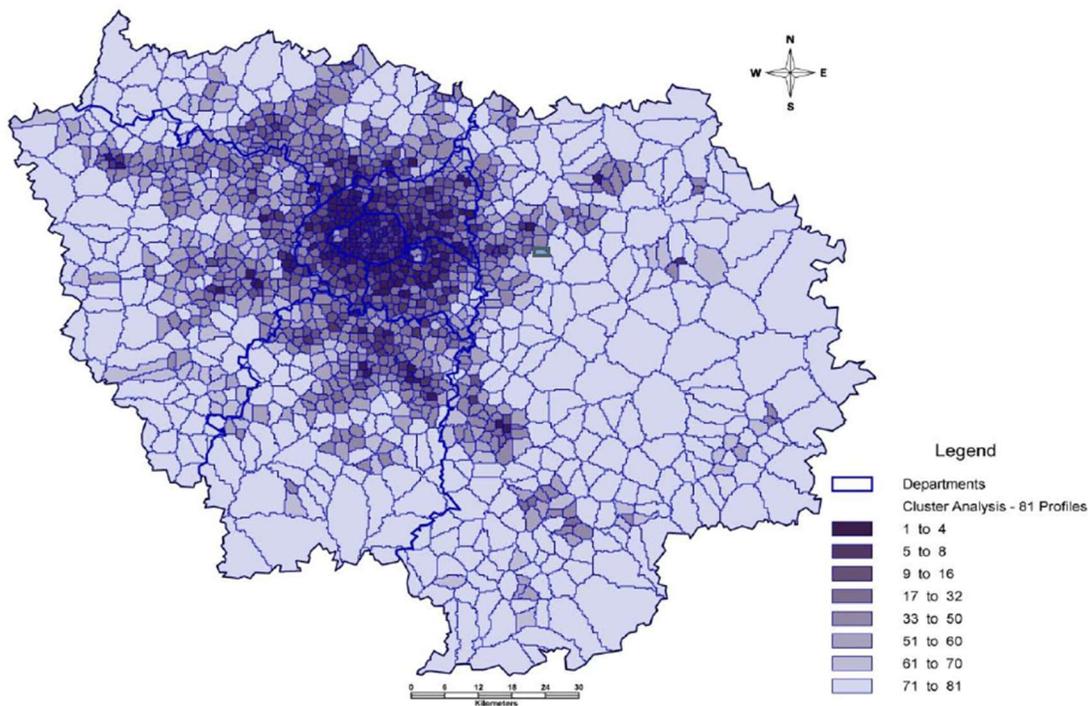


Figura IX - El análisis de conglomerados con los 81 perfiles para la región Ile-de-France

Fuente: (Martínez et al., 2010).

La aplicación desarrollada mediante algoritmo presenta la unificación de las unidades administrativas, con indicadores de movilidad y de uso del suelo. Lo anterior, permite determinar una nueva zonificación, como se muestra en la Figura 5. La aplicación del nuevo procedimiento de zonificación jerárquica asegura la conservación de las propiedades y parámetros de la zonificación inicial y al mismo tiempo incluye las áreas con uso de suelo similar, los atributos de accesibilidad, de consumo y energía y los criterios bases de la nueva zona.

Figura 5. Aplicación algoritmo de nueva zonificación de la región de paris

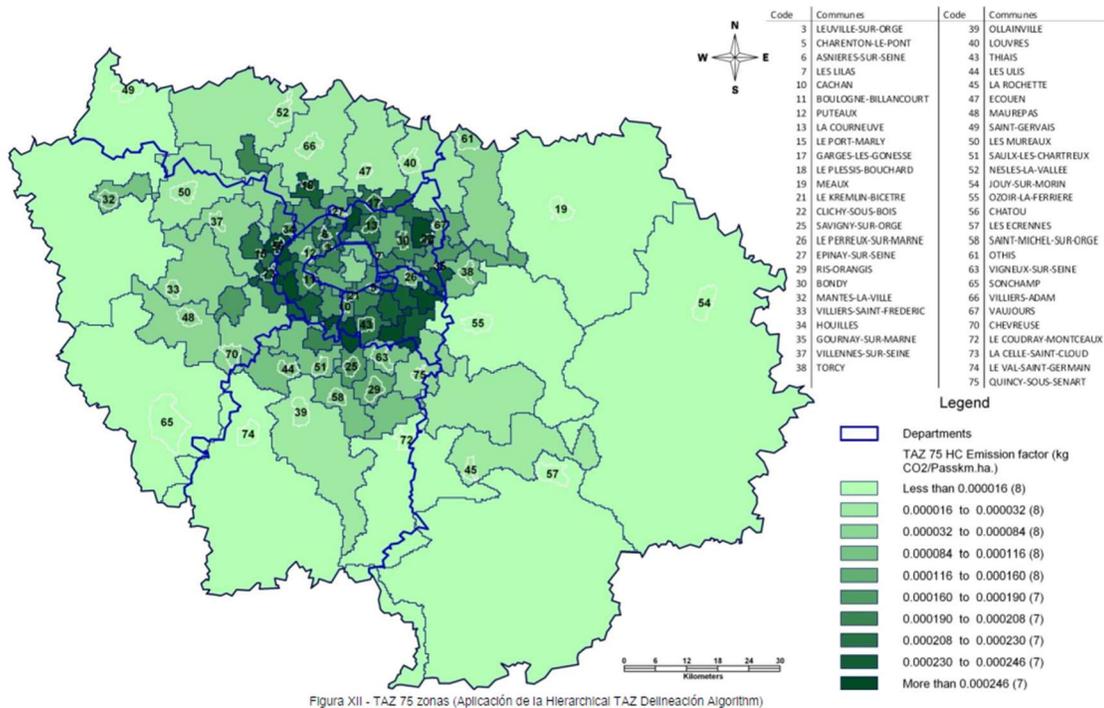


Figura XII - TAZ 75 zonas (Aplicación de la Hierarchical TAZ Delineación Algorithm)

Fuente: (Martínez et al., 2010).

En la Encuesta de Movilidad para el área metropolitana de París del año 2001 se desarrolló este nuevo enfoque de zonificación. Los resultados mostraron mejoras en los resultados frente a la zonificación anterior y potenciaron la importancia del proceso de zonificación dentro de la planificación del transporte.

4. METODOLOGIA

La metodología parte del principio de descomponer el concepto de movilidad local en un conjunto de atributos que puedan ser medidos territorialmente, y que se puedan evaluar con una serie de indicadores sencillos, operativos y realistas que permitan desarrollar un procedimiento de microzonificación para la implementación de planes de movilidad local que se ajusten a las condiciones internas de la zona y permitan un diagnóstico más real.

Primero se define un marco conceptual en función de la revisión de casos de estudio similares para identificar los procedimientos y mejoras. En una en segunda etapa se identifican los elementos necesarios del modelo de transporte, las herramientas, datos y recursos requeridos en los procesos de planificación y la utilidad de estos instrumentos en el procedimiento.

Con base en los parámetros y conceptos fundamentales sobre los cuales se organizan los planes de movilidad se determinan los indicadores que ofrecen funciones de seguimiento y caracterización tanto de la situación actual como de la proyección de acciones sobre zonas particulares de la ciudad.

De acuerdo con la revisión se delimitan cuáles son las herramientas y recursos que pueden ser utilizados en el procedimiento de reajuste de la zonificación del área a intervenir según el plan de movilidad que se pretenda implementar o estructurar. Los documentos que se incluyen en el análisis son estudios de campo, cartografía digital y herramientas computacionales.

En el procedimiento se define la base de datos para implementar el ejercicio, los archivos geográficos necesarios y el análisis espacial que se va a realizar de los diferentes indicadores definidos para la modelización en conjunto de todos los elementos descritos.

A continuación, a través del uso de herramientas computacionales SIG se presenta el procedimiento propuesto para la microzonificación de la zona en función del cruce espacial de indicadores especializados y capas geográficas determinadas.

Dentro de los resultados se evalúan los indicadores propuestos, las posibles mejoras de las metodologías con el fin de enriquecer y mejorar el sistema de aplicación.

Figura 6. Esquema metodología desarrollo de estudio



Fuente: Elaboración propia

4.1. Modelos de transporte

Un modelo es una representación de la realidad de manera abstracta que permite definirla conceptualmente de manera más concisa disminuyendo el grado de complejidad de sus elementos para su respectivo análisis. Existen modelos experimentales y analíticos, estos últimos más adecuados en tema de planificación porque permite la representación en términos de relaciones funcionales y procesos básicos de cambios en los sistemas analizados.

Para la estructuración del modelo se inicia con la determinación de la zonificación del área de estudio y definición de las redes que conectan el sistema, viene seguido la recolección y codificación de la información que permite la calibración y validación de datos que conformen el año base de modelación de la población que deberá considerar los niveles sociales y económicos de las principales actividades desarrolladas, posterior con estos datos se utilizan como variables de la demanda, para estimar número total de viajes atraídos y generados por cada una de las zona definidas en el área del área de estudio. Sigue la distribución espacial de viajes mediante la matriz de viajes origen-destino (O-D), para posteriormente pasar a la elección modal o distribución en los modos de transporte existentes en el modelo.

El modelo clásico se presenta como una secuencia de cuatro etapas o submodelos: generación de viajes, distribución, reparto modal y asignación. (Juan de Dios Ortúzar & Luis G. Willumsen, 2008), tal como se aprecia en la Figura 7.

Figura 7. Esquema modelo clásico de transporte.



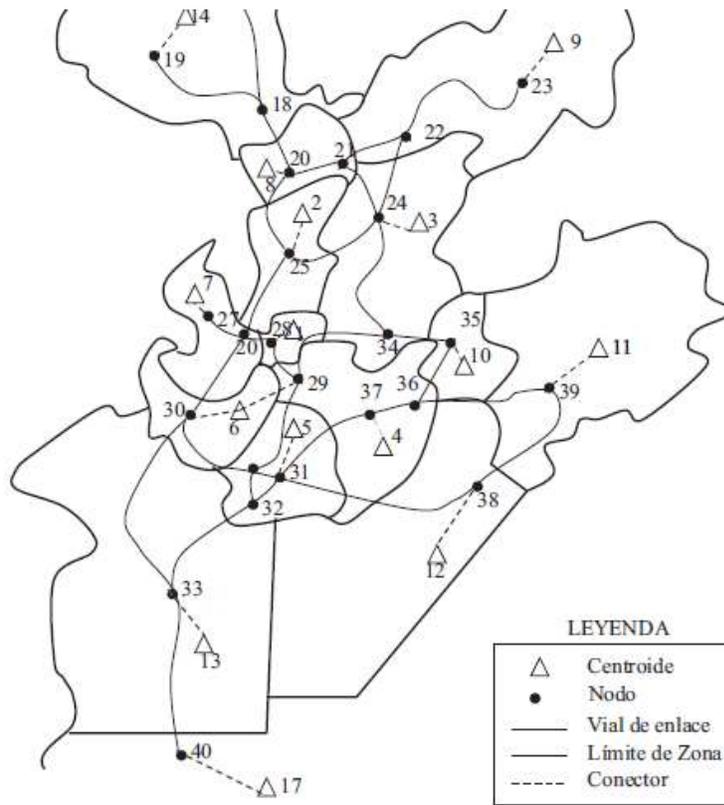
Fuente: Elaboración propia

El inicio en todo proceso de planeación parte de la determinación del nivel de detalle del estudio, a partir de ahí se define el sistema de planificación, la red, la zonificación y los periodos de análisis.

4.1.1. Sistema de redes

El sistema de redes del modelo se define en función de los niveles de jerarquía de la red vial que han de incluirse, así, la estructura de redes debe corresponder a los servicios de transporte público ofrecidos más un conjunto de nodos unidos por medio de arcos ficticios. La mayor parte de los nodos representa intersecciones, mientras que los arcos representan tramos de calles entre intersecciones, en la Figura 8 se presenta gráficamente el sistema de red asociado a la zonificación del área de estudio.

Figura 8. Sistema de redes modelo



Fuente: Modelos de transporte (Juan de Dios Ortúzar & Luis G. Willumsen, 2008)

Los arcos se caracterizan por varios atributos como longitud, velocidad de recorrido, capacidad y por ser generalmente unidireccionales. Se requiere tener información de tipo de vía, ancho de calzada, número de carriles, carriles preferenciales, restricciones vehiculares, giros permitidos, tipo de intersección y regulación semafórica (Juan de Dios Ortúzar & Luis G. Willumsen, 2008)

4.1.2. Zonificación

Como inicio del proceso de modelación deberá determinarse el nivel de detalle del estudio y este requiere subdividir el área en zonas geográficas donde sea posible mantener información a diferentes niveles de agrupación, estas zonas son denominadas Zonas de

Análisis de Tránsito (ZAT), que generalmente son compatibles con divisiones censales y administrativas para permitir el manejo de datos oficiales de la población. El número de zonas depende básicamente de dos factores. En primer lugar, el carácter del estudio y en segundo lugar los recursos disponibles.

Un supuesto de la configuración de la zonificación es que todas las actividades de una zona se concentran en un punto llamado centroide, el cual se va a conectar a la red y donde y de donde comenzaran o terminaran los viajes asociados a la misma, Los centroides se conectan a la red mediante los conectores de centroide que representan los costes medios (distancia, tiempo) para incorporarse al sistema de transportes modelizado que tienen los viajes con origen o destino en esa zona. En su construcción se deben considerar criterios de (Juan de Dios Ortúzar & Luis G. Willumsen, 2008).

- Tamaño
- Homogeneidad.
- Compatibilidad con divisiones censales
- Conectividad interna de zonas.
- Límites de zonas

4.1.3. Construcción modelo base.

El modelo determina la demanda de movilidad mediante la determinación de vectores de viajes generados y atraídos que se constituyen en matrices de viajes O-D (origen-destino), y la oferta de transporte que tiene la zona la cual se modelizada por grafos de red que representan las infraestructuras y servicios de transporte, así el primer paso de la modelación es recolectar la información inicial de calibración para la situación base del estudio, según las diferentes etapas identificadas. En la Figura 9 se presentan los diferentes insumos utilizados para la construcción de la matriz de viajes origen destino, construcción y valor de la red, que permiten salidas de resultados útiles en etapas posteriores correlacionadas durante el proceso para la etapa final que es de asignación del que se obtiene los resultados de calibración finales.

Figura 9. Herramientas de información para modelos de transporte

HERRAMIENTAS DE INFORMACIÓN	FUENTE	MATRIZ O-D	CONSTRUCCIÓN RED	VALOR RED
Encuesta domiciliaria (EODH)	Estudio de campo	✓		
Encuesta interceptación (EODI) cordón externo e interno	Estudio de campo	✓		
Encuestas preferencia declarada/revelada	Estudio de campo			✓
Conteos de tráfico y peatonales	Estudio de campo			✓
Frecuencia y ocupación vehicular	Estudio de campo			✓
Ascensos - descensos	Estudio de campo			✓
Velocidades	Estudio de campo			✓
Inventario de rutas	Estudio de campo / información secundaria		✓	
Levantamiento infraestructura	Estudio de campo / información secundaria		✓	
Cartografía digital	Información secundaria		✓	

Fuente: Elaboración propia

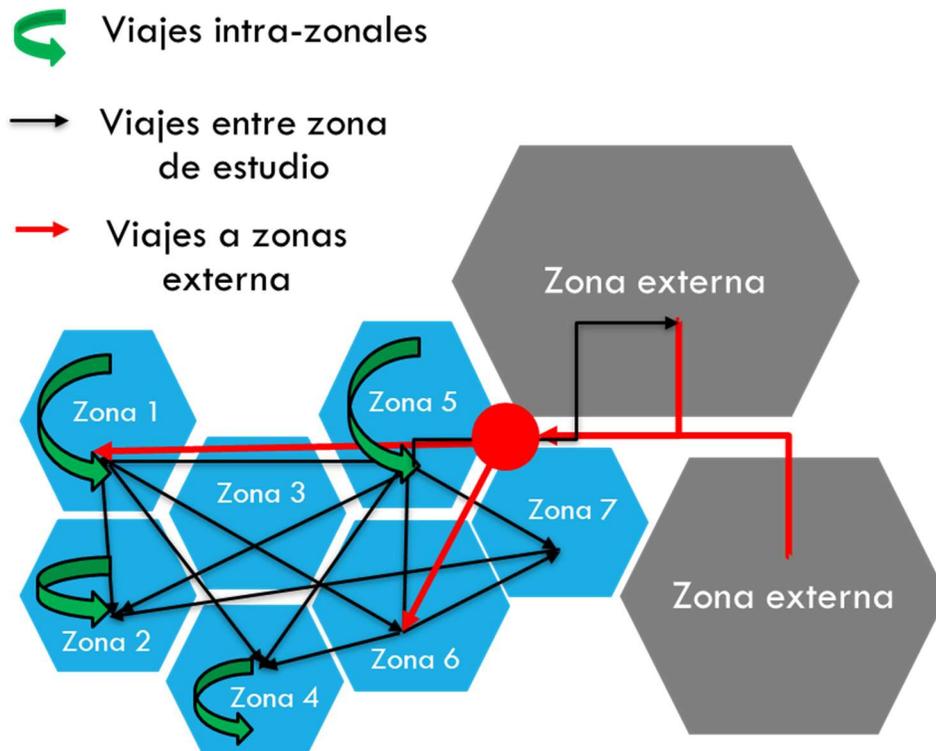
La identificación de estos estudios es base en el desarrollo de indicadores de movilidad y su respectiva actualización o mejora con la elaboración de estudios adicionales. A continuación se detallan cada una de las fuentes con sus principales atributos y consideraciones.

4.1.3.1. Matriz O-D (origen-destino)

La matriz O-D muestra la cantidad de viajes para un periodo de tiempo determinado en cada zona de una región e incluye los modos de transporte disponibles. Estos viajes diarios se modelan para periodos específicos, generalmente para la hora pico tanto del día hábil como del día no hábil, dependiendo de los objetivos particulares del modelo.

La generación de matrices OD se pueden obtener a partir de los ejercicios de encuestas domiciliarias (EODH) y de las encuestas de interceptación (EODI), cada una con un diseño y aplicación diferente en relación con la población objetivo, tamaño muestral, cobertura e indicadores logrados. Las encuestas domiciliarias están dirigidas a conocer los diferentes componentes de movilidad, mientras que las encuestas de interceptación permiten un análisis más particular en corredores o puntos estratégicos y capturan los viajes que se están generando en zonas externas al área de estudio y que tienen interacción en la red a modelar. En la Figura 10 se aprecian los diferentes tipos de viajes que se pueden generar para el área de estudio. Existe la posibilidad de combinar las matrices EODH y EODI para lograr menos vacíos entre zonas y resultados más representativos.

Figura 10. Viajes origen destino en área de estudio.



Fuente: Elaboración propia

La recolección de datos debe considerar lo siguiente (Juan de Dios Ortúzar & Luis G. Willumsen, 2008) :

- Todos los modos de transporte utilizados en la zona, incluido los no motorizados.

- Los datos deben garantizar la representatividad estadística de la muestra capturada, deben ser lo suficientemente robustos como para poder ser utilizados a nivel desagregado.
- El período temporal de referencia debe ser determinado a fin de cuantificar los factores de estacionalidad del año.
- Las etapas del viaje deben tener discriminación de modos utilizados, tiempos de viaje, costos y puntos de cambio modal.
- Deben ser utilizados sistemas de recolección integrales con encuestas en hogares y de otras fuentes como encuestas en cordón para la inclusión de centros especiales de atracción de viajes.
- La caracterización de los viajes debe recolectarse a nivel altamente desagregado.
- Los datos relevantes han de ser relativos a todos los miembros de la familia.

A continuación se describen los tipos de encuestas.

- Encuestas domiciliarias. Son instrumentos estratégicos de toma de información para la caracterización de la movilización general de una zona y determinación de indicadores de movilidad según las variables que son consultadas en el instrumento de medición. Para esta encuesta se averiguan los desplazamientos efectuados por todos los miembros de la familia en todos los modos de transporte y etapas del viaje, tanto internos dentro del área de estudio como los generados a zonas fuera del área del estudio que ocasionen uso de la red. durante el período temporal de referencia. Asimismo, esta investigación también debería incluir información socioeconómica. Esta información es muy eficiente para generar datos que permitan la estimación de modelos de generación de viajes así como de elección modal; además, los datos sobre los desplazamientos de los hogares proporcionan buena información sobre la distribución de la longitud de los viajes en la ciudad, que es un elemento importante para la estimación de los modelos de distribución de los viajes.

Las encuestas domiciliarias además de obtener información sobre las características del hogar y de la bitácora de viajes de sus integrantes, aborda temas

de variables para elección del modo transporte, eficiencia del transporte y temas transversales de movilidad.

En las limitaciones encontradas a las encuestas de hogares tenemos que no mide la totalidad de viajes de la población, si no son inferidos por expansión de los datos, algunos hitos como hoteles, aeropuertos o estaciones no son tenidos en cuenta dentro de la muestra, los viajes intra-zonales se pierden en las estimaciones generales del modelo, el componente de carga tiene una representatividad casi nula en el muestreo y finalmente algunos parámetros de valor como tiempos de espera y de viaje tienen un componente subjetivo en la determinación del encuestado.

- Encuestas de interceptación. Las encuestas de interceptación ofrecen datos de viajes sobre puntos particulares de la red, y que de acuerdo con el tipo de captación de viajes las podemos clasificar en cordón externo e interno. Las encuestas de cordón interno son las ejecutadas en puntos estratégicos o corredores dentro del área de estudio que garantizan la captación de un gran número de viajes en los diferentes modos de transporte y permiten ampliar la representatividad de la matriz O-D obtenida de las encuestas domiciliarias, para zonas donde no se hayan obtenido los datos suficientes. Estas encuestas se implementan interceptando los desplazamientos de llegada/salida del área de estudio, por medio de una encuesta rápida en medios de transporte público, puntos de intercambio modal y cruces viales jerárquicos sobre la red.

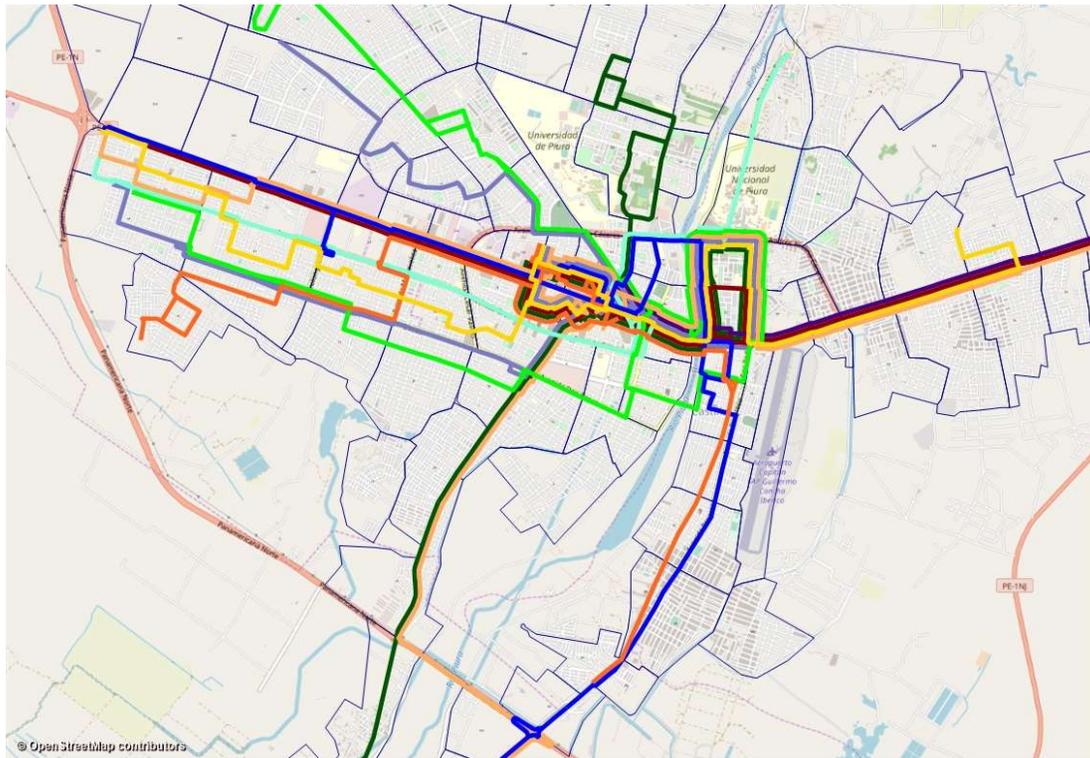
Un segundo grupo de encuestas de interceptación corresponde a las de cordón externo, éstas se utilizan para medir los viajes de los no-residentes del área y que mantienen desplazamientos a zonas internas de la zona, generando un uso de la red que debe ser cuantificado. Estas son ubicadas en puntos sobre corredores de ingreso y salida al área de estudio. Estas encuestas deben ir acompañadas de aforos de tráfico para su respectiva expansión dentro de la matriz. (Juan de Dios Ortúzar & Luis G. Willumsen, 2008)

4.1.3.2. Sistema de red escenario base

En la configuración de la red se parte de la definición del grado de complejidad de la red vial que se va a manejar, de acuerdo con esto se configuran las vialidades por tramos de segmentos viales (arcos) y sus respectivas intersecciones (nodos). Se atributa con información referente a tipología de vía, codificación o nombres de calles, número de carriles, sentidos de circulación, dispositivos de control del tráfico, mobiliario, y espacio público, específicamente se consideran las áreas de circulación de peatones. Si esta información ya existe en cartografía digital oficial deberá ser comprobada mediante un levantamiento de infraestructura básico que corrobore los parámetros básicos.

En este apartado también es necesario tener el trazado de las rutas y líneas de los sistemas de transporte público existentes y que deben ser alineados de acuerdo con la estructura de la red definida para que concuerde con los arcos y nodos dispuestos. Esta información puede hacer parte de la recolección de información secundaria entregada por los organismos de control, gestión del transporte, operadores de los servicios y portales estatales. Sin embargo, deberá ser corroborada en un estudio de campo. En la Figura 11 se presenta de manera ilustrativa la consolidación de la red y sus correspondientes rutas de transporte público.

Figura 11 Red de transporte público asociada a la red de modelación



Fuente: Elaboración propia

4.1.3.3. Calibración escenario base

En el proceso de caracterización de la oferta y demanda del transporte es necesario anexar datos asociados a los arcos de la red. Para ello, se utiliza información secundaria de estudios similares que permitan asegurar una adecuada representación estadística para el proceso. Además, de la información proveniente de la matriz O-D se utilizan los estudios de ascensos y descensos, frecuencia y ocupación visual (FOV), que tienen como finalidad determinar el número de personas que hacen uso del transporte público en puntos estratégicos. Un atributo importante corresponde a la velocidad de los diferentes corredores, esta se define para el servicio público y el tráfico mixto y se utiliza para determinar tramos críticos en la red y caracterizar zonas de intervención en el escenario base.

En función de estos datos se realiza una calibración en función de volúmenes, cargas y demoras. La calibración del modelo de asignación se realizó a partir del número de usuarios

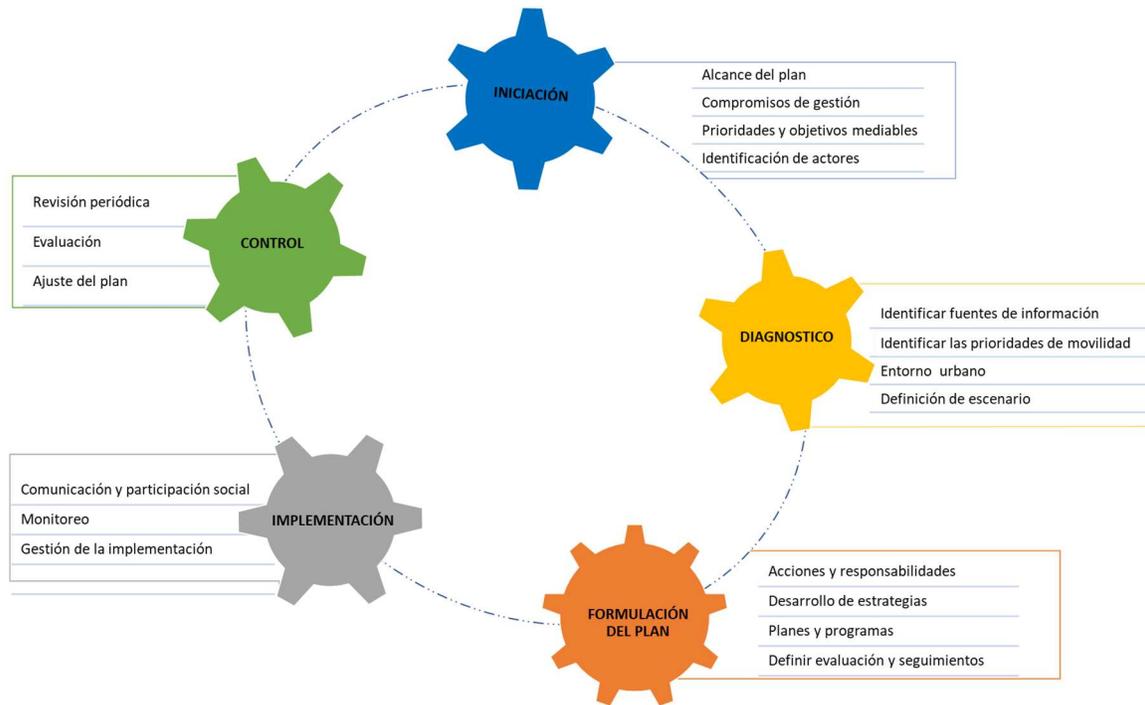
por sección transversal o configuraciones en la conectividad. Los resultados de frecuencia de paso permiten estimar el total de usuarios por ruta en un punto determinado y a partir de allí se replica con la calibración.

4.2. Instrumentos de planificación local

El vertiginoso proceso de urbanización y desarrollo espontáneo en las ciudades ha generado un crecimiento desarticulado con las políticas públicas y ha creado un fuerte impacto en la consolidación urbana, repercutiendo en los sistemas viales, la congestión vehicular, niveles de servicio del transporte público, servicios generales y los índices de accidentalidad entre otros (Montoya et al., 2011). En consecuencia, las áreas urbanas se van cohesionando sin planeación ni control, creando la urgencia de intervenciones a escala local. Bajo este contexto la planificación tiene que responder a la creación de escenarios atractivos para actores privados, ejercer control del tráfico en zonas particulares, brindar accesibilidad a la población, lograr soluciones con los recursos disponibles y articularse con las políticas públicas del estado.

La elaboración de los planes debe lograr la eficiencia en el uso de los medios de transporte, fijar visión a largo plazo que garantice la coordinación con políticas y estrategias nacionales y que responda a los objetivos planteados, ajuste a las restricciones de financiamiento y seguimiento de las etapas que aseguren una participación igualitaria de los actores, tanto de entidades como de autoridades políticas (European Platform on Sustainable Urban Mobility Plans, 2014), en la Figura 12 se observan las etapas conceptuales de la planeación, ejecución y puesta en marcha de un plan local de movilidad.

Figura 12. Esquema conceptual etapas Plan local de movilidad



Fuente: Elaboración propia

Se pueden identificar cinco etapas orientadas a satisfacer las necesidades locales en la estructuración de los planes, dentro de las cuales tenemos la definición del sentido, enfoque y objetivos, diagnóstico orientados a consolidar el escenario de las condiciones actuales de zona para la identificación de los retos y potencial de implementación de medidas y estrategias; selección oficial del programa de inversión; y un proceso de implementación y monitoreo de impactos.

En la etapa de iniciación se parte de definir ¿el porqué del plan?, para poder identificar claramente los objetivos y el enfoque general, referido a las áreas principales y las estrategias que se buscan implementar. La Tabla 2 presenta las posibles prácticas y acciones dentro de la estructuración general del plan.

Tabla 2. Agrupación estrategias en planes locales.

AREA	ESTRATEGIAS
Movilidad	Transporte no motorizado
	Gestión de la carga
	Gestión congestión y contaminación
Transporte Público	Priorización Transporte Público
	Accesibilidad zonas
Urbano	Espacio público
	Reducción consumo energético
	Seguridad Vial
Socioeconómicos	Gestión de estacionamientos.
	Sobretasas y cobros

Fuente: Elaboración propia a partir de la revisión bibliográfica

A partir de la determinación de estos parámetros de entrada se define la participación de los diferentes actores del proceso, los mecanismos de gestión para el ajuste con las políticas de carácter nacional y medidas de seguimiento y control. El desarrollo de los objetivos debe abarcar revisiones y orientaciones del transporte público, privado y no motorizado, accesibilidad de la población a los medios de transporte e infraestructura, manejo de estacionamientos, transporte de carga y el modelo de financiación de proyectos, que debe ser medibles para las metas puntuales.

Durante la etapa de diagnóstico un importante paso es la identificación de las fuentes de información con las cuales se van a evaluar las prioridades de movilidad y a configurar los posibles escenarios de estimación conceptual, en la mayoría de las oportunidades se realizan investigaciones desenfocadas e inadecuadas para las necesidades reales y basadas en estimativos de modelos macros de ciudad que desconocen el comportamiento interno de las zonas para la cual se está desarrollando el estudio. A continuación, se presentan las fuentes de información secundaria tomadas de diferentes portales de datos libres.

- Modelos de transporte existentes
- Encuestas de Movilidad
- Estudios Tránsito y transporte

- Estadísticas de transporte público de pasajeros y transporte de carga
- Censos unidades administrativas
- Planes de desarrollo y ordenamiento territorial
- Información geográfica (Geo portales institucionales, Google, Malla vial asociada, usos del suelo, Infraestructura urbana, etc.)

Con base en el análisis de la información existente deben determinarse los estudios de campo necesarios, zonas de aplicación que permitan las definiciones de escenarios y sean representativos frente a las zonificaciones dispuestas.

Para la implementación de planes de acción local es necesario poder diagnosticar las dinámicas de las áreas a intervenir para formular políticas y medidas públicas que respondan a las verdaderas necesidades de la población, de ahí la importancia de tener indicadores que permitan medir la situación actual y comparar la eficacia y duración de las gestiones a ejecutar, para evaluar los objetivos específicos que responden al enfoque del plan.

En términos generales un indicador nos ofrece varias herramientas no solo de diagnóstico, también seguimiento y aceptación a la implementación y adaptación de las políticas del modelo de ciudad en una escala local y que deberán ser configurados según las características y objetivos de la escala y el nivel de estudio que quiera ejecutarse, así podrá relacionarse el modelo urbano con la movilidad. En este caso un indicador permite medir y reconocer las posibles diferencias internas en la ciudad inducidas por las tipologías residenciales, el diseño urbano, la organización espacial de usos y funciones y la estructura del sistema de transporte público. Para ello debíamos plantearnos la estructura conceptual de un sistema de indicadores de movilidad y diseñar un conjunto de indicadores aplicable a escala intraurbana. (Díaz Muñoz et al., 2007)

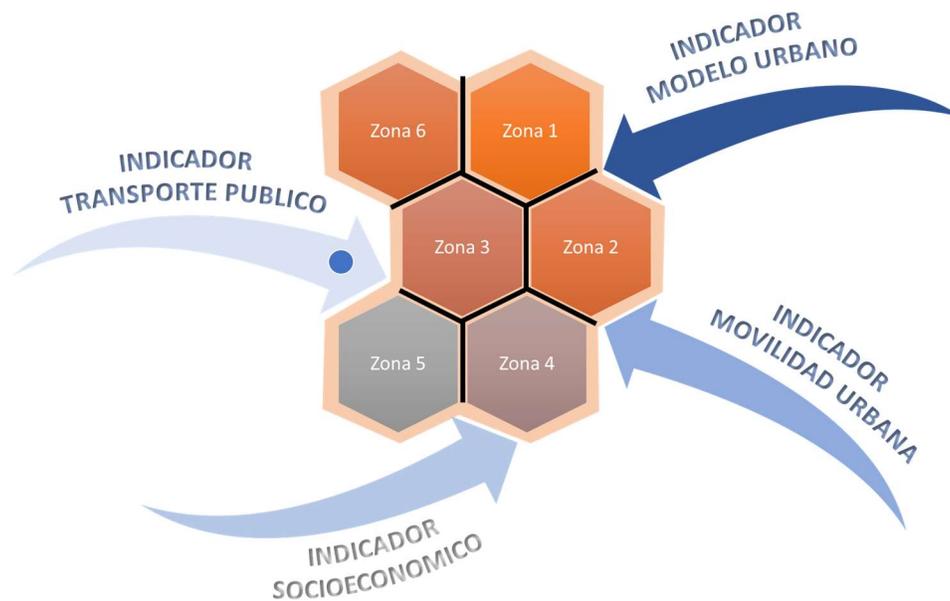
4.3. Indicadores

Los indicadores son datos o variables observados y evaluados mediante un proceso sistemático y conceptualmente definido, el enunciado de los criterios permite estructurar un sistema jerarquizado y coherente que consolide los alcances de distintos tipos de parámetros a ser

valorados y medidos. La aplicación de indicadores en los planes de intervención local de movilidad urbana permite diagnosticar el escenario actual de implementación, evaluar, controlar e informar sobre parámetros de operación y su funcionamiento a lo largo del tiempo en la zona. La aplicabilidad de los indicadores debe estar en función de la definición de los parámetros de movilidad incluidos en el tipo del plan local.

En relación con los planes locales de movilidad se agruparon indicadores en categorías que definirán los componentes básicos de los patrones principales de la movilidad y su entorno urbano. Los indicadores se definieron en cuatro grupos así: indicadores socioeconómicos, de movilidad, transporte público y de modelo urbano. Todos estos enfocados a evaluar y reconocer las diferencias internas en zonas de la ciudad, mediante una estructura conceptual aplicable a escala local. La Figura 13 presenta el esquema conceptual de la aplicabilidad de los indicadores.

Figura 13. Esquema conceptual indicadores



Fuente: Elaboración propia

En la actualidad existen una gran diversidad y heterogeneidad de indicadores que se adecuan a las determinantes de cada contexto social y a las políticas del país y de la entidad

que las configura y condiciona, por lo tanto, se deben definir atributos, unidades y métodos de medición de acuerdo con el plan de movilidad local específico que se quiera analizar.

En la Tabla 3 se presentan los indicadores agrupados en áreas para definir los patrones de movilidad urbana en función de la ocupación del suelo, redes de transporte, localización de tipologías residenciales con el fin de llegar a reconocer las posibles diferencias internas en las zonas de implementación de planes locales que se ajusten a políticas generales de la ciudad.

Tabla 3. Clasificación de indicadores a evaluar

INDICADORES			
Movilidad	Transporte Público	Urbano	Socioeconómicos
Participación por modo de transporte	Accesibilidad red	Usos del suelo	Tasas de motorización
Distribución horaria de viajes	Cobertura Transporte público	Espacio público	Densidad de población
Indicador atracción y generación de viajes	Densidad de la red	Compacidad urbana	Ingresos de hogares
Tasa de viajes	Velocidad promedio por tramo vial	Impacto social	Estratificación
Tiempo de viaje promedio modal	Etapas de viaje		

Fuente: Elaboración propia

Para el objetivo de la presente investigación la tabla 3 presenta los indicadores que se van a evaluar, ponderar y representar espacialmente.

4.3.1. Indicadores de movilidad.

El objetivo de este tipo de indicadores es caracterizar los patrones de viaje en las zonas de estudio y su interacción con los medios de transporte e intención de viaje de los ciudadanos, el resultado dependerá de las condiciones de prestación del servicio de transporte, políticas de movilidad públicas existentes y planes que se requieran seguir o evaluar.

- Participación por modo de transporte. Este indicador muestra el uso de los medios de transporte utilizados por la población para realizar sus viajes, cada persona utiliza uno o varios medios para sus desplazamientos, y estos a su vez definen etapas del viaje, este indicador se estima estableciendo una jerarquización de los medios y

definiendo el modo predominante del viaje y se calcula de manera porcentual en relación con el total de viajes realizados. De la bitácora de viajes se puede obtener la sumatoria de todos los medios de acuerdo con las etapas en que se desplazaron los viajeros.

- Distribución horaria de viajes. Se estima por la sumatoria total de viajes distribuidos en las horas del día (intervalos de 15 minutos), y se presenta con desagregación geográfica (divisiones geográficas del estudio), modo de transporte y propósito del viaje. Se obtienen perfiles horarios de viajes en los diferentes dominios geográficos y para los diferentes modos y propósitos, con los valores máximos resaltados para cada línea de participación. Este indicador permite la valoración de horas de máxima demanda por modo de transporte y validación de periodos pico y valle para cada zona geográfica de estudio.
- Indicador Atracción y generación de viajes. Este indicador se utiliza para estimar la cantidad de viajes que son atraídos por la unidad geográfica (atracción) o que son generados desde la zona al resto del área (generación). De esta forma la atracción se obtuvo mediante la sumatoria del total de viajes generados con destino en la zona, y la generación se obtiene mediante la sumatoria del total de viajes generados con origen en la zona, estos viajes pueden discriminarse de acuerdo con el modo de transporte que sea relevante en el análisis.
- Tiempo promedio de viaje. Se obtiene mediante el promedio de los tiempos del total de viaje desagregados geográficamente y por modo predominante del viaje. Se generan gráficos de barras para representación de valores en las variables de desagregación y permite el análisis de zonas con congestión o demoras importantes de los habitantes. También es posible realizar discriminaciones socioeconómicas de los tiempos asociados a los estratos de las viviendas.
- Tasas de viajes. La tasa de viajes al día se calcula como la razón entre el número de viajes total y una variable de medición determinada, éstas pueden estar asociadas a características sociales y económicas de la población y a los modos de transporte que decide la persona. Se desagrega geográficamente de acuerdo con la zonificación del estudio, este indicador permite comparar zonas de la ciudad para

revisar el mayor uso de modos de transporte por la población. Es de aclarar que también se pueden generar tasas de viaje con discriminación socioeconómica.

4.3.2. Indicadores de transporte Público.

Estos indicadores buscan evaluar los diferentes sistemas de transporte para diagnosticar lo eficaz y espacialmente equitativos que logren ser. Además, permiten determinar las características de accesibilidad en el territorio y la conexión de desplazamientos intra-zonales e intermodales que se puedan ofrecer. También, buscan garantizar las condiciones del transporte público para la movilidad de la población no solo en dotación sino en la calidad del servicio para determinar las posibilidades de transporte que posee la ciudad. Dentro de los indicadores más representativos tenemos:

- **Accesibilidad a la red.** La accesibilidad urbana en transporte público es un parámetro de calidad y de integración entre espacio público, usos del suelo y oferta de transporte. Este indicador es representado espacialmente mediante categorías de acuerdo con el número de rutas de transporte que recorren puntos determinados del área, estas categorías van enumeradas según la cantidad de rutas que pasen por dicho punto. Este indicador se utiliza para establecer puntos de parada, reorganización de recorridos de rutas y determinación de puntos de la ciudad que requieran mejorar la accesibilidad al transporte público ofrecido y puedan cuantificar necesidades básicas de viajes insatisfechos de la población. De esta manera se puede determinar que zonas tienen una buena oferta de transporte público y cuales necesitan aumentar el número de servicios ofrecidos.
- **Cobertura del Transporte público.** La cobertura del transporte público es fundamental en la equidad de la prestación del servicio a los diferentes sectores de la población. Este indicador se construye gráficamente en base a la red de rutas de transporte público, sobre la cual se genera una banda de aferencia que garantiza la cobertura de la ruta sobre una zona determinada de la ciudad, el ancho de esta banda está determinado por la distancia que está dispuesta a caminar la gente para acceder al servicio, la calificación de este indicador se mide con relación a la distancia de las zonas geográficas de análisis a las bandas de aferencia.

- Densidad de transporte público. Este indicador se presenta mediante un mapa y una interpretación espacial en donde, a través de categorías se determina la concentración del transporte público sobre la red vial. Los niveles que se consideran son: densidad baja, moderada y alta, existen además subniveles que permiten una caracterización más detallada del análisis considerando la longitud de la red por unidad de superficie. A partir de este indicador se pueden determinar qué lugares en el municipio carecen de la infraestructura vial necesaria para la prestación de dicho servicio, además de conocer que corredores viales son destinados para dicho servicio y que impactos pueden generar sobre la población cercana estos.
- Velocidad promedio transporte público. Este es un indicador que busca caracterizar el tráfico del sistema en la red, se obtiene mediante la determinación promedio de la velocidad en cada uno de los sistemas de transporte público en la red, esta será tramificada de acuerdo con las condiciones particulares del estudio y permite determinar sectores con congestión que deberán ser analizados para su adecuación y así mejorar los tiempos de conexión entre las zonas.
- Etapas de viaje. Este indicador se construye con la bitácora de viajes reportados por las personas y recopila todos los modos de transporte que utilizó para desplazarse durante un trayecto. De esta manera se obtiene el número de etapas o de transbordos que tuvo que realizar la población para llegar al destino de su viaje. Esta información puede ser discriminada de manera geográfica de acuerdo con las características del estudio, y proporciona información sobre zonas de la ciudad con problemas de conectividad que requieren una reorganización o asignación de rutas sobre la red del transporte público.

4.3.3. Indicadores de modelo urbano.

Estos indicadores se introducen con el objetivo de incluir la valoración de las dinámicas del uso del suelo desde el enfoque de movilidad para enriquecer los diferentes modelos urbanísticos actuales o proyectados, con base en parámetros de densidad, demografía, diversidad de actividades y funciones del territorio. Permiten definir parámetros de cambio y posibilidades de reactivación de sectores mediante intervenciones de carácter urbano que deben configurar el transporte en la ciudad.

- Usos del suelo. Este indicador determina la actividad principal o uso del suelo de la unidad geográfica determinada, su representación es espacial y está asociada a unidades geográficas administrativas, el correcto análisis de los usos y actividades del territorio permiten el diagnóstico real de la interacción de la población con su espacio y el transporte como el medio de conexión funcional entre las dos. Los usos del suelo pueden corresponder a la ocupación actual, proyección de cambios y disposiciones legales.
- Espacio público. Es calculado como el cociente entre el total de metros cuadrados de espacio público disponible en el área de estudio, y el número total de habitantes. El espacio público se determina con la información de la actualización del inventario de espacio público existente en las entidades públicas o producto de estudios de inventario de infraestructura. Este indicador puede estar formulado como espacio efectivo
- Compacidad urbana. Relación entre el volumen total edificado y la superficie de suelo en un área determinada (CA). Este indicador es el eje de sostenibilidad urbana que incide en la forma física de la ciudad, en su funcionalidad y, en general, con el modelo de ocupación del territorio y la organización de las redes de movilidad y de espacios libres. El modelo compacto de ocupación del territorio es el eje que tiene más consecuencias directas sobre otros ejes: la eficiencia, la complejidad y la cohesión social. La ciudad compacta busca la eficiencia en el uso de los recursos naturales. Uno de los recursos naturales básicos, y no renovable, es el suelo. Abandonar el concepto de zonificación funcionalista, incrementar la mixtura de usos como estrategia de eficiencia conlleva una minimización del uso del suelo.
- Densidad edificatoria. La densidad edificatoria relaciona el número de viviendas totales contenidas dentro una superficie total de un espacio limitado (manzana, lote, etc.), este indicador busca diagnosticar la planificación del modelo de ciudad frente a la dispersión espontánea de ocupación del espacio, el resultado es base para la planificación ordenada y equilibrada en usos y funciones.

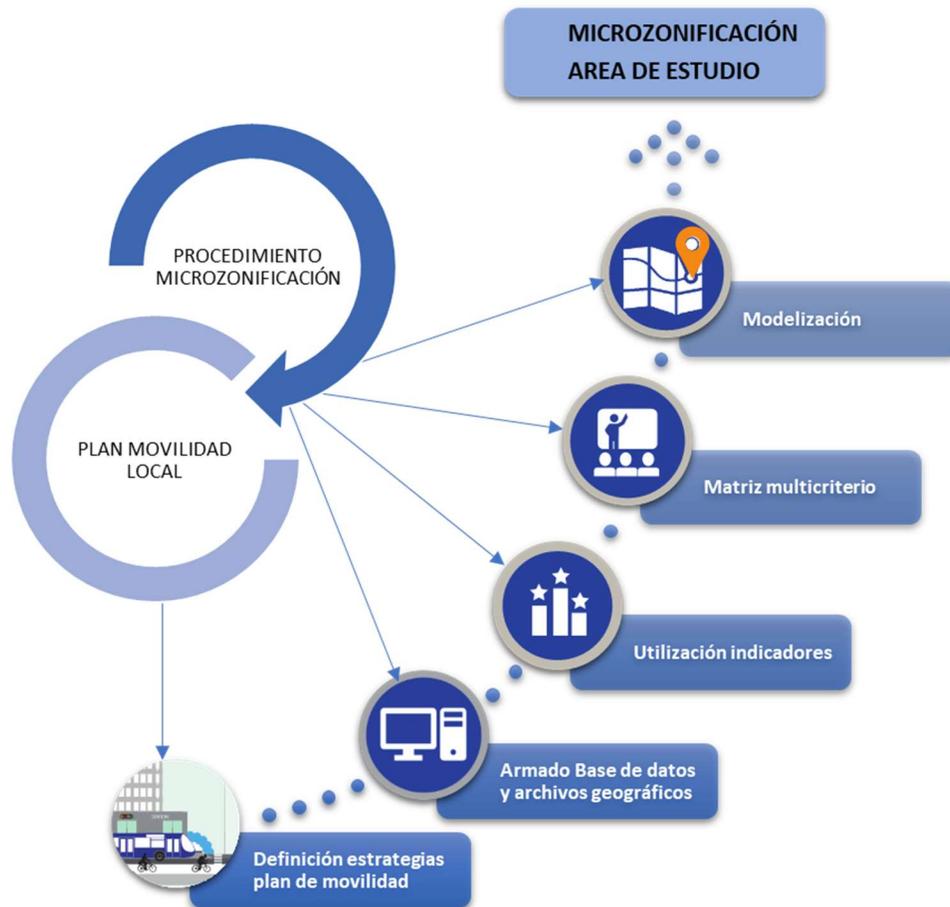
Esta clasificación de indicadores se realizó en su totalidad a partir del trabajo de (Martínez et al., 2010).

5. Procedimiento de microzonificación

La microzonificación debe mantener los objetivos de la zonificación inicial dispuesta en el modelo de ciudad, reducir el nivel de los datos para el modelado de tráfico, y al mismo tiempo reducir al mínimo el error geográfico de la ubicación de viajes (Martínez et al., 2010). Debe incluir indicadores adecuados a las políticas y estrategias que se definan en el enfoque del plan de movilidad local al cual se requiera ajustar el análisis.

Con base en las estrategias definidas en el plan local de movilidad, se procede a organizar las bases de datos y archivos geográficos con los cuales se va a desarrollar el proceso. Se definen los indicadores a ser medidos mediante la evaluación de una matriz multicriterio para determinar las calificaciones y ponderaciones correspondientes a cada indicador. Finalmente, se procede con el proceso de modelización de los resultados de la matriz de evaluación que permite la microzonificación del área de estudio enfocada a los objetivos particulares del enfoque del plan. En la Figura 14 se presenta las actividades principales que conforman el procedimiento de microzonificación propuesto.

Figura 14. Esquema conceptual procedimiento microzonificación



Fuente: Elaboración propia

5.1. Caso de aplicación

Para el caso de análisis se tomará la localidad de Barrios Unidos de la ciudad de Bogotá D.C., el estudio tiene como referencia el Plan de ordenamiento de estacionamientos, que hace parte de la formulación del plan maestro de movilidad para Bogotá D.C. (Alcaldía de Bogotá, 2004). Este plan busca la formulación de la política y las estrategias del plan de ordenamiento de estacionamientos y armonizar la visión y las políticas que el modelo de movilidad futuro formula a las condiciones de cada una de las zonas que deban ser priorizadas.

En la Figura 15 se presenta de manera conceptual la ubicación geográfica de la estrategia a detallar y su objetivo general. Este caso nos permite analizar la incorporación de una política local dentro de las políticas públicas nacionales y la comparación de la zonificación propuesta con la lograda por el procedimiento propuesto para una microzonificación.

Figura 15. Esquema conceptual Plan de ordenamiento de parqueaderos.



Fuente: Elaboración propia a partir de googlemaps

5.2. Estrategias plan de movilidad local.

La definición de las estrategias es clave dentro del proceso de microzonificación ya que se constituye como el punto de inicio en la estructuración del proceso, en relación con esto se establece de acuerdo con el planteamiento técnico esbozado en el plan de ordenamiento de estacionamientos para la ciudad de Bogotá, las estrategias a ser implementadas.

En términos generales el plan maestro de movilidad para Bogotá D.C. (Alcaldía de Bogotá, 2004), buscan la articulación del sistema de estacionamientos con el sistema de transporte

y en particular con el sistema de transporte público, y conectarse integralmente con el sistema de equipamientos colectivos y de servicios urbanos básicos, estas estrategias buscan particularmente:

- Dotar de estacionamientos que permitan la integración e intercambio modal.
- Implementar una red de estacionamientos fuera de vía a nivel de centralidades, alta capacidad y otros.
- Estructurar un esquema tarifario, buscando tarifas diferenciadas zonalmente, en función del grado de congestión y de la oferta de transporte público.
- Reglamentar la operación del fondo de estacionamientos.
- Revisar y formular los criterios para el establecimiento de cupos de estacionamiento al interior de los predios para equipamientos específicos de tal manera que la normatividad urbana y las condiciones de movilidad sean condicionantes primordiales.
- Dotar de estacionamientos en la proximidad a los puntos de integración e intercambio modal internos.
- Formular las especificaciones técnicas para el establecimiento de zonas de estacionamiento en vía pública.
- Restringirse la oferta de estacionamientos en las zonas de alta congestión.

5.3. Bases de datos y archivos geográficos.

La base de datos y la cartografía digital para la elaboración de indicadores fue descargada de la página oficial de la alcaldía (IDECA La IDE de Bogotá D.C., 2020), de donde se descargó las bases de datos de la encuesta de movilidad de la ciudad de Bogotá, que contiene análisis en el componente socioeconómico, de movilidad y coyunturales para el transporte, además de presentar la matriz de viajes O-D compuesta por la bitácora de viajes de la encuesta domiciliaria y las encuestas de interceptación de cordón externo e interno, además la cartografía oficial de la ciudad de Bogotá de los siguientes datos:

- Zonas de análisis de tránsito (ZAT)
- Manzanas catastrales
- Usos del suelo (Manzanas)
- Localidades de la ciudad.
- Alturas de construcción (Manzanas)
- Red vial ciudad de Bogotá D.C.
- Rutas de transporte público ciudad de Bogotá D.C.
- Densidad de población (Manzanas)

La unidad espacial determinada para el análisis es la manzana catastral que permite un nivel de detalle mayor al determinado por las ZAT y admite el cruce espacial de la información proveniente de la encuesta de movilidad con las diferentes capas geográficas para el cálculo y espacialidad de los indicadores propuestos.

5.4. Determinación de indicadores

Con base en los diferentes enfoques que tienen los planes de movilidad local se pueden obtener un número de indicadores generales que permiten diagnosticar el área de influencia en relación con los objetivos propuestos. En la Figura 16 se presenta un listado general de indicadores en relación con las áreas generales que abarcan los planes de movilidad local, estos indicadores deberán ser complementados o modificados según las condiciones particulares del entorno urbano sobre el cual van a ser calculados.

Para el caso de análisis de la ciudad de Bogotá y en relación con las estrategias propuestas por el plan de ordenamiento de estacionamientos la Tabla 4 presenta los indicadores que serán tenidos en cuenta en el proceso de evaluación y consolidación del proceso de microzonificación.

Tabla 4. Indicadores caso de análisis

INDICADORES	Formula de Calculo	Unidad de medida	FUENTE
Participación modo privado de transporte	Número total de viajes día modo privado /Número total de viajes día todos los modos *100	Porcentaje de participación	EODH 2019
Indicador atracción de viajes modo privado	Total de destinos de viajes en modo privado /ZAT	Número de viajes día	EODH 2019
Cobertura Transporte publico	Distancia más cercana a línea de transporte publico de cada ZAT	Metros	CARTOGRAFIA
Etapas de viaje	Cantidad de modos de transporte utilizados en el viaje	Numero de etapas	EODH 2019
Usos del suelo	Tipo de actividad predominante por manzana	Tipo de actividad	CARTOGRAFIA
Compacidad urbana	Altura promedio por manzana	Número de pisos de edificación	CARTOGRAFIA
Densidad de población	Número de habitantes por unidad de área	Hab/m ²	CARTOGRAFIA

Fuente: Elaboración propia

Estos indicadores serán jerarquizados y calificados en una matriz multicriterio de evaluación que permite su ponderación de acuerdo con sus atributos y la participación de un grupo de expertos en este tipo de estudios este tipo de estudios, con el objetivo de garantizar un proceso coherente con los planes locales de movilidad.

En el proceso siguiente de construcción de la matriz multicriterio se detalla cada uno de los indicadores definiendo sus atributos, fórmulas de cálculo y aplicabilidad para el proyecto.

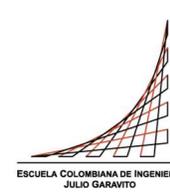


Figura 16. Matriz de indicadores y estrategias de planes de movilidad

Estrategia Indicador	Movilidad			Transporte Público		Urbano			Socioeconómicos	
	Transporte no motorizado	Gestión de la carga	Congestión	Priorización Transporte Público	Accesibilidad zonas	Espacio público	Reducción consumo energético	Seguridad Vial	Gestión de estacionamientos	Sobretasas y cobros
Participación por modo de transporte	✓			✓		✓				
Distribución horaria de viajes				✓						
Indicador atracción y generación de viajes	✓								✓	
Tasa de viajes	✓									
Tiempo de viaje promedio modal				✓						
Accesibilidad red	✓			✓		✓			✓	
Cobertura Transporte publico				✓					✓	
Densidad de la red										
Velocidad promedio por tramo vial				✓					✓	
Etapas de viaje				✓					✓	
Usos del suelo	✓			✓		✓			✓	
Espacio publico	✓					✓			✓	
Consumo espacio						✓			✓	
Impacto social						✓			✓	
Tasas de motorización				✓		✓			✓	
Densidad de población						✓			✓	
Ingresos de hogares										
Estratificación										

Fuente: Elaboración propia

5.5. Matriz multicriterio

La metodología aplicada es SAATY que corresponde a un proceso de análisis jerárquico, y se implementa como herramienta para la toma de decisiones, a través de comparaciones directas entre criterios que evalúan alternativas, ya sean cualitativas o cuantitativas o las dos.

En la implementación de esta metodología participan profesionales en la toma de decisiones a nivel de diagnóstico, como en la formulación de acciones. Particularmente, para el caso de análisis se tienen los especialistas en tránsito y transporte, actividad financiera, social y legal. A partir de la conformación del equipo y en base a la información disponible se procede a la construcción de la matriz de evaluación.

El proceso de análisis jerárquico se ejecutó en las siguientes etapas:

- Definición de los indicadores (criterios) de decisión en forma clara y detallada. Esta priorización de los indicadores se basó en la pertinencia, armonización con los planes y proyectos específicos, posibles impactos y dificultades de la implementación y de manera transversal los criterios de la movilidad urbana y se define con el grupo interdisciplinarios de expertos. En la tabla 5 se presenta la consolidación de los indicadores definidos en el caso de estudio y el modo de calificación en relación con el objetivo de la estrategia propuesta.

Tabla 5. Definición indicadores caso de estudio.

INDICADOR	DESCRIPCION	CALIFICACIÓN
Participación por modo privado de transporte	Este indicador está enfocado a determinar las zonas de la ciudad que tienen una mayor participación del modo privado en la atracción de viajes	Calificación máxima al intervalo con mayor participación de modo privado
Indicador atracción de viajes modo privado	Corresponde a las zonas que tienen mayor cantidad de viajes atraídos dentro del área de estudio correspondiente al uso del vehículo privado	Calificación máxima al intervalo con mayor número de viajes en modo privado

INDICADOR	DESCRIPCION	CALIFICACIÓN
Cobertura Transporte publico	Este indicador hace referencia a determinar la cobertura del transporte público a las diferentes zonas del área de influencia, determinando una distancia aceptable para abordar el modo público de transporte publico	calificación máxima al intervalo con mayor distancia de acceso al transporte publico
Etapas de viaje	Muestra la cantidad de medios de transportes utilizados en los viajes realizados, es un indicador de transbordos requeridos para el trayecto.	calificación máxima al intervalo con mayor cantidad de etapas
Usos del suelo	Corresponde a los usos predominantes de la unidad geográfica (manzana) y que serán valorados de acuerdo con los usos que generan mayor necesidad de estacionamientos	calificación máxima a la actividad que genera mayor necesidad de uso de estacionamientos en vía
Consumo espacio	Determina las alturas de edificación por unidad geográfica (Manzana)	calificación máxima al intervalo con mayor número de pisos de edificación
Densidad de población	Reconocer concentraciones de población en las zonas de influencia	calificación máxima al intervalo con mayor densidad de población

Fuente: Elaboración propia

- Ponderación de indicadores. Mediante el análisis del equipo de expertos, se realiza el análisis teniendo en cuenta los indicadores expuestos anteriormente, la metodología de manera inicial busca priorizar los indicadores de evaluación con el fin de identificar su peso en el análisis.

La ponderación se determina mediante una comparación de indicadores basados en una escala de evaluación, en la Tabla 6 se muestra la escala para el desarrollo de la actividad.

Tabla 6. Escala de evaluación metodología SAATY

Escala Numérica	Escala Verbal	Explicación
1	Igual importancia	Dos elementos contribuyen en igual medida al objetivo
3	débil o moderada	Preferencia leve de un elemento sobre otro
5	Fuerte	Preferencia fuerte de un elemento sobre otro
7	Muy fuerte	Mucha más preferencia de un elemento sobre otro. Predominancia demostrada.
9	Absoluta	Preferencia clara y absoluta de un elemento sobre otro.

Fuente: (Kadoić et al., 2017)

En la Tabla 7 se ilustra la matriz comparativa con la cual se realiza la evaluación de los indicadores. En este proceso compara uno a uno los indicadores. Los datos son procesados para la obtención de la ponderación de cada uno de los indicadores, teniendo en cuenta un arreglo matricial simétrico, así se obtendrá el peso relativo de cada indicador.

Tabla 7. Matriz evaluación SAATY

INDICADORES	Participación por modo de transporte	Indicador atracción viajes modo privado	Cobertura Transporte publico	Etapas de viaje	Usos del suelo	Consumo espacio	Densidad de población
Participación por modo de transporte							
Indicador atracción viajes modo privado							
Cobertura Transporte publico							
Etapas de viaje							
Usos del suelo							
Consumo espacio							
Densidad de población							

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 17 se presenta a manera ilustrativa el formulario de evaluación comparativa de los indicadores dispuestos durante el proceso,

Figura 17 Diligenciamiento de evaluación matriz de priorización de proyectos.

¿Cuál criterio es más importante? (Si considera que los dos criterios tienen la misma importancia, marque cualquiera de las opciones y en la siguiente pregunta seleccione la opción "Igual importancia") *

Usos del suelo

Cobertura Transporte público

Del criterio seleccionado como más importante en la pregunta anterior, seleccione su grado de importancia del * criterio más relevante.

Igual Importancia

Débil o moderada

Fuerte

Muy Fuerte

Absoluta

Fuente: Elaboración propia.

- Resultados ponderación indicadores

Con base a los resultados de cada una de las evaluaciones se tienen el ponderado por indicador que se presentan en la Tabla 8. Esta ponderación será utilizada en el proceso de modelación.

Tabla 8. Ponderación indicadores metodología SAATY

INDICADORES	PONDERACIÓN
Usos del suelo	26,2%
Indicador atracción de viajes modo privado	24,5%
Participación por modo de transporte	16,3%
Cobertura Transporte público	10,2%
Consumo espacio	9,5%
Densidad de población	8,5%
Etapas de viaje	4,8%

Fuente: Elaboración propia.

5.6. Modelización.

Para el proceso de modelización se procede a la evaluación de cada uno de los indicadores propuestos en base al valor de su atributo y con su respectiva ponderación determinada por el comité de expertos, según lo dispuesto en la matriz multicriterio. Esta calificación se realiza a nivel de la manzana catastral, y permite la consolidación de calificaciones de los indicadores para espacialmente ser agrupadas las manzanas de acuerdo con intervalos que permiten la microzonificación final por asociación.

5.6.1. Calificación de indicadores

Para la calificación de cada indicador se tuvo en cuenta el valor ya sea cualitativo o cuantitativo otorgando un valor numérico de acuerdo con su relevancia con los objetivos del plan de estacionamientos de la ciudad, a continuación se presentan la calificación para cada uno de los indicadores.

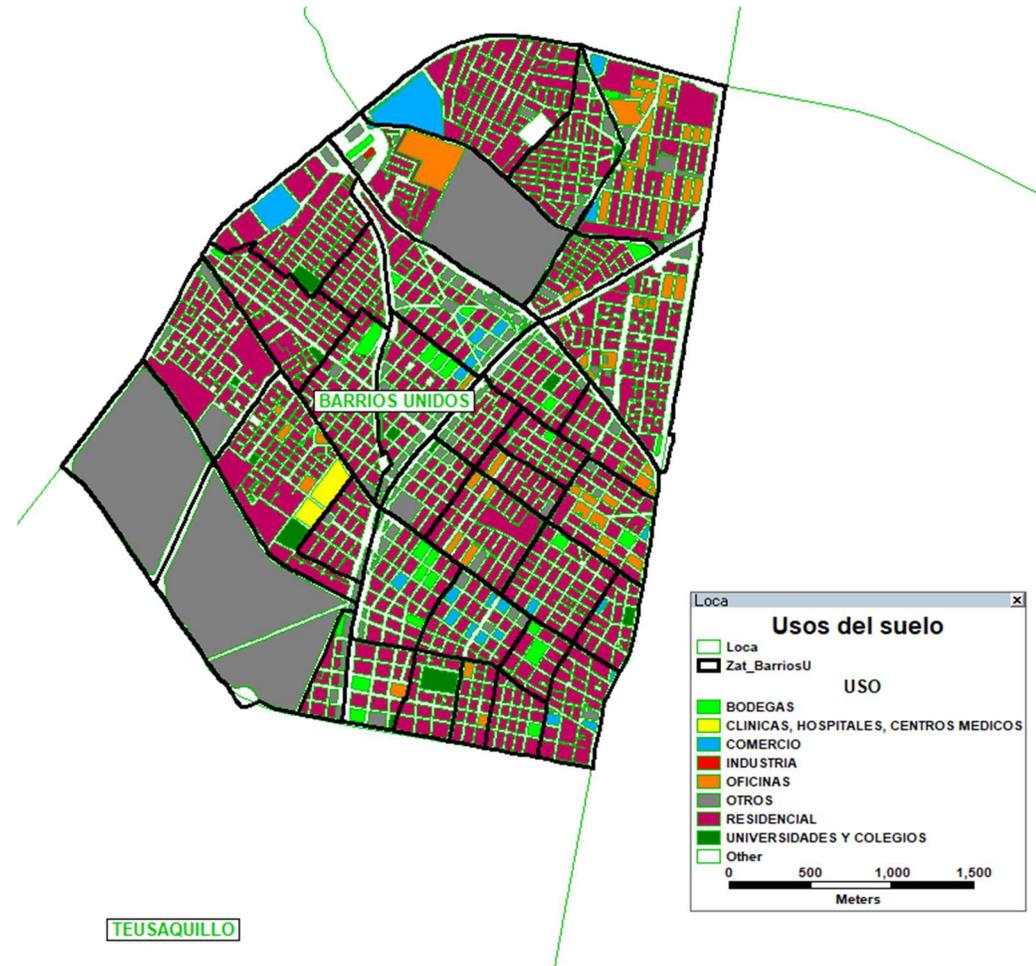
- Usos del suelo. este indicador tiene atributo de tipo cualitativo y su calificación será mayor para el uso que genere una mayor necesidad de estacionamiento en vía para la zona. La Tabla 9 se presenta las calificaciones asignadas y la Figura 18 la representación espacial del mismo. Se determino que las actividades de comercio son las que tienen mayor necesidad de estacionamiento sobre vía, los usos de clínicas, hospitales, hoteles y universidades entre otros aunque generan gran uso de estacionamiento, ya tienen dispuestos parqueos en sus infraestructuras.

Tabla 9. Calificación indicador uso del suelo caso de estudio localidad Barrios Unidos

Usos del suelo	Calificación
COMERCIO	10
OFICINAS	9
INDUSTRIA	8
CLINICAS, HOSPITALES, CENTROS MEDICOS	7
UNIVERSIDADES Y COLEGIOS	6
BODEGAS	5
HOTELES	4
RESIDENCIAL	3
OTROS	1

Fuente: Elaboración propia a partir información secundaria cartográfica.

Figura 18 Mapa usos del suelo para caso de estudio Localidad Barrios Unidos



Fuente: Elaboración propia a partir cartografía digital.

- Indicador atracción de viajes modo privado. Este indicador tiene atributo de tipo cuantitativo y hace referencia al número de viajes totales atraídos en vehículo privado para la zona de estudio. Su calificación se determinó según los valores máximos y mínimos encontrados en la zona y es gradual, ver la Tabla 10.

Tabla 10. Calificación indicador atracción viajes modo privado

Total viajes vehículo privado	Calificación
≥ 13.966	10
≥ 10.799 y < 13.966	8
≥ 7308 y < 10.799	6
≥ 3816 y < 7308	4
> 325 y < 3816	2

Fuente: Elaboración propia a partir de EODH 2019.

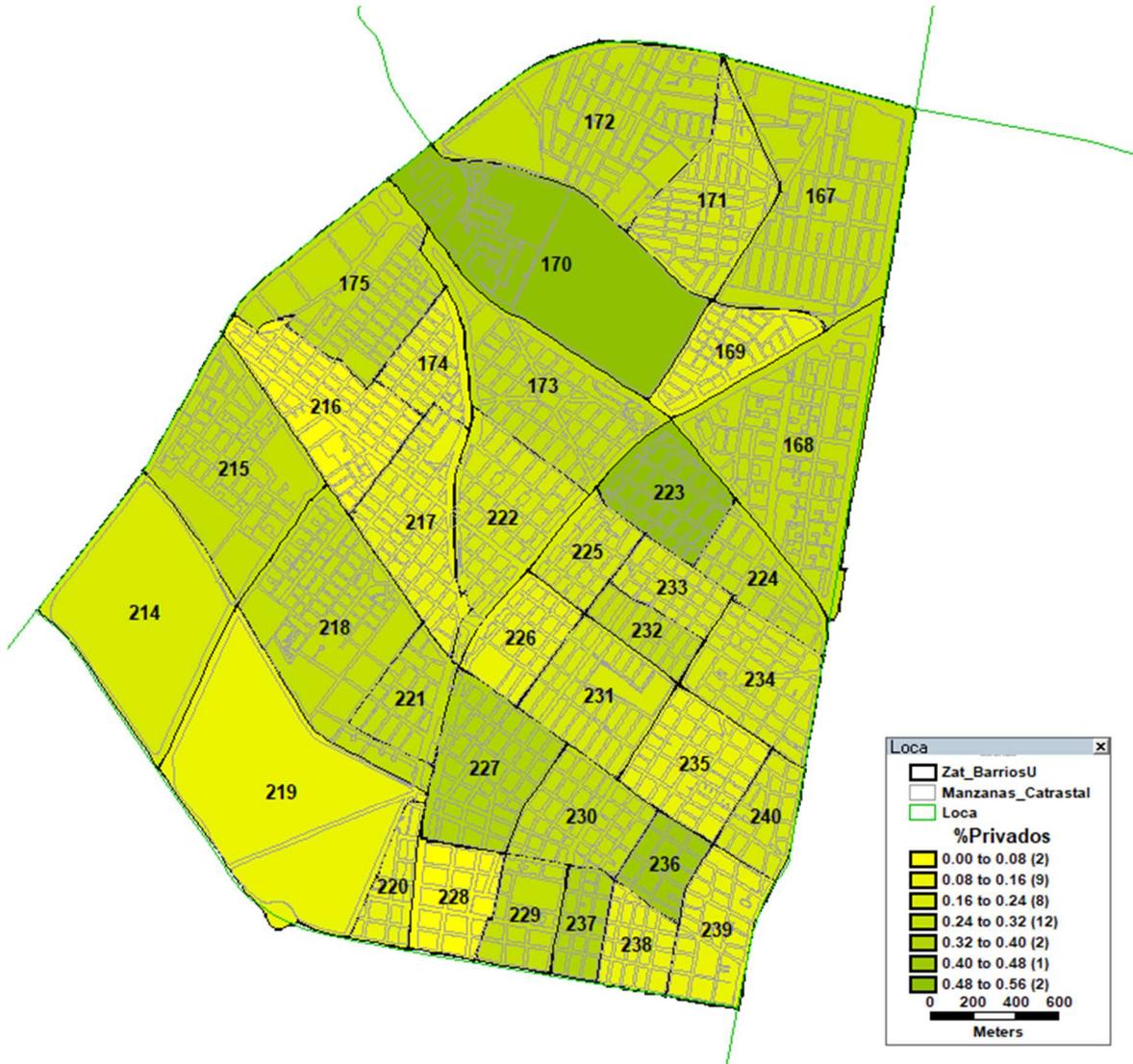
- Participación por modo de transporte (Vehículo privado). Este indicador es de tipo cuantitativo y hace referencia al porcentaje de participación del vehículo privado frente al total de modos de transporte utilizados en el área. Permite visualizar las áreas de la ciudad que tienen una necesidad expresa de estacionamientos por uso de modos privados. En la Tabla 11 y Figura 19 se presenta su representación espacial.

Tabla 11. Calificación indicador Participación por modo de transporte (Vehículo privado)

% Participación vehículo privado	Calificación
0,000 a 0,160	1
0,161 a 0,240	3
0,241 a 0,320	5
0,321 a 0,400	7
0,401 a 0,480	9
0,481 a 0,560	10

Fuente: Elaboración propia a partir de EODH 2019.

Figura 19 Mapa participación vehículo privado en caso de estudio Localidad Barrios Unidos



Fuente: Elaboración propia a partir de EODH 2019.

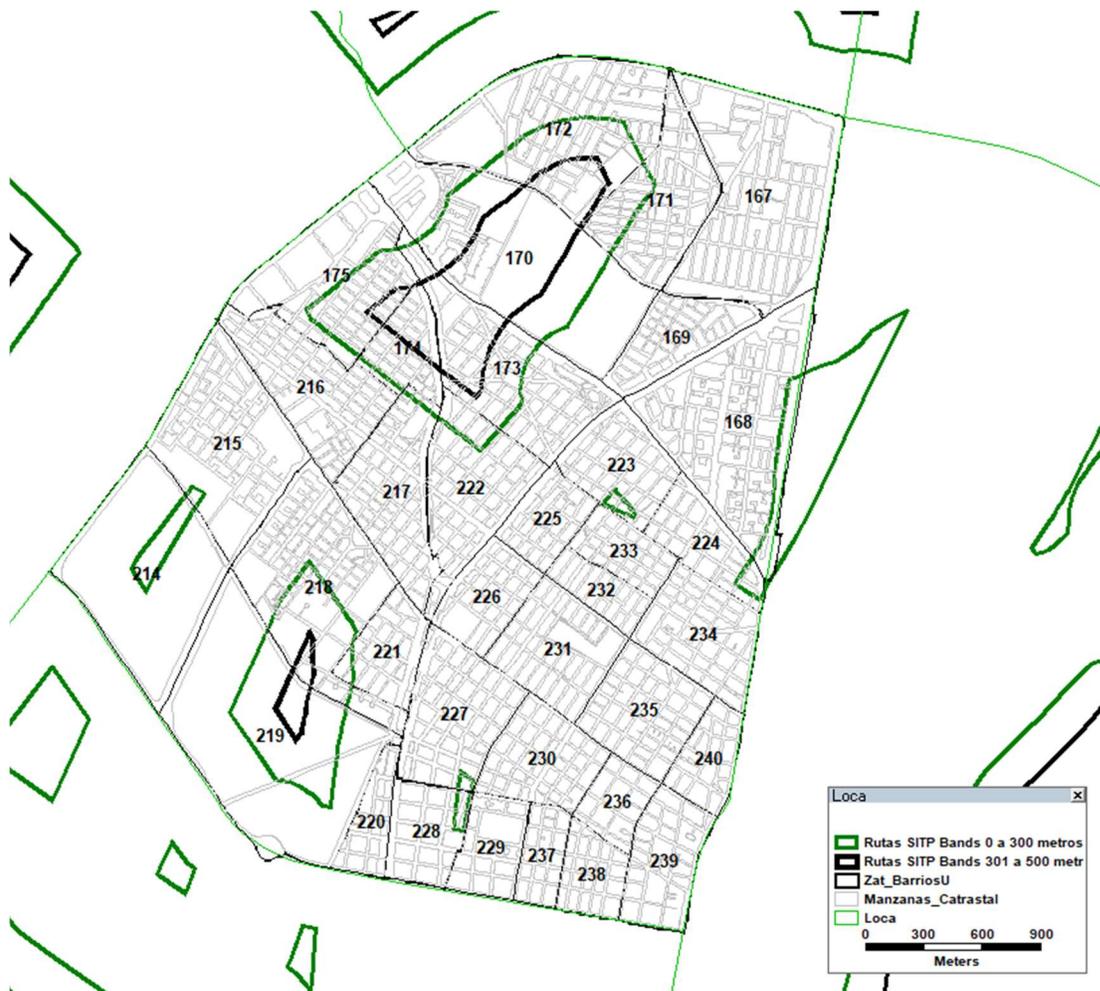
- Cobertura Transporte público. Este indicador es un atributo cuantitativo y se refiere a la distancia mínima de cada manzana a las líneas de transporte público que oferta la zona, tiene como base de cobertura una banda de 300 metros como el trayecto adecuado para acceder al servicio de transporte público. La Tabla 12 presenta la calificación asignada de acuerdo con la cobertura de las zonas y la Figura 20 la vista espacial del indicador.

Tabla 12. Calificación indicador Participación por modo de transporte (Vehículo privado)

COBERTURA TPC (metros)	Calificación
0 a 300	2
301 a 500	6
>500	10

Fuente: Elaboración propia a partir información secundaria cartográfica.

Figura 20 Mapa bandas de cobertura transporte publico caso de estudio Localidad Barrios Unidos



Fuente: Elaboración propia a partir información secundaria cartográfica.

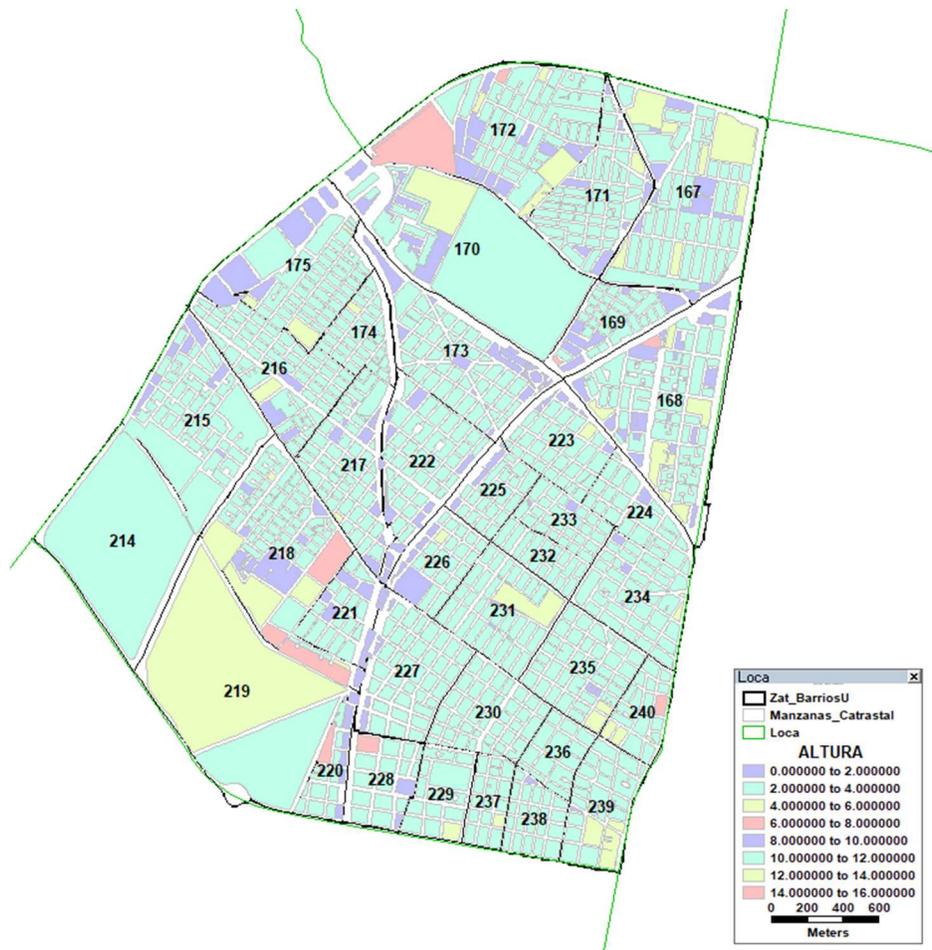
- Consumo de espacio. Este indicador es de tipo cuantitativo tiene como base la altura promedio de la manzana que se registra en la localidad y permite construir una imagen de compactación de ciudad. Se determina que las manzanas con mayores alturas generan necesidades mayores de usos de estacionamientos. En la Tabla 13 se presenta la escala de calificación y en la Figura 21 su representación espacial. Este indicador permite enriquecer otros indicadores como el de usos del suelo y dar una ponderación más acertada, es así como, un uso comercial puede detallarse de acuerdo a la altura que representa mayor utilización de parqueo por los usuarios.

Tabla 13. Calificación indicador consumo de espacio (alturas edificación)

USO ESPACIO (ALTURA)	Calificación
15	10
12	8
9	6
6	4
3	2

Fuente: Elaboración propia a partir información secundaria cartográfica.

Figura 21 Mapa alturas por manzana caso de estudio Localidad Barrios Unidos



Fuente: Elaboración propia a partir información secundaria cartográfica.

- Densidad de población. Este indicador es de tipo cuantitativo y mide la concentración de población para cada una de las manzanas, la calificación mayor corresponde a las mayores concentraciones de población, la calificación asignada se observa en la Tabla 14 y se presenta su espacialización en la Figura 22. Es de anotar que este indicador cobra importancia cuando se asocia al resto de indicadores dispuestos y permite una mejor estratificación de resultados.

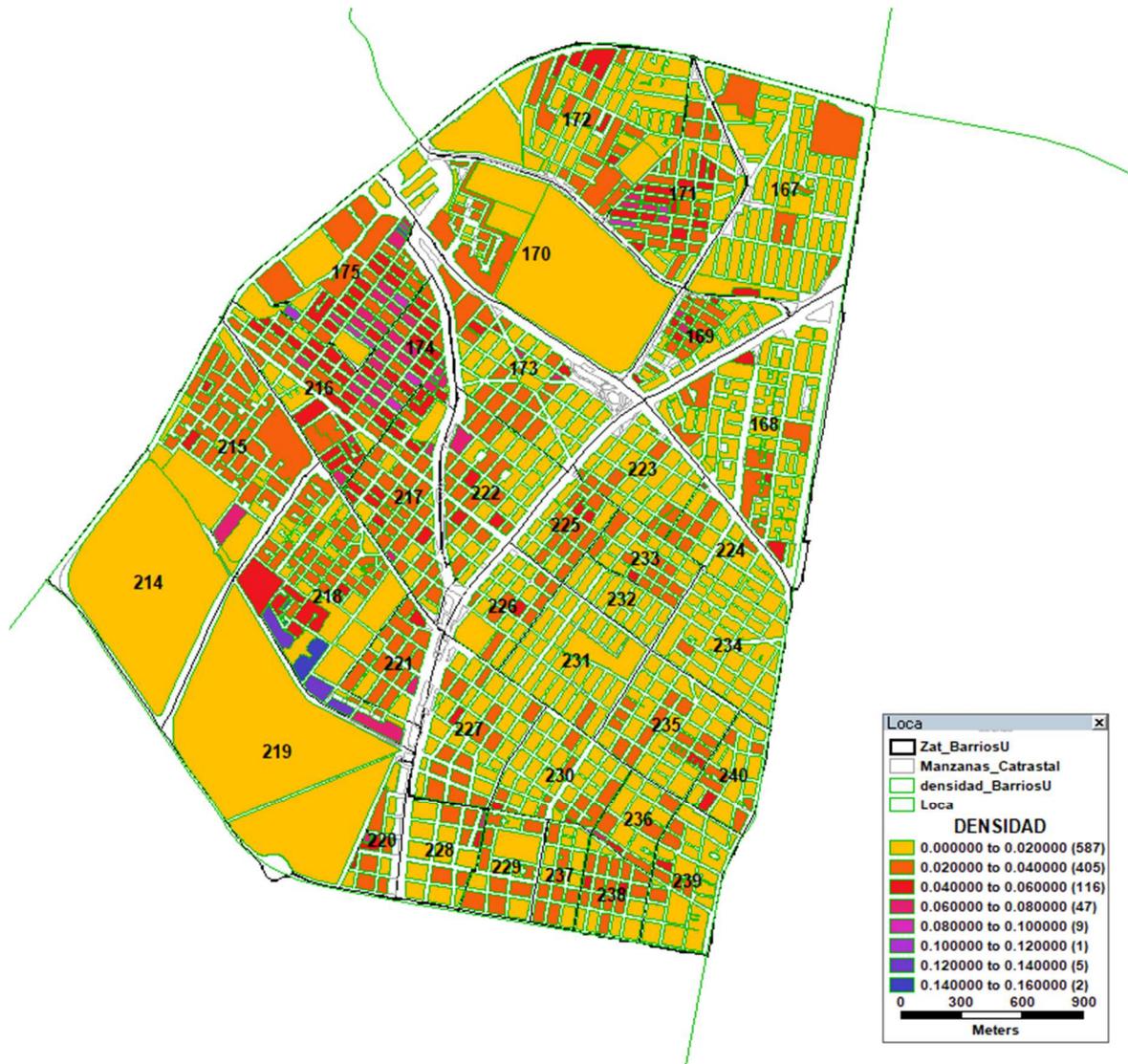
Tabla 14. Calificación indicador densidad de población

Densidad de población (Hab/m2)	Calificación
0,03063	10
0,01130	8

Densidad de población (Hab/m ²)	Calificación
0,01008	6
0,011402	4
0,003651	2
0,002952	0

Fuente: Elaboración propia a partir de EODH 2019.

Figura 22 Mapa densidad de población caso de estudio Localidad Barrios Unidos



Fuente: Elaboración propia a partir información secundaria cartográfica.

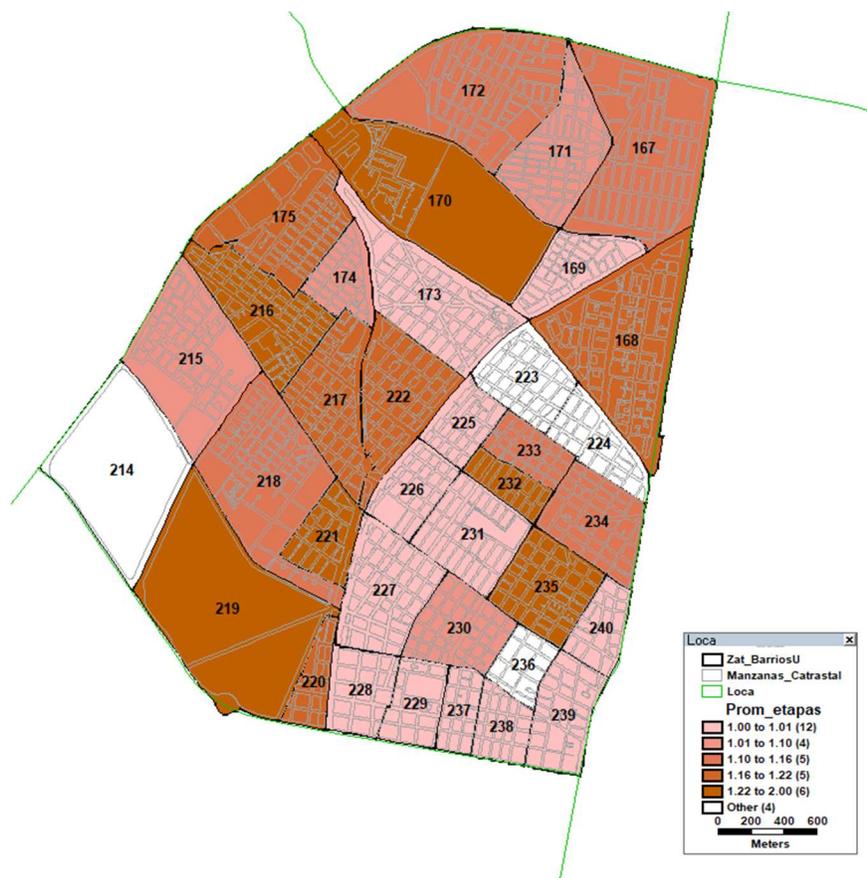
- Etapas de viaje. Este indicador mide el número de etapas que hace una persona para llegar a su destino final. En la Tabla 15 se presenta la escala de calificación y en la Figura 23 la representación espacial del indicador.

Tabla 15. Calificación número de etapas de viaje

Etapas de viaje Promedio	Calificación
1,22 a 2,00	10
1,16 a 1,21	8
1,10 a 1,15	6
1,00 a 1,14	4

Fuente: Elaboración propia a partir de EODH 2019.

Figura 23 Mapa etapas de viaje caso de estudio Localidad Barrios Unidos



Fuente: Elaboración propia a partir de EODH 2019.

5.6.2. Matriz de calificación

Para el proceso de calificación final de la matriz, se obtiene para cada manzana del área de estudio una calificación por cada uno de los indicadores desarrollados con la respectiva ponderación determinada en la metodología SAATY, en la Tabla 16 se presenta la tabla con sus cálculos, con lo que se alimenta espacialmente la capa de manzanas asociando el atributo de calificación ponderada.

Tabla 16. Calificación ponderada Manzanas área de estudio.

ID1	MANCODIGO	ZAT	Calificación atracción de viajes modo privado	Calificación Usos del suelo	% modo de transporte privado	Calificación Etapas de viaje	Calificación Consumo espacio	Calificación Cobertura Transporte publico	Calificación Densidad de población	CALIFICACION PONDERADA
20782	005101047	215,000000	6	3	3	4	2	2	6	3,901
21490	005101047	215,000000	6	3	3	4	2	2	6	3,901
22600	005101047	215,000000	6	3	3	4	2	2	6	3,901
22636	005101047	215,000000	6	3	3	4	2	2	6	3,901
24283	005101047	215,000000	6	3	3	4	2	2	6	3,901
24439	005101047	215,000000	6	3	3	4	2	2	6	3,901
25397	005101047	215,000000	6	3	3	4	2	2	6	3,901
105599	005101035	215,000000	6	3	3	4	2	2	8	4,091
106830	005101035	215,000000	6	3	3	4	2	2	8	4,091
106866	005101035	215,000000	6	3	3	4	2	2	8	4,091
107395	005101035	215,000000	6	3	3	4	2	2	8	4,091
108431	005101035	215,000000	6	3	3	4	2	2	8	4,091
108606	005101035	215,000000	6	3	3	4	2	2	8	4,091
109656	005101035	215,000000	6	3	3	4	2	2	8	4,091
133851	005101041	215,000000	6	3	3	4	2	2	8	4,091
134501	005101041	215,000000	6	3	3	4	2	2	8	4,091
134715	005101041	215,000000	6	3	3	4	2	2	8	4,091
135831	005101041	215,000000	6	3	3	4	2	2	8	4,091
137330	005101041	215,000000	6	3	3	4	2	2	8	4,091
137781	005101041	215,000000	6	3	3	4	2	2	8	4,091

Fuente: Elaboración propia a partir de varias fuentes.

A partir de esta calificación ponderada y llevada como atributo al programa tipo SIG, se procede a mapear los resultados, para este procedimiento deberá determinarse el método de agrupación y el número de clases, estas clases deben estar asociadas al nivel de prioridad y deberá ser determinada por el grupo de expertos que participo en el proceso de la metodología SAATY, para el caso de estudio se determinaron los siguientes niveles de prioridad que son presentados en la Tabla 17 y que son objeto de determinación consensual entre los diferentes actores y objetivos propuestos en la estrategia, por lo tanto pueden variar los niveles de acuerdo a cada caso en particular.

Tabla 17. Clases de agrupación por nivel de prioridad

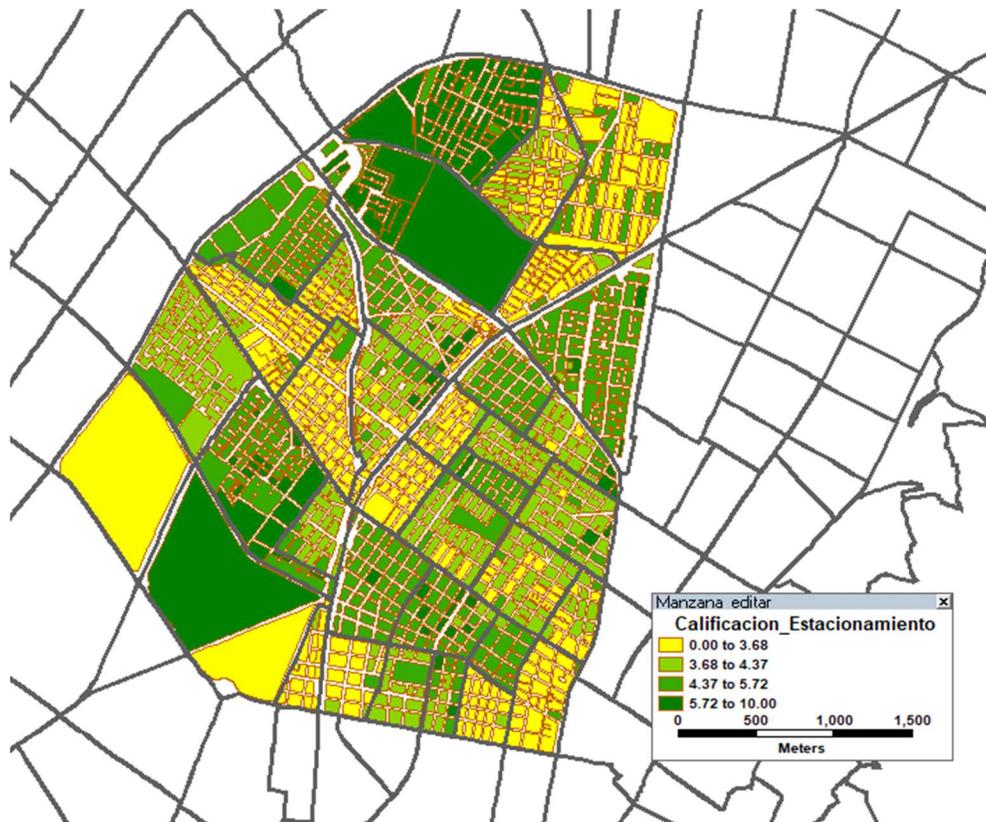
Nivel de prioridad
Alta
Moderada
Media
Baja

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con esta agrupación de conglomerados determinados por la calificación anterior en rangos se determinan microzonas dentro de las ZAT's que deberán ser priorizadas en los estudios dispuestos tanto para el diagnóstico como para la implementación de medidas. En el caso particular de este estudio los colores más oscuros corresponden a los valores más altos de la calificación o áreas que generan una mayor necesidad de estacionamientos.

A partir de esta microzonificación se pueden proyectar los diferentes análisis y definir espacios muestrales orientados a las características propias de cada uno de los sectores. Además, se pueden delimitar de forma más acertada las diferentes intervenciones requeridas para la conexión.

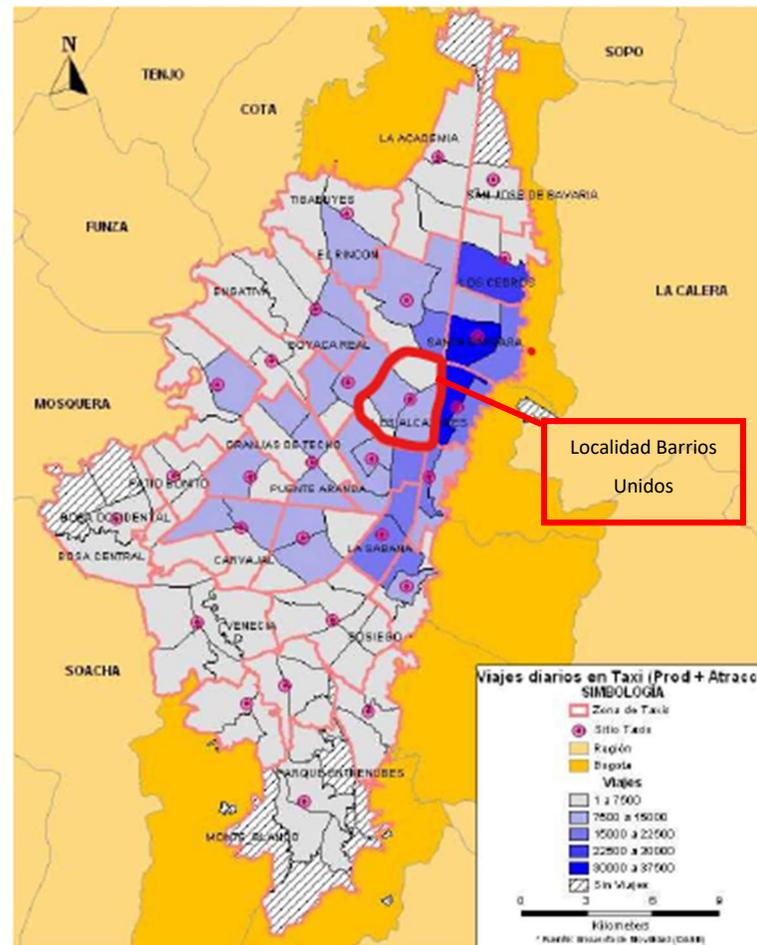
Figura 24 Mapa matriz de calificación área de estacionamientos Localidad Barrios Unidos.



Fuente: Elaboración propia a partir de EODH 2019.

En la Figura 25 se observa la propuesta de localización presentada en el plan de ordenamiento de estacionamientos, donde se demarca lo relacionado a la localidad de Barrios Unidos, unidad geográfica del caso de análisis. La definición de zonas prioritarias para el establecimiento de estacionamiento está basado a nivel general de ZATs y con solo el indicador de atracción de viajes, lo que genera que los diferentes análisis de diagnóstico corresponderán a promedios de zonas con altos niveles de prioridad y algunas zonas con bajo nivel.

Figura 25 Propuesta Localización de Estacionamientos para el Transporte Público Individual del plan de ordenamiento de estacionamientos,



Fuente: (Alcaldía de Bogotá, 2004) formulación del plan maestro de movilidad para Bogotá D.C. Que incluye ordenamiento de estacionamientos

6. Conclusiones y recomendaciones

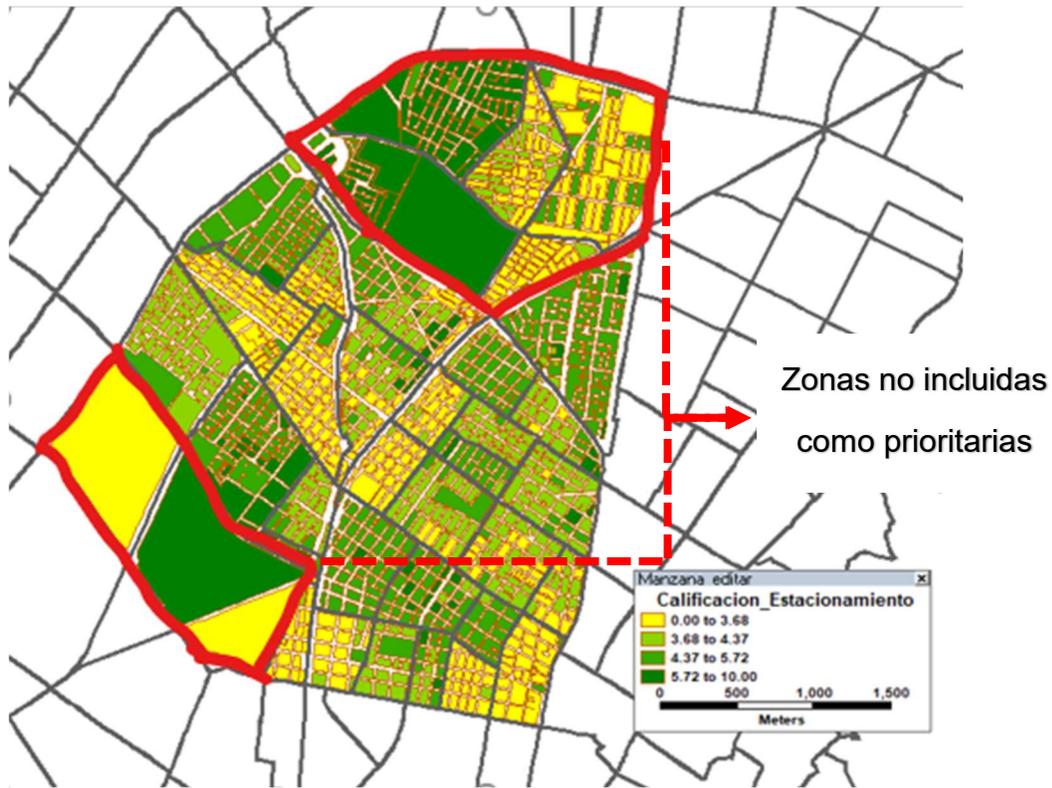
Dentro de los procesos de planes de movilidad local es muy importante delimitar las estrategias que busca implementar el plan, por ello, se debe definir claramente el alcance y los objetivos principales que van a ser desarrollados. En base a este primer acercamiento se debe realizar la delimitación del área de influencia y desarrollarse la microzonificación que responda a los propósitos particulares de la planeación local.

Para el caso particular de estudio la Figura 26 muestra la propuesta de estacionamientos para el Transporte Público Individual del plan de ordenamiento de estacionamientos. Inicialmente aparecen dos zonas no incluidas como prioritarias pero que debido a sus dinámicas internas presentan áreas de priorización para el desarrollo de la estrategia de ubicación de zonas de estacionamiento en vía. Lo anterior se explica porque al tener la información analizada a nivel ZAT's los promedios de los indicadores, no generan un diagnóstico correcto del sector y por consiguiente las medidas implementadas no son eficaces.

La microzonificación permite una mejor utilización de la información secundaria, ya que permite realizar diagnósticos integrales entre bases cartográficas existentes y estudios realizados sobre el área de influencia y ofrece una mejor identificación de estudios complementarios, diseño de muestras y representatividad de la información.

Los diagnósticos en base a microzonas reflejan mejor el comportamiento de la zona, mientras que la zonificación basada en ZAT's va a mostrar datos promediados entre zonas de alta y baja prioridad que están incluidas dentro del área. El proceso sirve para determinar que estudios de información primaria complementarios se requieren en los procesos de diagnóstico. También, contribuye a optimizar los recursos al ofrecer la posibilidad de delimitar de manera más concreta los puntos de interés y garantizar un resultado más eficiente y ajustado a las condiciones de la zona.

Figura 26 Zonificación comparativa de estacionamientos Localidad Barrios Unidos.



Fuente: Elaboración propia a partir de análisis del procedimiento de microzonificación.

La inclusión de dinámicas de usos del suelo dentro de cualquier proceso de determinación de parámetros de movilidad es fundamental ya que presenta las interacciones entre viajes, actividades del uso del espacio y parámetros de movilidad que permiten no solo diagnosticar sino predecir posibles alternativas de mejoramiento de las condiciones de movilidad del área y su inclusión dentro del modelo de ciudad. En relación con este aspecto se hace tarea fundamental la continua actualización de los usos del suelo que permitan determinar las dinámicas de las actividades que se llevan a cabo.

Es fundamental definir que herramientas computacionales y aplicativos se van a utilizar en el proceso. En función de estas herramientas se pueden enriquecer cada uno de los procedimientos mencionados en este estudio, de igual forma se puede llegar, a realizar un análisis muy particular de la información disponible, esto es básico para la determinación de indicadores y calificaciones.

En el proceso de microzonificación es importante la definición de limitantes, específicamente en este tipo de estudios se debe tener en cuenta los efectos espaciales y temporales relacionados con el manejo de la información con la cual se está desarrollando el estudio. De esta manera en estudios posteriores se puede mejorar los procesos o acotar los resultados de una manera más acertada.

7. RECURSOS Y HERRAMIENTAS

Para el desarrollo de este procedimiento se trabajó con las bases de datos encuestas de movilidad de Bogotá 2019, se tuvo acceso a bases de datos en Excel de sus diferentes componentes, informes de análisis para todas las etapas del estudio y capas geográficas utilizadas.

Se utilizó el programa QGIS que es una aplicación profesional de SIG construida sobre Software Libre y de Código Abierto (FOSS), para el procesamiento y visualización de la información espacial. Esta herramienta permite visualizar, gestionar, editar y analizar datos de manera espacial y es compatible con múltiples formatos tipo SIG. Dentro de las características principales tenemos:

- Visualización de datos geospaciales
- Explorar datos y composición de mapas, permite crear, editar, gestionar y exportar datos
- Herramienta de Analizar datos
- Publicar mapas en Internet
- Extender funcionalidades QGIS a través de complementos por desarrolladores en la consola de Python.
- Complementos externos de Python
- Problemas Conocidos, en la limitación en el número de archivos abiertos

También se utilizó las herramientas de Office, Excel para la estructuración de análisis limitantes y restricciones.

Se utilizó los diferentes tipos de buscadores para el manejo de la información, documentación y enlaces de textos.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Alcaldía de Bogotá. (2004). *Plan De Ordenamiento De Estacionamientos – V8*. 162.
- Altan, M. F., & Ayözen, Y. E. (2018). The effect of the size of traffic analysis zones on the quality of transport demand forecasts and travel assignments. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 62(4), 971–979. <https://doi.org/10.3311/PPci.11885>
- Baass, K. G. (1981). Design of zonal systems for aggregate transportation planning models. *Transportation Research Record*, 807, 1–6.
- Bao, Q., Shen, Y., Creemers, L., Kochan, B., Bellemans, T., Janssens, D., & Wets, G. (2015). Investigating the minimum size of study area for an activity-based travel demand forecasting model. *Mathematical Problems in Engineering*, 2015. <https://doi.org/10.1155/2015/162632>
- Batty, M., Foot, D., Alonso, L., Bray, G., Breheny, M., Constable, D., Dugmore, K., Ellender, R., Shepherd, J., & Williams, J. (1973). Spatial System Design and Fast Calibration of Activity Interaction-Allocation Models. *Regional Studies*, 7(4), 351–366. <https://doi.org/10.1080/09595237300185381>
- Chang, K. tsung, Khatib, Z., & Ou, Y. (2002). Effects of zoning structure and network detail on traffic demand modeling. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 29(1), 37–52. <https://doi.org/10.1068/b2742>
- Crevo, C. C. (1991). Impacts of zonal reconfigurations on travel demand forecasts. *Transportation Research Record*, 1477, 72–80.
- Díaz Muñoz, M., Carvalho Cantergiani, C., Salado García, M., Rojas Quezada, C., & Gutiérrez Martínez, S. (2007). Propuesta de un sistema de indicadores de sostenibilidad para la movilidad y el transporte urbanos. Aplicación mediante SIG a la ciudad de Alcalá de Henares. *Cuadernos de Geografía*, 81, 31–49.
- European Platform on Sustainable Urban Mobility Plans. (2014). *Guía Desarrollo e implementación de planes de movilidad urbana sostenible Para más información European Platform on Sustainable Urban Mobility Plans* www.eltis.org/mobility-plans. www.eltis.org
- IDECA La IDE de Bogotá D.C. (2020). *Mapas Bogotá*. Mapas Bogota. <https://mapas.bogota.gov.co/>
- Juan de Dios Ortúzar, & Luis G. Willumsen. (2008). Modelos de Transporte. In *Ediciones de la Universidad de Cantabria*.
- Kadoić, N., Ređep, N. B., & Divjak, B. (2017). Decision making with the analytic network process. *Proceedings of the 14th International Symposium on Operational Research, SOR 2017, 2017-Septe*(September 2006), 180–186. <https://doi.org/10.1007/0-387-33987-6>
- Martinez, L. M., Viegas, J. M., & Silva, E. A. (2007). Zoning decisions in transport planning and their impact on the precision of results. *Transportation Research Record*, 1994, 58–65. <https://doi.org/10.3141/1994-08>
- Martínez, L. Miguel, Dupont-Kieffer, A., & Viegas, J. M. (2010). an Integrated Application of Zoning

for Mobility Analysis and Planning : the Case of Paris Region. *12th World Conference for Transportation Research*, July, 1–25.

https://www.researchgate.net/profile/Jose_Viegas5/publication/280816250_An_integrated_application_of_zoning_for_mobility_analysis_and_planning_the_case_of_Paris_Region/links/5818795608ae1f34d24a73ec.pdf?origin=publication_list

Martínez, L Miguel, Dupont-kie, A., & Viegas, M. (2011). *Una aplicación integrada de la zonificación PARA EL ANÁLISIS DE MOVILIDAD Y PLANIFICACIÓN : EL CASO*.

Martínez, Luis M., Viegas, J. M., & Silva, E. A. (2009). A traffic analysis zone definition: A new methodology and algorithm. *Transportation*, 36(5), 581–599.
<https://doi.org/10.1007/s11116-009-9214-z>

Montoya, C. C., Dirección de Análisis y Programación, & CAF., S. de la V. de I. de. (2011). Desarrollo urbano y movilidad en América Latina. In *Banco de desarrollo de America Latina CAF*.

O'Neill, W. A. (1991). Developing optimal transportation analysis zones using GIS. *ITE Journal*, 61(12), 33–36.

Openshaw, S. (1977). Optimal Zoning Systems for Spatial Interaction Models. *Environment and Planning A: Economy and Space*, 9(2), 169–184. <https://doi.org/10.1068/a090169>

Sykes, P. (2007). Transport planning with microsimulation. *Journal of Maps*, 3(1), 122–134.
<https://doi.org/10.1080/jom.2007.9710833>