

DESARROLLO URBANO LOCAL SOSTENIBLE: METODOLOGÍA PARA LA OPTIMIZACIÓN DE INFRAESTRUCTURAS EXISTENTES — CASO DE ESTUDIO MÉRIDA, VENEZUELA

SUSTAINABLE LOCAL URBAN DEVELOPMENT: METHODOLOGY FOR THE OPTIMIZATION OF EXISTING INFRASTRUCTURES — CASE STUDY MÉRIDA, VENEZUELA

María Alejandra Rojo de Rangel¹

<https://orcid.org/0000-0003-1404-332x>

Resumen

Esta investigación presenta una metodología escalable para optimizar infraestructuras urbanas existentes, promoviendo el desarrollo local sostenible en ciudades como Mérida, Venezuela. Basada en el concepto de metabolismo urbano, que ve la ciudad como un sistema complejo con flujos de recursos y energía, la metodología permite una evaluación integral de la eficiencia y resiliencia de diversas infraestructuras. La metodología original fue desarrollada en una tesis de maestría para drenajes urbanos y luego adaptada para su aplicación en pregrado, ampliando su alcance a sistemas como agua potable, alcantarillado, energía eléctrica, comunicaciones y gestión de residuos sólidos. Los resultados en parroquias de Mérida, como El Llano, revelaron desequilibrios entre oferta y demanda. Las propuestas de mejora incluyen la ampliación de la red de fibra óptica y la implementación de sistemas inteligentes.

Abstract

This research presents a scalable methodology for optimizing existing urban infrastructures, promoting sustainable local development in cities like Mérida, Venezuela. Based on the concept of urban metabolism, which views the city as a complex system with resource and energy flows, the methodology enables a comprehensive evaluation of the efficiency and resilience of various infrastructures. The original methodology was developed in a master's thesis for urban drainage systems and subsequently adapted for undergraduate application, expanding its scope to systems such as potable water, sewage, electrical energy, communications, and solid waste management. Results from parishes in Mérida, such as El Llano, revealed imbalances between supply and demand. Proposed improvements include expanding the fiber optic network and implementing smart systems.

Palabras clave: Desarrollo urbano sostenible, metabolismo urbano, metodología escalable, optimización de infraestructuras.

Keywords: Sustainable urban development, urban metabolism, scalable methodology, infrastructure optimization.

¹Msc. en Desarrollo Urbano Local- mención Planificación Urbana (ULA 2023). Estudios Superiores en Desarrollo Urbano Local-mención Diseño Urbano (ULA 2016), Docente asistente (FADULA 2008), Arquitecto Magna Cum Laude (ULA 2007).

Correo: malejandrarojo@gmail.com - Facultad de Arquitectura y Diseño, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.

INTRODUCCIÓN

La infraestructura urbana desempeña un papel fundamental en el desarrollo de las ciudades, al proveer los servicios esenciales que sustentan la vida urbana y las actividades económicas. Su eficiencia y sostenibilidad son determinantes para la calidad de vida de los ciudadanos y la resiliencia urbana ante el crecimiento y el cambio climático.

En el contexto de la Maestría en Desarrollo Urbano Local de la Universidad de Los Andes, se ha identificado la ausencia de una línea de investigación consolidada y de metodologías sistemáticas y aplicadas al análisis, evaluación y optimización de infraestructuras urbanas existentes. Si bien existen estudios y enfoques teóricos sobre el tema, la carencia de una herramienta metodológica específica y validada dentro del programa representa un vacío importante para la planificación y gestión urbana a nivel local. Para abordar esta limitación y establecer esta línea de investigación, este artículo presenta una metodología, desarrollada en el marco de una tesis de maestría en este mismo programa, que permite analizar las infraestructuras desde una perspectiva integral, considerando su estado actual, capacidad y potencial de mejora.

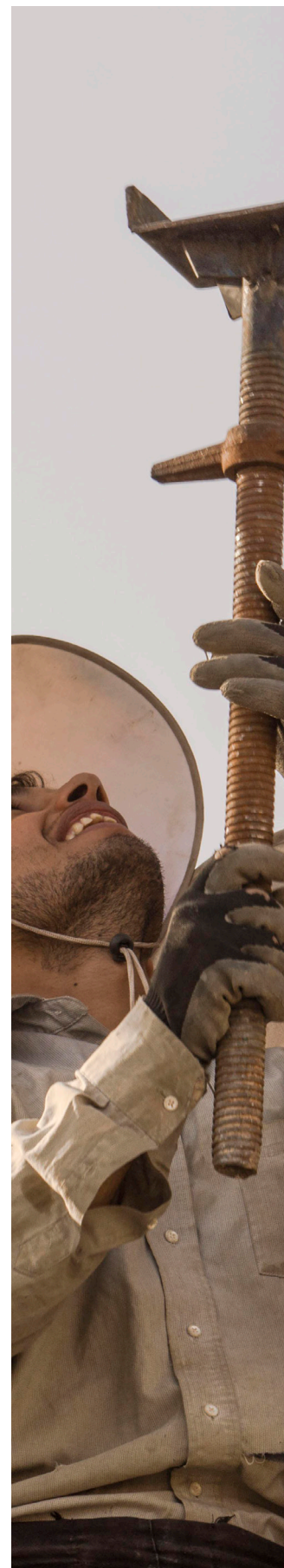
La metodología original, concebida en la tesis, se aplicó inicialmente a drenajes urbanos. No obstante, su escalabilidad facilitó su reinterpretación y adaptación al análisis de diversas infraestructuras urbanas. Con el propósito de validar su aplicabilidad en un contexto formativo y ampliar su alcance, la metodología fue adaptada para un nivel de pregrado y utilizada por estudiantes de arquitectura en el análisis de infraestructuras en varias parroquias de la ciudad de Mérida, Venezuela.

Precisamente, este proceso de adaptación y aplicación por estudiantes de arquitectura en Mérida se presenta como caso de estudio. Demostrando la aplicabilidad y utilidad de la metodología en un contexto real y formativo, así como su potencial para involucrar a futuros profesionales en la planificación y gestión urbana.

En consecuencia, este artículo presenta la metodología desarrollada para el análisis y optimización de infraestructuras urbanas existentes, argumentando su relevancia para la toma de decisiones en la planificación urbana y la promoción del desarrollo urbano local sostenible.

1. Marco Teórico

El presente apartado establece el marco conceptual fundamental para comprender la problemática abordada en esta investigación, explorando las bases teóricas relacionadas con el análisis y la sostenibilidad de las infraestructuras urbanas existentes.



1.1 Metabolismo Urbano

El concepto de metabolismo urbano se ha consolidado como un marco analítico fundamental para comprender las dinámicas de las ciudades como sistemas complejos que interactúan intensamente con su entorno. Inspirado en la biología, el metabolismo urbano describe el flujo de materiales, energía e información que ingresan, circulan y egresan de un sistema urbano (Bettencourt & West, 2010, p. 276; Kennedy et al., 2007, p. 44). Este enfoque permite analizar la ciudad no solo en términos de su estructura física, sino también en función de sus procesos biofísicos y socioeconómicos (Newman, 1999, p. 737).

Según Kennedy et al. (2007), el metabolismo urbano abarca el conjunto de procesos que posibilitan el crecimiento, el funcionamiento y la evolución de las ciudades, incluyendo la adquisición de recursos, su transformación, la construcción de infraestructura y la generación de desechos (p. 45). Este paradigma resulta crucial para el análisis de las infraestructuras urbanas, ya que estas constituyen los canales a través de los cuales se materializan los flujos metabólicos esenciales, como el agua, la energía, los alimentos y los residuos (Barles, 2010, p. 19). Comprender estos flujos y sus interconexiones es esencial para evaluar la sostenibilidad y la resiliencia de las infraestructuras urbanas existentes y para planificar su desarrollo futuro de manera más integrada y eficiente (Decker et al., 2000, p. 692). Por ejemplo, el estudio de los flujos de energía a través de la red eléctrica urbana o el análisis del ciclo del agua en relación con las infraestructuras de captación, distribución y tratamiento son aspectos centrales del metabolismo urbano aplicado (Grimm et al., 2000, p. 268; Hoekstra & Chapagain, 2008, p. 1196).

1.2 Sostenibilidad de Infraestructuras Existentes

La sostenibilidad de las infraestructuras existentes se erige como un desafío crucial en el contexto urbano actual, donde la optimización y la extensión de la vida útil de los sistemas preexistentes adquieren mayor relevancia que la construcción de nuevas instalaciones. La sostenibilidad, en este ámbito, implica la implementación de estrategias que permitan a estas infraestructuras continuar proporcionando servicios esenciales de manera eficiente, equitativa y con el menor impacto ambiental posible a lo largo de su ciclo de vida (Agudelo-Valeria et al., 2019, p. 57).

Un pilar fundamental de la sostenibilidad en infraestructuras existentes es la eficiencia. Esto abarca la optimización del consumo energético en su operación, la reducción de pérdidas en la distribución de recursos como el agua, y la implementación de prácticas de mantenimiento que prolonguen su funcionalidad y minimicen la necesidad de reemplazos prematuros (Brand & Balmford, 2008, p. 636). La aplicación de tecnologías de monitoreo avanzado y la implementación de sistemas de gestión energética son estrategias clave para mejorar la eficiencia operativa de las infraestructuras existentes (Calderón, 2018, p. 45).

Otro aspecto esencial es la extensión de la vida útil de las infraestructuras. A través de programas de mantenimiento preventivo y correctivo bien planificados, así como la aplicación de técnicas de rehabilitación y mejora, es posible postergar la necesidad de inversiones significativas en nuevas construcciones, lo que a su vez reduce la demanda de recursos y la generación de residuos asociados a la producción de nuevos materiales (Gifford, 2013, p. 123). La evaluación del estado estructural y funcional de las infraestructuras existentes es un paso crucial para identificar oportunidades de mejora y priorizar las intervenciones necesarias (Rodríguez-Maranillo et al., 2015, p. 98).

La gobernanza y el marco regulatorio juegan un papel trascendental en la promoción de la sostenibilidad de las infraestructuras existentes. Las políticas públicas a nivel local, regional y nacional pueden establecer incentivos para la adopción de prácticas sostenibles, definir estándares de eficiencia y sostenibilidad, y fomentar la inversión en la mejora y modernización de las infraestructuras existentes (Holden & Scerri, 2006, p. 15). Marcos regulatorios claros y efectivos son necesarios para asegurar el cumplimiento de estos objetivos y para crear un entorno favorable a la innovación y la inversión en soluciones sostenibles (Laffont & Tirole, 1993, p. 167).

La innovación y la tecnología ofrecen herramientas poderosas para mejorar la sostenibilidad de las infraestructuras existentes. La implementación de sensores y sistemas de monitoreo en tiempo real permite optimizar la operación y el mantenimiento, identificar fugas o fallas de manera temprana y mejorar la eficiencia en el uso de recursos (Eriksson et al., 2019, p. 112). Tecnologías como la inteligencia artificial y el aprendizaje automático pueden analizar grandes volúmenes de datos para identificar patrones y optimizar la gestión de la infraestructura. Asimismo, la adopción de materiales más sostenibles y las técnicas de construcción innovadoras pueden reducir el impacto ambiental de las intervenciones en infraestructuras existentes.

Finalmente, la resiliencia de las infraestructuras existentes ante eventos climáticos extremos y otras perturbaciones es un componente integral de su sostenibilidad. Esto requiere la identificación de vulnerabilidades, la implementación de medidas de adaptación y la planificación de estrategias de respuesta y recuperación eficientes para asegurar la continuidad de los servicios esenciales (Tyler & Moench, 2012, p. 31).

1.3 Evaluación de Infraestructuras Existentes

La evaluación de las infraestructuras urbanas existentes constituye una etapa esencial para comprender su condición actual, identificar sus limitaciones, predecir su vida útil remanente y determinar las estrategias de intervención más apropiadas para su optimización y sostenibilidad (Ersoy & Hong, 2017, p. 208). Un enfoque sistemático en la evaluación facilita la toma de decisiones informadas por parte de los planificadores y gestores urbanos en relación con el mantenimiento, la rehabilitación, la modernización o la sustitución de estos sistemas fundamentales (Rodríguez-Maranillo et al., 2015, p. 96).

Diversos métodos y marcos se han desarrollado para la evaluación de infraestructuras existentes, los cuales varían en su alcance, complejidad y los indicadores que emplean. Algunos métodos se centran en la evaluación física y estructural de la infraestructura, utilizando inspecciones visuales, ensayos no destructivos y análisis de materiales para determinar la presencia de daños, el nivel de deterioro y la capacidad estructural restante (Atkinson, 2007, p. 110).

Otros enfoques se orientan hacia la evaluación funcional de la infraestructura, analizando su capacidad para satisfacer la demanda presente y futura, su eficiencia operativa (por ejemplo, fugas en redes de agua, pérdidas energéticas) y su nivel de servicio (por ejemplo, calidad del suministro de agua, congestión vial) (Calderón, 2018, p. 52).

Un tercer grupo de métodos integra la evaluación de la sostenibilidad, considerando aspectos ambientales (huella de carbono, consumo de recursos), sociales (equidad en el acceso, impactos en la salud y el bienestar) y económicos (costos de operación y mantenimiento, análisis de ciclo de vida) (González et al., 2018, p. 30). Estas evaluaciones integrales buscan identificar no solo las deficiencias inmediatas, sino también las oportunidades para mejorar la sostenibilidad a largo plazo de la infraestructura.

La escalabilidad de la metodología de evaluación es también un factor relevante, dado que las infraestructuras urbanas son sistemas complejos y diversos. Una metodología adaptable puede aplicarse a distintos tipos de infraestructura (redes de agua potable, sistemas de energía, infraestructuras de transporte, gestión de residuos) y a diferentes escalas geográficas dentro del entorno urbano (desde un barrio específico hasta la totalidad de la ciudad) (Involve, 2008, p. 12). Finalmente, la participación de múltiples actores interesados (técnicos, planificadores, representantes de la comunidad) puede enriquecer el proceso de evaluación, aportando diversas perspectivas y conocimientos sobre el rendimiento y las necesidades de la infraestructura (Mostert, 2012, p. 21).

El marco teórico revela la importancia de comprender las ciudades desde la perspectiva del metabolismo urbano, la necesidad de adoptar principios de sostenibilidad en la gestión de las infraestructuras existentes y la relevancia de contar con metodologías robustas para su evaluación. Estos elementos conceptuales convergen en la necesidad de desarrollar y aplicar metodologías que permitan optimizar las infraestructuras urbanas de manera integral. En el siguiente apartado, se detallará la metodología desarrollada en esta investigación para abordar este desafío.

2. Metodología

2.1 Metodología Base (Desarrollada en la Tesis de Maestría)

La metodología base, desarrollada en el marco de la tesis de maestría (Rojo de Rangel, 2022), se presenta como un instrumento metodológico escalable para el estudio de los drenajes urbanos desde una perspectiva sostenible. Esta metodología integra la teoría del metabolismo urbano con los enfoques convencionales de análisis de sistemas de drenaje, con el objetivo de proporcionar una herramienta integral para la planificación y gestión de estas infraestructuras.

La metodología base se estructura en las siguientes fases:

- **Caracterización del sector de estudio:** Se realiza una descripción detallada del área de estudio, que incluye la delimitación precisa del área a analizar y la recopilación de información relevante sobre sus características físicas, sociales y económicas. Esto implica la identificación y el análisis de aspectos como:

- o Uso de suelo: Tipos de actividades que se desarrollan en el área (residencial, comercial, industrial, etc.).
- o Población: Cantidad de habitantes para los cuales se diseñó la infraestructura y cantidad personas a la que presta servicio actualmente.
- o Topografía: Pendientes, elevaciones y características del relieve que influyen en el flujo del agua.
- o Tipos de superficie: Permeables (áreas verdes) e impermeables (calles, edificaciones) que afectan la infiltración del agua.
- o Características del sistema de drenaje existente: Red de tuberías, canales, sumideros, etc., su capacidad y estado de conservación.

- **Metabolismo de los drenajes urbanos:** Se aplica la teoría del metabolismo urbano para analizar los flujos del sistema de drenaje, considerando la ciudad como un organismo que consume y desecha recursos. Esto implica la cuantificación detallada de:

- o Entradas: Recursos que ingresan al sistema, principalmente agua de lluvia y, en algunos casos, conexiones de aguas residuales.
- o Consumos: Transformaciones y usos del agua dentro del sistema, como el transporte y la retención temporal.
- o Salidas: Desechos o productos que el sistema libera, principalmente agua de escorrentía y, potencialmente, contaminantes.

Se busca cuantificar estos flujos en términos de volúmenes, tasas y concentraciones, para comprender el funcionamiento del sistema y su eficiencia en la gestión del agua.

- **Modelado del sistema de drenaje urbano:** Se emplea el software Storm Water Management Model (SWMM) de la US EPA para simular el comportamiento del sistema de drenaje en diferentes escenarios, incluyendo eventos de lluvia de diferente intensidad y duración. Esto permite:

- o Evaluar la capacidad del sistema: Determinar si el sistema puede manejar los volúmenes de agua que recibe.
- o Identificar puntos críticos: Ubicar áreas propensas a inundaciones o con problemas de capacidad.
- o Predecir el impacto de diferentes soluciones: Simular cómo diferentes medidas, como la implementación de SUDS, afectarían el funcionamiento del sistema.

- **Mejora del sistema de drenaje:** Se proponen e implementan medidas de Drenaje Urbano Sostenible (SUDS) para optimizar el funcionamiento del sistema y mitigar los impactos negativos de las aguas de escorrentía, como las inundaciones y la contaminación. * Esto implica:
 - o La evaluación de diferentes técnicas de SUDS: Infiltración, retención, detención, transporte y tratamiento del agua.
 - o Su adaptación al contexto específico del área de estudio: Considerando factores como el tipo de suelo, la disponibilidad de espacio y las características climáticas.
- **Verificación de las medidas propuestas:** en esta última etapa se modela el escenario con las medidas planteadas y se compara con el escenario actual con la finalidad de verificar la viabilidad de las medidas y así proponer su aplicación en el contexto real.

Esta metodología se concibe como un instrumento escalable, capaz de adaptarse a diferentes contextos y escalas (desde un barrio hasta toda una ciudad), lo que facilita su aplicación en la toma de decisiones para la planificación y el diseño de sistemas de drenaje urbano sostenibles.

2.2 Readaptación de la Metodología para Pregrado

La metodología base, desarrollada originalmente para la investigación a nivel de maestría, fue readaptada para su aplicación en el contexto de la enseñanza de pregrado en arquitectura (ver figura 1). Esta readaptación tuvo como objetivo principal facilitar la comprensión y aplicación de los conceptos de metabolismo urbano y drenaje urbano sostenible por parte de los estudiantes, manteniendo la esencia de la metodología original pero ajustando su complejidad y alcance.



Figura 1: Metodología de estudio.

Fuente: Optativa Específica Infraestructura Urbana B-2023

Las principales modificaciones realizadas a la metodología para su aplicación en pregrado fueron:

- **Enfoque en la comprensión conceptual:** Se priorizó la explicación clara y concisa de la teoría del metabolismo urbano y su relación con las infraestructuras urbanas, utilizando ejemplos prácticos y visualizaciones para facilitar la comprensión de los estudiantes.
- **Ampliación del alcance a diferentes infraestructuras:** Si bien la metodología original se centraba en los drenajes urbanos, en el contexto de pregrado se amplió su aplicación al análisis de otras infraestructuras urbanas, como los sistemas de abastecimiento de agua potable, alcantarillado, energía eléctrica, comunicaciones y gestión de residuos sólidos. Esto permitió a los estudiantes comprender la aplicabilidad del metabolismo urbano a diferentes sistemas urbanos.
- **Simplificación de la evaluación integral:** Se simplificó el proceso de evaluación integral de las infraestructuras, enfocándose en la identificación de la oferta (capacidad instalada) y la demanda (necesidades de la población) de cada servicio. Los estudiantes realizaron cálculos básicos y trabajo de campo para obtener datos relevantes sobre las infraestructuras en sus áreas de estudio.
- **Definición de índices de sostenibilidad:** Se introdujo el concepto de índices de sostenibilidad como una herramienta para evaluar el desempeño de las infraestructuras. Los estudiantes compararon los índices de consumo reales con los estándares internacionales de sostenibilidad y con los criterios convencionales utilizados en el contexto local, lo que les permitió identificar las deficiencias y oportunidades de mejora.
- **Análisis comparativo y conclusiones:** Se enfatizó el análisis comparativo de los datos obtenidos, lo que permitió a los estudiantes identificar si las infraestructuras existentes estaban colapsadas o no. Se fomentó la discusión sobre la necesidad de aplicar medidas de sostenibilidad para prolongar la vida útil de las infraestructuras existentes, considerando la dificultad de construir nuevas infraestructuras desde cero.
- **Exclusión del modelado detallado:** Debido a la complejidad del software de modelado específico para cada tipo de infraestructura, se excluyó esta fase de la metodología en el contexto de pregrado. Se consideró que el modelado detallado requería un nivel de conocimiento y habilidades técnicas que excedían el alcance de un curso de pregrado.

Estas modificaciones permitieron adaptar la metodología a las necesidades y capacidades de los estudiantes de pregrado, proporcionándoles una herramienta práctica y efectiva para el análisis de las infraestructuras urbanas desde una perspectiva de sostenibilidad y resiliencia.

2.3 Escalabilidad de la Metodología

Una de las características clave de la metodología propuesta es su escalabilidad, lo que permite su aplicación en diferentes contextos y escalas de análisis.

En su versión original, desarrollada para la investigación a nivel de maestría, la metodología se diseñó para ser adaptable al estudio de diversos tipos de infraestructuras urbanas, aunque se centró específicamente en los sistemas de drenaje. Su enfoque en el metabolismo urbano y la evaluación integral de los flujos de entrada, consumo y salida permite analizar cualquier sistema urbano que involucre el flujo de recursos y energía. Además, la metodología puede aplicarse a diferentes escalas geográficas, desde el análisis de un barrio o sector específico de la ciudad hasta el estudio del metabolismo urbano a nivel de toda la ciudad.

En la readaptación de la metodología para pregrado, se mantuvo y se enfatizó esta característica de escalabilidad. Al ampliar el alcance del análisis a diferentes infraestructuras urbanas (agua potable, alcantarillado, energía eléctrica, comunicaciones, residuos sólidos), se demostró explícitamente su aplicabilidad a diversos sistemas urbanos. Los estudiantes pudieron aplicar los mismos principios y pasos metodológicos para analizar diferentes tipos de infraestructuras en sus respectivas áreas de estudio, lo que evidenció la versatilidad de la metodología.

La escalabilidad de la metodología la convierte en una herramienta valiosa tanto para la investigación académica como para la planificación y gestión urbana, ya que permite abordar el análisis de las infraestructuras urbanas de manera integral y adaptable a las necesidades específicas de cada contexto.

3. Resultados

Como se mencionó anteriormente, esta sección presenta los resultados obtenidos al aplicar la metodología readaptada para pregrado en el análisis de las infraestructuras urbanas de varias parroquias de Mérida. Los resultados se centran en la caracterización de las áreas de estudio, la evaluación de la oferta y la demanda de infraestructuras, la comparación de índices de consumo y el estado de las infraestructuras en relación con las necesidades de sostenibilidad.

3.1 Caracterización de las Áreas de Estudio

El estudio se desarrolló en el entorno construido del Edo. Mérida, el cual está conformado por 23 municipios, siendo foco de análisis el Municipio Libertador donde se ubica la capital del estado, convirtiéndose así en el más denso y dejando una clara evidencia de la relevancia de las infraestructuras existentes en el sector. El municipio Capital está dividido por 15 parroquias, siendo seleccionadas 5 de ellas de manera estratégica (ver figura 2), ya sea por ubicación, características o densidad poblacional; estas fueron: **Parroquia el Sagrario, Mariano Picón Salas, Antonio Spinetti Dini, El Llano y Domingo Peña**; todas colindantes entre ellas y albergando equipamientos de gran relevancia como el Hospital universitario, el Aeropuerto de la ciudad, el casco central o áreas residenciales que puedan dar una idea del consumo y las necesidades urbanas.



Figura 2: Parroquias de Estudio.

Fuente: Optativa Especifica Infraestructura Urbana B-2023

3.2 Índices de Consumo

Para la realización del estudio, se utilizaron ciertos lineamientos para cada área que abarca el mismo, buscando crear unanimidad y punto de comparación entre las parroquias analizadas. Estos fueron:

01 Aguas Blancas: Consumo 250 litros/persona/día (Gaceta Oficial 4.044). 500 litros/persona/día (Informe Merbar 1998).

02 Aguas Negras: Se desecha el 80% del consumo de aguas blancas: 400 litros/persona/día (Gaceta oficial 4.044).

03 Aguas de Lluvia: Pluviosidad establecida 6mm/día (Gaceta oficial 4.044).

04 Hidrantes: Según las normas COVENIN 1294:2001, los hidrantes deben ubicarse, independientemente del tipo de ocupación de la zona, uno en cada esquina y/o cada 100 metros.

05 Servicio Eléctrico: Demanda: 2.5 kVA/hogar (medida internacional).

Oferta Transformadores: 75 kVA.

06 Servicio de Iluminación: Según normativa COVENIN 2859-92: Radio de acción: 40 metros. urbano. 15 metros acción humana.

07 Servicio de Telefonía y Redes: Cantidad máxima de Hogares/Tablero (ADS): 325.

08 Aseo: Desechos por persona: 0.93 kg/día (Medida Internacional).

3.3 Evaluación de la Oferta y la Demanda de Infraestructuras

En el entendido que en cada parroquia se realizó el mismo análisis, De las 5 parroquias objeto de estudio en este artículo se detallara la parroquia el llano:

Disponibilidad y Demanda de Agua: La disponibilidad de agua en el sector es de (572 l/s) y la demanda de la parroquia (47.6 l/s), indicando un aparente sobreabastecimiento.

Sistema de Aguas Negras: Lo desechado por habitante es aproximadamente 80% de lo suministrado por aguas blancas aprox 400 lpd, adicionalmente se consideran las aguas pluviales como parte del desecho de aguas, lo que aumenta el volumen de aguas negras a tratar.

Sistema de Alcantarillado: El sistema de colectores de aguas negras y pluviales, están dimensionado para recolectar los desechos de aguas negras, pero, el agua pluvial no se está re-direccionando correctamente por falta de alcantarillado. Además, la planta de tratamiento que está prevista en el POU no está construida, lo que genera problemas de escorrentía en las calles.

Bocas de Visita: Se evaluó la ubicación y cantidad de las bocas de visita (alcantarillas), comparándolas con las normativas (Gaceta Oficial N° 5.318), y se concluye que no son suficientes para la extensión de la parroquia y que algunas están obstruidas.

Infraestructura de Telecomunicaciones: Se analizó la distribución de las taquillas de CANTV (centrales ADS) en los sectores Moderno y Fundacional, calculando la cantidad máxima de hogares por central y determinando un déficit en el número de tableros requeridos.

Hidrantes: Se evaluó la ubicación y cantidad de hidrantes en la parroquia, comparándolas con la norma Covenin 1294:2001, y se determinó un déficit significativo.

Recolección de Desechos Sólidos: Se estimó la demanda diaria de desechos y se comparó con la capacidad de los camiones compactadores, indicando que la capacidad de recolección es mayor que la demanda.

3.4 Estado de las Infraestructuras y Necesidades de Sostenibilidad

Se realizó un trabajo de campo que permitió visualmente identificar el estado de algunas infraestructuras, y plasmar en un plano la ubicación de las mismas, pudiendo visualizar el desarrollo de cada servicio en el sector de estudio. (ver figura 3).

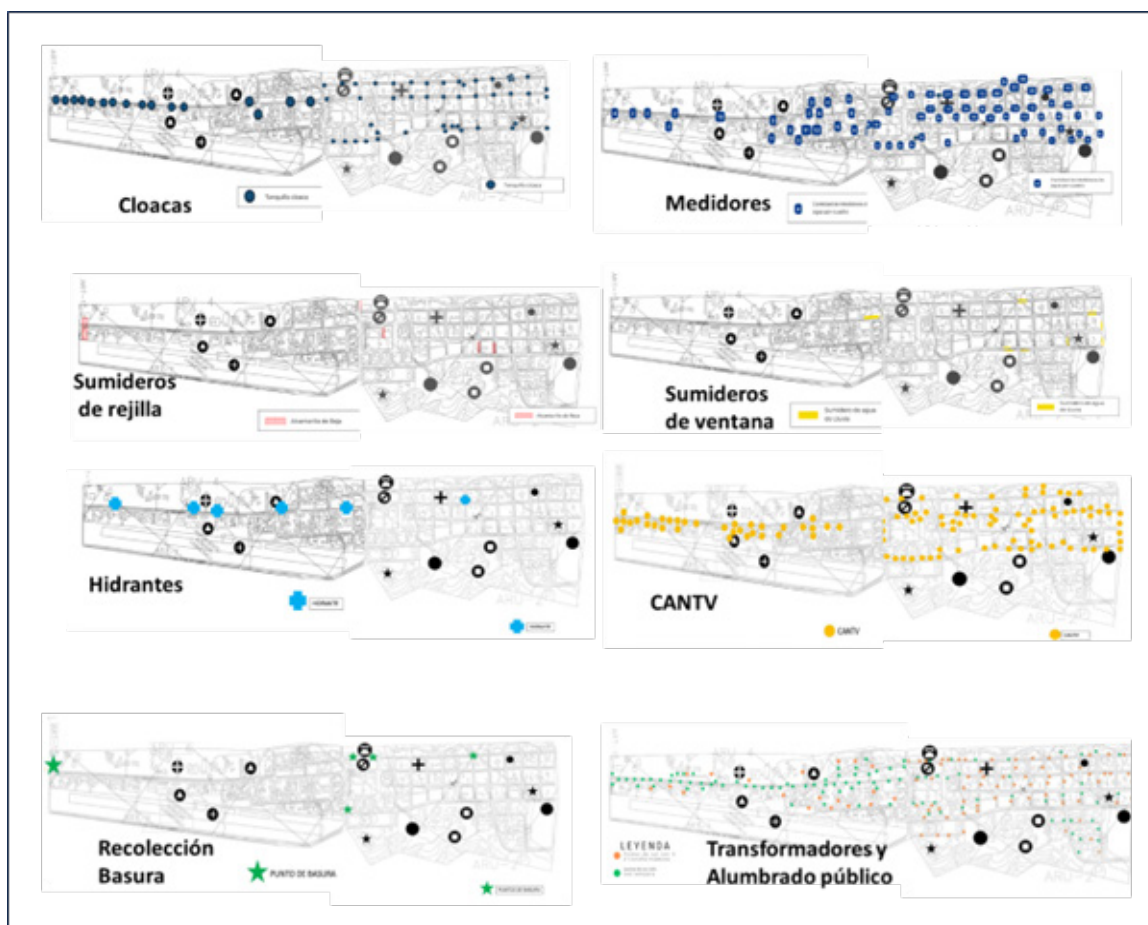


Figura 3: Levantamiento Infraestructura parroquia El Llano.

Fuente: Opativa Especifica Infraestructura Urbana B-2023

3.5 Propuestas de Mejora.

Teniendo un panorama de la situación actual y la demanda real deservicio se consideraron algunas medidas que permiten mejorar la calidad de vida de los usuarios para la parroquia, las cuales se mencionan a continuación:

Telecomunicaciones: Se propone la ampliación de la red de fibra óptica, la regulación de tarifas y la actualización y mantenimiento del sistema de internet.

Hidrantes: Se plantea la redistribución de los hidrantes existentes, la inclusión de nuevos y el mantenimiento anual de los mismos.

Gestión de Residuos: Se sugiere la implementación de programas de educación para el reciclaje, el uso de contenedores de basura inteligentes y la optimización de las rutas de recolección mediante sistemas de rastreo GPS.

Transformadores: Se propone el uso de transformadores inteligentes con materiales ecológicos y características de seguridad y eficiencia mejoradas.

Alumbrado Público: Se plantea la implementación de un sistema de alumbrado público inteligente con luces LED, control remoto y gestión eficiente de la iluminación, buscando el ahorro energético, la seguridad ciudadana y la sostenibilidad ambiental.

CONCLUSIONES

La presente investigación ha establecido una metodología robusta y escalable para la optimización de infraestructuras urbanas existentes, crucial para fomentar el desarrollo local sostenible en ciudades como Mérida, Venezuela. Basada en el concepto de metabolismo urbano, que concibe a la ciudad como un sistema complejo con flujos de recursos y energía, la metodología permite una evaluación integral de la eficiencia y resiliencia de diversas infraestructuras. La adaptación de esta metodología para el ámbito de pregrado demostró su versatilidad, extendiendo su aplicación más allá de los drenajes urbanos para incluir sistemas como agua potable, alcantarillado, energía eléctrica, comunicaciones y gestión de residuos sólidos.

Los resultados obtenidos en las parroquias de Mérida, como El Llano, revelaron desequilibrios significativos entre la oferta y la demanda de servicios. Las propuestas de mejora derivadas de este análisis, que incluyen la ampliación de la red de fibra óptica, la redistribución de hidrantes y la implementación de sistemas inteligentes, subrayan el potencial de la metodología para generar soluciones prácticas y sostenibles. Esta investigación valida la metodología como una herramienta esencial para la toma de decisiones informadas en la planificación y gestión urbana, impulsando un desarrollo urbano local más resiliente, eficiente y sostenible.

REFERENCIAS

- Agudelo-Valeria, J., Vélez-Jaramillo, J., & Botero-Fernández, V. (2019). Sostenibilidad en proyectos de infraestructura: revisión de literatura. *Ingeniería y Desarrollo*, 37(1), 55-74.
- Atkinson, G. (2007). *Smart materials in construction: Design, manufacturing and performance*. Woodhead Publishing.
- Barles, S. (2010). Society, energy and materials: the synchronous development of industrial ecology and urban metabolism. *Journal of Industrial Ecology*, 14(1), 12-26.
- Bettencourt, L. M. A., & West, G. B. (2010). A unified theory of urban living. *Nature*, 467(7318), 912-913.
- Brand, S., & Balmford, A. (2008). Do less live longer: How the lifetime of our buildings affects climate change. *Building Research & Information*, 36(6), 627-637.
- Calderón, C., Tineo, S., Sánchez, M., & Zienedin, M. (2023). *Infraestructura Urbana - Parroquia Antonio Spinetti Dini*.
- Calderón, J. (2018). *Gestión energética en infraestructuras urbanas*. Ediciones Díaz de Santos.
- Contreras, N., Dávila, E., Lobo, A., & López, M. (2024). *Análisis de Infraestructuras Urbanas - Parroquia Domingo Peña*.
- D'Agrosa Benedito, O., Garzón Guzmán, L., Bullón Goncalves, M., & Devia Quiñones, M. (2023). *Infraestructuras Urbanas - Parroquia Mariano Picón Salas*.
- Decker, E. H., Elliott, S., Smith, F. A., Blake, D. R., & Rowland, F. S. (2000). Energy and material flow analysis of the urban ecosystem. *Annual Review of Energy and the Environment*, 25(1), 685-740.
- Eriksson, M., Karlsson, M., & Sandin, G. (2019). Environmental assessment of digital technologies in urban infrastructure systems. *Journal of Cleaner Production*, 211, 104-114.
- Ersoy, A., & Hong, Y. (2017). Sustainability assessment of urban infrastructure systems: A review. *Sustainable Cities and Society*, 31, 206-227.
- Gifford, R. (2013). *Environmental psychology: Principles and practice* (5th ed.). John Wiley & Sons.
- Gómez Mayoría, B., Hernández Parra, E., & Colmenares Guerrero, Y. (2023). *Estudio Infraestructura Urbana - Parroquia El Llano*.
- González, V. A., Botero, L. F., & Álvarez, L. M. (2018). Metodologías para la evaluación de la sostenibilidad en infraestructuras de transporte urbano: revisión de literatura. *Revista EIA*, 15(29), 29-46.
- Grimm, N. B., Grove, J. M., Pickett, S. T. A., Redman, C. L., & Zaidi, E. (2000). Integrated approaches to long-term studies of urban ecological systems. *BioScience*, 50(7), 571-584.
- Hoekstra, A. Y., & Chapagain, A. K. (2008). Globalization of water: Sharing the planet's freshwater resources. *Global Environmental Change*, 18(1), 119-127.
- Holden, M., & Scerri, A. (2006). Why urban sustainability policy fails: A complexity theory perspective. *Local Environment*, 11(5), 537-554.
- Kennedy, C., Cuddihy, J., & Engel-Yan, J. (2007). The changing metabolism of cities. *Journal of Industrial Ecology*, 11(2), 43-59.

- Laffont, J. J., & Tirole, J. (1993). A theory of incentives in procurement and regulation. MIT press.
- Mostert, E. (2012). The challenge of complex and adaptive systems. CRC Press.
- Newman, P. W. G. (1999). Sustainability and urban form. *Urban Affairs Review*, 34(6), 873-896.
- Peña, D., Flores, Y., & Moreno, Y. (2023). Enfoque Sistemático y Recorridos Urbanos - Parroquia El Sagrario, Mérida Venezuela.
- Rodríguez-Maranillo, C., Páez-Dueñas, C., & Ayuso, J. (2015). Evaluación del estado de conservación de infraestructuras de transporte existentes. *Revista de Obras Públicas*, 162(3573), 95-104.
- Rojo de Rangel, M. A. (2023). La Evolución Tecnológica y la Planificación de Drenajes Sostenibles como Herramientas para Mejorar el Metabolismo de las Ciudades desde la Perspectiva de la Infraestructura Crítica. Caso de Estudio: Área de Valor Tradicional (AVT-1) Municipio Libertador, Estado Mérida.
- Shah, K. W. (2018). Sustainable construction and building materials. Springer.
- Tyler, T., & Moench, M. (2012). A framework for urban climate resilience. *Climate and Development*, 4(1), 13-32.