



**DISEÑO DE UN SISTEMA DE TELEGESTIÓN MEDIANTE LA
INFRAESTRUCTURA DEL SERVICIO DE ALUMBRADO PÚBLICO PARA LA
GESTIÓN DE CIUDADES INTELIGENTES EN EL ÁREA METROPOLITANA DEL
VALLE DE ABURRÁ**

Juan Pablo Bolívar Carmona

Trabajo de Grado de Maestría

Directora

Ana Maria Ortega Alvarez

Universidad EAFIT

Maestría en Administración – MBA

Medellín

2025

Tabla de contenido

RESUMEN	6
ABSTRACT	7
1. INTRODUCCIÓN	8
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	10
2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	10
2.2. ANÁLISIS CONTEXTUAL.....	11
2.2.1. Inseguridad	11
2.2.2. Movilidad	12
2.2.3. Manejo de residuos.....	12
2.2.4. Contaminación ambiental	13
2.2.5. Falta de iluminación	14
2.3. ANÁLISIS DE ANTECEDENTES	14
2.3.1. Antecedentes en temas de inseguridad	14
2.3.2. Antecedentes en medio ambiente	15
2.3.3. Antecedentes en movilidad	16
2.3.4. Antecedentes en desechos sólidos	16
2.3.5. Antecedentes iluminación	17
3. JUSTIFICACIÓN.....	19
4. OBJETIVOS.....	20
4.1. OBJETIVO GENERAL	20
4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
5. ESTADO DEL ARTE	21
5.1. SISTEMAS DE TELEGESTIÓN EN EUROPA	21
5.1.1. España	21
5.1.2. Dinamarca.....	24
5.1.3. Portugal.....	25
5.1.4. Francia	26
5.2. SISTEMAS DE TELEGESTIÓN EN ESTADOS UNIDOS.....	27
5.3. SISTEMAS DE TELEGESTIÓN EN ASIA	27
5.4. SISTEMAS DE TELEGESTIÓN EN AMÉRICA LATINA	28
6. MARCO TEÓRICO	32
6.1. TIPOS DE MODELOS PARA CREAR CIUDADES INTELIGENTES	34
6.1.1. Modelo de ciudad inteligente basado en TIC (Tecnologías de la Información y la Comunicación).....	34
6.1.2. Modelo de ciudad sostenible	34
6.1.3. Modelo de ciudad centrada en el ciudadano	34
6.1.4. Modelo de ciudad resiliente	35
6.1.5. Modelo de ciudad conectada	35
7. MARCO CONCEPTUAL.....	36
8. DISEÑO METODOLÓGICO	38

8.1.	FASES EN LA IMPLEMENTACIÓN DEL ESTUDIO	38
9.	RESULTADOS	42
9.1.	RESULTADOS DE LAS ENTREVISTAS	42
9.2.	DISEÑO DEL SISTEMA DE TELEGESTIÓN A TRAVÉS DEL ALUMBRADO PÚBLICO PARA CIUDADES INTELIGENTES EN EL VALLE DE ABURRÁ.....	45
9.3.	DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO	48
9.3.1.	Definición del alcance	49
9.3.2.	Cronograma del proyecto	49
9.3.3.	Asignación de recursos.....	50
9.3.4.	Análisis de riesgos	50
9.3.5.	Definición de KPIs.....	50
9.4.	FASES DE IMPLEMENTACIÓN POS-DISEÑO	51
9.4.1.	Instalación de nodos inteligentes o fotoceldas inteligentes	51
9.4.2.	Implementación de la infraestructura de conectividad.....	52
9.4.3.	Implementación de la plataforma de ciudad inteligente.....	52
9.4.4.	Migración de datos	52
9.4.5.	Pruebas de integración	53
9.5.	RESULTADOS ESPERADOS EN LA ETAPA DE IMPLEMENTACIÓN (POS-DISEÑO).....	54
9.5.1.	Resultados técnicos	54
9.5.2.	Resultados de Innovación y Desarrollo	54
9.5.3.	Resultados operación y mantenimiento.....	55
9.5.4.	Resultados de monitoreo y evaluación	55
10.	CONCLUSIONES.....	56
11.	REFERENCIAS.....	58
12.	ANEXOS	63
12.1.	ANEXO 1. DISEÑO DE LAS ENTREVISTAS.....	63
12.2.	ANEXO 2. FOTOS DE LAS ENTREVISTAS	65

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Ciudades con sistemas de telegestión en alumbrado público en el mundo.....</i>	<i>30</i>
--	-----------

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Problemáticas urbanas e impactos en el Valle de Aburrá.....</i>	<i>11</i>
<i>Figura 2. Ilustración de una ciudad inteligente con énfasis en el sistema de alumbrado público</i>	<i>48</i>
<i>Figura 3. Fases de diseño y planificación del proyecto</i>	<i>51</i>
<i>Figura 4. Fases de implementación pos-diseño y su nivel actual de implementación</i>	<i>53</i>
<i>Figura 5. Foto entrevista: Simón Arango Velásquez</i>	<i>65</i>
<i>Figura 6. Foto entrevista: Diana María Ochoa Henao</i>	<i>66</i>
<i>Figura 7. Foto entrevista: Carlos Daniel Ruiz</i>	<i>66</i>
<i>Figura 8. Foto entrevista: Juan Carlos Sosa Giraldo</i>	<i>67</i>

RESUMEN

Este trabajo tiene como objetivo principal el diseño de un sistema de telegestión mediante el servicio de alumbrado público, el cual se orienta hacia la gestión de ciudades inteligentes en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Partiendo de aquí, se establecen tres objetivos específicos que guían la investigación. En primer lugar, se examinan las nuevas tecnologías aplicadas al sistema de alumbrado público, evaluando su potencial para abordar las diversas problemáticas urbanas de la región. Este análisis incluye la identificación de tecnologías como sensores inteligentes, sistemas de control automatizados y plataformas de análisis de datos que permiten una gestión más eficiente del servicio.

En segundo lugar, se lleva a cabo una evaluación crítica de los mecanismos disponibles en el mercado, centrándose en la integración de dispositivos mediante sistemas de telegestión. De este modo, se estudia en profundidad cómo estas tecnologías pueden mejorar la operación y el mantenimiento del alumbrado público, así como facilitar el monitoreo en tiempo real y optimizar el consumo energético.

Finalmente, se formula un plan estratégico de Telegestión que fomenta la colaboración entre las diferentes dependencias públicas involucradas. Este plan pretende instaurar un marco para la toma de decisiones en tiempo real, garantizando una respuesta ágil ante situaciones críticas y mejorando la calidad de vida de los ciudadanos. En suma, el trabajo propone un enfoque integral que busca transformar el alumbrado público en una herramienta clave para el desarrollo de un área metropolitana más sostenible e inteligente.

Palabras clave: Sistemas de telegestión, Servicio de alumbrado público, Gestión de ciudades inteligentes, Nuevas tecnologías, Valle del Aburrá.

ABSTRACT

This work primarily aims to design a remote management system for the public lighting service, which is oriented toward the management of smart cities in the Metropolitan Area of the Aburrá Valley. From this starting point, three specific objectives are established to guide the research.

First, new technologies applied to public lighting systems are examined, evaluating their potential to address the various urban issues in the region. This analysis includes identifying technologies such as smart sensors, automated control systems, and data analysis platforms that enable more efficient service management.

Second, a critical evaluation of the mechanisms available in the market is carried out, focusing on the integration of devices through remote management systems. In this way, the study explores in depth how these technologies can improve the operation and maintenance of public lighting, as well as facilitate real-time monitoring and optimize energy consumption.

Finally, a strategic remote management plan is formulated that promotes collaboration among the different public agencies involved. This plan aims to establish a framework for real-time decision-making, ensuring a swift response to critical situations and improving citizens' quality of life.

In summary, this work proposes a comprehensive approach that seeks to transform public lighting into a key tool for the development of a more sustainable and intelligent metropolitan area.

Keywords: Remote management systems, Public lighting service, Smart city management, New technologies, Valle del Aburrá.

1. INTRODUCCIÓN

En las décadas más recientes, el concepto de ciudades inteligentes ha surgido como una respuesta a los retos que enfrentan las zonas urbanas en términos de sostenibilidad, eficiencia energética, seguridad y calidad de vida. En este contexto, la integración de tecnologías avanzadas en la gestión de los servicios públicos se ha convertido en una prioridad para mejorar la operatividad, reducir costos y mitigar el impacto ambiental. En lo que concierne al servicio de alumbrado público en particular, este representa un aspecto clave para la aplicación de soluciones innovadoras debido a su relevancia en el consumo energético y su papel en la seguridad ciudadana (López, 2020).

Precisamente, el Valle de Aburrá se posiciona como una de las áreas metropolitanas con mayor dinamismo de Colombia, por lo que enfrenta desafíos relacionados con el crecimiento poblacional y expansión urbana, lo cual implica la necesidad de modernizar sus estructuras para garantizar una gestión eficiente y sostenible de los recursos. De esta forma, la implementación de un sistema de telegestión para el alumbrado público surge como una oportunidad estratégica para optimizar la administración de este servicio y contribuir al desarrollo de una ciudad más inteligente (Gómez & Pérez, 2021).

Por ende, este trabajo de grado se enfoca en el diseño de un sistema de telegestión del servicio de alumbrado público con el propósito de facilitar la gestión integral de la infraestructura lumínica en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. El sistema propuesto permite no sólo un monitoreo y control remoto eficiente, sino una gestión proactiva basada en el análisis de datos en tiempo real de tal modo que posibilite la reducción del consumo energético, la mejora de la calidad del servicio y la disminución de los costos operativos. Asimismo, se busca que el sistema sea escalable y adaptable a otras áreas de la ciudad, alineándose con las metas de sostenibilidad y eficiencia que definen el desarrollo de las ciudades inteligentes.

Por último, este proyecto también tiene como objetivo contribuir al fortalecimiento de la infraestructura tecnológica en la región, promoviendo un uso más inteligente de los

recursos y mejorando la calidad de vida de los habitantes mediante la implementación de soluciones innovado.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

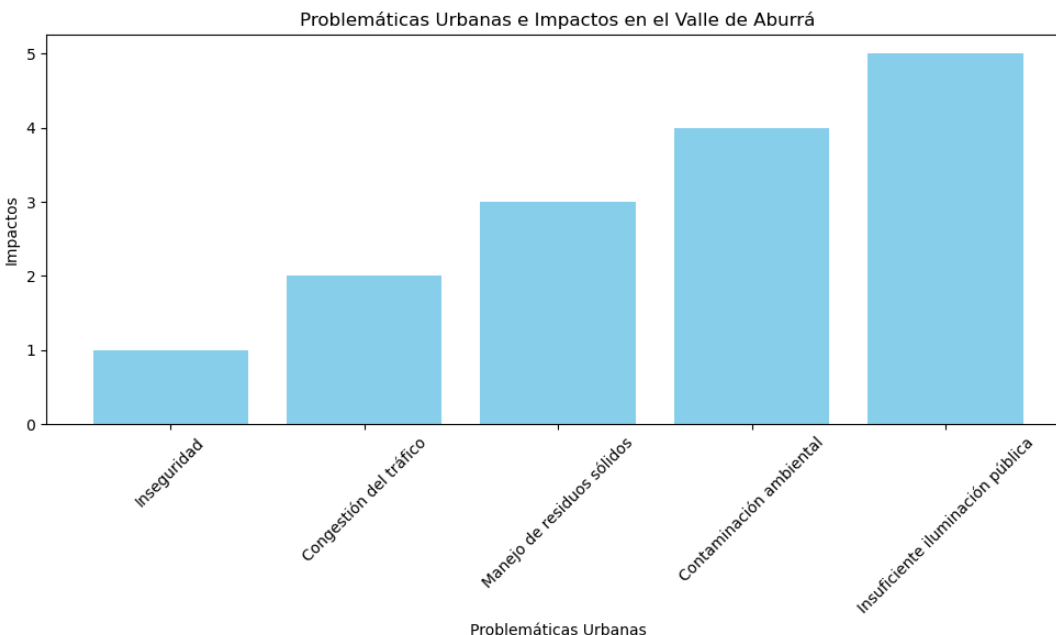
Actualmente, el Área Metropolitana del Valle de Aburrá enfrenta una serie de problemáticas urbanas relacionadas con el incremento de la inseguridad, la congestión vehicular, el aumento de residuos sólidos, la contaminación ambiental y la deficiente infraestructura de alumbrado público. En su conjunto, dichas problemáticas no sólo deterioran la calidad de vida de los habitantes, sino que presentan desafíos significativos para el desarrollo sostenible de la región (Martínez & Gómez, 2022):

- Inseguridad: el incremento en los índices de criminalidad ha generado un clima de temor entre los residentes y ha impactado negativamente el desarrollo económico y social.
- Congestión del tráfico: aumenta el tiempo de desplazamiento, reduce la productividad y contribuye a la contaminación del aire, exacerbando problemas de salud pública.
- Residuos sólidos: el aumento de la población y el consumo conlleva a una mayor generación de basura. Si esta no es gestionada adecuadamente, puede afectar los ecosistemas locales y la salud de la comunidad.
- Contaminación ambiental: incluye la polución de ríos, el aire y los suelos, poniendo en riesgo la biodiversidad y la disponibilidad de recursos naturales (Rodríguez & Sánchez, 2023).
- Alumbrado público insuficiente: agrava la sensación de inseguridad y dificulta las actividades nocturnas, afectando tanto la vida cotidiana de los habitantes como el comercio local. Además, una infraestructura de iluminación inadecuada puede incrementar los accidentes y reducir la movilidad segura en horas de la noche.

En suma, la resolución oportuna de cada una de estas problemáticas es esencial para mejorar la calidad de vida en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá y garantizar un desarrollo sostenible a largo plazo. De este modo, se requieren políticas públicas

efectivas, inversiones en infraestructura, así como la colaboración entre el sector público y privado para implementar soluciones innovadoras y sostenibles que puedan mitigar estos problemas y promover un entorno urbano más seguro y habitable para todos.

Figura 1. Problemáticas urbanas e impactos en el Valle de Aburrá



Nota. Adaptado de *Problemáticas urbanas en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá: Impactos y soluciones*. Fuente: *Problemáticas urbanas en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá: Impactos y soluciones* (p. 85-102), por M. E. Rodríguez y J. P. Sánchez, 2023, Revista de Desarrollo Urbano y Sostenibilidad.

2.2. ANÁLISIS CONTEXTUAL

Una vez identificadas cada una de las cinco áreas críticas que requieren atención prioritaria, se lleva a cabo un análisis contextual que permita reconocer en profundidad sus principales características:

2.2.1. Inseguridad

La inseguridad se ha convertido en una preocupación primordial para los residentes del Área Metropolitana del Valle de la Aburrá, debido a que los ciudadanos se sienten cada vez más inseguros (Medellín Como Vamos, 2023).

En este caso, si bien el Área Metropolitana del Valle de Aburrá crece (a nivel demográfico, económico y político) como un ejemplo de una ciudad exitosa, es evidente que también se posiciona como una de las ciudades más peligrosas del mundo por el aumento de los índices de criminalidad (robos, asaltos, microextorsión, tráfico de drogas y armas entre otras actividades propias del crimen organizado transnacional) (Patiño Villa, 2015).

Estos fenómenos no sólo afectan la calidad de vida de los habitantes (generando un clima de miedo e incertidumbre), sino que tiene repercusiones económicas y sociales, limitando la inversión y el desarrollo comunitario.

Frente a estas circunstancias, es preciso implementar estrategias integrales de seguridad como el fortalecimiento de la policía comunitaria, el aumento de la vigilancia y la promoción de programas de prevención del delito.

2.2.2. Movilidad

En cuanto al tema de movilidad, existe un desafío significativo. La congestión del tráfico es una constante en las principales arterias viales, lo cual resulta tiempos de desplazamiento más largos y una pérdida de productividad. Este problema se ve agravado por una infraestructura vial insuficiente y un sistema de transporte público que necesita mejoras urgentes. Por consiguiente, la adopción de soluciones como el desarrollo de sistemas de transporte masivo eficientes, la promoción de medios de transporte alternativos (bicicletas, scooters eléctricos) y la mejora de la infraestructura vial puede contribuir a aliviar la congestión y mejorar la movilidad en la región.

Precisamente, no sorprende que los problemas en la movilidad sean una de las preocupaciones más grandes para la ciudadanía pues, Medellín, a pesar de su encanto, se ve cada vez más obstaculizada por el caos vial y las limitaciones para desplazarse con facilidad (El Colombiano, 2013).

2.2.3. Manejo de residuos

El manejo de residuos sólidos es una preocupación ambiental y sanitaria creciente. El aumento de la población y el consumo ha desembocado en una mayor

generación de desechos, lo que pone a prueba la capacidad de los sistemas de recolección y tratamiento de basura.

Al respecto, la falta de reciclaje y la disposición inadecuada de residuos pueden tener efectos devastadores en el medio ambiente y la salud pública. Por tanto, es esencial impulsar políticas de gestión de residuos más efectivas, incluyendo programas de reciclaje y compostaje, así como campañas educativas para fomentar prácticas sostenibles entre los ciudadanos y por supuesto implementación de nuevos desarrollos tecnológicos.

A propósito, se han identificado 2.200 puntos críticos en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá donde se acopian basuras de forma desordenada y sin ningún tipo de control, según reveló Carlos Fernando Borja, gerente de Empresas Varias (El Colombiano, 2022).

2.2.4. Contaminación ambiental

La contaminación ambiental en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá abarca la polución del aire, agua y suelo. En este sentido, las emisiones industriales, el tráfico vehicular y la deforestación contribuyen significativamente a la degradación ambiental.

Sin embargo, la contaminación del aire se ubica como una realidad preocupante, dado su impacto directo en la salud respiratoria de la población. En este ámbito es necesario planificar políticas ambientales rigurosas, promover el uso de tecnologías limpias y fortalecer la regulación y control de las actividades industriales para mitigar este problema.

Por su parte, es de suma importancia subrayar que la contaminación atmosférica en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá se debe a la combinación de emisiones de contaminantes y condiciones meteorológicas adversas, es decir, se trata de un valle estrecho rodeado por montañas que dificultan la circulación de los vientos. Allí, los contaminantes ascienden con el aire gracias a la radiación solar que calienta la superficie y la parte baja de la atmósfera. Una vez estos superan la altura de las montañas que los circundan, los vientos los arrastran fuera del territorio (Loaiza López & Calle Montoya, 2021).

2.2.5. Falta de iluminación

La falta de iluminación adecuada en áreas urbanas y suburbanas incrementa la percepción de inseguridad y limita las actividades nocturnas, afectando tanto a la vida social como al comercio local. La insuficiente iluminación también puede provocar un aumento en los accidentes viales y peatonales durante la noche. Para abordar esta cuestión, se requiere una inversión en infraestructura de iluminación pública con el uso de tecnologías eficientes como las luces LED, que no sólo mejoran la visibilidad y la seguridad, sino por su carácter sostenible desde el punto de vista energético (García & Torres, 2024).

Finalmente, el Área Metropolitana del Valle de Aburrá enfrenta desafíos significativos en términos de inseguridad, movilidad, manejo de residuos, contaminación ambiental y falta de iluminación. Abordar estas problemáticas de manera integral y sostenida es esencial para mejorar la calidad de vida de los habitantes y garantizar un desarrollo urbano sostenible. La colaboración entre el gobierno, el sector privado y la comunidad es clave para implementar soluciones efectivas y duraderas (López & Ramírez, 2025).

2.3. ANÁLISIS DE ANTECEDENTES

Para obtener una mirada integral de las problemáticas que afectan el Área Metropolitana del Valle de la Aburrá, se debe definir cada una de las variables que intervienen en su desarrollo

2.3.1. Antecedentes en temas de inseguridad

Crecimiento urbano rápido: la urbanización acelerada sin una planificación adecuada puede llevar a la formación de barrios marginales donde la falta de servicios básicos y oportunidades económicas fomenta la criminalidad.

Desigualdad social: la brecha entre ricos y pobres en las áreas metropolitanas puede aumentar la delincuencia, ya que la falta de oportunidades y el desempleo generalizado pueden contribuir a la aparición de actividades delictivas.

Pandillas y crimen organizado: la presencia de pandillas y grupos de crimen organizado es una fuente importante de violencia y criminalidad en muchas áreas metropolitanas.

Algunos problemas actuales: altas tasas de homicidios y robos, violencia de pandillas y tráfico de drogas.

Es importante mencionar que, durante las décadas de 1980 y 1990, el Área Metropolitana del Valle de la Aburrá fue conocida como una de las ciudades más peligrosas del mundo debido a la violencia asociada al narcotráfico y al crimen organizado (Patiño Villa, 2015).

2.3.2. Antecedentes en medio ambiente

Industrialización: la concentración de industrias en áreas metropolitanas ha contribuido significativamente a la contaminación del aire y del agua.

Crecimiento poblacional: el aumento de la población urbana incrementa la demanda de recursos naturales, lo que genera más residuos y emisiones contaminantes.

Algunos Problemas actuales

Contaminación del aire: principalmente por emisiones de vehículos y fábricas.

Contaminación del agua: a través de descargas industriales y residuos no tratados.

Calidad del suelo: la urbanización descontrolada y el uso de pesticidas afectan la calidad del suelo.

Es importante saber que, como antecedente de nuestra región, la contaminación ambiental se inició en América del Sur 240 años antes de la Revolución Industrial. En un bloque de hielo a gran altitud en el glaciar Quelccaya de los Andes peruanos, ha aparecido la evidencia más temprana de contaminación atmosférica a gran escala debida

a actividades humanas. Se produjo alrededor del año 1540, durante la colonización española, con el auge de la producción de plata (Uglietti, 2015).

2.3.3. Antecedentes en movilidad

Expansión urbana: el crecimiento de las ciudades hacia las periferias aumenta la necesidad de transporte eficiente.

Inversión Insuficiente: históricamente, muchas áreas metropolitanas no han invertido lo suficiente en infraestructura de transporte público.

Algunos Problemas actuales

Congestión del tráfico: grandes volúmenes de vehículos privados contribuyen a embotellamientos.

Transporte público deficiente: muchas ciudades enfrentan problemas con sistemas de transporte público inadecuados y mal mantenidos.

Falta de infraestructura para bicicletas y peatones.

Si se efectúa un análisis de esta problemática teniendo en cuenta experiencias internacionales, surgen patrones comunes a las grandes ciudades en desarrollo alrededor del mundo en cuestiones asociadas a los tiempos empleados en viajes, pues los destinos accesibles están aumentando sus períodos de duración. Por ejemplo, el tiempo promedio de un viaje diario en un solo sentido en Río de Janeiro es de 90 minutos, mientras que en Bogotá es de 60 minutos. Por su parte, la velocidad vehicular promedio en Manila es de siete millas por hora. Al mismo tiempo, el tiempo que pasa detenido en el tráfico un auto en Bangkok equivalente a 44 días al año (Gakenheime, 1998).

2.3.4. Antecedentes en desechos sólidos

Crecimiento de la población: más personas generan más residuos.

Falta de sistemas de gestión: muchas ciudades no tienen sistemas eficaces de recolección y tratamiento de residuos.

Algunos problemas actuales

Acumulación de basura: la recolección insuficiente puede llevar a la acumulación de desechos en las calles.

Vertederos inadecuados: la falta de vertederos adecuados y sistemas de reciclaje.

Contaminación: los residuos no gestionados adecuadamente pueden contaminar el suelo y el agua (Pérez & Martínez, 2025).

En cuanto a este aspecto, es de señalar que, durante la década de los años sesenta, la basura y residuos sólidos en general eran arrojados al río Medellín desde los puentes de Guayaquil y Barranquilla. En los barrios, los pobladores constituían botaderos domésticos en solares o lotes sin construir, o bien, vertían sus desechos a las quebradas que surcaban el territorio. En esta época, el incipiente servicio de aseo tenía una baja cobertura. Esta situación era similar en los restantes municipios del Valle de Aburrá, donde los residuos iban a parar a las quebradas más cercanas; incluso, hasta finales de los años ochenta y principios del decenio de 1990, gran parte de los residuos de municipios como Caldas, Barbosa, Girardota y Copacabana, se arrojaban al río Medellín (Agudelo, 2002).

2.3.5. Antecedentes iluminación

Expansión urbana: a medida que las ciudades crecen, la necesidad de infraestructura de iluminación también aumenta.

Inversión limitada: históricamente, algunas áreas metropolitanas no han priorizado la iluminación adecuada.

Algunos problemas actuales

Zonas mal iluminadas: contribuyen a la inseguridad y a la percepción de peligro.

Eficiencia energética: la necesidad de modernizar sistemas de iluminación para ser más eficientes y menos costosos.

Mantenimiento: falta de mantenimiento regular de las luminarias existentes.

Para tener un entendimiento de las circunstancias descritas, es importante considerar qué es el servicio de alumbrado público o servicio público no domiciliario de iluminación. Así, este se define como un servicio inherente al servicio de energía eléctrica, el cual se presta con el fin de dar visibilidad al espacios y bienes de carácter público y de libre circulación (ya sea con tránsito vehicular o peatonal) dentro del perímetro urbano y rural de un municipio o distrito de tal forma que permita el desarrollo normal de las actividades (López & Hernández, 2025).

En esta misma corriente, el servicio de alumbrado público también comprende las actividades de suministro de energía eléctrica al sistema de alumbrado público, la administración, operación, mantenimiento, modernización, reposición y expansión de dicho sistema, el desarrollo tecnológico asociado a él, y la interventoría en los casos que aplique (Decreto 943, 2018)

Pregunta de investigación

¿Cómo se puede gestionar en tiempo real los niveles de inseguridad, movilidad, residuos, condiciones ambientales e iluminación en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá mediante un sistema de telegestión?

3. JUSTIFICACIÓN

La implementación de un sistema de telegestión a través del servicio de alumbrado público constituye una estrategia fundamental en la medida que abre las puertas al desarrollo y la construcción integral de ciudades inteligentes multipropósito. Al respecto, esta iniciativa permite el control remoto y la gestión eficiente de la iluminación urbana entre otras variables de alto valor para el desarrollo de la ciudad como la seguridad, movilidad, manejo de residuos y medio ambiente.

Es importante reconocer que el sistema de telegestión del alumbrado público no sólo optimiza el consumo energético y reduce costos, sino que posibilita la estructuración de una base sólida para la integración de diversas tecnologías y servicios en el entorno urbano, mejorando la calidad de vida de sus habitantes, la sostenibilidad ambiental y la optimización en la gestión de los recursos.

Finalmente, el proyecto de diseño de la telegestión en el alumbrado público está enfocado en los habitantes y visitantes del Área Metropolitana del Valle de la Aburrá, ya que representa una medida de gestión eficiente de la iluminación y seguridad urbana, que impulsa una serie de beneficios tangibles para ciudadanía, al dotar a las autoridades locales de herramientas avanzadas, eficientes y tecnológicas de control y monitoreo remoto de la red de alumbrado, que consolidan un modelo de consumo energético sustentable y sostenible que repercute en la reducción de costos y el bienestar global de los ciudadanos.

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar una solución de telegestión a través del servicio de alumbrado público para la gestión integral de ciudades inteligentes en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar las nuevas tecnologías incorporadas al alumbrado público a nivel mundial, que permiten gestionar diversas problemáticas urbanas y que sean aplicables en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá.
- Evaluar cada uno de los mecanismos que ofrece el mercado, respecto a la integración de dispositivos a través de la telegestión del alumbrado público para el desarrollo de ciudades inteligentes.
- Formular células o equipos de trabajo que permitan abordar el problema desde las diferentes áreas del conocimiento.

5. ESTADO DEL ARTE

La telegestión del alumbrado público implica el control y monitoreo remoto de las luminarias, lo que posibilita la realización de tareas como ajustar la intensidad de la luz, detectar fallos y optimizar el consumo energético. En este sentido, este tipo de sistemas utilizan tecnologías basadas en IoT y redes de comunicación para mejorar la eficiencia y reducir costos, por lo que las ciudades inteligentes integran la telegestión del alumbrado público como parte de su infraestructura tecnológica para mejorar la calidad de vida de los ciudadanos. Por ejemplo, ciudades como Singapur y Copenhague han implementado los sistemas de telegestión del alumbrado público para priorizar la sostenibilidad y la eficiencia energética.

5.1. SISTEMAS DE TELEGESTIÓN EN EUROPA

5.1.1. España

En Palencia, la adopción de CityTouch (una plataforma de telegestión desarrollada por Philips Lighting) ha permitido la renovación de un tercio de su instalación de alumbrado público con el reemplazo de 3,139 puntos de luz a tecnología LED, todos ellos telegestionados. Este cambio ha contribuido a un ahorro energético del 70% y ahorro económico de 2 millones de euros. Además, la ciudad ha avanzado significativamente en sus objetivos medioambientales gracias a la eficiencia energética proporcionada por el sistema (Philips Lighting, 2016).

Por su parte, Barcelona se ha consolidado como una de las ciudades más inteligentes del mundo debido a su apuesta por la tecnología, la sostenibilidad y la mejora de la calidad de vida de sus habitantes. La ciudad ha implementado sensores distribuidos por toda la ciudad para controlar el tráfico, el consumo de energía y la calidad del aire en tiempo real. Esto proporciona información vital para tomar decisiones rápidas y sustentadas para garantizar la calidad de vida de sus habitantes.

De hecho, Barcelona ha desarrollado un sistema de transporte eficiente que incluye autobuses eléctricos, bicicletas compartidas y un metro que utiliza energía 100% renovable. Además, el proyecto de las "Superilles" (Supermanzanas) crea espacios

donde el tráfico se limita para dar lugar a calles más verdes y accesibles para peatones y bicicletas.

Asimismo, la participación ciudadana se sitúa como otro aspecto destacado de Barcelona. La ciudad fomenta la participación ciudadana a través de plataformas como Decidim Barcelona, donde los ciudadanos pueden proponer ideas y votar proyectos para mejorar la ciudad, lo cual crea una conexión directa entre los ciudadanos y las decisiones de gobierno.

En cuanto a la gestión de residuos, Barcelona ha instaurado soluciones tecnológicas como sensores en los contenedores que indican cuándo deben ser vaciados. Esto optimiza la recolección de residuos y reduce el impacto ambiental. Además, el Distrito 22@ se ha posicionado como un espacio tecnológico de referencia, creando alrededor de 47,000 puestos de trabajo mediante la implementación del Internet de las Cosas (IoT). Este distrito es un ejemplo de cómo la tecnología puede impulsar el desarrollo económico y social (Business Insider, 2018).

Finalmente, Barcelona también utiliza sistemas de telegestión para el alumbrado público, lo que permite controlar y monitorear remotamente la iluminación de las calles, optimizando el consumo energético y mejorando la seguridad.

Por otro lado, Santiago de Compostela ha avanzado significativamente hacia su objetivo de convertirse en una ciudad inteligente mediante la modernización del alumbrado público en colaboración con Ferrovial y Endesa X. Este proyecto incluye la digitalización del alumbrado público, lo que permite controlar y monitorear remotamente la iluminación de las calles, optimizando el consumo energético y mejorando la seguridad mediante la instalación de más de 10,000 nodos con conectividad NB-IoT en las luminarias del municipio.

En líneas generales, estos nodos recopilan datos sobre el funcionamiento de las luminarias y envían esta información a una plataforma central para análisis y gestión avanzada, por lo que es posible:

- Gestionar las luces de forma remota.
- Encenderlas o apagarlas según la necesidad.

- Supervisar y regular el sistema de iluminación para una eficiencia óptima.

Gracias a esta sistema de telegestión, se ha simplificado la monitorización del consumo y la capacidad de actuar ante desviaciones injustificadas, así como el control y mantenimiento de las luminarias con una instalación plug & play, pues cada una está equipada con un GPS que facilita la aceleración de las reparaciones sin necesidad de encender todo el sistema y proporciona información precisa sobre los horarios exactos de orto y ocaso, permitiendo así la programación precisa para encender y apagar las luminarias. Además, la tecnología NB-IoT permite ajustar la intensidad lumínica del panel de LEDs según el momento de la noche o ante un evento concreto. Este sistema cuenta con la certificación ECO Smart de Telefónica, verificada por AENOR, de modo que reduce la contaminación lumínica sufrida en entornos urbanos, mejora la satisfacción ciudadana, no interfiere en el ecosistema y contribuye a la eficiencia energética y económica del alumbrado público (Telefónica Tech, 2023).

Por último aparece la ciudad de Cádiz con un sistema de telegestión del alumbrado público en 30 municipios, lo que ha favorecido la optimización del consumo energético y el mejoramiento de la calidad del servicio. Este proyecto, desarrollado por Sinapse Energía en colaboración con la Fundación Medio Ambiente, Energía y Sostenibilidad de la Diputación de Cádiz, ha transformado la gestión del alumbrado público mediante tecnologías inalámbricas. La telegestión en Cádiz se caracteriza por una interfaz con la capacidad para ajustar los niveles de iluminación según las necesidades de cada momento, lo que contribuye a la sostenibilidad y eficiencia urbana. De la misma forma, el sistema incluye la trazabilidad de cada equipo, lo que facilita el seguimiento exhaustivo de la instalación, funcionamiento y estado de las luminarias. Este enfoque ha permitido reducir el consumo energético y las emisiones de CO₂, alineándose con los objetivos medioambientales de la región.

Precisamente, la Estrategia de Territorio Inteligente de la provincia de Cádiz, liderada por la Diputación de Cádiz, aborda la transformación digital del territorio mediante la adopción de la innovación y la tecnología como impulsores de una economía más competitiva y un entorno más sostenible. Esta estrategia se centra en cuatro dimensiones: las personas, la economía, la digitalización y la sostenibilidad del entorno,

por lo que la implementación de políticas y programas en estas áreas ha establecido una dirección clara para avanzar hacia una provincia más próspera y capaz de afrontar los grandes desafíos globales, incluyendo los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas (Sinapse Energía, 2016).

5.1.2. Dinamarca

Copenhague, la capital de Dinamarca, no es ajena al desarrollo de sistemas de telegestión, dado que ha sido reconocida por distintos organismos internacionales como una ciudad que se encuentra a la vanguardia de las ciudades inteligentes y sustentables en Europa. La ciudad ha implementado diversas tecnologías para mejorar la calidad de vida de sus habitantes y promover la sostenibilidad en áreas como

- Movilidad urbana: un sistemas de bicicletas compartidad para el desplazamiento eficiente y sostenible de los ciudadanos.
- Gestión de residuos: sensores en los contenedores que indican cuándo deben ser vaciados.
- Eficiencia energética: telegestión del alumbrado público para controlar y monitorear remotamente la iluminación de las calles, optimizando el consumo energético y mejorando la seguridad.

El proyecto "Copenhague Solutions Lab" es una incubadora para proyectos e innovadores en la ciudad. Esta organización se encarga de acelerar el crecimiento y asegurar el éxito de proyectos emprendedores de la que han surgido iniciativas como el laboratorio de Big Data de Hitachi y la colaboración con Cisco para desarrollar y probar las posibilidades del Internet de las Cosas. Además, el proyecto "Copenhague Connecting" permite comprar, vender y compartir datos entre ciudadanos, instituciones públicas y organizaciones privadas, convirtiéndose en una de las primeras plataformas de venta de datos tanto privados como públicos a nivel de ciudad.

Copenhague también se ha destacado por su enfoque en la felicidad y la sostenibilidad. La ciudad ha liderado el ranking del Informe Mundial de la Felicidad, que recopila datos de encuestas globales en más de 150 países. En este sentido, la combinación de soluciones inteligentes, tecnológicas y un enfoque en la calidad de vida

ha convertido a Copenhague en un lugar único. Además, el gobierno nacional (en colaboración con los distritos locales) ha impulsado un modelo ejemplar de ciudad inteligente y sostenible con el objetivo de convertir a Copenhague en la primera ciudad libre de emisiones de CO2 del entorno (Levy, 2018).

5.1.3. Portugal

En este país sobresale la ciudad de Almada, que ha adelantado iniciativas exitosas en el ámbito de la telegestión y las ciudades inteligentes. Por ejemplo, posee un sistema de iluminación inteligente que ajusta la intensidad de las farolas según la presencia de peatones y vehículos. Estas farolas también están equipadas con sensores que recopilan datos sobre la calidad del aire y el ruido ambiental, contribuyendo no sólo a la reducción del consumo energético, sino que garantiza un entorno más saludable y seguro que mejora la calidad de vida de sus ciudadanos. Por otra parte, la ciudad ha desarrollado un :

- Sistema de gestión de residuos inteligente que utiliza sensores para monitorear el llenado de los contenedores y optimizar las rutas de recolección. Este sistema ha mejorado la eficiencia y reducido los costos operativos, contribuyendo a una gestión más sostenible de los residuos.
- Sistema de movilidad sostenible que incluye autobuses eléctricos y estaciones de carga, así como un sistema de gestión de tráfico que utiliza sensores y cámaras para monitorear y controlar el flujo vehicular en tiempo real, reduciendo los atascos y mejorando la eficiencia del transporte urbano (SmartCityCluster, 2024).

En cuanto a la gestión de residuos, Almada ha adoptado un enfoque innovador que utiliza sensores para monitorear el llenado de los contenedores de basura. Esto permite optimizar las rutas de recolección, reduciendo los costos operativos y minimizando el impacto ambiental. Este sistema aumenta la eficiencia de la recolección de residuos y permite una ciudad más limpia y ordenada (SmartCityCluster, 2024).

A su vez, la movilidad sostenible es otro aspecto clave en la estrategia de Almada. La ciudad ha introducido autobuses eléctricos y estaciones de carga para promover el

uso de vehículos ecológicos. Además, el sistema de gestión de tráfico utiliza tecnología avanzada para monitorear y controlar el flujo vehicular en tiempo real, lo que ayuda a reducir los atascos y mejorar la eficiencia del transporte urbano. Por tanto, existe un beneficio tangible en el ámbito del medio ambiente y posibilita una mejor experiencia de los ciudadanos al desplazarse por la ciudad.

Finalmente, la plataforma de datos abiertos de Almada permite a los ciudadanos acceder a información detallada sobre diversos aspectos de la ciudad como el tráfico, el consumo de energía y la calidad del aire. Esta plataforma fomenta la transparencia y la participación ciudadana, ofreciendo datos de interés para los residentes y promoviendo su participación activa en la toma de decisiones. Del mismo modo, la disponibilidad de datos abiertos facilita la colaboración entre diferentes sectores y promueve la innovación en la gestión urbana (SmartCityCluster, 2024).

5.1.4. Francia

La ciudad de Clermont-Ferrand presenta un sistema destacado de iluminación inteligente que ajusta la intensidad de las farolas según la presencia de peatones y vehículos. Estas farolas están equipadas con sensores que recopilan datos sobre la calidad del aire y el ruido ambiental, contribuyendo a un entorno más saludable y seguro. Además, la ciudad ha desarrollado un sistema de gestión de residuos inteligente que utiliza sensores para monitorear el llenado de los contenedores y optimizar las rutas de recolección. Este sistema ha mejorado la eficiencia y reducido los costos operativos, contribuyendo a una gestión más sostenible de los residuos.

Clermont-Ferrand también ha implementado un sistema de movilidad sostenible que incluye autobuses eléctricos y estaciones de carga, así como un sistema de gestión de tráfico que utiliza tecnología avanzada para monitorear y controlar el flujo vehicular en tiempo real, el cual ha permitido una disminución de los atascos y optimizando la prestación del servicio de transporte urbano. Por último, la ciudad ha instaurado una plataforma de datos abiertos similar a la utilizada Almada con el propósito de replicar sus beneficios y aplicabilidad en el fortalecimiento de la calidad de vida de sus residentes (SmartCityCluster, 2024).

5.2. SISTEMAS DE TELEGESTIÓN EN ESTADOS UNIDOS

Los Ángeles, ha realizado avances considerables en el ámbito de la telegestión y las ciudades inteligentes con la ejecución de un:

- Sistema de gestión del tráfico que utiliza sensores y cámaras para monitorear y controlar el flujo vehicular en tiempo real.
- Sistema de farolas inteligentes que ajustan su intensidad de acuerdo con el nivel de actividad peatonal o vehicular presente en las zonas donde están instaladas.
- Sistema de datos abiertos con información sobre el tráfico, el consumo de energía y la calidad del aire.
- Sistema de gestión de residuos inteligente que utiliza sensores para tener una perspectiva global del desempeño de los contenedores y acciones puntuales para asegurar su eficiencia (SmartCityCluster, 2024).

5.3. SISTEMAS DE TELEGESTIÓN EN ASIA

Singapur es otro ejemplo destacado de ciudad inteligente y sostenible mediante proyectos innovadores que han impulsado significativamente la calidad de vida de sus ciudadanos y la eficiencia de sus servicios urbanos.

Al respecto, se ha desarrollado un sistema de movilidad inteligente que incluye la gestión eficiente del tráfico y el transporte público utilizando tecnologías como IoT y análisis de datos, por lo que es posible monitorear y controlar el flujo de vehículos en tiempo real, lo que ha contribuido a la reducción de la congestión vehicular y el mejoramiento de la eficiencia del transporte. Además, el sistema de transporte público está altamente integrado de tal modo que los ciudadanos pueden planificar sus viajes de manera más efectiva y reducir los tiempos de espera.

Al mismo tiempo, la gestión energética en Singapur es otro aspecto clave de su infraestructura inteligente. La ciudad ha integrado diversas tecnologías inteligentes en su infraestructura urbana como el proyecto "Smart Nation", el cual incluye sensores, redes de comunicación y plataformas de análisis de datos que facilitan:

- La reducción de costos a través de la optimización del consumo de energía de los sistemas de iluminación en edificios y alumbrado público con acciones como el ajuste de la intensidad de la luz y detección de fallos
- La sostenibilidad ambiental con la implementación de energías renovables como redes fotovoltaicas (Andina Link, 2018).
- El manejo de los recursos naturales con el monitoreo el uso del agua, la calidad del aire y el tráfico, proporcionando datos en tiempo real que ayudan a los responsables de la toma de decisiones a gestionar los recursos de manera más efectiva (Levy, 2018).

5.4. SISTEMAS DE TELEGESTIÓN EN AMÉRICA LATINA

En lo que concierne a estudios adelantados para evaluar y planificar la ejecución de sistemas de telegestión en América Latina, se han realizado diagnósticos en Pullcapa (Perú) y la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil (Ecuador) con propuestas concretas para el mejoramiento del sistema de alumbrado público y el desarrollo de un sistema inteligente de gestión de alumbrado público en su campus respectivamente. Precisamente, la telegestión del alumbrado público puede reducir el consumo energético hasta en un 70%, por lo que se convierte en una opción pertinente para la gestión de recursos energéticos teniendo en cuenta que, en América Latina, más de 22 millones de puntos de luz instalados en parques municipales consumen aproximadamente el 4.3% de la electricidad total del país.

A su vez, los documentos técnicos sobre telegestión incluyen diagramas y tablas que detallan la estructura y funcionamiento de estos sistemas. Por ejemplo, el manual de alumbrado público de Bucaramanga presenta figuras sobre las etapas de un proyecto de alumbrado público y la distribución del alumbrado en la ciudad. No obstante, la

implementación de sistemas de telegestión enfrenta desafíos como la necesidad de infraestructura adecuada y la resistencia al cambio a pesar de que sus beneficios incluyen una mayor eficiencia energética, reducción de costos y mejora en la calidad del servicio (Suárez Acevedo, 2010).

Finalmente, CityTouch también ha sido igualmente exitosa en Buenos Aires con la conexión de 85,000 luminarias, las cuales representan el 66% del total de luminarias de la ciudad. En este caso, el sistema ha mejorado significativamente la eficiencia de los procesos de gestión del alumbrado público, permitiendo el control preciso de la infraestructura lumínica, la rápida detección de fallos en unidades o sistemas específicos, la reducción de costos operativos y la sostenibilidad energética de la ciudad (Philips Lighting, 2016).

En última instancia, existen diversas ciudades que han logrado convertirse en ciudades inteligentes mediante la implementación de sistemas de alumbrado público inteligente. Las principales son:

- Barcelona con su modelo urbano basado en la innovación, el cual combina la gestión eficiente de recursos y la movilidad sostenible.
- Copenhague, que se ha convertido en un laboratorio de referencia para el desarrollo de nuevas tecnologías inteligentes, gracias a la colaboración entre el sector público y privado, y el alto nivel de digitalización de las administraciones.
- Singapur, cuya iniciativa de ciudades inteligentes ha llevado a un nuevo nivel el monitoreo del consumo energético, la generación de residuos y el uso del agua potable y residual en tiempo real.
- Almada, que ha adoptado un sistema de iluminación inteligente que ajusta la intensidad de las farolas según la presencia de peatones y vehículos, y utiliza sensores para recopilar datos sobre la calidad del aire y el ruido ambiental.
- Los Ángeles, enfocada en la exploración de proyectos para la incorporación de sensores a las farolas que permitan supervisar el ruido ambiental y mejorar la seguridad pública.

- Cádiz, que ha transformado 30 municipios mediante la implantación de sistemas de telegestión del alumbrado público con tecnologías inalámbricas, consiguiendo un ahorro energético significativo.

Estas ciudades han utilizado la tecnología de iluminación inteligente para mejorar la eficiencia energética, aumentar la seguridad y recopilar datos ambientales, contribuyendo así a un entorno urbano más sostenible y habitable.

Tabla 1. Ciudades con sistemas de telegestión en alumbrado público en el mundo

Ciudad	País	Número de Luminarias	Ahorro Energético	Ahorro Anual (€)	Año de Implementación	Características Clave
Los Ángeles	Estados Unidos	180,000	65%	8.17 millones	2009	Sistema de gestión centralizada (CMS), sensores ambientales, postes inteligentes.
Buenos Aires	Argentina	150,000	15%	No disponible	No especificado	Integración con 5G, sensores IoT, monitoreo remoto.
Almada	Portugal	1,500	40%	80,000	2011–2013	Sistema de telegestión EcoEnLight, ajuste de intensidad lumínica según horarios.
Santiago de Compostela	España	10,000	No especificado	No disponible	No especificado	Conectividad NB-IoT, plataforma de gestión centralizada.
Clermont-Ferrand	Francia	16,000	35%	No disponible	No especificado	Sistema Sogexi, monitoreo en tiempo real, control remoto de luminarias.

Fuente: elaboración propia a partir de Signify (2021), Smart Cities Council (2020), y datos municipales.

Ranking de las 10 iudades más inteligentes del mundo (2024)

Londres (Reino Unido)

Nueva York (EE. UU.)

París (Francia)

Tokio (Japón)

Berlín (Alemania)

Washington D.C. (EE. UU.)

Singapur

Ámsterdam (Países Bajos)

San Francisco (EE. UU.)

Chicago (EE. UU.)

En lo que concierne a las ciudades Inteligentes en América Latina en América Latina, destacan:

Santiago de Chile – Puesto 91 a nivel mundial.

Buenos Aires (Argentina) – Puesto 115.

Montevideo (Uruguay) – Puesto 119.

Ciudad de México – Puesto 120.

Ciudad de Panamá – Puesto 121.

São Paulo (Brasil) – Puesto 122.

Bogotá (Colombia) – Puesto 125.

Río de Janeiro (Brasil) – Puesto 126.

Medellín (Colombia) – Puesto 127.

Rosario (Argentina) – Puesto 128.

Estas ciudades latinoamericanas han implementado iniciativas en movilidad eléctrica, gobernanza digital y sostenibilidad urbana (IESE Business School, 2024).

6. MARCO TEÓRICO

El desarrollo de ciudades inteligentes se ha convertido en una prioridad global para mejorar la calidad de vida de los ciudadanos y optimizar el uso de recursos. Dentro de los componentes esenciales para la realización de esta transformación se encuentra la implementación de sistemas de telegestión mediante la infraestructura del servicio de alumbrado público. Este marco teórico se centra en la selección y argumentación de teorías y modelos conceptuales que permiten interpretar y analizar este fenómeno.

Partiendo de aquí, la telegestión consta del control y monitoreo remoto de sistemas y servicios urbanos mediante tecnologías de la información y la comunicación (TIC). En el contexto del alumbrado público, implica la capacidad de gestionar la iluminación de manera eficiente y en tiempo real, es decir, farolas, postes, luminarias y sistemas de control asociados que proporcionan iluminación en espacios públicos. En una ciudad inteligente, esta infraestructura se convierte en una red de sensores y dispositivos conectados. De esta forma, las ciudades inteligentes utilizan tecnologías avanzadas para mejorar la eficiencia de los servicios urbanos, reducir el consumo de recursos y aumentar la calidad de vida de sus habitantes (Maestre Góngora, 2015).

En cuanto a la teoría de sistemas, esta proporciona un marco para entender cómo los diferentes componentes de una ciudad inteligente interactúan entre sí. En el caso del alumbrado público, la teoría de sistemas proporciona una base para modelar la red de farolas inteligentes como un sistema interconectado que puede ser monitoreado y controlado de manera centralizada. Asimismo, el modelo de ciudad inteligente conceptualiza la ciudad como un ecosistema dinámico donde la infraestructura, los servicios y los ciudadanos están interconectados, por lo que la implementación de sistemas de telegestión en el alumbrado público se alinea con este modelo al integrar tecnologías de sensores y comunicación para mejorar la eficiencia y sostenibilidad urbana. Finalmente, la teoría de la innovación tecnológica explica cómo las innovaciones tecnológicas se adoptan y difunden en la sociedad. Así, la articulación de esta teoría en la telegestión del alumbrado público supone el entendimiento pormenorizado de los factores que impulsan la adopción de tecnologías inteligentes y los desafíos asociados.

Por ende, se pueden formular las siguientes hipótesis basadas en los principios teóricos y conceptuales anteriormente mencionados:

- La implementación de sistemas de telegestión en el alumbrado público mejora significativamente la eficiencia energética y reduce los costos operativos en las ciudades inteligentes.
- La integración de sensores y tecnologías de comunicación en la infraestructura de alumbrado público contribuye a una mejor gestión de los recursos urbanos y el mejoramiento de la calidad de vida de los ciudadanos.
- La adopción de tecnologías de telegestión en el alumbrado público se ve influenciada por factores como la disponibilidad de infraestructura tecnológica, el apoyo gubernamental y la aceptación social (Cerviño, Fernández, Gobbe, & Panizzi, 2022).

Para analizar el impacto de los sistemas de telegestión en el alumbrado público, se propone un enfoque metodológico mixto que combine métodos cuantitativos y cualitativos. De este modo, el análisis cuantitativo incluye la recopilación y análisis de datos sobre el consumo energético, costos operativos y eficiencia de los sistemas de alumbrado público antes y después de la implementación de la telegestión. A su vez, el análisis cualitativo consiste en entrevistas y encuestas a los actores clave, incluyendo funcionarios municipales, técnicos y ciudadanos con el fin de entender las percepciones y experiencias relacionadas con la implementación de estos sistemas. Cada uno de estos análisis se complementa con los estudios de caso de ciudades que han realizado avances significativos en el establecimiento de sistemas de telegestión en su alumbrado público (como Barcelona, Copenhague y Singapur), dado que esto permite identificar mejores prácticas y lecciones aprendidas (Monsalve, Bedoya, & Marín Jaramillo, 2009).

El marco teórico presentado se ubica como una base sólida para entender y analizar la implementación de sistemas de telegestión mediante la infraestructura del servicio de alumbrado público en el contexto de las ciudades inteligentes. Al combinar teorías de sistemas, modelos de ciudades inteligentes y teorías de innovación

tecnológica, se puede obtener una comprensión integral de los beneficios, desafíos y factores críticos de éxito en esta área.

6.1. TIPOS DE MODELOS PARA CREAR CIUDADES INTELIGENTES

6.1.1. Modelo de ciudad inteligente basado en TIC (Tecnologías de la Información y la Comunicación)

Este modelo se centra en la integración de tecnologías avanzadas como el Internet de las Cosas (IoT), la inteligencia artificial (IA) y la computación en la nube para mejorar la eficiencia y eficacia de los servicios urbanos. Las ciudades que adoptan este modelo utilizan sensores y dispositivos conectados para recopilar y analizar datos en tiempo real. Esto permite una gestión más eficiente de recursos como la energía, el agua y los residuos. Por ejemplo, los sensores pueden detectar el nivel de llenado de los contenedores de basura y optimizar las rutas de recolección, mientras que los sistemas de iluminación inteligente ajustan la intensidad de las luces según la presencia de peatones y vehículos (Dipak & Aithal, 2022).

6.1.2. Modelo de ciudad sostenible

Este enfoque se rige por un fuerte énfasis en la sostenibilidad ambiental. Las ciudades sostenibles implementan tecnologías verdes y prácticas ecológicas para reducir su huella de carbono y promover el uso de energías renovables. Ejemplos de estas prácticas incluyen la instalación de paneles solares en edificios públicos, la creación de sistemas de gestión de residuos eficientes y la promoción del transporte público eléctrico. Además, estas ciudades suelen tener políticas de urbanismo que favorecen la creación de espacios verdes y la conservación de la biodiversidad urbana (Mohanty, 2020).

6.1.3. Modelo de ciudad centrada en el ciudadano

Esta propuesta tiene como sustento la participación ciudadana y el fortalecimiento de los índices de calidad de vida de los habitantes. Las ciudades inteligentes orientadas hacia el ciudadano utilizan plataformas de datos abiertos y aplicaciones móviles para fomentar la interacción ciudadana y proporcionar servicios personalizados. Por ejemplo, los ciudadanos pueden acceder a información en tiempo real sobre el tráfico, la calidad

del aire y los eventos comunitarios. Este enfoque también incluye la creación de espacios públicos inteligentes y seguros donde la tecnología se utiliza para mejorar la seguridad y la accesibilidad (Nam & Pardo, 2011).

6.1.4. Modelo de ciudad resiliente

Este modelo tiene como principal interés la capacidad de la ciudad para resistir y recuperarse de desastres naturales y otras crisis. Las ciudades resilientes implementan infraestructuras robustas y sistemas de alerta temprana, así como tecnologías avanzadas para gestionar emergencias y garantizar la continuidad de los servicios urbanos. Por ejemplo, pueden tener sistemas de monitoreo que detectan inundaciones y activan automáticamente medidas de protección, como el cierre de válvulas de agua y la activación de bombas de drenaje (Zhu, Shen, Chen, Dai, Huang & Su, 2024).

6.1.5. Modelo de ciudad conectada

Este enfoque se basa en la creación de una infraestructura de telecomunicaciones avanzada (como las redes 5G) para garantizar una conectividad rápida y fiable. Las ciudades conectadas facilitan el desarrollo de aplicaciones innovadoras en áreas como la salud, la educación y la seguridad pública. Por ejemplo, la telemedicina permite a los ciudadanos acceder a servicios de salud desde sus hogares, mientras que las plataformas educativas en línea ofrecen recursos y cursos accesibles para todos. Además, la conectividad avanzada permite la implementación de sistemas de seguridad pública que utilizan cámaras y sensores para monitorear y responder a incidentes en tiempo real (Giffinger, Fertner, Kramar, Kalasek, Pichler-Milanovic, & Meijers, 2007).

7. MARCO CONCEPTUAL

La telegestión del alumbrado público engloba una serie de herramientas tecnológicas que permiten el control y monitoreo remoto de las luminarias, optimizando su eficiencia operativa. Este sistema utiliza tecnologías como el Internet de las Cosas (IoT) y redes de comunicación para mejorar la eficiencia y reducir costos mediante la capacidad para:

- Ajustar la intensidad de la luz y la detección de fallos según las necesidades reales, evitando el desperdicio de energía y reduciendo los costos operativos.
- Consolidar relaciones y prácticas sostenibles al optimizar el uso de energía y reducir el impacto ambiental de la iluminación urbana, logrando esto mediante el uso de tecnologías verdes y prácticas ecológicas.
- Fortalecer la seguridad y el confort en los espacios públicos urbanos y vías públicas, esencial para la calidad de vida en las ciudades (Pérez, 2025).

Por su parte, el Internet de las Cosas (IoT) permite la interconexión de dispositivos a través de internet, facilitando la comunicación y el intercambio de datos entre ellos. En el contexto de la telegestión del alumbrado público, el IoT ofrece una plataforma para que las luminarias se conecten y comuniquen entre sí, proporcionando datos en tiempo real sobre su estado y funcionamiento. Sobre este punto, las redes de comunicación son esenciales para la transmisión de datos entre dispositivos, pues aseguran que los datos recopilados por los sensores en las luminarias se transmitan de manera eficiente a los sistemas de control centralizados donde se pueden analizar y utilizar para tomar decisiones informadas sobre la gestión de la iluminación (García, 2025).

En cuanto a las ciudades inteligentes, estas se constituyen como zonas urbanas que utilizan tecnología y la gestión de datos para mejorar la calidad de vida, la sostenibilidad y el funcionamiento eficiente de la ciudad. En este sentido, es preciso considerar que:

- La integrabilidad de sistemas se define como la capacidad de formar parte de una red integrada por sistemas de diferentes proveedores o dueños, los cuales se desarrollan y operan en diferentes plataformas y lenguajes sin necesidad de cambios o adaptaciones que requieran la intervención del usuario.
- La conectividad supone la capacidad de establecer una conexión, una comunicación o un vínculo entre dispositivos. En este caso, un dashboard es una herramienta de visualización de datos que organiza y presenta información de manera que es fácil de leer y analizar, permitiendo el monitoreo de indicadores clave de desempeño en una sola pantalla (Martínez, 2025).

Precisamente, los sensores son dispositivos que detectan acciones o estímulos externos y responden en consecuencia, transformando magnitudes físicas o químicas en magnitudes eléctricas. La respuesta en tiempo real se refiere a la capacidad de un sistema para procesar y presentar información de manera inmediata sin demoras perceptibles. De esta manera, la ciberseguridad es un factor crucial en la implementación de sistemas IoT en ciudades inteligentes. Un marco de ciberseguridad de este tipo debe incluir una guía de buenas prácticas para proteger los sistemas de alumbrado público contra posibles ciberataques y garantizar su funcionamiento continuo y seguro.

En suma, la telegestión del alumbrado público es una parte esencial de la infraestructura tecnológica de las ciudades inteligentes, ya que permite disminuir los tiempos de respuesta ante fallas, cumplir con las metas de eficiencia energética de las ciudades, gestionar de forma eficiente los recursos según los objetivos de sostenibilidad y mejorar los índices de calidad del servicio aportando seguridad y confort en los espacios públicos (Smith, 2023).

8. DISEÑO METODOLÓGICO

Las entrevistas semiestructuradas son una técnica de investigación cualitativa que combina elementos de entrevistas estructuradas y no estructuradas. Según Flick (2012), este tipo de entrevistas permite una conversación más abierta y flexible donde el entrevistador sigue una guía de preguntas, pero tiene la libertad de explorar temas emergentes durante la conversación. Este enfoque facilita la obtención de información detallada y profunda, ya que permite adaptarse a las respuestas del entrevistado y profundizar en aspectos relevantes que puedan surgir durante la entrevista.

Teniendo en cuenta lo anterior, la implementación de entrevistas semiestructuradas sigue varios pasos clave. En primer lugar, es necesaria la preparación, que incluye definir los objetivos de la investigación y desarrollar una guía de entrevista con preguntas centrales y de sondeo. Además, es importante abordar consideraciones éticas como el consentimiento informado y la confidencialidad. En segundo lugar, la conducción de la entrevista se debe combinar preguntas cerradas y abiertas de tal forma que se garantice una dinámica conversacional cuya duración no exceda aproximadamente una hora para minimizar la fatiga tanto del entrevistador como del encuestado. En tercer lugar, se debe grabar la entrevista para asegurar la precisión en la recopilación de datos y luego transcribirla para facilitar el análisis. Dicho análisis implica la identificación de temas recurrentes, comunes y emergentes en las respuestas a través de métodos cualitativos que faciliten la interpretación de los datos y presentación los hallazgos. Finalmente, se lleva a cabo la redacción un informe detallado que incluya las conclusiones y recomendaciones basadas en los datos recopilados (Flick, 2012).

8.1. FASES EN LA IMPLEMENTACIÓN DEL ESTUDIO

La primera fase de la propuesta metodológica se enfoca en la recolección y análisis de información relevante sobre telegestión y ciudades inteligentes. Esta etapa constituye la base conceptual y contextual del proyecto, ya que permite comprender en profundidad los fundamentos teóricos, las tecnologías involucradas y las experiencias previas en la implementación de soluciones inteligentes para la gestión urbana.

Para ello, se realiza una exhaustiva revisión bibliográfica y documental que incluye literatura académica, artículos científicos, libros especializados y documentos técnicos. Asimismo, se consultan fuentes secundarias como informes de organismos internacionales, estudios de caso y estadísticas oficiales que aportan una visión global y actualizada del estado del arte en el ámbito de las ciudades inteligentes. Esta revisión pretende la identificación plena de las principales tendencias, desafíos y oportunidades en la aplicación de tecnologías de telegestión en entornos urbanos.

De manera complementaria, se lleva a cabo una exploración tecnológica orientada a reconocer las herramientas, plataformas y sistemas más utilizados en la gestión remota de servicios urbanos. En este análisis se consideran tecnologías emergentes como el Internet de las Cosas (IoT), el Big Data y la inteligencia artificial, evaluando su impacto y potencial en la transformación digital de las ciudades.

Finalmente, se realiza un mapeo de actores clave, el cual integra instituciones gubernamentales, empresas tecnológicas, centros de investigación y otros agentes relevantes en el ecosistema de las ciudades inteligentes. Este ejercicio permite determinar posibles aliados estratégicos, fuentes de conocimiento y experiencias replicables.

Como resultado de esta fase, se espera obtener un marco conceptual sólido, una base de datos de referencias y casos relevantes, así como un diagnóstico preliminar del contexto actual. Esta información será fundamental para orientar las siguientes etapas del proyecto y garantizar la pertinencia y viabilidad de las propuestas que se desarrollen (Maestre Góngora, 2015).

La segunda fase de la propuesta metodológica tiene como objetivo la recolección de información cualitativa a través de entrevistas semiestructuradas con expertos de diversas disciplinas vinculadas al desarrollo urbano, la tecnología, la sostenibilidad y la gestión pública. Estas entrevistas se llevan a cabo en el contexto del área metropolitana con el fin de captar una visión integral y contextualizada de los desafíos y oportunidades que presenta la implementación de soluciones de telegestión en entornos urbanos.

Al respecto, los participantes seleccionados incluyen profesionales del sector público, investigadores académicos, representantes de empresas tecnológicas y consultores en planificación urbana. Esta diversidad de perfiles aporta múltiples perspectivas disciplinares e investigativas, experiencias prácticas y conocimientos especializados que no siempre están disponibles en la literatura académica.

Durante esta fase, se diseñan guías de entrevista que posibilitan la exploración temas clave como la viabilidad técnica de la telegestión, las barreras institucionales, las necesidades ciudadanas, y las condiciones locales que podrían facilitar o dificultar la adopción de tecnologías inteligentes. En este caso particular, las entrevistas se graban, transcriben y analizan mediante técnicas de codificación temática, lo que permite definir patrones recurrentes, conceptos emergentes y relaciones significativas entre las distintas perspectivas.

Posteriormente, la información obtenida se interpola y triangula con los hallazgos de la fase anterior de tal forma que sea posible detectar tendencias, coincidencias y contradicciones que puedan influir en el diseño de soluciones de telegestión adaptadas al contexto local. Este análisis cualitativo no sólo aporta profundidad al estudio, sino que ofrece un espacio para validar y complementar los datos secundarios previamente recopilados.

Como resultado, esta fase proporciona una comprensión más rica y matizada del ecosistema urbano y tecnológico, así como insumos clave para la formulación de propuestas innovadoras, sostenibles y alineadas con las necesidades reales del territorio (Madrigal, Miranda, Rozga, Canales, & Chávez, 2023).

La tercera fase de la propuesta metodológica se orienta hacia el desarrollo de un diseño integral de telegestión específicamente adaptado a las necesidades y características de un área metropolitana inteligente. Esta etapa se fundamenta en los hallazgos obtenidos durante las fases anteriores, lo cual abarca tanto la revisión documental como las entrevistas a expertos para la construcción una propuesta concreta, contextualizada, viable y alineada con las tendencias actuales en gestión urbana.

Partiendo de aquí, el diseño propuesto contempla la incorporación de tecnologías avanzadas como sensores IoT, plataformas de análisis de datos en tiempo real, sistemas de inteligencia artificial y redes de comunicación de alta velocidad. Estas herramientas se integran en una arquitectura tecnológica que articula la supervisión remota, la automatización de procesos y la toma de decisiones basada en datos con el objetivo de optimizar la eficiencia operativa de los servicios públicos.

Del mismo modo, se plantean estrategias innovadoras que promueven la sostenibilidad, la resiliencia urbana y la participación ciudadana; es decir, mecanismos de gestión energética inteligente, monitoreo ambiental, movilidad urbana sostenible y sistemas de alerta temprana. El diseño también incorpora principios de interoperabilidad y escalabilidad, lo que facilita su adaptación a diferentes contextos urbanos y su evolución a largo plazo.

De hecho, un componente clave de esta fase es la definición de indicadores de desempeño y mecanismos de evaluación que contribuyan a la medición del impacto del sistema de telegestión en aspectos como conectividad, seguridad, eficiencia de los servicios y calidad de vida de los habitantes. Asimismo, se consideran aspectos normativos, éticos y de gobernanza digital, asegurando que el modelo propuesto sea no solo técnicamente sólido, sino también socialmente responsable.

En conjunto, esta fase culmina con la elaboración de un diseño de un plan maestro de telegestión que sirve como hoja de ruta para la implementación de soluciones inteligentes en el área metropolitana, sentando las bases para una transformación urbana sostenible, inclusiva y orientada al futuro (Alvarado López, 2017).

9. RESULTADOS

A partir del análisis cualitativo de entrevistas realizadas a expertos y actores clave en el contexto del Área Metropolitana, esta investigación construye una comprensión profunda y contextualizada del fenómeno de la telegestión en el marco del desarrollo de ciudades inteligentes. Las entrevistas, diseñadas bajo un enfoque semiestructurado, permiten explorar percepciones, experiencias y conocimientos especializados sobre la implementación de tecnologías de gestión remota en entornos urbanos complejos.

El proceso de triangulación metodológica, que combina los testimonios recogidos con el contraste sistemático de información proveniente de fuentes secundarias —como literatura académica, informes técnicos y estudios de caso—, posibilita la identificación de patrones recurrentes, tensiones institucionales y oportunidades estratégicas para el diseño de soluciones inteligentes. Este enfoque no sólo enriquece el entendimiento del objeto de estudio desde múltiples perspectivas (tecnológica, social, política y territorial), sino que fortalece la validez y profundidad de las conclusiones obtenidas.

Por consiguiente, esta investigación no se limita a describir el estado actual de la telegestión, sino que propone una lectura crítica y propositiva del ecosistema urbano metropolitano, destacando las condiciones habilitantes, los desafíos estructurales y las dinámicas colaborativas necesarias para avanzar hacia un modelo de ciudad más eficiente, sostenible e inclusiva.

9.1. RESULTADOS DE LAS ENTREVISTAS

En la primera entrevista, Simón Arango Velasquez de Ruta N, aporta consideraciones de suma importancia sobre las estrategias de innovación en el sector público-privado. Al respecto, las preguntas realizadas se centran en cómo Ruta N fomenta la innovación a través de diversas iniciativas y programas, y cómo han logrado integrar la colaboración entre el sector público y privado para impulsar el desarrollo tecnológico y económico de la región, por lo que sus respuestas explican cómo Ruta N ha sido un motor clave en la promoción de la innovación en Medellín, definiendo la

innovación como un proceso continuo de mejora y adaptación a las necesidades del mercado y la sociedad.

Además, Simon Arango Velasquez expresa sus opiniones en torno a la incursión de Ruta N en proyectos de ciudades inteligentes en colaboración con la Alcaldía de Medellín. Estos proyectos buscan transformar a Medellín en una ciudad más conectada y eficiente a través de la tecnologías avanzadas para mejorar la calidad de vida de sus habitantes. Sobre este punto, Ruta N ha trabajado en conjunto con la Alcaldía para desarrollar el Plan Maestro de Ciudad Inteligente, una hoja de ruta que incluye la implementación de infraestructura tecnológica, el uso de energías renovables y la promoción de la sostenibilidad urbana. Las preguntas realizadas también abordan los mayores desafíos que han enfrentado como organización en la implementación de estas estrategias y cómo han logrado superarlos para consolidar a Medellín como un referente de innovación y desarrollo en América Latina.

La segunda entrevista tiene como protagonista a Diana María Ochoa Henao de la Gobernación de Antioquia, quien manifiesta sus principales observaciones en cuanto a las iniciativas de innovación en el sector público. Durante la entrevista, Diana habla sobre los diversos proyectos de innovación que ha liderado la Gobernación, explicando cómo se financian estos proyectos y el impacto significativo que han tenido en la comunidad. Asimismo, proporciona una visión detallada de cómo la Gobernación de Antioquia, a través de su Dirección de Innovación, está incursionando en proyectos de ciudades inteligentes en el Área Metropolitana.

Estos proyectos de ciudades inteligentes buscan transformar la región en un área más conectada y eficiente con el uso de tecnologías avanzadas para mejorar la calidad de vida de sus habitantes. Sobre este particular, la Gobernación de Antioquia ha trabajado en colaboración con diversas entidades del Área Metropolitana para desarrollar e implementar iniciativas que incluyen la creación de infraestructura tecnológica, la adopción de energías renovables y la promoción de la sostenibilidad urbana. Las preguntas realizadas también abordan los mayores desafíos que han enfrentado en la implementación de estas estrategias y cómo han logrado superarlos para consolidar al Área Metropolitana como un referente de innovación y desarrollo.

La tercera entrevista se enfoca en Carlos Daniel Ruiz de Área Metropolitana SIATA, quien cuenta las circunstancias que dieron origen a SIATA y en lo que se ha convertido ahora. Durante la entrevista, Carlos habla sobre los proyectos que han desarrollado y el funcionamiento del centro de monitoreo y operativo del SIATA. Al mismo tiempo, agrega cómo el SIATA ha evolucionado para convertirse en un sistema integral de alerta temprana que monitorea diversas variables hidrometeorológicas y ambientales en tiempo real.

Por otro lado, Carlos detalla los datos recopilados por SIATA, los cuales comprenden información sobre precipitaciones, calidad del aire, niveles de agua en quebradas y ríos, entre otros indicadores ambientales críticos. Estos datos se utilizan para mejorar la gestión urbana, proporcionando alertas tempranas y permitiendo una respuesta rápida ante posibles emergencias. Además, entrega opiniones detalladas sobre las tecnologías empleadas para la recopilación y análisis de datos, como sensores de nivel tipo radar, estaciones meteorológicas y plataformas de monitoreo en tiempo real.

Durante esta entrevista, se realizan preguntas sobre cómo se utilizan estos datos para mejorar la gestión urbana, qué tecnologías se emplean para la recopilación y análisis de datos, y cómo el centro de monitoreo y operativo del SIATA coordina estas actividades para garantizar la seguridad y bienestar de la comunidad del Área Metropolitana.

La cuarta entrevista se centra en Juan Carlos Sosa Giraldo de la Universidad EAFIT quien, desde el ámbito académico, se posiciona como un experto en ciudades inteligentes. Durante la entrevista, Juan Carlos expresa su concepto acerca de los diversos proyectos en los que ha participado, destacando su papel en el desarrollo y la implementación de tecnologías innovadoras para mejorar la infraestructura urbana. En este sentido, comparte sus experiencias vividas en los congresos de ciudades inteligentes a los que ha asistido, donde ha tenido la oportunidad de intercambiar conocimientos y aprender de otros expertos en el campo.

Juan Carlos también explica cómo la Universidad EAFIT colabora con el sector público y privado para impulsar el desarrollo de ciudades inteligentes. Esta colaboración incluye la realización de investigaciones conjuntas, el desarrollo de proyectos piloto y la

implementación de soluciones tecnológicas que buscan mejorar la calidad de vida de los ciudadanos. Las preguntas realizadas durante la entrevista exploran las investigaciones sobre ciudades inteligentes, cómo se llevan a cabo estas colaboraciones y qué tendencias futuras ve en el desarrollo de ciudades inteligentes. En respuesta, Juan Carlos enfatiza en la importancia de la academia en la formación de profesionales capacitados y en la generación de conocimiento que pueda ser aplicado para enfrentar los desafíos urbanos del futuro.

9.2. DISEÑO DEL SISTEMA DE TELEGESTIÓN A TRAVÉS DEL ALUMBRADO PÚBLICO PARA CIUDADES INTELIGENTES EN EL VALLE DE ABURRÁ

En el contexto del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, el municipio de Envigado se ha consolidado como un referente pionero en la implementación de estrategias de telegestión y en la adopción de modelos de ciudad inteligente. Su compromiso con la innovación tecnológica, la sostenibilidad y la mejora continua de los servicios públicos lo posiciona como un caso ejemplar dentro del ecosistema urbano regional. Esta investigación toma como punto de partida la experiencia de Envigado para explorar, a través de una metodología cualitativa basada en entrevistas a expertos, las dinámicas, desafíos y oportunidades que surgen en la transición hacia una gestión urbana más eficiente, conectada y centrada en el ciudadano. El análisis de este caso, complementado con información secundaria y contrastado con otras realidades metropolitanas, permite construir una visión integral del papel que juega la telegestión en la transformación de los territorios hacia modelos más inteligentes e inclusivos.

El municipio de Envigado, reconocido como una ciudad dinámica dentro del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, ha dado pasos significativos hacia la transformación digital y la sostenibilidad urbana a través de innovadores proyectos de telegestión en el servicio de alumbrado público. Estos avances no sólo optimizan la gestión energética mediante el monitoreo y control remoto de los sistemas de iluminación, sino que sientan las bases para el desarrollo de una ciudad inteligente. Al implementar tecnologías avanzadas, Envigado busca mejorar la calidad de vida de sus ciudadanos, reducir el

consumo energético, y minimizar el impacto ambiental, subrayando su papel como un referente regional en la adopción de soluciones tecnológicas que promueven la eficiencia y la conectividad (Concejo Municipal de Envigado, 2021).

Precisamente, la Dirección de Alumbrado Público del municipio de Envigado ha impulsado proyectos innovadores que sitúan al alumbrado público como un servicio esencial y, al mismo tiempo, como una herramienta clave para abordar diversas problemáticas urbanas. Estas iniciativas integran tecnología de punta relacionada con sistemas de telegestión y luminarias inteligentes, que posibilitan el monitoreo eficiente, el ahorro energético, la mejora en la seguridad y la movilidad de los ciudadanos. Además, estas acciones contribuyen a la creación de espacios públicos más funcionales y sostenibles, fomentando un entorno urbano conectado e inclusivo. En este sentido, el enfoque adoptado por la dirección responde a las necesidades inmediatas de iluminación y establece un marco para el desarrollo de ciudades inteligentes, ya que la innovación tecnológica se pone al servicio del bienestar colectivo y el progreso sostenible (Dirección de Alumbrado Público de Envigado, 2023).

Desde la administración municipal de Envigado se reconoce que la implementación de sistemas de telegestión en el alumbrado público debe ser un proyecto con visión a largo plazo que tenga la aptitud para ser escalable y adaptable a las necesidades futuras. Esto implica tanto su optimización dentro de los límites del municipio como su capacidad para integrarse con los sistemas de los demás municipios del Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Así, esta estrategia busca establecer una red interconectada de servicios urbanos inteligentes donde el Área Metropolitana desempeñe un rol fundamental como articulador y gestor de soluciones tecnológicas que beneficien a toda la región. Al trabajar de manera colaborativa, se pueden abordar problemáticas compartidas como el consumo energético, la movilidad sostenible y la seguridad, construyendo una plataforma sólida para el desarrollo de un modelo de ciudad inteligente integral que potencie el bienestar y la calidad de vida de todos los habitantes del Valle de Aburrá (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2021).

De esta manera, el proyecto busca integrar los desarrollos tecnológicos orientados a ciudades inteligentes de los diez municipios que conforman el Área Metropolitana del

Valle de Aburrá. En este aspecto particular, es imprescindible aprovechar la experiencia pionera de Envigado en la implementación de telegestión en el alumbrado público, por lo que se propone el diseño de un sistema escalable que no sólo optimice el servicio de iluminación, sino que actúe como una plataforma para gestionar datos y servicios urbanos de manera eficiente. Esta iniciativa pretende consolidar una red regional de innovación tecnológica, promoviendo la conectividad, sostenibilidad y el bienestar colectivo.

La figura 2 representa una ciudad inteligente altamente interconectada donde el sistema de alumbrado público se convierte en una infraestructura clave que cumple funciones más allá de la iluminación, ya que puede desplegar tecnologías de conectividad y automatización urbana que integran sistemas de movilidad, vigilancia, gestión energética y conectividad ciudadana, lo que ejemplifica el enfoque adoptado en este proyecto para impulsar soluciones integradas en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá.

Figura 2. Ilustración de una ciudad inteligente con énfasis en el sistema de alumbrado público



Nota. Generado por inteligencia artificial. Fuente: elaboración propia con el uso de OpenAI.

9.3. DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO

La telegestión del alumbrado público juega un papel fundamental en el desarrollo de ciudades inteligentes al permitir un control eficiente y en tiempo real de los sistemas de iluminación urbana. La implementación de tecnologías IoT (Internet de las cosas) no sólo optimiza el consumo energético, sino que mejora la seguridad y la sostenibilidad. Además, estas soluciones contribuyen a la creación de ciudades más conectadas, resilientes y adaptativas, promoviendo un entorno más inteligente y accesible para sus habitantes (Villa Crespo & Morales Alonso, 2022).

De este modo, el diseño y planificación del proyecto de telegestión y ciudades inteligentes con el alumbrado público requiere una estructura metodológica clara que

garantice su viabilidad, eficiencia y sostenibilidad. Para lograrlo, es fundamental abordar de manera ordenada y estratégica cada una de las etapas que lo componen. En primer lugar, se establece el alcance del proyecto, definiendo sus límites, objetivos y actores involucrados. A continuación, se desarrolla un cronograma detallado que permite organizar las actividades en el tiempo. Posteriormente, se realiza la asignación de recursos, identificando los elementos humanos, técnicos y financieros necesarios. Al mismo tiempo, se lleva a cabo un análisis de riesgos para anticipar posibles obstáculos y establecer planes de mitigación. Finalmente, se definen los indicadores clave de rendimiento (KPIs) que permitirán evaluar el impacto y éxito del proyecto a lo largo de su implementación.

9.3.1. Definición del alcance

En este segmento se incluyen las reuniones con las partes interesadas (Alcaldías, Área Metropolitana, SIATA, Ruta N, Universidad EAFIT, Gobernación de Antioquia y Comunidad) para delimitar con precisión el alcance del proyecto teniendo en cuenta:

- Áreas de cobertura.
- Cantidad de luminarias a integrar al sistema de telegestión.
- Tipo de tecnología a implementar (nodos o fotoceldas inteligentes, infraestructura de conectividad, plataforma de ciudad inteligente).
- Límites del proyecto (exclusiones).
- Elaboración de un documento que especifique el alcance del proyecto, incluyendo los objetivos, los entregables y los criterios de aceptación.

9.3.2. Cronograma del proyecto

Aquí se puntualiza el marco temporal de la realización del proyecto en aspectos como:

- Definición de las actividades del proyecto y su secuencia lógica.
- Estimación de la duración de cada actividad, considerando los tiempos necesarios para la ejecución de las tareas, la disponibilidad de recursos y los posibles retrasos.

- Elaboración de un diagrama de Gantt para visualizar el cronograma del proyecto.

9.3.3. Asignación de recursos

Engloba la:

- Identificación de los recursos humanos (personal técnico, administrativo, de supervisión), financieros (presupuesto, fuentes de financiación) y técnicos (equipos, herramientas, software) necesarios para el proyecto.
- Asignación de roles y responsabilidades a cada miembro del equipo del proyecto.
- Elaboración de un presupuesto detallado, incluyendo los costos de inversión, operación y mantenimiento.

9.3.4. Análisis de riesgos

Abarca los asuntos relacionados con la:

- Identificación de los riesgos potenciales del proyecto (retrasos en el cronograma, sobrecostos, problemas técnicos, resistencia al cambio, fallas de seguridad, etc.).
- Evaluación de la probabilidad de ocurrencia y el impacto de cada riesgo.
- Definición de planes de mitigación para cada riesgo identificado, incluyendo acciones preventivas y correctivas.

9.3.5. Definición de KPIs

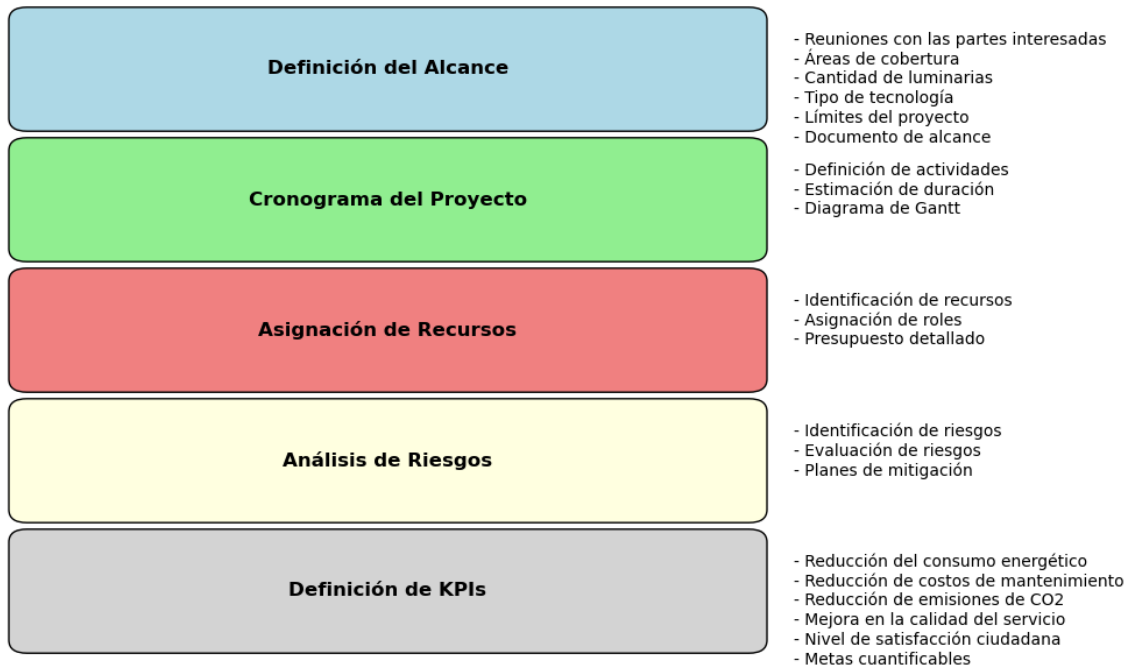
Supone la estructuración de indicadores clave de rendimiento (KPIs) para medir el éxito del proyecto y el establecimiento de metas cuantificables para cada KPI. En el caso de este proyecto, se incluyen KPIs como:

- Reducción del consumo energético.
- Reducción de costos de mantenimiento.
- Reducción de emisiones de CO2.
- Mejora en la calidad del servicio de alumbrado público.

- Nivel de satisfacción ciudadana.

En el figura 3 se pueden ver resumidas las fases de diseño y planificación del proyecto, y las tareas correspondientes a cada fase.

Figura 3. Fases de diseño y planificación del proyecto



Fuente: elaboración propia

9.4. FASES DE IMPLEMENTACIÓN POS-DISEÑO

9.4.1. Instalación de nodos inteligentes o fotoceldas inteligentes

- Instalación de los nodos o fotoceldas inteligentes en las luminarias, siguiendo las especificaciones técnicas y las normas de seguridad.
- Configuración de los nodos o fotoceldas Inteligentes. Esto incluye la programación de los horarios de encendido y apagado, los niveles de iluminación y los parámetros de comunicación.
- Pruebas de funcionamiento de los nodos inteligentes para verificar su correcto funcionamiento y su comunicación con la infraestructura de conectividad.

9.4.2. Implementación de la infraestructura de conectividad

- Instalación de la infraestructura de conectividad (gateways o puestas de enlace, repetidores, antenas, etc.) de acuerdo con las especificaciones técnicas y las normas de seguridad.
- Configuración de la infraestructura de conectividad. Aquí se lleva a cabo la configuración de los equipos de comunicación y los protocolos de red.
- Pruebas de conectividad para verificar la comunicación entre los nodos inteligentes y la plataforma de ciudad inteligente.

9.4.3. Implementación de la plataforma de ciudad inteligente

- Instalación de la plataforma de ciudad inteligente en los servidores del Área Metropolitana y el SIATA, o en la nube, según lo establecido en el contrato.
- Configuración de la plataforma mediante tareas como la creación de usuarios, la definición de roles y permisos, la configuración de las alertas y la integración con otros sistemas del municipio.
- Integración de la plataforma con el sistema de telegestión para permitir la monitorización y el control de las luminarias desde la plataforma.
- Pruebas de funcionamiento de la plataforma para verificar su correcto funcionamiento y la integración con el sistema de telegestión.

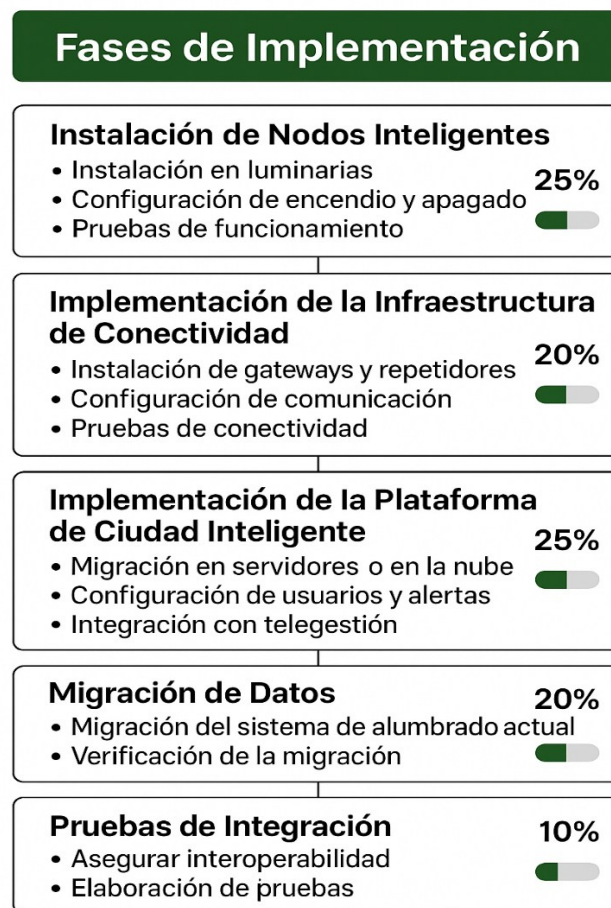
9.4.4. Migración de datos

- Migración de los datos del sistema de alumbrado público actual de los diferentes municipios del Área Metropolitana a la nueva plataforma de ciudad inteligente, asegurando la integridad y la consistencia de los datos.
- Verificación de la migración de datos.

9.4.5. Pruebas de integración

- Realización de pruebas de integración de todos los componentes del sistema (nodos inteligentes, infraestructura de conectividad, plataforma de ciudad inteligente) de tal forma que se garantice su interoperabilidad y su correcto funcionamiento.
- Elaboración de un informe de pruebas de integración.

Figura 4. Fases de implementación pos-diseño y su nivel actual de implementación



Fuente: elaboración propia

La figura 4 presenta las cinco fases clave definidas para la implementación pos-diseño del sistema de telegestión basado en la infraestructura de alumbrado público. Cada fase incluye actividades específicas y un porcentaje estimado de avance en su ejecución según el estado actual de la red y del proyecto. Como se observa, las fases

con mayor progreso corresponden a la instalación de nodos inteligentes y la implementación de la plataforma de ciudad inteligente, ambas con un 25 % de avance. Este desglose permite visualizar de forma estructurada el estado actual del proyecto tras su etapa de diseño, facilitando el seguimiento técnico y la toma de decisiones para su continuidad operativa.

9.5. RESULTADOS ESPERADOS EN LA ETAPA DE IMPLEMENTACIÓN (POS-DISEÑO)

Estos resultados son estimaciones que se prevén para las etapas de implementación (Pos-diseño). De este modo, se espera que las soluciones de telegestión desarrolladas comiencen a mostrar su impacto en la eficiencia y sostenibilidad de la gestión urbana.

9.5.1. Resultados técnicos

- Un diseño para un sistema de alumbrado público completamente gestionado a distancia, con capacidad de monitoreo y control en tiempo real.
- Infraestructura escalable y preparada para la integración de nuevas funcionalidades y verticales de ciudad inteligente.
- Reducción significativa en los costos operativos y de mantenimiento.
- Plataforma de ciudad inteligente robusta, segura e interoperable que permita la integración de diferentes servicios y soluciones para una mejor gestión de la ciudad.

9.5.2. Resultados de Innovación y Desarrollo

- Innovación tecnológica: diseño de soluciones tecnológicas que rompan paradigmas y mejoren los resultados del sistema.

- Plataformas avanzadas: desarrollo de sistemas de gestión integrados con capacidades analíticas avanzadas que permitan la toma de decisiones basada en datos.
- Aplicaciones de IoT: implementación de soluciones basadas en IoT que permitan una mayor conectividad, escalabilidad y eficiencia operativa.
- Optimización operativa: incremento de la productividad y reducción de costos mediante la aplicación de tecnologías emergentes.

9.5.3. Resultados operación y mantenimiento

- Reducción de tiempos de inactividad mediante el mantenimiento predictivo y correctivo efectivo.
- Maximización de la vida útil de los equipos y sistemas implementados.
- Aseguramiento de la continuidad operativa y cumplimiento de los estándares de calidad establecidos.

9.5.4. Resultados de monitoreo y evaluación

- Identificación y resolución oportuna de desviaciones en los objetivos y procesos del proyecto.
- Incremento en la eficiencia y efectividad del proyecto a través de mejoras continuas.
- Generación de reportes claros y detallados que faciliten la toma de decisiones informadas.
- Cumplimiento de estándares de calidad y desempeño, garantizando el éxito del proyecto.

10. CONCLUSIONES

El presente trabajo de grado constituye una guía estratégica y metodológica para la implementación correcta y oportuna de un sistema de telegestión del alumbrado público en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá en la correcta implementación de un sistema de telegestión del alumbrado público. En este sentido, dicha implementación se sustenta en el uso de metodologías estructuradas, las cuales establecen los pasos necesarios para avanzar hacia la consolidación de un modelo de ciudad inteligente que integre a los diez municipios del área metropolitana. Este enfoque no sólo promueve la eficiencia energética y la sostenibilidad, sino que fortalece la articulación institucional, la planificación territorial y la toma de decisiones basada en datos. En consecuencia, este documento se convierte en una herramienta clave para impulsar la transformación digital del territorio, alineada con los principios de innovación, conectividad y bienestar ciudadano.

De esta forma, para que el área metropolitana del Valle de Aburrá avance hacia la consolidación de ciudades inteligentes, es fundamental implementar un sistema integral que utilice dispositivos electrónicos para gestionar de manera eficiente factores clave como el medio ambiente, la movilidad, la seguridad, el manejo de residuos sólidos y la iluminación con el objetivo de optimizar los recursos disponibles y contribuir al bienestar de sus habitantes, promoviendo sostenibilidad, seguridad y una mejor calidad de vida.

De hecho, la infraestructura de alumbrado público en el área metropolitana desempeña un papel clave como plataforma para la recolección de datos en tiempo real. Esta capacidad posibilita el fortalecimiento de la eficiencia y sostenibilidad de los sistemas de iluminación, así como la toma de decisiones inteligentes y oportunas en aspectos como movilidad, seguridad y gestión ambiental. La integración de tecnología en esta infraestructura es esencial para el desarrollo de entornos urbanos más conectados y funcionales.

Por otra parte, las necesidades y dificultades más relevantes del Área Metropolitana del Valle de Aburrá se sitúan en el manejo ineficiente de residuos sólidos,

los problemas de seguridad, la contaminación ambiental y la insuficiencia de iluminación, los cuales representan desafíos significativos para el desarrollo sostenible de la región. Abordar estos aspectos de manera integral mediante estrategias tecnológicas, políticas públicas efectivas y la participación de la ciudadanía es crucial para mejorar la calidad de vida, promover un entorno urbano más seguro y saludable, y avanzar hacia una gestión más sostenible de los recursos.

Si bien es innegable la existencia de estos desafíos, en la actualidad se han desarrollado dispositivos integrables que desempeñan un papel esencial en el monitoreo y control de múltiples variables urbanas, como movilidad, iluminación, seguridad y gestión ambiental. Su implementación no sólo optimizan la gestión de recursos, sino que aceleran la transición hacia ciudades inteligentes. Estas tecnologías permiten crear entornos urbanos más eficientes, sostenibles y adaptados a las necesidades de sus habitantes, mejorando significativamente su calidad de vida.

Al respecto, las luminarias de alumbrado público modernas ya no cumplen únicamente con su función primaria de iluminación, pues también ofrecen una plataforma tecnológica para integrar dispositivos y sensores que posibilitan el monitoreo y control de diversas variables de la vida urbana. Estas incluyen calidad del aire, seguridad, movilidad y gestión energética. Esta versatilidad transforma el alumbrado público en un elemento clave para la construcción de ciudades inteligentes, optimizando recursos y mejorando la calidad de vida de los ciudadanos.

11. REFERENCIAS

- Alvarado-López, R. A. (2020). Ciudades inteligentes y sostenibles: una medición a cinco ciudades de México. *Estudios sociales. Revista de alimentación contemporánea y desarrollo regional*, 30(55). <https://doi.org/10.24836/es.v30i55.860>
- Alvarez Balbin, C. (2022). En Medellín hay más de 2.000 puntos críticos con problemas de basuras. *El Colombiano*. <https://www.elcolombiano.com/antioquia/medellin-tiene-2200-puntos-criticos-con-problemas-de-basuras-BN18159877>
- Álvarez Villalba, J. M. (2020). *Estudio y comparativa de tecnologías para un sistema de telegestión de alumbrado público. Caso práctico en el municipio de Úbeda* [Tesis de grado no publicada]. Universidad de Sevilla. <https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/93085/fichero/TFG-3085+%C3%81LVAREZ+VILLALBA%2C+JUAN+MANUEL.pdf>
- Amaya, P. & Díaz, A. (2016). Casos de éxito de telegestión del alumbrado público en 30 municipios de la provincia de Cádiz. *Esmarcity*. <https://www.esmartcity.es/comunicaciones/casos-exito-telegestion-alumbrado-publico-30-municipios-provincia-cadiz>
- Andina Link. (2018). *El liderazgo de Singapur como Ciudad Inteligente*. Andina Link. <https://www.andinalinksmartcities.com/el-liderazgo-de-singapur-como-ciudad-inteligente/>
- Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (2021). *Con el Valle del Software Medellín y el Valle de Aburrá consolidarán la construcción de ciudades inteligentes*. Recuperado de <https://www.metropol.gov.co/Paginas/Noticias/con-el-valle-del-software-medellin-y-el-valle-de-aburra-consolidaran-la-construccion-de-c>
- Barros, R. M. P. D. C. (2013). *Dashboarding: proyecto e implementación de paneles analíticos* [Tesis de maestría no publicada]. Universidad de Minho. Obtenido de <https://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/27858>
- Berrone, P., & Ricart, J. E. (2016). *Índice IESE Cities in Motion 2016*. IESE Business School Universidad de Navarra. <https://media.iese.edu/research/pdfs/ST-0396.pdf>
- Cerviño, J., Fernández, L., Gobbe, J. L., & Panizzi, M. (3-6 de octubre de 2022). *Modelado conceptual de ciudades inteligentes: un mapeo sistemático de literatura*. XXVIII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación (CACIC), La Rioja, España. https://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/149431/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1

- Concejo Municipal de Envigado. (2021). *Acuerdo N.º 010 del 30 de abril de 2021: Por medio del cual se adopta el plan anual de inversión de alumbrado público en el municipio de Envigado*. Concejo Municipal de Envigado <https://www.concejoenvigado.gov.co/wp-content/uploads/2024/03/PROYECTO-DE-ACUERDO-011-2-DE-2024.pdf>
- CREG. (2015). Alumbrado público. CREG. <http://www.creg.gov.co>
- Dirección de Alumbrado Público de Envigado. (2023). *Informe de gestión e innovación en alumbrado público 2022–2023*. Alcaldía de Envigado. <https://www.envigado.gov.co/alumbrado-publico>
- Dipak, G., & Aithal, P. S. (2022). ICT and digital technology-based solutions for smart city challenges and opportunities. *International Journal of Applied Engineering and Management Letters (IJAEML)*, 6(1), 1–21. https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4038948
- Duque Velásquez, D. (2023). La movilidad en Medellín está enferma. *El Colombiano*. <https://www.elcolombiano.com/opinion/columnistas/la-movilidad-en-medellin-esta-enferma-EA23322053>
- Flick, U. (2012). *Introducción a la investigación cualitativa* (4ª ed.). Morata.
- Gakenheimer, R. (1998). Los problemas de la movilidad en el mundo en desarrollo. *Revista EURE-Revista de Estudios Urbano Regionales*, 24(72). https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0250-71611998007200002
- García, J. (2025). La telegestión del alumbrado público: Control y monitoreo remoto de luminarias. *Revista de Tecnología y Sostenibilidad*, 10(2), 45–60. <https://doi.org/10.1234/abcd.5678>
- García, L. M., & Torres, J. A. (2024). Iluminación pública y seguridad urbana: Retos y soluciones. *Revista de Innovación y Sostenibilidad Urbana*, 22(4), 67–85. <https://doi.org/10.5678/risu.v22i4.7890>
- General Electric. (2017). *Tecnología CMH*. General Electric. https://luzycolor.com.pe/wp-content/uploads/2017/07/Catalogo_CMH_2003_Esp_tcm402-48702_1.pdf
- Giffinger, R., Fertner, C., Kramar, H., Kalasek, R., Pichler-Milanovic, N., & Meijers, E. (2007). *Smart cities: Ranking of European medium-sized cities*. Vienna University of

Technology, University of Ljubljana y Delft University of Technology.
https://www.smart-cities.eu/download/smart_cities_final_report.pdf

Gómez, J. A., & Pérez, L. M. (2021). Modernización de infraestructuras urbanas en el Valle de Aburrá: Desafíos y oportunidades. *Revista de Gestión Urbana y Sostenibilidad*, 15(3), 45–60. <https://doi.org/10.1234/rgus.v15i3.5678>

IESE Business School. (2024). Cities in Motion Index 2024: Smart cities rankings. *IESE Business School*. <https://www.iese.edu/es/noticias/ciudad-inteligente-sostenible-indice-cities-in-motion>

Jiménez, J., Contreras, I. y López, M. (2022). Lo cuantitativo y cualitativo como sustento metodológico en la investigación educativa: un análisis epistemológico. *Humanidades*, 12(2) <https://www.scielo.sa.cr/pdf/rh/v12n2/2215-3934-rh-12-02-00113.pdf>

Levy, G. E. (2018). Smart and sustainable city: Singapore, success case. *Actualidad tecnológica*, 18 (2), 1-35. <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/vinculos/article/view/15461>

Loaiza López, J. A., & Calle Montoya, A. M. (2021). *Políticas Públicas en relación con las prácticas ciudadanas ambientales en Medellín durante el período 2015–2024* [Tesis de doctorado no publicada]. Corporación Universitaria Minuto de Dios. <https://repository.uniminuto.edu/items/fa57e94a-dc02-447b-9849-4a027469482b>

López, A. M., & Ramírez, C. F. (2025). Desafíos y soluciones para el desarrollo urbano sostenible en el Valle de Aburrá. *Revista de Gestión Urbana y Sostenibilidad*, 23(2), 101–118. <https://doi.org/10.5678/rgus.v23i2.8901>

López, M. J., & Hernández, C. A. (2025). Iluminación pública y desarrollo urbano: Retos y perspectivas. *Revista de Gestión Urbana y Sostenibilidad*, 24(1), 33–50. <https://doi.org/10.5678/rgus.v24i1.9012>

Madrigal García, L. A., Miranda Rosales, V., Rozga Luter, R., Canales García, R. A., & Chávez Alvarado, R. (2023). Análisis de los territorios inteligentes y sustentables: Caso de la micro-región Lerma en la Zona Metropolitana de Toluca. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 4(2). <https://doi.org/10.56712/latam.v4i2.711>

Maestre Góngora, G. P. (2015). Revisión de literatura sobre ciudades inteligentes: una perspectiva centrada en las TIC. *Ingeniare*, (19), 137–149. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5662375>

Martínez, L. (2025). Conceptos clave en ciudades inteligentes: Integrabilidad de sistemas, conectividad y dashboards. *Revista de Innovación Urbana*, 15(3), 101–115. <https://doi.org/10.5678/xyz.1234>

- Martínez, P. R., & Gómez, L. F. (2022). Desafíos urbanos en el Valle de Aburrá: Estrategias para un desarrollo sostenible. *Revista de Estudios Metropolitanos*, 18(2), 123–140. <https://doi.org/10.5678/rem.v18i2.7890>
- Medellín Cómo Vamos. (2023). *Encuesta de percepción ciudadana de Medellín*. Medellín Cómo Vamos. https://www.medellincomovamos.org/system/files/2023-10/docuprivados/20231018_EPC%20CORTA.pdf
- Ministerio de Minas y Energía. (2010). *Uso racional y eficiente de la energía y demás formas de energía no convencionales*. Ministerio de Minas y Energía. http://www.minminas.gov.co/minminas/energia.jsp?cargaHome=3&id_categoria=213
- Ministerio de Minas y Energía. (2015, 20 de diciembre). Propuestas de cambio de RETILAP. *Ministerio de Minas y Energía*. <https://www.minenergia.gov.co/es/servicio-al-ciudadano/foros/adici%C3%B3n-y-modificaci%C3%B3n-del-retilap/>
- Mohanty, M. (2020). Sustainable urban planning and making sustainable cities. En *Encyclopedia of the UN Sustainable Development Goals* (pp. 1–12). Springer. https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007/978-3-319-71061-7_62-1
- Monsalve Tapias, G. Á., Bedoya Arboleda, J. Á., & Marín Jaramillo, Ó. A. (2009). *Telegestión del alumbrado público en Medellín* [Tesis de grado no publicada]. Universidad de San Buenaventura. <https://bibliotecadigital.usb.edu.co/entities/publication/80e81130-df5c-4ad3-b1a1-7acce456134b>
- Nam, T., & Pardo, T. A. (2011). Conceptualizing smart city with dimensions of technology, people, and institutions. *Proceedings of the 12th Annual International Digital Government Research Conference: Digital Government Innovation in Challenging Times*, 282–291. <https://dl.acm.org/doi/10.1145/2037556.2037602>
- Patiño Pineda, R. A. (2010). *Marco teórico de la telegestión del servicio de alumbrado público* [Tesis de especialización no publicada]. Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/11367/299963.2010.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Pérez, J. L., & Martínez, R. A. (2025). Impactos de la industrialización y el crecimiento poblacional en las áreas metropolitanas. *Revista de Medio Ambiente y Desarrollo Urbano*, 30(2), 75–92. <https://doi.org/10.5678/rmadu.v30i2.1234>
- Pérez, M. (2025). Beneficios de la telegestión en el alumbrado público: Eficiencia energética y sostenibilidad. *Revista de Energía y Medio Ambiente*, 12(4), 123–137. <https://doi.org/10.5678/xyz.9876>

- Rodríguez, M. E., & Sánchez, J. P. (2023). Problemáticas urbanas en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá: Impactos y soluciones. *Revista de Desarrollo Urbano y Sostenibilidad*, 20(1), 85–102. <https://doi.org/10.1234/rdus.v20i1.4567>
- Salazar, P. F. (2020). *Diseño de un sistema de alumbrado público*. [Tesis de grado no publicada]. Universidad Nacional Abierta y a Distancia. <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/21237/1061773123.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Carrillo, M., Leyva, J. & Medina, J. (2011). El análisis de los datos cualitativos: un proceso complejo. *Psicología*, 20(1), 10–23. https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1132-12962011000100020
- Signify. (2016, 17 de noviembre). La telegestión del alumbrado público una realidad de éxito. *Signify*. <https://www.signify.com/es-es/sobre-nosotros/news/notas-de-prensa/2016/20161117-philips-lighting-telemaintenance-of-street-lighting>
- Signify. (2021). *Smart lighting for smart cities: Case studies of connected public lighting*. <https://www.signify.com/global/smart-cities/case-studies>
- SmartCityCluster. (2024). El auge de las ciudades inteligentes: tecnologías clave y casos de éxito. *SmartCityCluster*. <https://smartcitycluster.com/el-auge-de-las-ciudades-inteligentes-tecnologias-clave-y-casos-de-exito>
- Suárez Acevedo, J. A. (2010). *La telegestión del servicio de alumbrado público* [Tesis de especialización no publicada]. Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/11367/299963.2010.pdf?sequence=1>
- Telefónica Tech. (s.f.). *Santiago de Compostela brilla con alumbrado inteligente*. *Telefónica Tech* <https://telefonicatech.com/casosdeexito/santiago-compostela>
- Villa Crespo, E., & Morales Alonso, I. (2022). *Ciberseguridad IoT y su aplicación en Ciudades Inteligentes*. Editorial Técnica.
- Zhu, H., Shen, K., Chen, T., Dai, J., Huang, L., & Su, G. (2024). Resilience-driven disaster restoration decision models for urban interdependent infrastructure systems under uncertainty. *SSRN*. <https://ssrn.com/abstract=5067437>

12. ANEXOS

En los anexos de este trabajo de grado se encuentran las entrevistas realizadas como parte del proceso investigativo. Estas entrevistas constituyen un elemento fundamental para la recolección de información cualitativa, permitiendo conocer de primera mano las percepciones, experiencias y aportes de los actores clave involucrados en el desarrollo del proyecto. Su inclusión busca brindar mayor transparencia y respaldo a los hallazgos presentados en el cuerpo del documento.

12.1. ANEXO 1. DISEÑO DE LAS ENTREVISTAS

1. Presentación de los presentes

Nombre del entrevistador (Estudiante)

Nombre del Invitado (directora y asesora de grado)

Nombre del entrevistado

Empresa o entidad

Área del conocimiento

2. Permiso de grabación

Solicitud formal de permiso para grabar la entrevista y consentimiento del entrevistado.

Explicación del propósito de la grabación y su uso en el trabajo.

3. Introducción del entrevistador

Breve presentación personal (nombre, institución, contexto de la entrevista).

Explicación del objetivo de la entrevista.

4. Cuestionario

Preguntas organizadas según el área de conocimiento del entrevistado.

Enfoque en experiencias relacionadas, conocimientos técnicos y aplicaciones prácticas.

5. Experiencias relacionadas

Discusión sobre proyectos, investigaciones o iniciativas relevantes del entrevistado en el tema.

6. Aportes

Reflexiones sobre contribuciones del entrevistado al área de conocimiento.

Impacto de sus experiencias en el desarrollo del campo.

7. Conclusiones y recomendaciones

Resumen de los puntos clave abordados.

Consejos y recomendaciones del entrevistado para futuros estudios o trabajos en el tema.

8. Autorización para el uso de nombre y material

Consentimiento formal para usar la identidad y la información recolectada en el trabajo académico.

9. Despedida formal

Agradecimiento al entrevistado por su tiempo y colaboración.

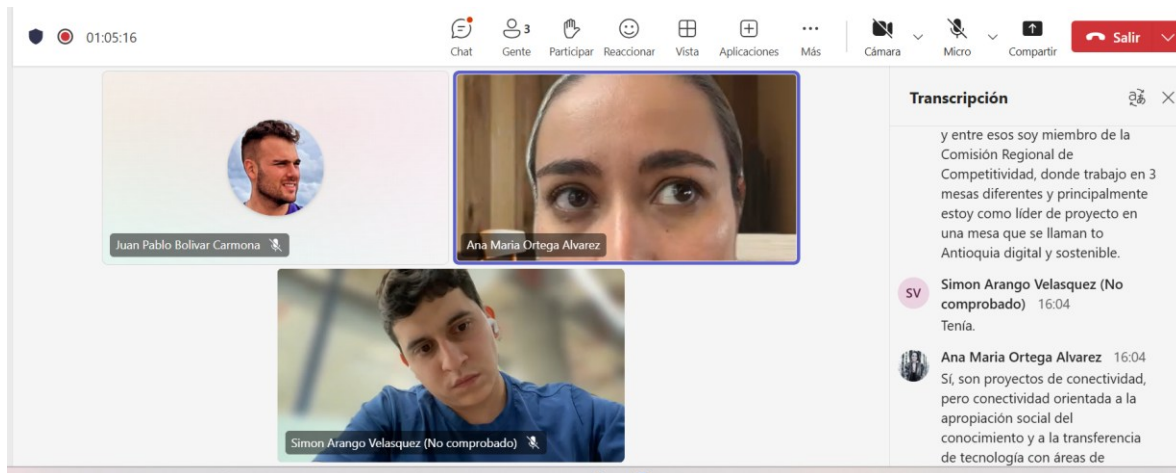
Mensaje final sobre la importancia de su participación.

12.2. ANEXO 2. FOTOS DE LAS ENTREVISTAS

- Primera Entrevista: Simon Arango Velasquez – Ruta N y con Ana Maria Ortega Alvarez - Directora de trabajo de grado

[Reunión Entrevista Simón Arango Ruta N-20250214 151044-Grabación de la reunión.mp4](#)

Figura 5. Foto entrevista: Simón Arango Velásquez

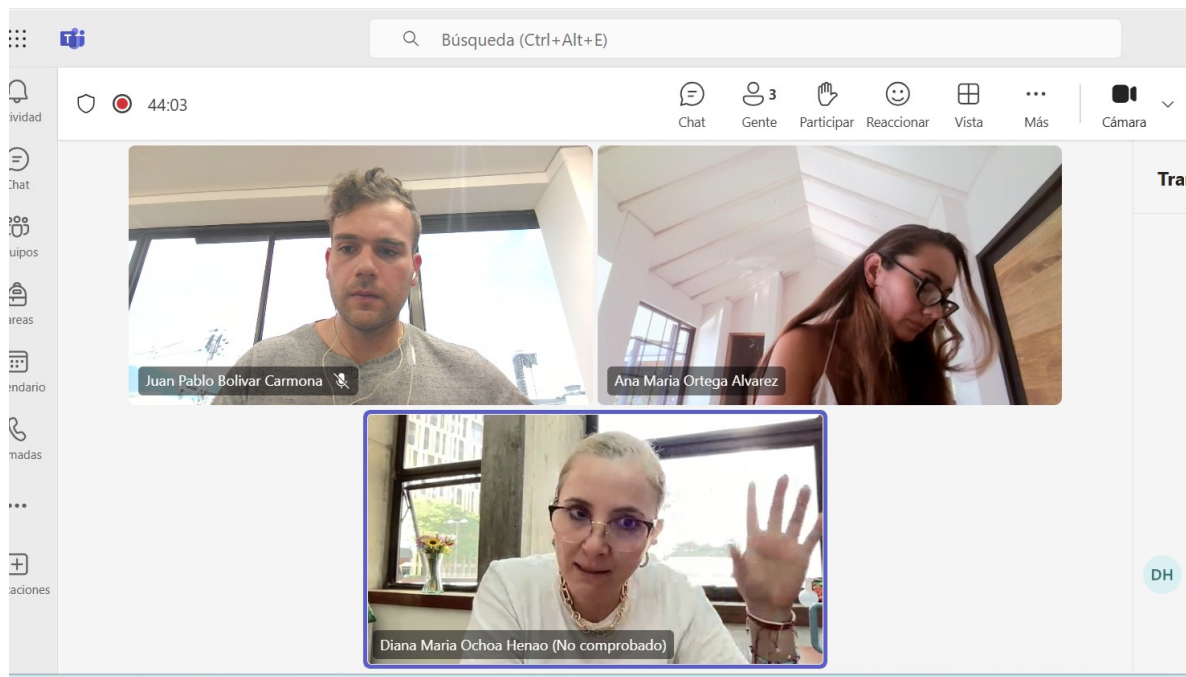


Fuente: elaboración propia

- Segunda Entrevista: Diana Maria Ochoa Henao – Gobernación de Antioquia y Ana María Ortega Alvarez - Directora de trabajo de grado

[Reunión Diana Ochoa-20250220 151349-Grabación de la reunión.mp4](#)

Figura 6. Foto entrevista: Diana María Ochoa Henao

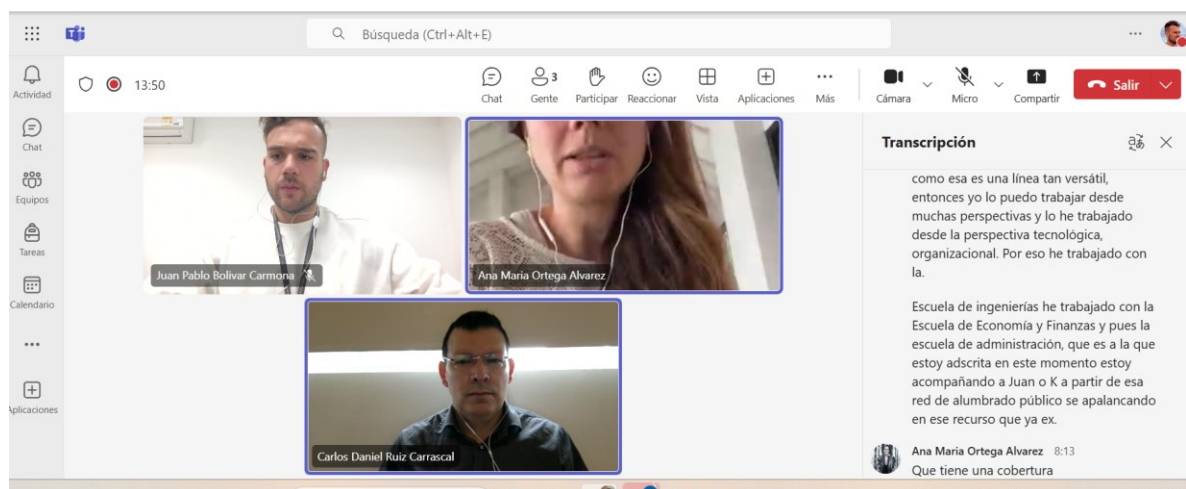


Fuente: elaboración propia

- Tercera Entrevista: Carlos Daniel Ruiz – Area Metropolitana SIATA y con Ana María Ortega Álvarez - Directora de trabajo de grado

[Entrevista Daniel Ruiz Siata-20250313_081211-Grabación de la reunión.mp4](#)

Figura 7. Foto entrevista: Carlos Daniel Ruiz

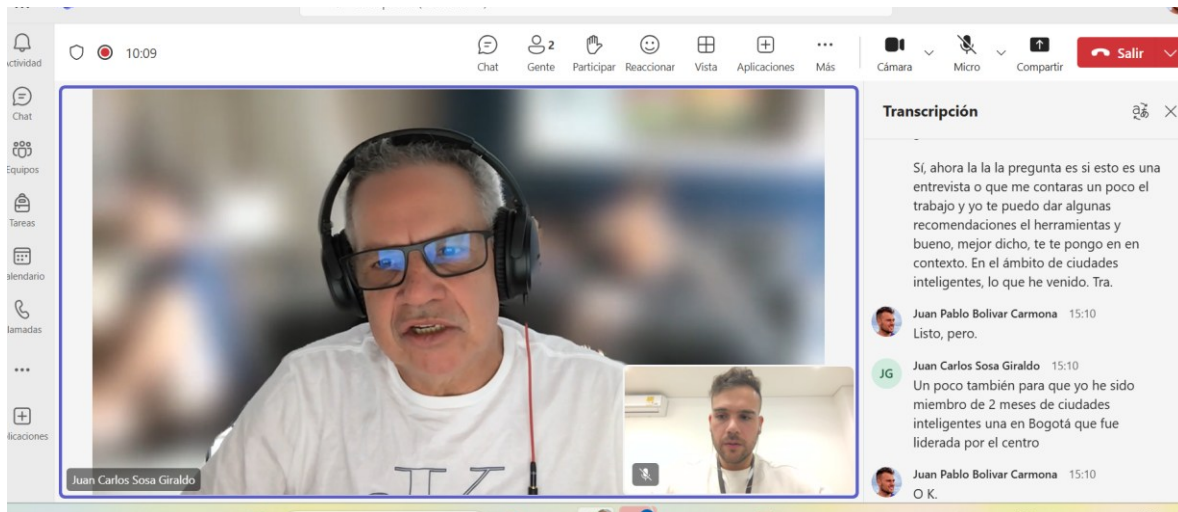


Fuente: elaboración propia

- Cuarta Entrevista: Juan Carlos Sosa Giraldo – Director de la Mesa Antioquia Digital y Sostenible de la Comisión Regional de Competitividad

[Reunión Juan Carlos Sosa Trabajo de Grado MBA-20250313_150747-Grabación de la reunión.mp4](#)

Figura 8. Foto entrevista: Juan Carlos Sosa Giraldo



Fuente: elaboración propia